

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**STATİK TUSAGA - AKTİF ÖLÇÜLERİ YARDIMI İLE HEYELANLARIN
İZLENMESİ – GÜMÜŞHANE İMAM HATİP LİSESİ HEYELAN ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdem KAZANCI

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

“Harita Mühendisliği Anabilim Dalı ”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05/05/2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 14/05/2014

MAYIS 2014



KABUL ve ONAY

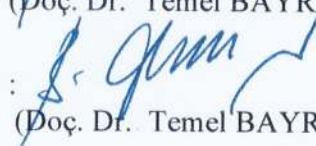


Doç. Dr. Temel BAYRAK danışmanlığında Erdem KAZANCI tarafından hazırlanan “STATİK TUSAGA – AKTİF ÖLÇÜLERİ YARDIMI İLE HEYELANLARIN İZLENMESİ – GÜMÜŞHANE İMAM HATİP LİSESİ HEYELAN ÖRNEĞİ” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

: 
(Doç. Dr. Temel BAYRAK)

Üye (Danışman)

: 
(Doç. Dr. Temel BAYRAK)

Üye

: 
(Yrd. Doç. Dr. Yusuf AŞIK)

Üye

: 
(Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK)

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**STATİK TUSAGA - AKTİF ÖLÇÜLERİ YARDIMI İLE HEYELANLARIN
İZLENMESİ – GÜMÜŞHANE İMAM HATİP LİSESİ HEYELAN ÖRNEĞİ**

Erdem KAZANCI

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Temel BAYRAK

2014, 93 sayfa

Günümüzde hassas konum belirleme uygulamaları gerçek zamanlı olarak yapılmaktadır. Bu uygulamalar; mühendislik amaçlı ölçmeler, jeodezik çalışmalar, kadastral amaçlı çalışmalar, meteorolojik ölçmeler, yer kabuğu hareketleri ve deformasyondur.

Ülkemizde hassas konum belirleme TUSAGA – Aktif sistemi ve TUTGA noktaları dikkate alınarak yapılır. Böylece GNSS ölçümleri ile deformasyon belirleme işlemi yapılır. Bu çalışmada uygulama alanı Gümüşhane İmam Hatip Lisesi ve çevresi olarak seçilmiştir. Eski bir heyelan bölgesi olan bu alan, çevredeki patlatmalar, kazılarla ve meteorolojik olarak ani değişimler tarafından tetiklenmiştir. Periyodik olarak toplanan veriler yardımı

ile seçilen uygulama alanındaki deformasyon belirlenmeye çalışılmıştır. Gümüşhane İmam Hatip Lisesi çevresinde deformasyonun belirlenmesi için, heyelanı temsil edebilecek 3 adet nokta araziye apliedilmiştir. Bu noktalarda GNSS alıcıları ile 2012 Nisan ve 2014 Ocak aylarında olmak üzere 2 periyot ölçü gerçekleştirilmiştir. Ölçüler statik yöntemle göre dengelenmiş ve deformasyon analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarının uyumlulukları irdelenmiş ve apliedilen noktalarda deformasyon gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon, GNSS, Heyelan, Statik Deformasyon Analizi, TUSAGA-Aktif, TUTGA.

ABSTRACT

MS THESIS

LANDSLIDEMONITORING USING STATIC TUSAGA - ACTIVE MEASUREMENTS - GÜMÜŞHANE IMAM HATIP HIGH SCHOOL AREALANDSLIDE SAMPLE

Erdem KAZANCI

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Map Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Temel BAYRAK

2014, 93 pages

Nowadays, precise positioning applications are performed in real-time. These applications are engineering purposes surveying, geodetic studies, cadastral purposes studies, meteorological measurements, the earth crust movement and deformation.

Precise positioning is conducted by considering TUSAGA-Active and TUTGA points in Turkey. Thus, determination of the deformation process is carried out with GNSS measurements. In this study, the application area was selected as Gümüşhane Imam Hatip High School and its environment. The study area which is an old landslide area surrounding was triggered by blasting, excavation and sudden changes in meteorological. the deformation in selected application area was determined using periodically

collected data. 3 points, which represents landslides around Gümüşhane Imam Hatip High School, were applied to determine deformation. 2 period measurements which are collected in April 2012 and in January 2014 with GNSS receivers were carried out at these points. Measurements were adjusted based on static methods, and deformation analysis were performed. Analyses of the results have been examined and deformation at the points which were applied was observed.

Keywords: Deformation, GNSS, Landslide, Static Deformation Analysis, TUSAGA - Active, TUTGA.

TEŞEKKÜR

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Anabilim dalında, ‘Statik Tusaga - Aktif Ölçüleri Yardımı İle Heyelanların İzlenmesi – Gümüşhane İmam Hatip Lisesi Heyelan Örneği’ isimli yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek, konu seçimi ve çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Temel BAYRAK’a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma yaptığım bölgede yaptıkları jeolojik jeoteknik raporu bizimle paylaşan sayın hocalarım Doç. Dr. Orhan KARSLI’ya, Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ’a ve Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ’a teşekkür ederim. Arazide yaptığım çalışmalarda bana yardımcı olan arkadaşlarım Ayhan DOĞAN’a, Neşat BAŞOĞLU ve Özer NUROĞLU’na çok teşekkür ederim. Ayrıca akademik hayatım boyunca bana eğitim vermiş olan hocalarıma bütün samimiyetimle teşekkür ederim.

Beni bu yaşıma getiren, her zaman yanımda olan, toplumumuza layık bir birey olarak yetiştiren Anneme, Babama ve desteklerini benden esirgemeyen değerli eşim Selma Zengin KAZANCI’ ya sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Erdem KAZANCI
Gümüşhane, 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. Problemin Tanımı	1
1.3. Çalışmanın Amacı	2
2. HEYELAN	3
2.1. Heyelanların Nedenleri	3
2.1.1. Heyelanların Etkileri	3
2.2. Çalışma Alanının Genel Tanımı	4
2.3. Gümüşhane İlinin Meteorolojik Durumu	5
2.4. Gümüşhane’de Heyelanlara Neden Olan Etkenler	8
2.5. Gümüşhane Heyelanlarının Sosyo - Ekonomik Etkileri	9
2.6. Gümüşhane İli Heyelanları	10
2.7. Gümüşhane’de Yağış – Heyelan İlişkisi	15
3. HEYELAN İZLEME YÖNTEMLERİ	22
3.1. Heyelan İzleme Yöntemleri ve Hassasiyetleri	22
3.2. GNSS İle Heyelan İzleme Yöntemleri	24
3.2.1. Sürekli İzleme Yöntemi	24
3.2.2. Periyodik Ölçme Yöntemi	25
3.3. Tusaga Aktif Kullanarak Heyelan İzleme	25
3.4. GNSS Ölçü Yöntemleri ve Hata Kaynakları	26
4. GNSS AĞLARININ DENGELENMESİ	28
4.1. GNSS Ağlarının Serbest Dengelenmesi	28
4.2. İstatistik Testler	34

4.2.1.	Model Hipotezinin Testi	34
4.2.2.	Uyuşumsuz Ölçüler Testi.....	36
4.3.	Deformasyon Modelleri	37
4.3.1.	Statik Deformasyon Modeli	40
5.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	46
5.1.	Giriş.....	46
5.2.	Çalışma Bölgesinin Jeolojik-Jeoteknik Raporu	47
5.2.1.	Şev Duyarsızlığı, Limit Denge Analizi.....	55
5.3.	Jeodezik Çalışmalar	57
5.3.1.	Jeodezik Deformasyon Ağının Tasarımı ve Tesisi	58
5.4.	GNSS Ölçülerinin Yapılması ve Değerlendirilmesi	60
5.5.	GNSS Ölçülerinin Dengelenmesi	65
5.6.	1. Periyot Dengeleme Sonuçları	66
5.7.	2. Periyot Dengeleme Sonuçları	68
6.	BULGULAR.....	70
6.1.	Deformasyon Analizi	70
6.2.	θ^2 - Ölçütü Statik Deformasyon Analizi Yöntemi İle Deformasyonların Belirlenmesi	76
7.	İRDELEME	72
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
9.	KAYNAKLAR	84
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası	4
Şekil 2.2. Gümüşhane 2005-2013 Yıllarına ait yıllık ortalama sıcaklık grafiği	5
Şekil 2.3. Gümüşhane 2005-2013 Yıllarına ait ortalama sıcaklık grafiği	6
Şekil 2.4. Türkiye ve Gümüşhane 8 Yıllık Yağış Grafiği	6
Şekil 2.5. Gümüşhane Aylara Göre Yağış Grafiği	7
Şekil 2.6. 2005-2013 Yılları Gümüşhane Yağış – Sıcaklık Grafiği	8
Şekil 2.7. Ulaşımı tehdit eden, Gümüşhane yakınlarında meydana gelen heyelan.....	9
Şekil 2.8. Gümüşhane – Trabzon yolunun heyelan sonucu ulaşımına kapanması	10
Şekil 2.9. Gümüşhane İli ve İlçelerinde meydana gelen heyelanlar ve heyelandan etkilenen bina sayıları (Afet İşleri Genel Müd. Gümüşhane İli Heyelan Raporları)	12
Şekil 2.10. Gümüşhane Merkez İlçe yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları	12
Şekil 2.11. Gümüşhane Kelkit İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları...	13
Şekil 2.12. Gümüşhane Köse İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları.....	13
Şekil 2.13. Gümüşhane Kürtün İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları .	14
Şekil 2.14. Gümüşhane Şiran İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları	14
Şekil 2.15. Gümüşhane Torul İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları....	15
Şekil 2.16. 2005 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	17
Şekil 2.17. 2006 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	17
Şekil 2.18. 2007 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	18
Şekil 2.19. 2008 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	18
Şekil 2.20. 2009 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	19
Şekil 2.21. 2010 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	19
Şekil 2.22. 2011 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	20
Şekil 2.23. 2012 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	20
Şekil 2.24. 2013 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği	21

Şekil 5.1.	Gümüşhane Heyelan Duyarlılık Haritası	47
Şekil 5.2.	Çalışma alanının Türkiye'nin tektonik birliklerindeki yeri ve Gümüşhane yöresinin jeoloji haritası (Okay ve Tüysüz; 1999).....	49
Şekil 5.3.	İmam Hatip Lisesi duvarlarındaki hasarlar (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011)	50
Şekil 5.4.	Necip Bülent DOĞRU' ya ait binada zemin hareketliliğine bağlı gelişen çatlaklar (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).....	50
Şekil 5.5.	İmam Hatip Lisesi duvarlarındaki hasarlar	51
Şekil 5.6.	İmam Hatip Lisesi duvarlarındaki hasarlar	51
Şekil 5.7.	Çalışma alanındaki sondaj kuyularının konumlarını gösteren uydu fotoğrafı. (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011)	52
Şekil 5.8.	Kazı Öncesi A-A' jeolojik kesit hattı (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).....	53
Şekil 5.9.	Kazı sonrası A-A' jeolojik kesit hattı (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).....	53
Şekil 5.10.	1970-2010 Yılları Arasında Gümüşhane ili ve çevresindeki depremler ve bölgenin tektoniği (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011)	54
Şekil 5.11.	Gümüşhane İli 1970–2010 yılları arası deprem sayısı grafiği (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).....	55
Şekil 5.12.	Fore kazık uygulamasından bir görünüm (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).....	57
Şekil 5.13.	Hareketli Noktalar ve GNSS Noktaları.....	58
Şekil 5.14.	P.1 no' lu nokta	59
Şekil 5.15.	P.2 no' lu nokta	59
Şekil 5.16.	P.3 no' lu nokta	59
Şekil 5.17.	Topcon Tools'da Job Configuration sekmesi ile gerekli kriterlerin girilmesi .	61
Şekil 5.18.	Sp3 Formatındaki Hassas Yörünge Verilerinin (Efemeris) İmport Edilmesi ...	62
Şekil 5.19.	Verilere ait bilgilerin girilerek Process aşamasına hazır hale getirilmesi	63
Şekil 5.20.	Ağdaki tüm noktalar arası baz bileşenlerinin dengelendiği Process aşaması ...	64
Şekil 6.1.	Nisan.2012–Ocak.2014 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş x yönündeki hareketleri	71

Şekil 6.2. Nisan.2012–Ocak.2014 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş y yönündeki hareketleri	72
Şekil 6.3. Nisan.2012–Ocak.2014 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş z yönündeki hareketleri	72
Şekil 6.4. Noktaların statik modelle hesaplanmış x yönündeki hareket yağış ilişkileri....	73
Şekil 6.5. Noktaların statik modelle hesaplanmış y yönündeki hareket yağış	73
Şekil 6.6. Noktaların statik modelle hesaplanmış z yönündeki hareket yağış ilişkileri	74
Şekil 6.7. 1 nolu noktanın statik modelle hesaplanmış yer değiştirme-yağış ilişkisi.....	74
Şekil 6.8. 2 nolu noktanın statik modelle hesaplanmış yer değiştirme-yağış ilişkisi.....	75
Şekil 6.9. 3 nolu noktanın statik modelle hesaplanmış yer değiştirme-yağış ilişkisi.....	75

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Merkez 1961-2013 Yılları arasında, Merkez ve İlçelerde etkilenen köy sayısı, heyelan sayısı, etkilenen bina sayısı	11
Tablo 2.2. Gümüşhane İli ve İlçelerinde heyelandan etkilenen köy ve bina sayıları	16
Tablo 3.1. Heyelan hareketlerinin ölçümünde kullanılan yöntemler ve doğrulukları	23
Tablo 4.1. Deformasyon modellerinin sınıflandırılması	40
Tablo 5.1. Çalışma alanında yapılan sondajlar, yamaç molozu kalınlığı, sondaj yeri koordinatları	46
Tablo 5.2. Limit denge analizlerine göre güvenlik katsayısının değerlendirilmesi	56
Tablo 5.3. Yaklaşık Koordinatlar	65
Tablo 5.4. 1. Periyot Ölçülerin Dengeleme Sonuçları	66
Tablo 5.5. 1. Periyoda ait uyumsuz ölçüler testi (Tau Testi)	66
Tablo 5.6. 1. Periyot Dengelenmiş Koordinatlar (Kartezyen) ve Standart Sapmalar	67
Tablo 5.7. 2. Periyot Ölçüleri Dengeleme Sonuçları	68
Tablo 5.8. 2. Periyoda ait uyumsuz ölçüler testi (Tau Testi)	68
Tablo 5.9. 2. Periyot Dengelenmiş Koordinatlar (Kartezyen) ve Standart Sapmalar	69
Tablo 6.1. Nisan 2012-Ocak 2014 Periyotlarındaki Hareketli Nokta, Deformasyon Değerleri (cm)	71

SEMBOLLER ve KISALTMALAR

A_{Δ}	: Katsayılar matrisi
G_s	: Güvenlik sayısı değeri
GPS	: Global Positioning System (Global konum belirleme sistemi)
S_0	: Birim ölçünün ortalama hatasının öncül değeri
SK	: Sondaj Kuyusu
Q	: Tablo değeri
m_0	: Birim ölçünün ortalama hatasının soncul değeri
n	: Gözlem sayısı
u	: Bilinmeyen sayısı
T	: Test değeri
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
PD	: Ağda sabit kalan noktalar.
$v^T pv$	: Düzeltmelerin kareleri toplamı
$\overline{X}$	: Dengeli noktalar
ΔX	: Bağlı konum koordinatları
$\overline{\Delta X}$	: Dengeli Ölçüler
δX	: Dengeleme Bilinmeyenleri
ν_{Δ}	: Düzeltmeler
$(-\ell_{\Delta})$	: Ötelenmiş gözlemler.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. GİRİŞ

Doğal afetler tüm dünyada olduğu gibi Ülkemizde de yaşayışı olumsuz etkilemektedir. Bu afetler önemli ölçüde maddi hasarlara neden olduğu gibi afet sonrasında can kayıpları da yaşanmaktadır. Böylesine önemli ve hassas olan bu konuda, önlem alınma çalışmaları ya da afetin önceden tahmin edebilme çalışmaları yapıldığı gibi bilimsel alanlara da araştırma konusu olmuştur. Doğal afetlerin en etkililerinden birisi olan heyelanlar da yaşantımızı olumsuz yönde etkilemektedir. Heyelanların çevresel bazı önlemlerle önlenmesi mümkün olabildiği gibi yerin jeolojik, jeofizik yapısı itibari ile önlenmesi mümkün görülmeyen ancak belirli araştırmalar ve gözlemlerle etkilerinin en asgari miktara indirilebilmesi mümkün olabilmektedir. Türkiye ve çevresinde tektonik hareketler nedeniyle oluşan deformasyon ve depremsellik ile yer yüzeyinde meydana gelen heyelanlar jeodezik nokta koordinatlarında zamana bağlı değişimler meydana getirmektedir. Bu nedenle, noktaların hızları günlük belirlenecek ve Türkiye, Kuzey Anadolu Fayı ve Güney Anadolu Fayı gibi aktif deprem taşıyıcı fayların üzerinde olduğundan dolayı tektonik plaka hareketleri etkili bir şekilde belirlenecektir. TUSAGA-Aktif ile birlikte eş zamanlı olarak ortometrik yükseklikler de elde edilirse bir çok kurum tarafından bu veriler rahatlıkla ve güvenle kullanılabilir (Yıldırım vd., 2011; Aktuğ vd., 2011; Kılıçoğlu, 2011; TKGM, 2011).

1.2. Problemin Tanımı

Hızla gelişen teknolojik çalışmalar, mühendislik çalışmalarla bütünleştğinde daha verimli ve istenilen doğrulukta çalışılabilme ve araştırma geliştirme çalışmaları yürütülebilmesi mümkün olmaktadır. Bu gelişmelerin Ülkemizde de takip edilerek uygulama aşamasına başarılı bir şekilde geçirilmesi yapılan araştırmaları ve çalışmaları daha anlamlı kılmaktadır. Ülkemizde önem arz eden doğal afetlerden olan heyelanların ölçülebilmesi ya da deformasyonların belirlenmesi için GNSS sistemlerinin kullanılması ve gerçek zamanlı hassas konumlama bilgisini veren TUSAGA – Aktif sistemleri ve TUTGA noktaları yardımı ile olabilmektedir.

1.3. Çalışmanın Amacı

Türkiye'nin belirli bölgelerinde meydana gelen mevsim normalleri üzerindeki yağışlar nedeni ile yamaç eğimi olan yerlerde kitle hareketleri ve heyelanlar meydana gelmektedir. Bulunduğu konum ve jeolojik yapısı itibari ile heyelan riskine en çok maruz kalan illerden birisi de Gümüşhane' dir. Gümüşhane İli Merkezinde bulunan İmam Hatip Lisesi duvarlarında çatlaklar oluşmuş ve okul çevresinde zemin dalgalanmaları meydana gelmiştir. Bu nedenle bu bölgeye yönelik bir deformasyon ağı kurulması ve belirli periyotlarla zeminde tesis edilen sabit noktalar üzerinde alınacak olan GNSS ölçüleri ile Ülkemizde kullanılan gerçek zamanlı hassas konum belirlemeye yardımcı TUSAGA – Aktif sistemi ve TUTGA noktaları yardımıyla periyotlar arasında statik yöntemle deformasyon analizinin yapılmaktadır. Yapılan bu jeodezik çalışmalar ile bölgede daha önceden yapılmış olan jeolojik rapor ilişkisinin irdelendiği bir araştırma ve Gümüşhane İlının son 8 yılına ait günlük yağış, sıcaklık verilerinin de afetler ile olan ilintisinin incelendiği bir çalışma ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. HEYELAN

Heyelanlar, insanların toplumsal, ekonomik ve beşeri yapılarına önemli ölçüde dolaylı ya da direkt olarak etkiyen doğa olaylarıdır. Zemin yapısının jeolojik durumunun uygun olmaması, kayaç durumu, etkin yer altı suları, yapılaşma öncesinde kullanılan patlayıcı maddeler ve kazılar, erozyon önleyici tedbirlerin alınmaması, plansız ya da yanlış planlama sonucu uygun olmayan yerleşimler vb. heyelan oluşumuna büyük ölçüde etki eden ya da heyelan oluşumunu hızlandıran çevresel etkenlerdir.

2.1. Heyelanların Nedenleri

Yer yüzeyini oluşturan toprak ve kayaçlar deprem, yağmur, sıcaklık farkı, rüzgar gibi doğal etkenlerden dolayı olabileceği gibi, yer altında yapılan patlatmalar, makinelerden ötürü oluşan titreşmeler ve diğer çevresel etmenlerden dolayı doğrudan ya da dolaylı olarak değişime uğramaktadır. Bu değişimlerin yamaçlarda meydana gelmesi yer yüzeyindeki malzemenin içeriğini bozabileceği gibi dayanıklılığını da azaltabilmektedir. Bu etkileşimlerden ve değişimlerden dolayı yamacın şeklinin değişmesi ve kayması söz konusudur.

Toprağın malzeme türü ve yer altı suları da toprağı yapısal olarak değişime uğratan önemli etkenlerdendir. Bu etkenlerin miktarı ve toprağın özelliklerinin değişmesi nedeniyle heyelanı aktif hale getirebilmektedir.

2.1.1. Heyelanların Etkileri

Heyelanlar, gerçekleştikleri yerlerde kalıcı hasarlara neden olabilirler. Bu hasarlar ölümle sonuçlanabileceği gibi yerleşim alanlarına da zarar verebilir. Toprağın kayması etkisi ile ulaşım yolları kapanıp afet bölgesine yardım ulaşımını engelleyebilir. Heyelanlarla yamaçtan kayan kütlenin bir kısmı tarımsal topraktır. Tarımsal toprağın bu şekilde taşınması tarımsal verimliliği önemli ölçüde etkileyebileceği gibi doğrudan ülke ekonomisine ve insanların yaşantısına olumsuz etkileri olacaktır.

2.2. Çalışma Alanının Genel Tanımı

Ülkemizin Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Gümüşhane İli'nin kuzeyinde Trabzon, doğusunda Bayburt, batısında Giresun ve güneyinde Erzincan ile komşudur. Gümüşhane 38° 45' - 40° 12' doğu boylamları ile 39' 45' - 40' 50' kuzey enlemleri arasında olup yüzölçümü 6.575 kilometrekare, deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1210 metredir. Yeryüzü Şekilleri bakımından Köse, Kelkit ve Şiran ilçelerinin yer aldığı güney kesimi yüksek bir plato özelliği gösterir. Şehir genellikle dar ve derin vadilerle birbirinden ayrılmıştır. Kuzey Anadolu sıradağları içinde yer alan ilin en engebeli arazileri Merkez, Torul ve Kürtün ilçeleri olup, en yüksek yeri Çakırgöl olarak bilinen dağlarında 3.000 metreyi geçmektedir.

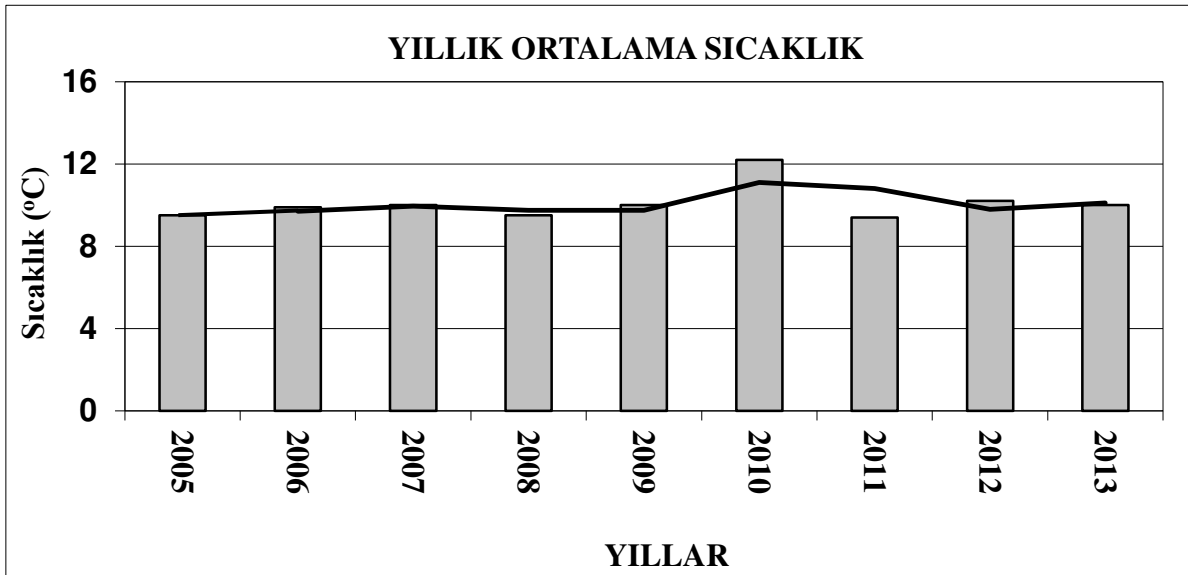
Çalışma sahası da Gümüşhane İli Merkez İlçesi Çamlıca Mahallesi sınırları içerisinde yer almakta olup, Gümüşhane İmam Hatip Lisesi ve Işıl Sema DOĞAN İlköğretim Okullarını içine de alan bir bölgedir. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil.2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası

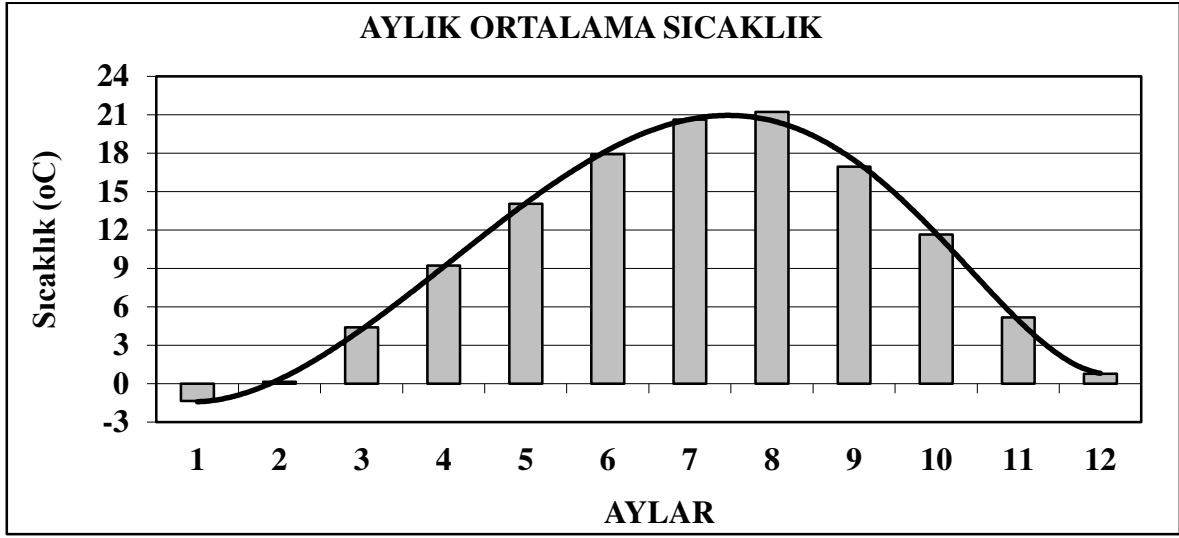
2.3. Gümüşhane İlinin Meteorolojik Durumu

Gümüşhane İli geneline yazları serin, kışları ise soğuk bir iklim hakimdir. 8 Yıllık yapılan gözlemler sonucunda (2005-2013) Gümüşhane'nin yıllık ortalama sıcaklığı 10 °C dir. Gümüşhane, karasal iklimin hakim olduğu karakteristik bir yapıdadır. Gümüşhane'de aylık ortalama sıcaklık eğrisi tüm yıl 5 °C üzerinde seyretmekte olup, sadece 1 ayın aylık sıcaklık ortalaması 0 °C' nin altındadır. Diğer bütün ayların aylık ortalama sıcaklıkları ilkbahar ve yaz mevsimi için 10 °C' nin üzerindedir. Sıcaklık ortalaması 20 °C' yi geçen ay sayısı sadece 2'dir. Bütün bunlardan ve Şekil 2.5. de görüldüğü üzere Gümüşhane'nin düzenli bir sıcaklık rejimine sahip olmadığının sonucunu çıkarabilmek için Gümüşhane ili 8 yıllık (2005–2013) iklim verilerine bakmak yeterli olabilmektedir.

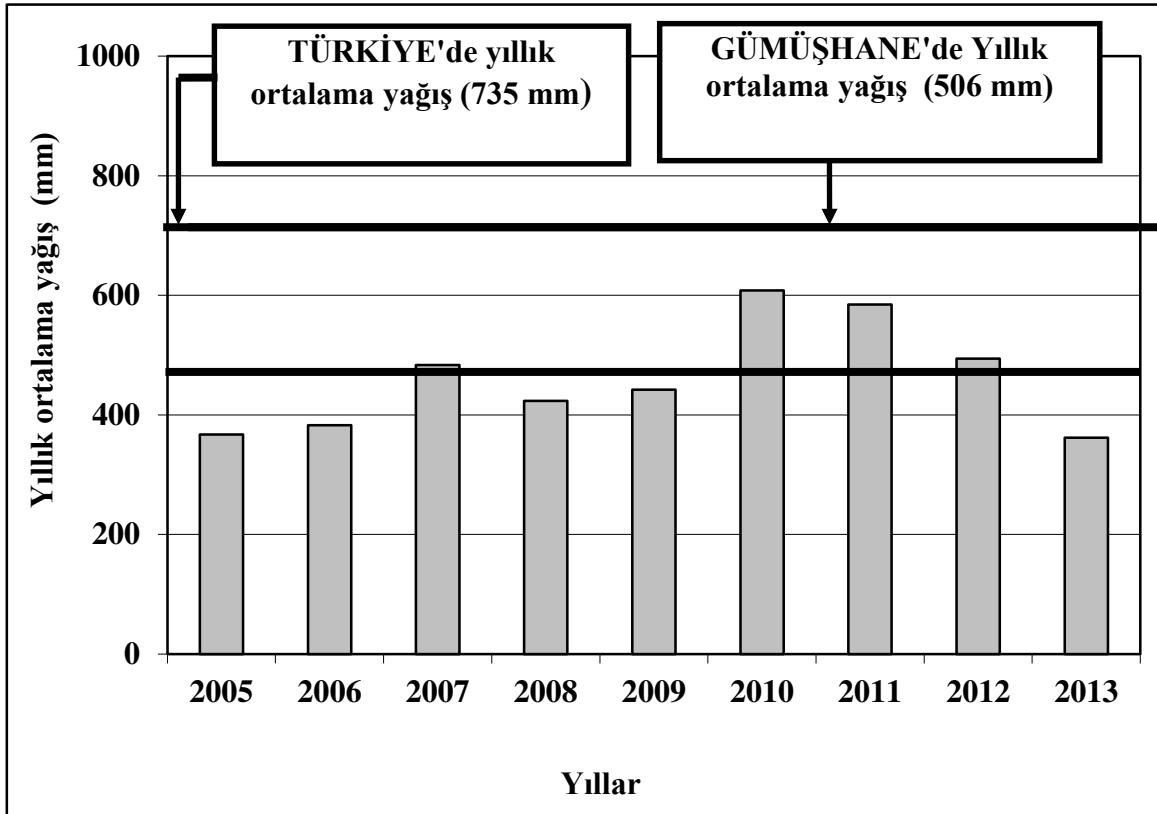


Şekil 2.2. Gümüşhane 2005-2013 Yıllarına ait yıllık ortalama sıcaklık grafiği

2005-2013 yıllarının aylara göre ortalama sıcaklık değerine bakarsak; Gümüşhane aylık ortalama sıcaklık eğrisinin -2°C ile 22°C arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 2.5.).



Şekil 2.3. Gümüşhane 2005-2013 Yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık grafiği

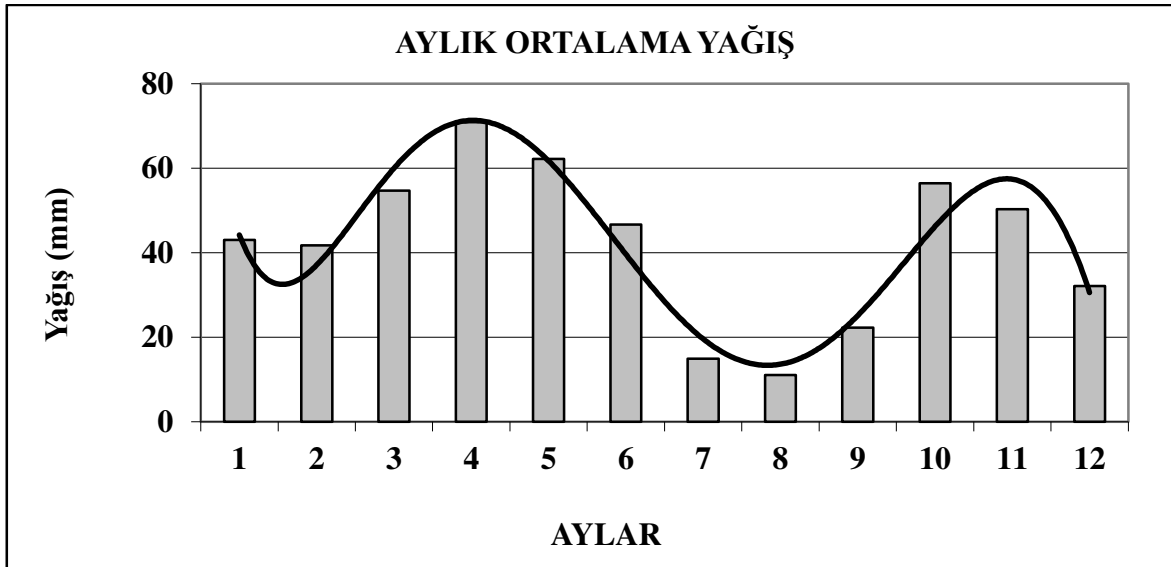


Şekil 2.4. Türkiye ve Gümüşhane 8 Yıllık Yağış Grafiği

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Trabzon Meteoroloji Bölge Müdürlüğü
Gümüşhane ili 8 yıllık (2005 – 2013) iklim verilerine göre Gümüşhane'nin yıllık toplam

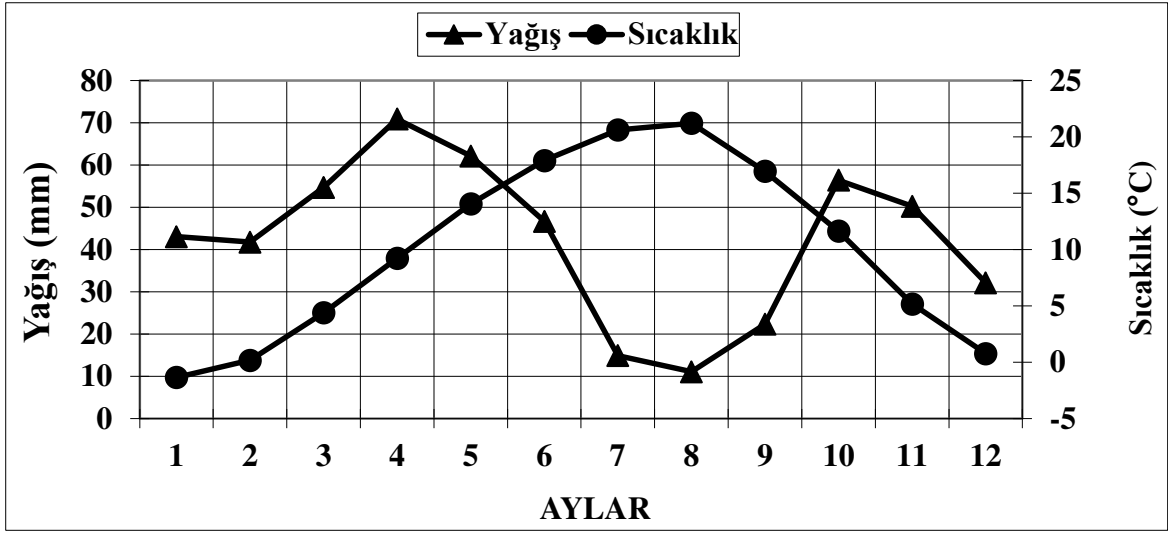
yağış miktarının 8 yıllık ortalaması 506 mm (Şekil 2.6.), Türkiye ortalaması 735 mm olup yağışlar her mevsim dengeli olarak dağılmıştır. Bu nedenle Gümüşhane’de kurak mevsim yoktur. En az yağış alan yazın toplam yağış miktarı kuraklık sınırının üzerindedir. Gümüşhane için oluşturulmuş yıllık ortalama yağış grafiği Şekil 2.7. ’den de görüldüğü üzere Gümüşhane’nin sıcaklık gibi istikrarlı bir yağış rejimine sahip olmadığı sonucunu çıkarmak mümkündür.

Gümüşhane’nin 8 yıllık yağış verilerini irdelediğimiz zaman en fazla yağış alan ayların Nisan, Mayıs ve Ekim ayları olduğunu ve yine en az yağışı ise Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları olduğu görülmüştür (Şekil 2.7.).



Şekil 2.5. Gümüşhane Aylara Göre Yağış Grafiği

Gümüşhane İlının 2005-2013 yıllarına ait yağış-sıcaklık ilişkisine bakıldığında sıcaklık ve yağışın birbirine göre doğru-ters orantılı olarak artış ya da azalma gösterdiği Şekil 2.8. ‘de görülmüştür.



Şekil 2.6. 2005-2013 Yılları Gümüşhane Yağış – Sıcaklık Grafiği

2.4. Gümüşhane’ de Heyelanlara Neden Olan Etkenler

Gümüşhane merkezden kuzeye doğru uzanan hat boyunca yani Giresun sınırına kadar olan bölgelerde heyelan olaylarına daha sık rastlanılır. Bu güzergah üzerindeki bölgelerde yamaç eğiminin yüksek oluşu heyelan oluşumunu hızlandırmaktadır. Bölge topografyasının da heyelan olaylarına müsait olduğu bu mahalde son zamanlarda yapılan Kürtün - Tirebolu yol Güzergâhının yapımı esnasında bu yol güzergâhında ve civarında son zamanlarda kısmi heyelanlar görülmüştür. Yukarıda belirtildiği gibi Gümüşhane İli Kuzey bölgeleri heyelan açısından riskli bölgeler olduğu gibi, güney bölgeler ise heyelan açısından daha az riskli bölgelerdir.

Bölgede Temmuz, Ağustos, Eylül, aylarında yağışların az olduğu görülmektedir (Şekil 2.7.). Bu aylarda suyunu kaybeden zeminlerde heyelanlar azalmaktadır. Heyelan riski sağanak yağışlarla birlikte artmaktadır. Mayıs ayında zeminlerdeki su içeriğinin yükselmesi ve değişik amaçlı (yol-temel) kazılarının etkisi ile daha fazla heyelan meydana gelmiştir. Gümüşhane İli ve çevresinde çeşitli tarihlerde meydana gelen heyelanlar incelenmiş ve meydana gelmesinde yağış, kazı, kayalarla oluşan ayrışma ve bitki örtüsü değişikliği ana nedenler olarak görülmüştür.

2.5. Gümüşhane Heyelanlarının Sosyo - Ekonomik Etkileri

Gümüşhane’de yerleşim zorunlu olarak bir vadi içerisine kurulmuştur. Yıllar içerisinde artan nüfus yoğunluğu nedeni ile git gide daha fazla yerleşime ihtiyaç duyulmaya başlanan Gümüşhane İlinde, jeolojik yapısı nedeni ile yerleşimler kayalar üzerine kurulmaktadır. Bu nedenle zamanla aşınan ya da patlamalar, kırılmalar şeklinde dış etkenlere maruz kalan zemin bozularak irili ufaklı heyelan oluşumuna sebebiyet vermektedir. Gümüşhane yüzyıllardır Türkiye’nin Trabzon üzerinden güneye açılan bir kapısı olması, Gümüşhane-Trabzon ulaşım yolunu da önemli kılmaktadır. Bu nedenle heyelan bölgesi içinde olan Gümüşhane-Trabzon yolunun ya da Gümüşhane-Giresun yolunun kapanması ulaşımı olumsuz etkileyecektir. 08.12.2012 tarihinde Erzincan-Gümüşhane karayolunun 35. kilometresi Yeniyol köyü yakınlarında meydana gelen heyelan sonucu asfalt yol yaklaşık 20 metre aşağıya kaymıştır. Yaklaşık 500 metrelik alanda etkili olan heyelan elektrik direkleri ve ağaçları yerinden sökmüştür (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. Ulaşımı tehdit eden, Gümüşhane yakınlarında meydana gelen heyelan
(<http://galeri.haberturk.com/gundem/galeri/420572-heyelen-yolu-kapatti/1/4.>)

08.11.2013 tarihinde ise Gümüşhane - Trabzon karayolunun Torul ilçe girişinde toprak kayması ve kaya düşmesi sonucu karayolunun ulaşımına kapanmıştır (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Gümüşhane Torul İlçe Girişi yakınlarında heyelan sonucu ulaşımın kapanması
(<http://www.haberler.com/gumushane-deki-heyelan-5174440-haberi/>).

2.6. Gümüşhane Heyelanları

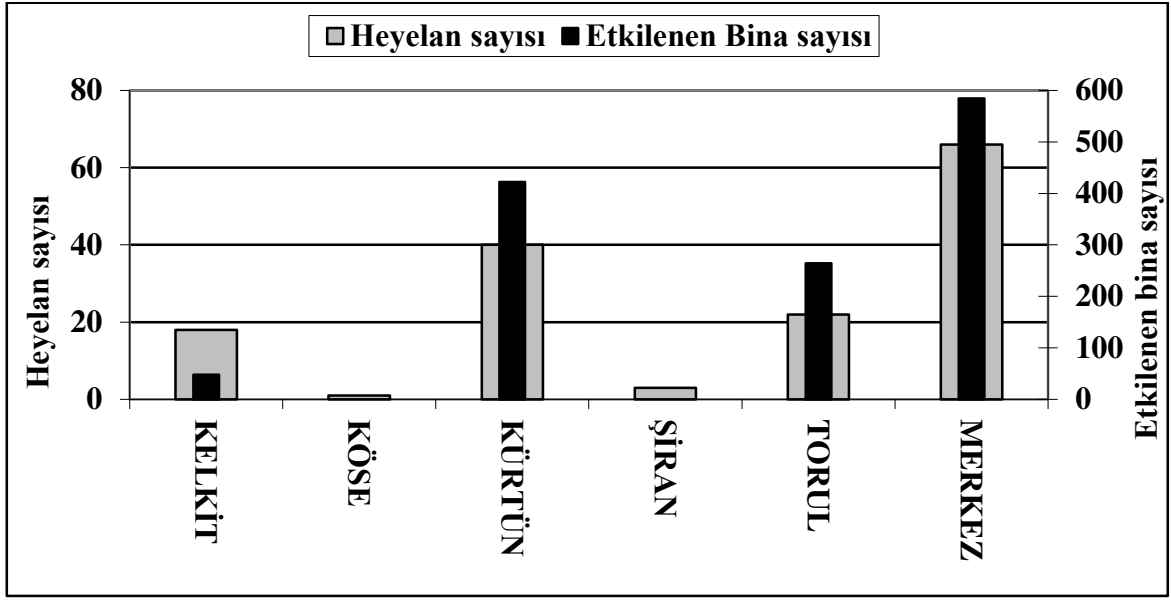
T.C. Gümüşhane Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Türkiye'deki tüm İl Afet Müdürlüklerinde olduğu gibi tüm heyelan vakaları için ayrı ayrı jeolojik etüd raporları düzenlemektedir. Bu jeolojik etüd raporlarında; afetin ili, ilçesi, köyü, hane ve nüfus sayıları, afetin türü, afetin tarihi gibi genel başlıklar altından raporlanmaktadır. Afet yerinin tanıtılması, iklim bitki örtüsü durumu, bölgede varsa daha önce yapılmış çalışmalar, topoğrafik ve jeomorfolojik durumu, jeolojik durum, afetin kapsamlı bir şekilde açıklanmaktadır. Bunlara ek olarak Afet olayı zarar ziyan durumu, aktif ve muhtemel olayın etki alanı sınırları, iyileştirme durumu, su ve deprem durumları, istatistiki bilgiler ve sonuç kısımları bulunmaktadır.

İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nün düzenlemiş olduğu heyelan ile ilgili jeolojik etüt raporlarına göre Gümüşhane ve ilçelerinin tamamında meydana gelen heyelan olayı ve etkilenen bina sayıları verilerine göre Kürtün, Kelkit, Köse, Torul, Şiran ve Merkez ilçelerinde heyelan olayları meydana gelmiştir. Bunlar arasında Merkez, Kürtün, Torul ve Kelkit ilçelerinde heyelan olaylarının daha fazla etkili olduğu belirlenmiştir. Gümüşhane İli ve İlçeleri bütününde günümüze kadar toplam 149 tane heyelan olayı kayıtlara geçmiştir. Heyelan olayları sonucunda 1322 tane bina hasar görmüş, çoğunun nakline karar verilmiş ve raporların çoğunda heyelan nedeni olarak yağış gösterilmiştir.

Heyelan olaylarının Gümüşhane il ve ilçeleri için analiz edilecek olursa değerlerin aşağıdaki Tablo 2.1.'de ki gibi olduğu görülmüştür.

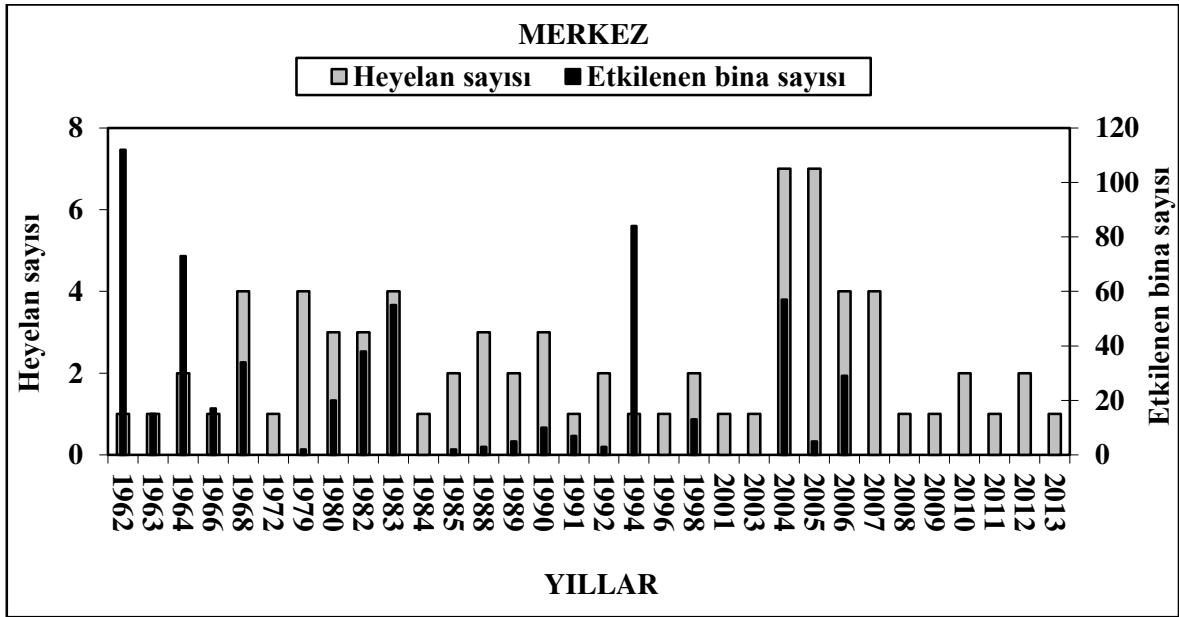
Tablo 2.1. 1961-2013 Yılları arasında, Merkez ve İlçelerde etkilenen köy sayısı, heyelan sayısı, etkilenen bina sayısı.

İLÇELER	ETKİLENEN KÖY SAYISI	HEYELAN SAYISI	ETKİLENEN BİNA SAYISI
MERKEZ	49	66	584
TORUL	22	21	264
KÜRTÜN	20	40	426
ŞİRAN	3	3	0
KELKİT	15	18	48
KÖSE	1	1	0
TOPLAM	110	149	1322

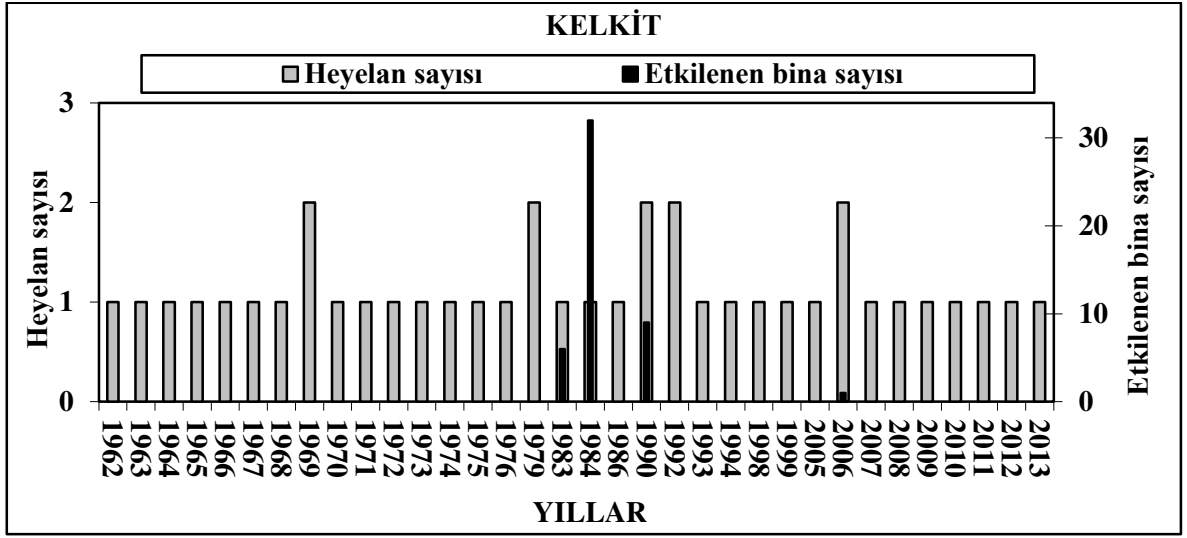


Şekil 2.9. Gümüşhane İlçe ve İlçelerinde meydana gelen heyelanlar ve heyelandan etkilenen bina sayıları (Afet İşleri Genel Müd. Gümüşhane İlçe Heyelan Raporları).

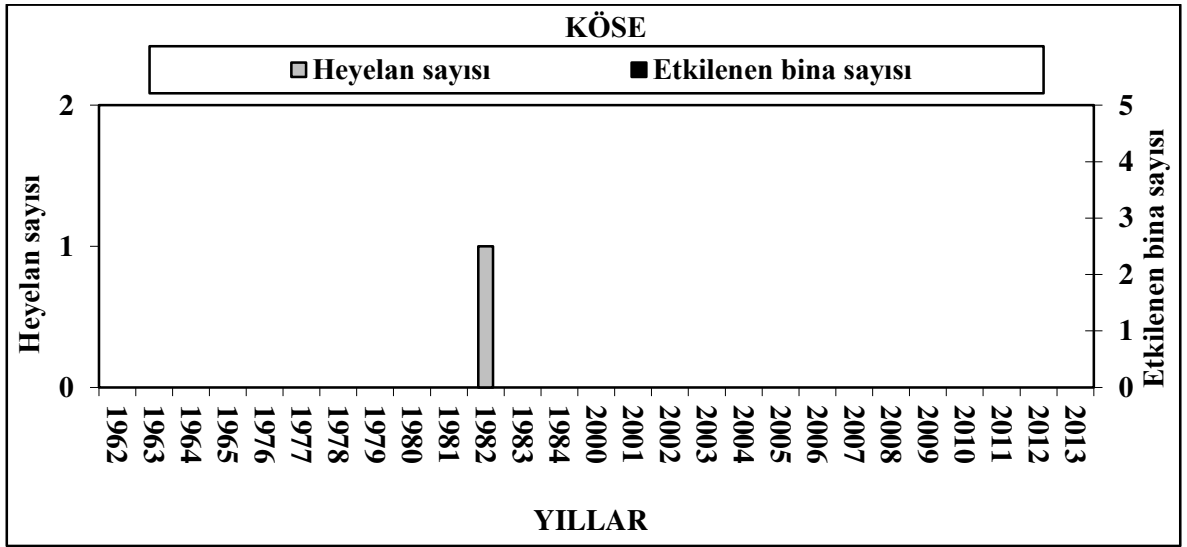
Gümüşhane İlçe İlçelerinde meydana gelen heyelanları ve bu heyelanlardan etkilenen binaların yıllara göre dağılımını gösteren grafikler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.10-11-12-13-14-15).



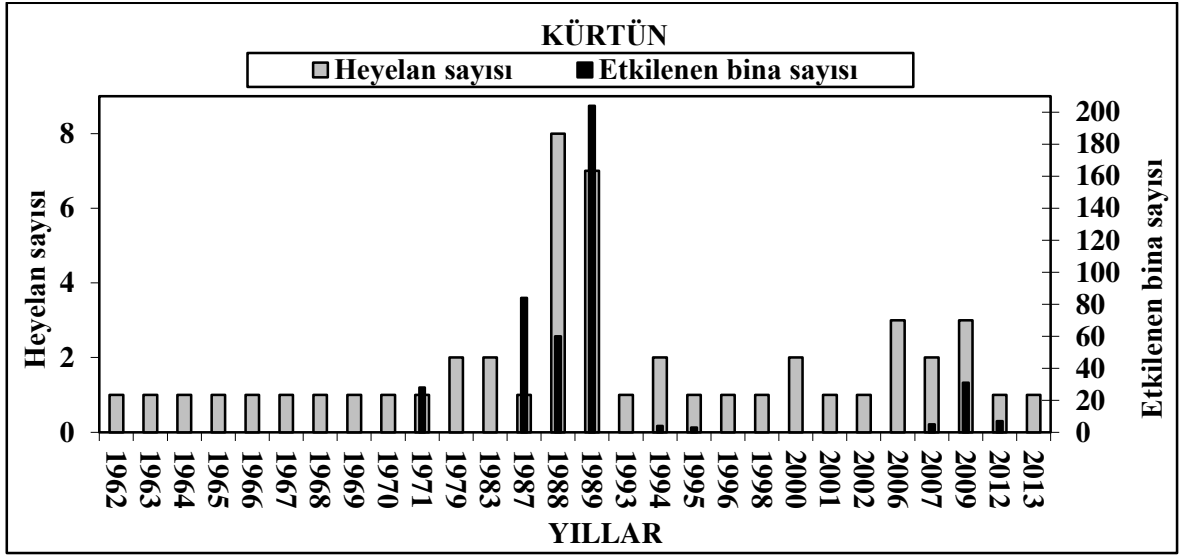
Şekil 2.10. Gümüşhane Merkez İlçe yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları.



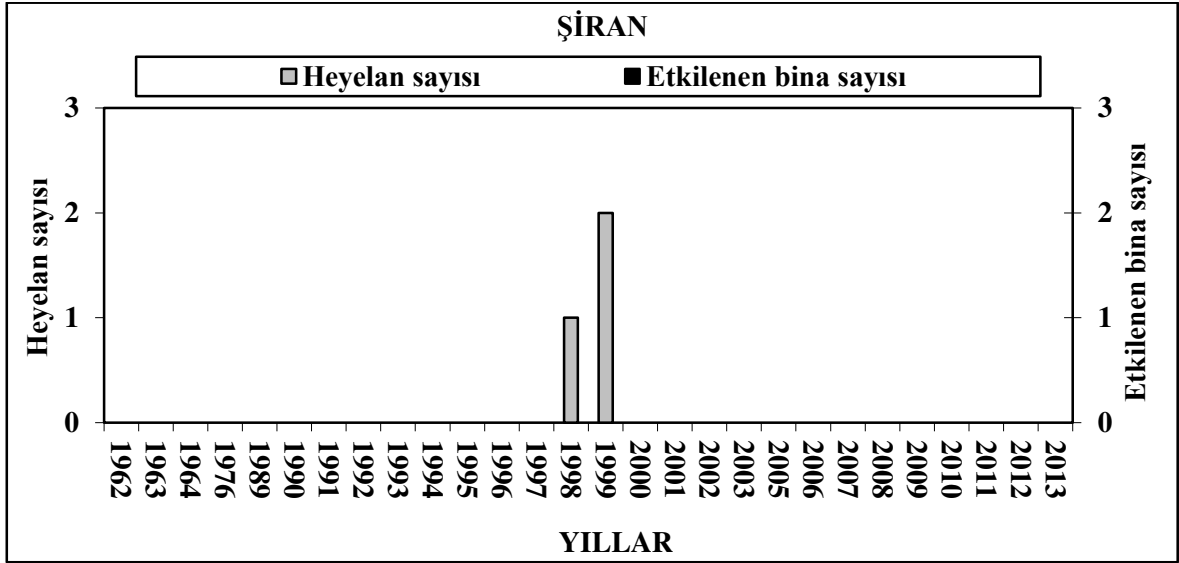
Şekil 2.11. Gümüşhane İli Kelkit İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları.



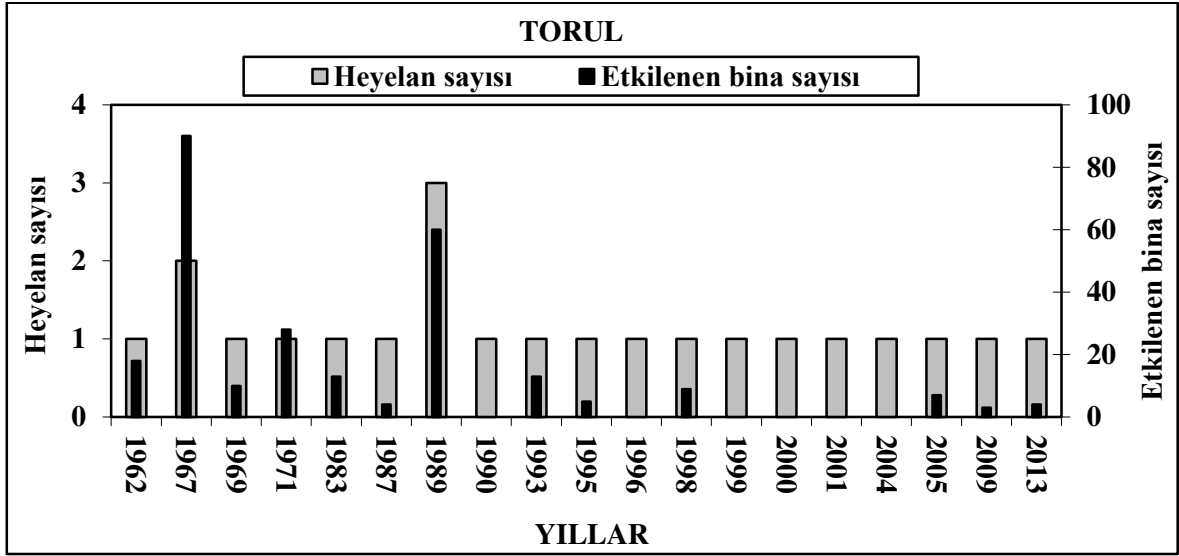
Şekil 2.12. Gümüşhane İli Köse İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları.



Şekil 2.13. Gümüşhane İli Kürtün İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları.



Şekil 2.14. Gümüşhane İli Şiran İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları.



Şekil 2.15. Gümüşhane İli Torul İlçesi, yıllara göre heyelan sayısı etkilenen bina sayıları.

2.7. Gümüşhane’de Yağış – Heyelan İlişkisi

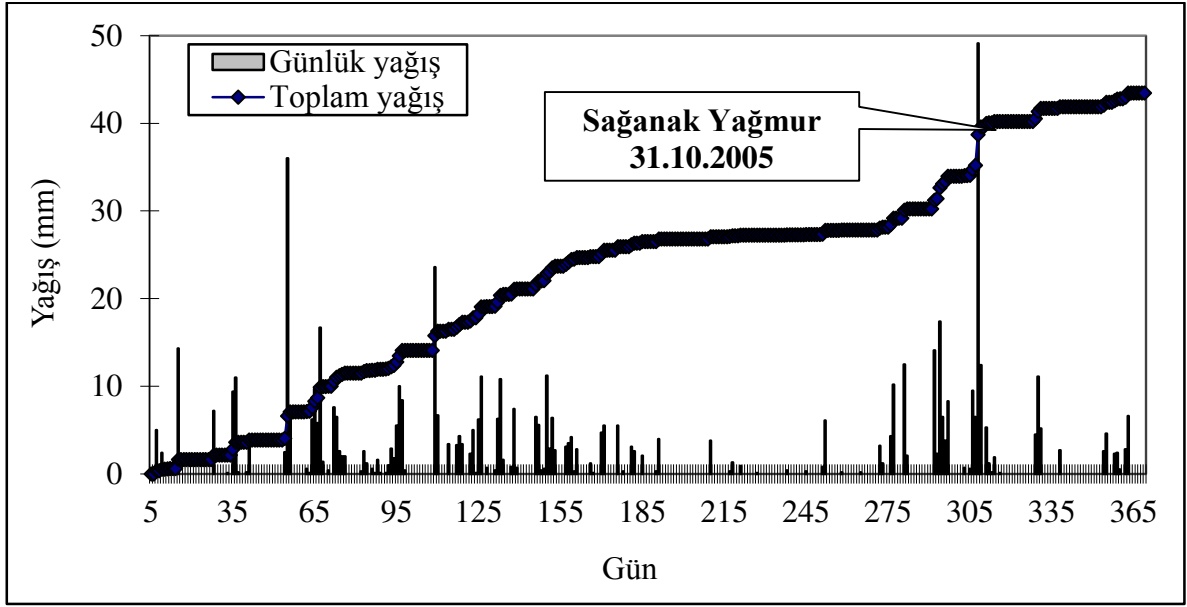
Gümüşhane İli’nde gerçekleşen heyelan olayları ve bu heyelanların şiddetli yağış ile olan ilintisi dikkate alınarak, Gümüşhane merkez ve ilçeleri için heyelan – yağış analizleri yapılmıştır. Buna göre 2005 – 2013 yılları arasındaki meteorolojik verilere göre Şekil 2.18. - Şekil 2.26’ de değerlendirilmiştir. 2005 – 2013 yılları arasında şiddetli yağışlar meydana gelmiştir. Geçen 8 yıllık bu zaman içerisinde Gümüşhane İli ve İlçelerinde meydana gelen heyelan olayları ve heyelanlardan etkilenen köy ile bina sayıları Tablo 2.2 ‘de verilmiştir.

Tablo 2.2. Gümüşhane İli ve İlçelerinde heyelandan etkilenen köy ve bina sayıları.

İLÇELE R	2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	K S	B S	K S	BS	K S	B S	KS	B S	K S	BS	K S	B S	K S	B S	K S	B S	K S	B S
KELKİT	1		2	1	1													
KÖSE																		
KÜRTÜN			3		2	5	1 0		3	1	1		1		1	7		
MERKEZ	7	5	4	2 9	4													
ŞİRAN																		
TORUL	1	7							1	3							1	4
TOPLAM																		

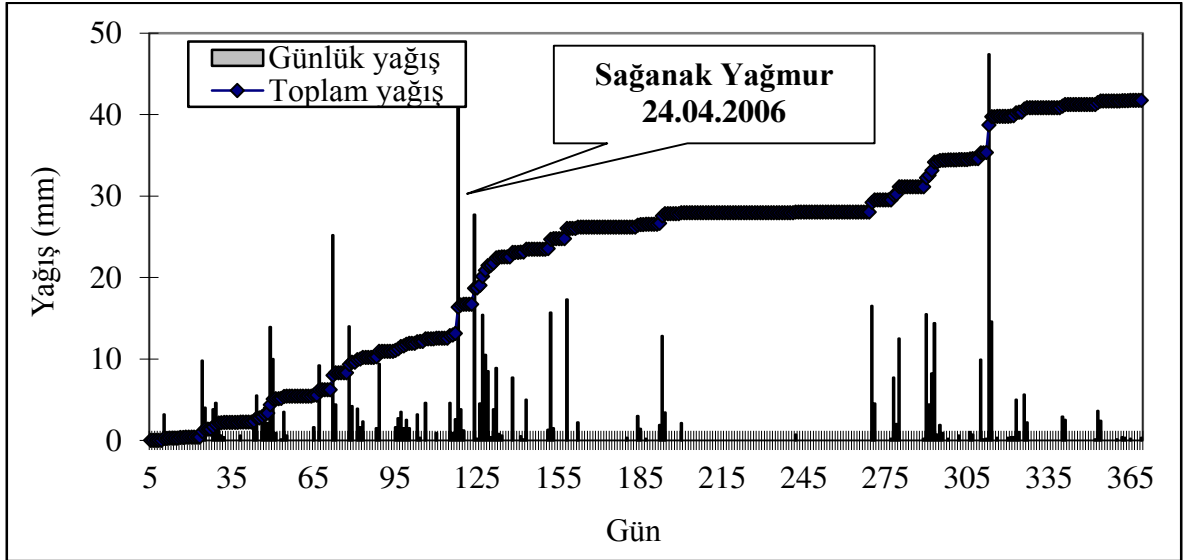
Tablo 2.2' den de görüldüğü üzere, 2005 – 2013 yılları arasında geçen 8 yıllık süreçte Gümüşhane Merkez, Kürtün, Kelkit ve Torul İlçelerinde heyelanlar meydana gelmiştir. Bu süreçte hasar gören bina sayısı en çok olan Gümüşhane İl merkezi ve Kürtün İlçesi olmuştur.

31 Ekim 2005 tarihinde yılın 304. gününde meydana gelen şiddetli yağışta (Şekil 2.16.) Gümüşhane İli ve ilçelere bağlı 9 köyde heyelan meydana gelmiştir ve 12 bina hasar görmüştür.



Şekil 2.16. 2005 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği

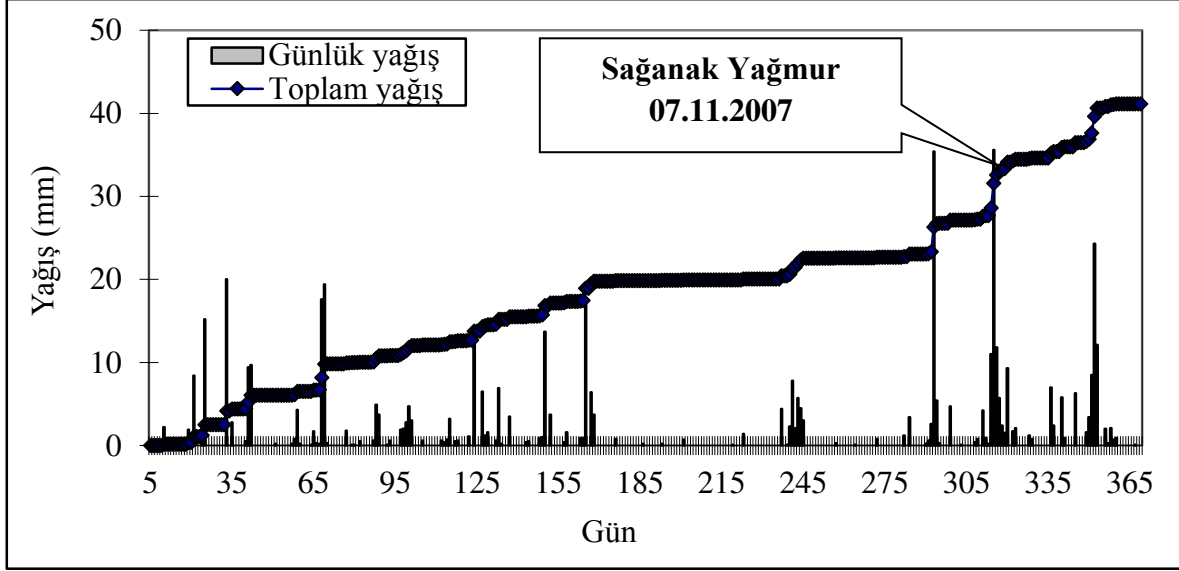
24 Nisan 2006 tarihinde gerçekleşen yağışlarda Gümüşhane iline bağlı toplam 9 köyde heyelan vakası gerçekleşmiştir (Şekil 2.17). Yılın 114. gününde meydana gelen bu olayda merkezde 29 ve Kelkit ilçesinde bir olmak üzere toplamda 30 bina hasar görmüştür.



Şekil 2.17. 2006 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği

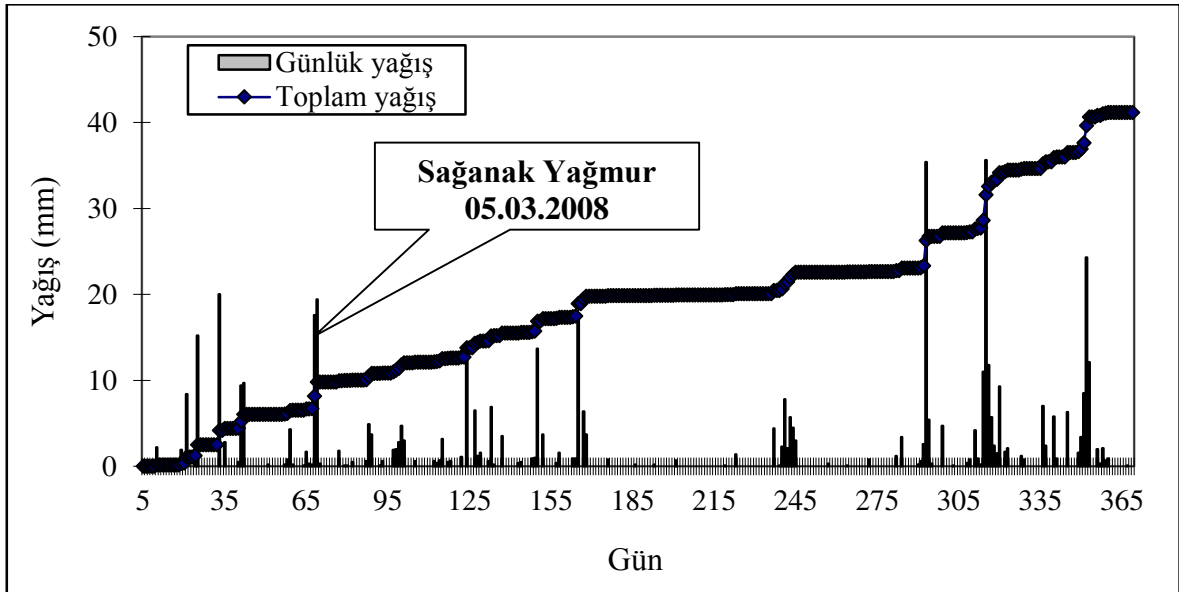
7 Kasım 2007 tarihinde Gümüşhane ilinde gerçekleşen heyelanlardan etkilenen köy sayısı 7'dir. Bu heyelanlarda 5 bina hasarlı hale gelmiştir. Yılın 311. gününde meydana

gelen (Şekil 2.18.) bu olayların 1 tanesi Kelkit ilçesinde, 2 tanesi Kürtün ilçesinde ve 4 tanesi de merkezde meydana gelmiştir.



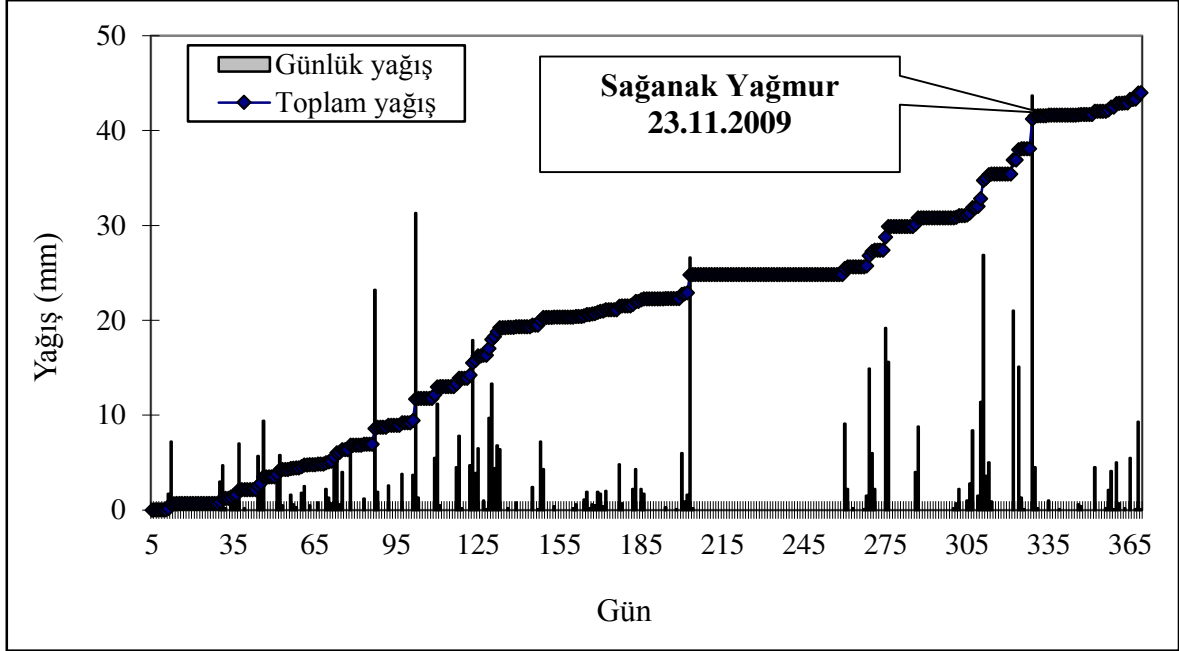
Şekil 2.18. 2007 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği

5 Mart 2008 tarihinde Gümüşhane'nin Kürtün ilçesinde meydana gelen heyelanlar nedeniyle 10 köye ulaşım kapanmıştır. Yılın 65. Gününde meydana gelen bu heyelanın yağış grafiği Şekil 2.19' da gösterilmiştir.



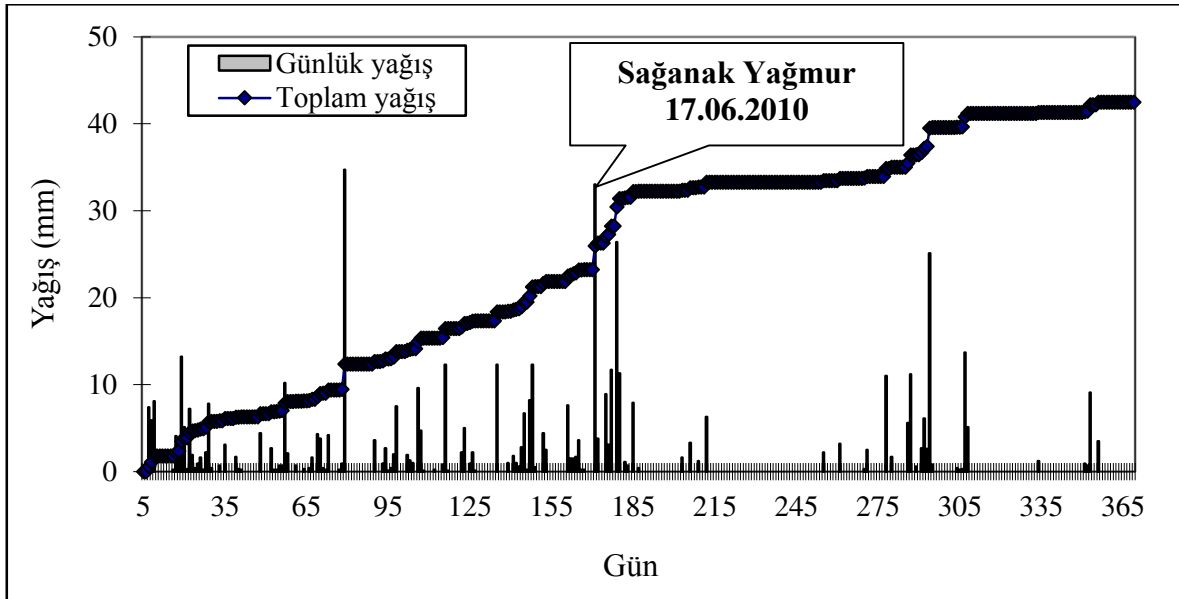
Şekil 2.19. 2008 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği

23 Kasım 2009 tarihinde Gümüşhane'nin Torul ilçesinde grup yolunda meydana gelen heyelan nedeniyle 2 köy ile 1 mahallenin ilçe ile bağlantısı kesilmiştir (Şekil 2.20.).



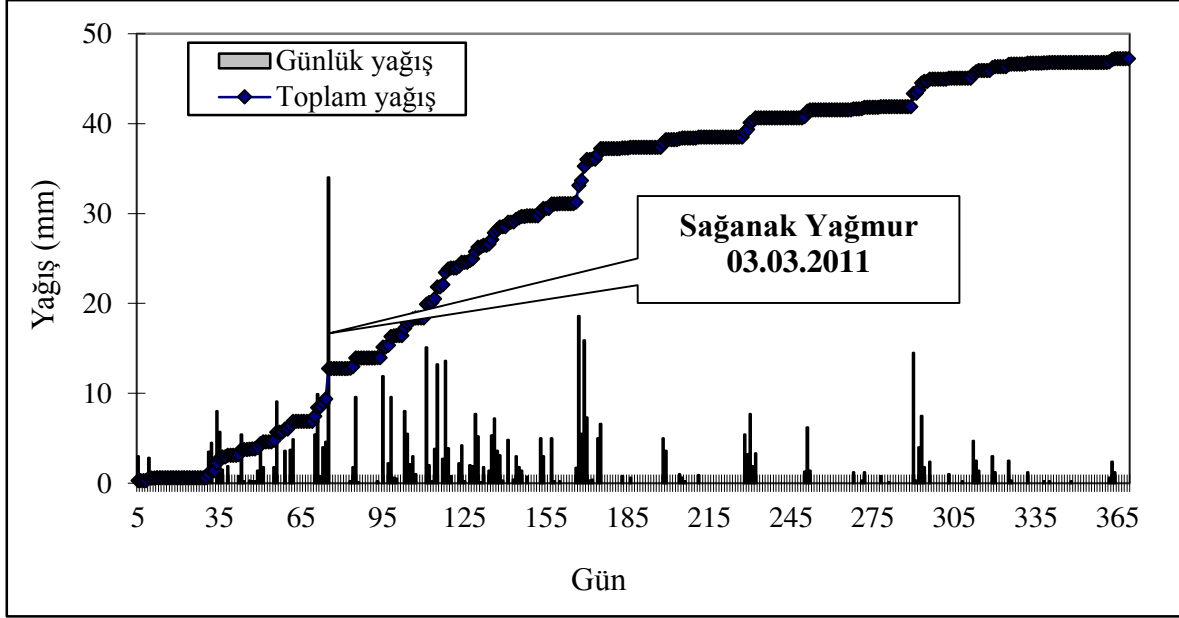
Şekil 2.20. 2009 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği

17 Haziran 2010 tarihinde Gümüşhane'nin Kürtün İlçesi yakınında şiddetli yağış sonucu meydana gelen heyelan nedeniyle Gümüşhane-Tirebolu Karayolu ulaşımına kapanmıştır. Yılın 168. Günü meydana gelen yağış grafiği (Şekil 2.21.) gösterilmiştir.



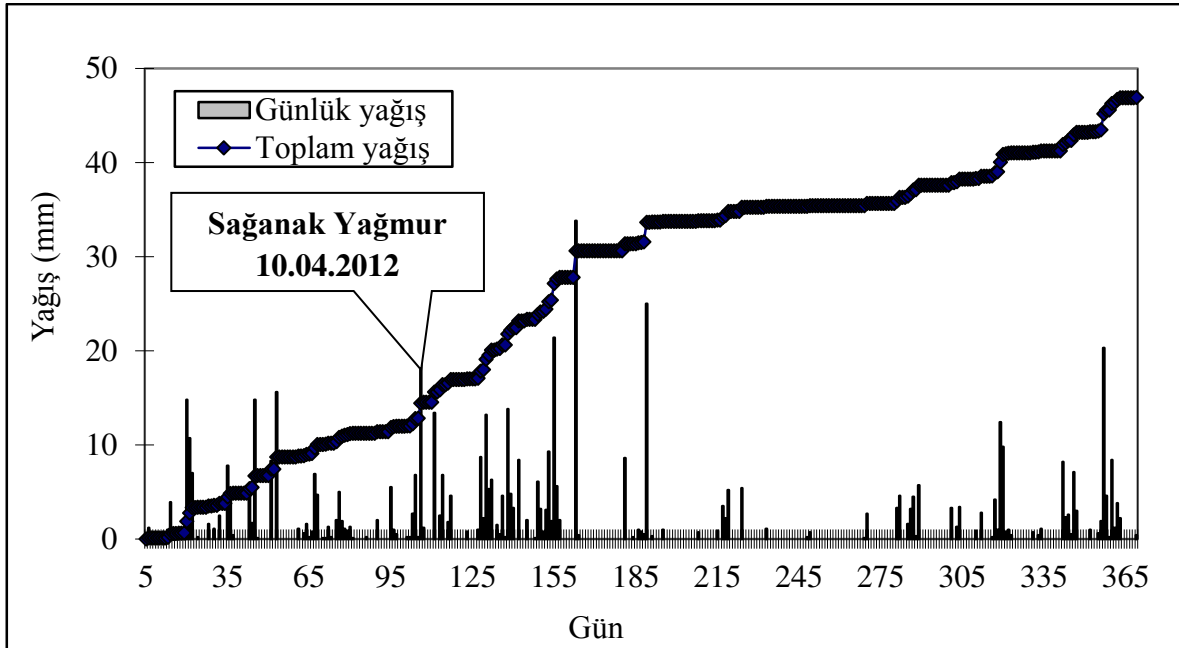
Şekil 2.21. 2010 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği.

3 Mart 2011 günü Gümüşhane-Tirebolu karayolunun 43. kilometresi Yurt köyü mevkinde heyelan meydana gelmiştir. Yılın 71. Gününde meydana gelen heyelanın yağış grafiği Şekil 2.22 ‘deki gibidir.



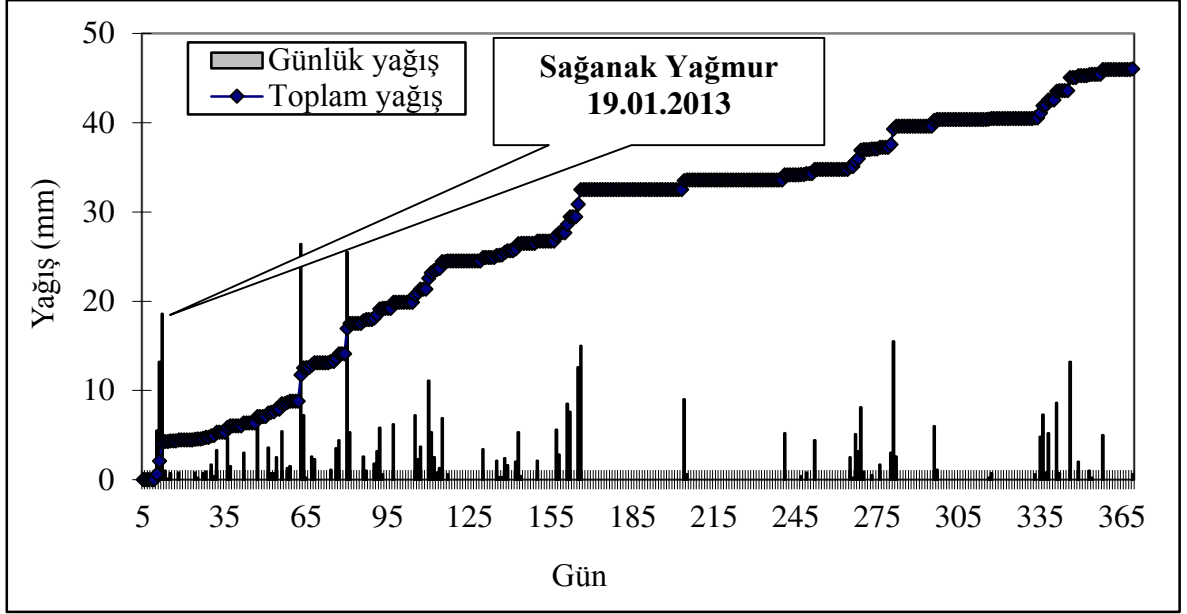
Şekil 2.22. 2011 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği

10 Nisan 2012 günü Gümüşhane İli Kürtün İlçesi Konacık Köyünde sağnak yağış beraberinde heyelanı getirmiştir. Heyelandan 7 konut etkilenmiştir (Şekil 2.23.).



Şekil 2.23. 2012 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği

19 Ocak 2013 tarihinde Gümüşhane’ de meydana gelen sağanak yağış sonrasında heyelan meydana gelmiştir. Yılın 19. Günü meydana gelen bu heyelana ait yağış grafiği Şekil 2.24. ‘de verildiği gibidir.



Şekil 2.24. 2013 Yılı günlük ve toplam yağış grafiği

3. HEYELAN İZLEME YÖNTEMLERİ

3.1. Heyelan İzleme Yöntemleri ve Hassasiyetleri

Heyelan hareketlerinin değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması heyelanı gözlemlemekle mümkündür. Yer yüzeyine ait x, y ya da z yönünde yer değiştirmelerin ölçülmesi, yüzeye etkiyen kuvvetler sonucu oluşan hareketi analiz etmek, heyelanın gelişimini gözlemenin en basit yoludur (Dercourt, 2000; Gili vd., 2000; Moss vd., 1999).

Hareketli yamaçların davranışlarının izlenmesi için çeşitli ölçme teknikleri kullanılmaktadır. Tape ve Wire Device'ler, noktalar ya da çatlaklar arasındaki uzunlukların değişimlerini ölçmek için kullanılırlar. Fissurometer ya da Sort-Base Extensometer, uzunluk değişimlerini kaydetmek için kullanılırlar. Nivolar, Teodolitler, Elektronik Mesafe Ölçerler, Total Station ve GNSS ölçüleri hem nokta koordinatlarının ve hem de konum değişimlerinin 2 boyutlu ya da 3 boyutlu olarak elde edilebilmesini sağlarlar. Hava ya da Yersel Fotogrametri yardımıyla noktalara ait koordinatlar, eş yükseklik haritaları ve sayısal yükseklik modelleri elde edilebilmektedir. Heyelan hareketlerinin ölçülebilmesi için kullanılan yöntemlerin doğruluğuna ait geniş açıklamalar Krauter (1988) ve Mikkelsen (1996)' dan elde edilebilir. Temel yöntemler ve onlara ait hassasiyetlere ilişkin geniş bir özet Tablo 3. 'de verilmiştir. Bu yöntemler tek başlarına olduğu gibi birbirlerini tamamlayıcı olarak ta kullanılabilirler (Malet vd., 2002; Gili vd., 2000).

Son yıllarda, GNSS tüm deformasyon ölçmeleri, depremlerin önceden kestirimi, heyelanlar, güncel yerkabuğu hareketleri, mühendislik yapılarının denetimi gibi konularında diğer yöntemlerin yerini almaya başlamıştır. GNSS donanımı sağlam, hafif, ucuz, güvenilir ve kullanması kolaydır. GNSS' in ölçme yöntemleri ve yazılımları, arazi verilerinin daha kolay değerlendirilmesine olanak vermektedirler (Gili vd., 2000; Chang, 2000; Gökalp, 1995).

Tablo 3.1. Heyelan hareketlerinin ölçülmesinde kullanılan temel yöntemler ve doğrulukları

Yöntem	Kullanım	Sonuçlar	Mesafe	Doğruluk
Fissurometer	Birimlerin diferansiyel hareketi	dD	< 20 mm	0.1 mm
Levelling vernier pole	Küçük çatlakların açılımı	dD	< 200 mm	0.5 mm
Short-base extensometer	Çatlakların açılımı	dD	25-450 mm	0.1 mm
Invar distance-meter	Yer Değiştirme	dD	40 m' ye kadar	0.1 mm
Wire extensometer	Yer Değiştirme	dD	100 m' ye kadar	0.5 mm
EDM	Yer Değiştirme	dD	1-10 km	1-5mm + 1-5 ppm
Geometrik Nivelman	Yükseklik Değişimi	dZ	Değişken	2-5 mm / km
Hassas Nivelman	Yükseklik Değişimi	dZ	Değişken	0.2 – 1 mm/km
Total station	Yer Değiştirmeler	dX, dY, dZ	1-10 km	3mm + 1-5 ppm
Yer Fotogrametrisi	Yer Değiştirmeler	dX, dY, dZ	<200 m	40 mm
Hava Fotogrametrisi	Yer Değiştirmeler Sayısal Yükseklik Modeli	dX, dY, dZ	$H_{uçuş} < 500$	100 mm
Radar interferometry INSAR	Yer Değiştirmeler Sayısal Yükseklik Modeli	dX, dY, dZ	Değişken	3-5 mm
GPS	Yer Değiştirmeler	dX, dY, dZ	Genellikle değişken	1-2 mm
DORIS	Yer Değiştirmeler	dX, dY, dZ	Değişken	2 mm

Heyelan değerlendirmelerinin yapılabilmesi için üç boyutlu (x, y, z) konum bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. (Malet vd., 2002; Dercourt, 2000; Ayan vd., 1993). GNSS sistemi, faz ölçüleri kullanmak suretiyle “mm” duyarlıkta nokta konumlarını üç boyutlu olarak aynı anda belirlemektedir. Bu doğruluğa sahip olan GNSS küçük ve yavaş yer değişimi gösteren heyelanların izlenmesi için de rahatlıkla kullanılabilir (Malet vd., 2002; Dercourt, 2000; Gili vd., 2000; Brunner, 1997; Karaali, Gökalp, 1994; McLellan vd., 1989; Wells, 1987; Gökalp, 1994, 1995).

GNSS, çalışma alanının büyüklüğüne göre ekonomiklik, üretkenlik, hareket kabiliyeti, hız ve doğruluk göz önüne alındığında, diğer yersel ölçme tekniklerinden daha kullanışlıdır. Heyelan çalışmalarında, heyelanlardan kaynaklanan morfolojik şekil bozukluklarından dolayı noktaların karşılıklı görüşü ve buna bağlı olarak aę geometrisinin sağlanması oldukça zordur. GNSS kullanmanın en büyük avantajlarından birisi de noktaların yerlerinin seçiminde aę geometrisinin fazla önemli olmamasıdır. GNSS ölçmeleri hava durumundan bağımsızdır ve herhangi bir zamanda Dünya üzerinde herhangi bir yerde yapılabilir. Tüm bu üstünlüklerine rağmen GNSS’ in kullanımı, gökyüzünün görünüşünü kapatan ve yansıma oluşturan dağlık ve bitki örtüsü gibi heyelanın çevresel özellikleri tarafından sınırlanabilir. Zayıf uydu geometrisi, multipath ve anten faz merkezi kayıklık hataları gibi sistematik hatalar ulaşılabilir nokta konum doğruluğunu etkileyebilir (Malet vd. 2002; Fukuoka vd. 2001; Dercourt, 2000; Gili vd., 2000; Brunner, 1997; Gökalp, 1994; Hofmann vd., 1992; McLellan vd., 1989).

Günümüzde GNSS kullanarak heyelanları izlemek için iki yöntem mevcuttur; sürekli izleme ve periyodik ölçüler. Kullanılan her iki yöntemde de hareketi belirleyebilmek için sağlam zeminlere tesis edilmiş noktalara gereksinim vardır (Bayrak, 2003) .

3.2. GNSS İle Heyelan İzleme Yöntemleri

3.2.1. Sürekli İzleme Yöntemi

Sürekli izleme yaklaşımında, GNSS alıcısı izlenecek deformasyon noktalarının her birinin üzerine yerleştirilmesi gereklidir. Her bir GNSS alıcısının topladığı veriler anlık olarak bir merkezi veri işleme biriminde toplanır. Anlık konum değişimleri bu birimde verilerin uygun bir yazılımla değerlendirilmesiyle belirlenir. Yöntemin, izlenecek nokta sayısı kadar GNSS alıcısı gerektirmesi maliyetin artmasına neden olur. Heyelanların GNSS

ile anlık izlenmesiyle ilgili bazı çalışmalar olan Malet vd. (2002) ve Brunner (1997) örnek olarak verilebilir.

Bu yaklaşıma bir alternatif olarak çok anten sistemli GNSS alıcıları geliştirilmiştir. Bir GNSS alıcısı bir çok antenin topladığı verileri depolayabilmekte ve merkezi depolama birimine transfer edebilmektedir. Geliştirilen bir mikro-işlemci yardımıyla bir GNSS alıcısı birkaç GNSS alıcısı gibi çalışabilmektedir. Coaxial kabloların kullanılması sinyal gücünü azaltması nedeniyle antenlerin alıcıyla olan mesafelerinin kısa tutulmasına neden olmaktadır. Buna karşılık Fiber optik kablolar bu sınırlamayı ortadan kaldırmıştır (Ding vd., 2000). Bir alıcıya bağlı antenlere ait datalar bir tek dosyada toplanmaktadır. Heyelanların çok anten sistemli GNSS ile izlenmesine örnek çalışmalar olarak Santerre, Beutler (1993) ve Ding vd., (2000) verilebilir.

3.2.2. Periyodik Ölçme Yöntemi

Periyodik ölçme yönteminde, izlenecek yamacın uygun yerlerine heyelan hareketini belirleyebilecek özelliklere sahip bir jeodezik deformasyon ağı tesis edilir. Ağ noktalarına ait kenarlar GNSS ile ölçülür. GNSS verileri değerlendirilerek her noktanın koordinatları belirlenir. Periyodik farklar her hangi bir deformasyon analizi yardımıyla irdelenir. Bu yöntemle istatistik olarak noktaların hareket edip etmediği belirlenebilir ve ilave olarak hareket miktarı, hareketin hızı ve yönü belirlenebilir. Bu yöntem donanım ve bakım açısından ekonomiktir. Heyelanların periyodik GNSS ölçüleri ile izlenmesi için Gili vd., (2000) ve Moss vd., (1999) tarafından yapılmış çalışmalar mevcuttur (Bayrak, 2003).

Biz de bu çalışmada heyelan hareketini belirleyebilecek özelliklere sahip olduğunu düşündüğümüz jeodezik deformasyon ağıımızı tesis edildi. Deformasyon alanında noktalarımızın verilerini periyodik olarak topladığı periyodik ölçme yöntemi kullanıldı.

3.3. Tusaga Aktif Kullanarak Heyelan İzleme

Heyelanlar yaşantımızı doğrudan olumsuz yönde etkileyen doğal afetlerdendir. Bu yönü ile hayatımızda önemli bir yere sahip olan heyelanların sonuçlarının irdelenebilmesi için, yoğun olarak yamaç eğimlerinin fazla olduğu yerlerde varlık gösteren kaymaların ya da çökmelerin gözlemlenmesi gerekmektedir. Bu yönü ile belirli bir plan ve düzen dahilinde gözlemlenmesi gereken hareketlerin sonuçlarının anlamlı olarak

değerlendirilebilmesi için, meydana gelen bu hareketlerin hassas olarak tespit edilebilir olması gerekmektedir.

Günümüzde hassas konum belirlemeye imkan veren ve son derece pratik olan GNSS ölçüleri ile bu tespitler yapılabilir. Bu tespitlerin yapılabilmesi için TUSAGA-Aktif sisteminden faydalanılmaktadır. TUSAGA-Aktif sistemi Ülkemizi ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ni kapsayan ve gerçek zamanlı olarak 7 gün 24 saat GNSS gözlemi yapan toplam 146 sabit istasyondan oluşan bir sistemdir. Bu nedenle GNSS teknolojisi mühendislik yapıların dinamik değerlendirmesi, toprak hareketlerinin izlenmesi ve deformasyonların belirlenmesi için gelecek vadeden yeni bir teknoloji olarak gözükmemektedir (Lepadatu, 2011). Yüksek hassasiyette gözlenmiş dataları ile TUSAGA-Aktif teknik avantajlar ve deformasyon izleme analizi için uygun maliyetli yerbilimi altyapısı sağlar (Zhang vd., 2005; Meng, 2002 ve Kıranlıoğlu, 2006). Bununla birlikte; Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Aktif Ağı (TUSAGA-Aktif) ile gözlem sonrası veri değerlendirmesi ile noktasal yatay konum bilgileri 1 cm, elipsoid yükseklikleri 2-3 cm doğruluğunda elde edilebilmektedir (Yıldız, 2012).

3.4. GNSS Ölçü Yöntemleri ve Hata Kaynakları

Güçlü yer hareketlerinin, deprem, fay hattı, vakanizma ve heyelanların izlenmesi baraj ve diğer mühendislik yapılarının deformasyonlarının incelenmesinde, yüksek doğruluk gerektiren özel ölçmelerde çoğunlukla statik yöntem kullanılır. Bu yöntemle, istasyon noktalarının bağıl konumları belirlenir. Bağıl konum belirlemenin amacı iki nokta arasındaki baz vektörünü hesaplamaktır. Bağıl koordinat belirleme işleminde taşıyıcı faz ölçüleri fark alma yöntemleriyle değerlendirilirler. Burada bağıl konum belirleme için ölçü sonrası değerlendirme işleminde tekli fark, ikili fark ve üçlü fark ölçü kombinasyonları kullanılır. Statik ölçü yönteminde bazlar 5mm+1ppm hassasiyetinde ölçülebilir. Ölçü duyarlılığı, uydu sayısı, uyduların konfigürasyonu ve ölçü süresine bağlı olarak değişir. Statik ölçü yönteminde veri toplama işlemi en az 1 saattir. Baz uzunluğuna bağlı, orantılı bir şekilde ölçü süresi arttırılır. Genellikle veri kaydetme aralığı 20 saniyedir (Chang, 2000; Ding vd., 2000; McElroy, 1998; Brunner, 1997; Eren, Uzel, 1995; Gökalp, 1994; Hofmann vd., 1992).

Tüm ölçme uygulamalarında olduğu gibi, GNSS ölçüleri de bazı sistematik veya sistematik olmayan hatalar içermektedirler. Sistematik hataların en önemlileri uydu

yörüngelerindeki hatalar, atmosferik koşullardan dolayı sinyal yayımındaki hatalar, iyonosferik gecikme hataları troposferik gecikme hatası, uydu saat hatası, alıcı saat hatası, başlangıç faz belirsizliği hatası gibi hatalardır. Sistematiik olmayan hatalar faz kayması, multipath, anten faz merkezi kayıklığı gibi hatalardır. Bu ve diğler hataları hesaba katmak ve nokta konum belirleme duyarlılığını arttırmak için, GNSS gözlemleri, çok dikkatli bir şekilde kurallarına göre ve gereğinden fazla yapılır. Gereğinden fazla ölçü yapıldığı için dengeleme yapılması kaçınılmazdır. Gözlemler içerisinde hataların analizi yapılarak elimine edilmesi gerekir (Gili vd., 2000; McElroy, 1998; Brunner, 1997; French, 1996; Gökalp, 1995; Eren, Uzel, 1995). Bu tür hataları elimine etmek için taşıyıcı dalga faz ölçüleri ile kod ölçülerini filtreleme gibi yöntemler kullanılmaktadır (URL-1, 2011). Bu teknikte, sisteminin performans ve doğruluğunu düşüren bazı hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu kabul edilmektedir. Başka bir ifadeyle, DGNSS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki korelasyonlu (ortak) sistematiik hataların giderilmesi ya da en aza indirilmesi söz konusudur (Kahveci ve Ferruh, 2009).

4. GNSS AĞLARININ DENGELENMESİ

GNSS ölçümlerinden elde edilen verileri genellikle en küçük kareler prensibine dayandırılmış algoritmalarla analiz edilir. GNSS ölçme işleminde gözlemlerin taşıyıcı fazlar kullanılarak yapılan en küçük kareler dengelemesinin uygulandığı iki aşama vardır. Birinci aşama, fazla sayıdaki taşıyıcı fazlardan elde edilmiş baz bileşenlerinin kendi içinde dengelenerek dengeli baz bileşenleri ve kovaryans matrislerinin elde edildiği aşamadır. İkinci aşama, dengeli baz bileşenlerinin hepsinin birlikte dengelenmesi sonucu ağ noktalarının X, Y ve Z koordinatlarının ve varyans-kovaryans matrislerinin elde edildiği aşamadır (Wolf, Ghilani, 1997; French, 1996; Eren, Uzel, 1995).

Jeodezik ağlar, kullanım amaçlarına göre oluşturulmuş ve bu amaçlara göre en uygun hale getirilmesi istenen, önceden belirlenen doğruluk, duyarlık ve güvenilirlik isteklerini karşılamaları istenen ağlardır. Bu anlamda gerçekçi bir irdeleme yapabilmek için ele alınan jeodezik ağlarının ölçüleri serbest ağ yöntemiyle dengelenir. Serbest ağ dengelemesiyle gözlemlerin kendi aralarındaki tutarlılıklar ve noktaların duyarlılıkları daha gerçekçi olarak belirlenebilir (Wolf, Ghilani, 1997; Gökalp, 1995; Konak, 1994; Niemeier, 1992; McLellan vd., 1989; Ayan, 1982; Mierlo, 1978; Pelzer, 1971).

4.1. GNSS Ağlarının Serbest Dengelenmesi

GNSS ile elde edilen bağıl konum koordinatları $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{\text{WGS-84}}$ GNSS deformasyon ağının ölçülerini; dengeli ölçüleri $\overline{\Delta X}, \overline{\Delta Y}, \overline{\Delta Z}$ ve $\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z}$ dengeli nokta koordinatlarını gösterirse, tüm noktaların koordinatlarının bilinmeyen olarak seçildiği serbest ağ dengelemesinde fonksiyonel model,

$$\Delta X_{1,2} + V_{\Delta X_{1,2}} = \overline{\Delta X}_{1,2} = \overline{X}_2 - \overline{X}_1$$

$$\Delta Y_{1,2} + V_{\Delta Y_{1,2}} = \overline{\Delta Y}_{1,2} = \overline{Y}_2 - \overline{Y}_1$$

$$\Delta Z_{1,2} + V_{\Delta Z_{1,2}} = \overline{\Delta Z}_{1,2} = \overline{Z}_2 - \overline{Z}_1$$

.....

$$\Delta X_{1,3} + V_{\Delta X_{1,3}} = \overline{\Delta X}_{1,3} = \overline{X}_3 - \overline{X}_1$$

$$\Delta Y_{1,3} + V_{\Delta Y_{1,3}} = \overline{\Delta Y}_{1,3} = \overline{Y}_3 - \overline{Y}_1 \quad (4.1)$$

$$\Delta Z_{1,3} + V_{\Delta Z_{1,3}} = \overline{\Delta Z}_{1,3} = \overline{Z}_3 - \overline{Z}_1$$

.....

$$\Delta X_{2,3} + V_{\Delta X_{2,3}} = \overline{\Delta X}_{2,3} = \overline{X}_3 - \overline{X}_2$$

$$\Delta Y_{2,3} + V_{\Delta Y_{2,3}} = \overline{\Delta Y}_{2,3} = \overline{Y}_3 - \overline{Y}_2$$

$$\Delta Z_{2,3} + V_{\Delta Z_{2,3}} = \overline{\Delta Z}_{2,3} = \overline{Z}_3 - \overline{Z}_2$$

Biçiminde oluşturulur. Küçük sayısal değerlerle çalışabilmek için yaklaşık koordinatlar ve dengeleme bilinmeyenlerinin noktalarının kesin değerleri;

$$\overline{X}_1 = X_1^0 + \delta X_1 \quad ; \quad \overline{X}_2 = X_2^0 + \delta X_2 \quad ; \quad \overline{X}_3 = X_3^0 + \delta X_3$$

$$\overline{Y}_1 = Y_1^0 + \delta Y_1 \quad ; \quad \overline{Y}_2 = Y_2^0 + \delta Y_2 \quad ; \quad \overline{Y}_3 = Y_3^0 + \delta Y_3 \quad (4.2)$$

$$\overline{Z}_1 = Z_1^0 + \delta Z_1 \quad ; \quad \overline{Z}_2 = Z_2^0 + \delta Z_2 \quad ; \quad \overline{Z}_3 = Z_3^0 + \delta Z_3$$

ve ötelenmiş gözlemler ;

$$-\ell_{\Delta X_{1,2}} = [\Delta X_{[1,2]} - (X_2^0 - X_1^0)]$$

$$-\ell_{\Delta Y_{1,2}} = [\Delta Y_{[1,2]} - (Y_2^0 - Y_1^0)]$$

$$-\ell_{\Delta Z_{1,2}} = [\Delta Z_{[1,2]} - (Z_2^0 - Z_1^0)]$$

.....

$$-\ell_{\Delta X_{1,3}} = [\Delta X_{[1,3]} - (X_3^0 - X_1^0)]$$

$$-\ell_{\Delta Y_{1,3}} = [\Delta Y_{[1,3]} - (Y_3^0 - Y_1^0)] \quad (4.3)$$

$$-\ell_{\Delta Z_{1,3}} = [\Delta Z_{[1,3]} - (Z_3^0 - Z_1^0)]$$

.....

$$-\ell_{\Delta X_{2,3}} = [\Delta X_{[2,3]} - (X_3^0 - X_2^0)]$$

$$-\ell_{\Delta Y_{2,3}} = [\Delta Y_{[2,3]} - (Y_3^0 - Y_2^0)]$$

$$-\ell_{\Delta Z_{2,3}} = [\Delta Z_{[2,3]} - (Z_3^0 - Z_2^0)]$$

.....

olmak üzere fonksiyonel model matris gösterimiyle ;

$$\nu_{\Delta} = A_{\Delta} \delta X_{\Delta} - \ell_{\Delta}$$

biçiminde olur. Buradaki katsayılar matrisi A_{Δ} , (4.4)

$$A_{\Delta} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & & 0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Dengeleme bilinmeyenleri (δX), düzeltmeler (ν_{Δ}) ve ötelenmiş gözlemler ($-\ell_{\Delta}$) vektörleri;

$$\delta X = \begin{bmatrix} \delta X_1 \\ \delta Y_1 \\ \delta Z_1 \\ \delta X_2 \\ \delta Y_2 \\ \delta Z_2 \\ \delta X_3 \\ \delta Y_3 \\ \delta Z_3 \\ \dots \end{bmatrix}, \quad v_{\Delta} = \begin{bmatrix} v_{\Delta X[1,2]} \\ v_{\Delta Y[1,2]} \\ v_{\Delta Z[1,2]} \\ v_{\Delta X[1,3]} \\ v_{\Delta Y[1,3]} \\ v_{\Delta Z[1,3]} \\ v_{\Delta X[2,3]} \\ v_{\Delta Y[2,3]} \\ v_{\Delta Z[2,3]} \\ \dots \end{bmatrix}, \quad -\ell_{\Delta} = \begin{bmatrix} \ell_{\Delta X[1,2]} \\ \ell_{\Delta Y[1,2]} \\ \ell_{\Delta Z[1,2]} \\ \ell_{\Delta X[1,3]} \\ \ell_{\Delta Y[1,3]} \\ \ell_{\Delta Z[1,3]} \\ \ell_{\Delta X[2,3]} \\ \ell_{\Delta Y[2,3]} \\ \ell_{\Delta Z[2,3]} \\ \dots \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

şeklindedir (Güllü,1998; Ersoy,1997; Wolf, Ghilani, 1997; Kurt, 1996 ; Eren, Uzel,1995; Hofmann vd., 1992 ; Bayrak, 2003).

GNSS ağlarında ölçülerin stokastik yapısını oluşturan ağırlık matrisi, GNSS ölçülerinin varyans-kovaryans matrisinden hesaplanır (Tiberius, 1999). Rölatif konum belirlemede iki veya daha fazla sayıdaki alıcı uydulardan eşzamanlı olarak faz ölçüleri toplamaktadırlar.

Uydu geometrisindeki değişikliklerden yararlanılarak tamsayı taşıyıcı faz belirsizliği ve baz bileşenleri çözülür. Bir uydudan gönderilen ve yer istasyonlarında ölçülen fazlar aynı uyduya ait oldukları için fiziksel olarak korelasyonludurlar. Ancak GNSS uygulamalarında fiziksel korelasyonlar genellikle ihmal edilirler (Eren, Uzel, 1995; Hofmann vd., 1992).

GNSS relatif konum belirlemede, bir kenara ait ölçülmüş üç baz bileşeni birbirleriyle fark alma tekniklerinden dolayı matematik korelasyonludur. Bu nedenle 3*3 boyutlu bir varyans-kovaryans matrisi taşıyıcı faz ölçülerinin en küçük kareler dengelemesinin bir ürünü olarak her baz için elde edilir. Bu varyans-kovaryans matrisi ağ dengelemesinde gözlemlerin ağırlıkları olarak kullanılır. Her hangi bir GNSS ağı için ağırlık matrisi 3*3' lük bloklar halinde köşegen tiptedir. Matrisin diğer tüm elemanları sıfır değerini alır. Koordinat fark ölçülerinin varyans-kovaryans matrisi aşağıdaki gibi kurulur.

$$K_{\Delta} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{\Delta X}^2 & m_{\Delta XY}^2 & m_{\Delta XZ}^2 \\ m_{\Delta YX}^2 & m_{\Delta Y}^2 & m_{\Delta YZ}^2 \\ m_{\Delta ZX}^2 & m_{\Delta ZY}^2 & m_{\Delta Z}^2 \end{bmatrix}_{[1,2]} & \begin{bmatrix} \underline{0} & \dots \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \underline{0} & \begin{bmatrix} m_{\Delta X}^2 & m_{\Delta XY}^2 & m_{\Delta XZ}^2 \\ m_{\Delta YX}^2 & m_{\Delta Y}^2 & m_{\Delta YZ}^2 \\ m_{\Delta ZX}^2 & m_{\Delta ZY}^2 & m_{\Delta Z}^2 \end{bmatrix}_{[1,3]} \end{bmatrix} \\ \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

P_{Δ} koordinat fark ölçülerinin ağırlık matrisi, koordinat fark ölçülerinin varyans-kovaryans matrisi yardımıyla

$$P_{\Delta} = (K_{\Delta})^{-1} \quad (4.8)$$

şeklinde hesaplanabilir. Böylece GNSS ağının fonksiyonel ve stokastik modeli,

$$\nu_{\Delta} = A_{\Delta} \delta X_{\Delta} - \ell_{\Delta} \quad ; \quad P_{\Delta} \quad (4.9)$$

biçiminde elde edilmiş olur. Matematik modelin (9) En Küçük Karelerle dengelenmesi sonucu dengeleme bilinmeyenleri,

$$\delta X_{\Delta} = (A_{\Delta}^T P_{\Delta} A_{\Delta})^+ (A_{\Delta}^T P_{\Delta} \ell_{\Delta}) \quad (4.10)$$

Noktaların dengeli koordinatları,

$$X_i = X_i^0 + \delta X_{\Delta} \quad (4.11)$$

düzeltilmeler;

$$\nu_{\Delta} = A_{\Delta} \delta X_{\Delta} - \ell_{\Delta} \quad (4.12)$$

dengeli koordinatların ters ağırlıkları,

$$Q_{xx} = (A_{\Delta}^T P_{\Delta} A_{\Delta})^+ \quad (4.13)$$

hesaplanır, p; nokta sayısı, n; koordinat farkı ölçü sayısı, u=3p; koordinat bilinmeyenlerinin sayısı ve d ; datum parametrelerinin sayısından hesaplanan serbestlik derecesinden (f = n- u + d) yararlanarak, birim ölçünün karesel ortalama hatası,

$$m_0 = \sqrt{\frac{v_{\Delta}^T P_{\Delta} v_{\Delta}}{f}}, \quad (4.14)$$

dengeli koordinatların duyarlılığı,

$$m_x = \pm m_0 \sqrt{Q_{xx}} \quad (4.15)$$

$$m_y = \pm m_0 \sqrt{Q_{yy}}$$

$$m_z = \pm m_0 \sqrt{Q_{zz}}$$

dengeli koordinatların varyans-kovaryans matrisi,

$$K_{xx} = m_0^2 Q_{xx}, \quad (4.16)$$

dengeli ölçüler,

$$\overline{\Delta X} = \Delta X + v_{\Delta} \quad (4.17)$$

dengeli ölçülerin ters ağırlıkları

$$Q_{\Delta} = A_{\Delta} Q_{xx} A_{\Delta}^T \quad (4.18)$$

dengeli koordinatların farklarının duyarlılığı,

$$m_{\Delta X} = \pm m_0 \sqrt{Q_{\Delta X}} \quad (4.19)$$

$$m_{\Delta Y} = \pm m_0 \sqrt{Q_{\Delta Y}}$$

$$m_{\Delta Z} = \pm m_0 \sqrt{Q_{\Delta Z}}$$

dengeli ölçülerin varyans-kovaryans matrisini,

$$K_{\Delta} = m_0^2 Q_{\Delta}, \quad (4.20)$$

düzeltilmeleri ters ağırlık matrisi,

$$Q_{vv} = P_{\Delta}^{-1} - Q_{\Delta}, \quad (4.21)$$

biçiminde hesaplanır (Güllü, 1998; Wolf,Ghilani,Kurt,1996; Kuang,1996; Yaşayan,1994).

4.2. İstatistiksel Testler

4.2.1. Model Hipotezinin Testi

Deformasyon analizine geçilmeden önce model hipotezi testi yapılmalıdır. Çünkü; dengeleme hesabındaki matematik modelin, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olup olmadığı, ölçüler arasındaki korelasyonların gösterimi ve ölçü duyarlılıkları model hipotezi testi ile kontrol edilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Benzer türden ölçülerin, aynı şartlar altında değerlendirilmesi sonucunda, dengelemeden önce elde edilen ve gözlemlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan birim ölçünün ortalama hatasının öncül (a priori) değeri s_0 ile dengeleme hesabı sonucunda bulunan soncul (a posteriori) değeri olan m_0 büyüklüğü kullanılarak model hipotezinin testi için sıfır hipotezi

$$H_0 : E \left\{ m_0^2 \right\} = E \left\{ s_0^2 \right\} \quad (4.22)$$

şeklinde kurulur. Seçenek hipotezleri tek yönlü testlerde

$$H_{s_1} = E \left\{ m_0^2 \right\} < E \left\{ s_0^2 \right\} \quad (4.23)$$

$$H_{S_1} = E \left\{ m_0^2 \right\} > E \left\{ s_0^2 \right\}$$

şeklinde, çift yönlü testlerde ise

$$H_{S_2} = E \left\{ m_0^2 \right\} \neq E \left\{ s_0^2 \right\} \quad (4.24)$$

şeklinde kurulur. Test büyüklüğü,

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \quad ; \quad m_0 > s_0 \quad (4.25)$$

olarak hesaplanır ve $\alpha=1-s$ yanılma olasılığı, f_1 payın serbestlik derecesi ve f_2 paydanının serbestlik derecesi olmak üzere f-dağılım tablolarından alınan

$$q_1 = F_{f_1, f_2, 1-\alpha} \quad \text{ya da} \quad q_2 = F_{f_1, f_2, 1-\frac{\alpha}{2}} \quad (4.26)$$

değerleri ile karşılaştırılır. Test büyüklüğü, seçenек hipotezi H_{S_1} ise q_1 ile seçenек hipotezi; H_{S_2} ise q_2 ile karşılaştırılır. Eğer test büyüklüğü tablo değerinden küçük ise ($T < q$) dengeleme modeli geçerlidir, büyük ise ($T > q$) ise dengeleme modeli geçersizdir denir. Dengeleme hesabının matematik modelinin geçerli olması kurulan fonksiyonel modelin yapılan gözlemler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olduğunu ve stokastik modelin de gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıttığını göstermektedir. Dengeleme modelinin geçersiz olması ise ölçülerdeki kaba hatalardan ya da fonksiyonel ve stokastik modellerin yanlış kurulması gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Fakat Sıfır hipotezinin reddedilmesine bunlardan hangisinin neden olduğu bilinemez ve model hipotezinin testi bu konuda bilgi vermez. Bu nedenle dengeleme modeli geçersiz ise uyşumsuz ölçüler testi yapılarak kaba hataların bulunduğu uyşumsuz ölçülerin ortaya çıkarılması ve elimine edilmesi gerekmektedir. Test sonucunda tespit edilen uyşumsuz ölçüler ya yeniden ölçülerek ve değerlendirilerek uyşumlu hale getirilirler ya da ağıdan tamamen çıkartılarak elimine edilirler. Bu durumda uyşumsuz

ölçülerden arınmış ölçülerle yeni bir dengeleme işlemi yapılarak model hipotezi testi tekrarlanır (Tanır, 2000; Kara, 1998; Konak, 1994; Şimşek, 1992). Eğer yine dengeleme modeli geçersiz olursa, seçtiğimiz öncül karesel ortalama değeri s_0 ağdaki beklenen kaliteye uymuyor demektir. Bu durumda ağdaki kaliteye uygun bir s_0 değeri belirlenerek ya da dengeleme sonucunda bulunan soncul değer olan m_0 öncül değer olarak kullanılarak GNSS gözlemlerinden elde edilen ve stokastik yapının temelini oluşturan koordinat fark ölçülerinin varyans kovaryans matrisi ve ona bağlı olarak da ağırlıklar yeniden belirlenir.

4.2.2. Uyuşumsuz Ölçüler Testi

Deformasyonların belirlenmesi için zeminde tesis edilen jeodezik ağ noktalarında ortaya çıkması beklenen yer değiştirmelerin saptanması için yapılan ölçmeler ne kadar dikkatli yapılırsa yapılsın yine de bazı hataların sonuçları olumsuz yönde etkilemeleri önlenemez ve bu hatalar ölçümlerde deformasyon olduğu kanısına varmamıza neden olur. Oysa ki bu hataların büyük bir bölümü genellikle düzeltme denklemlerinin kurulması aşamasında kolayca fark edilerek giderilebilen kaba hatalardan oluşmaktadır. Fakat rastgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükte olan ve kolayca fark edilemeyen bazı kaba ve sistematik hatalar dengeleme hesabı sonucunda bulunan değerleri olumsuz yönde etkilerler (Bayrak, 2003). Dengeleme hesabının matematik modelinin geçersizliğine sebep olan bu hatalar, uyuşumsuz ölçüler testi yoluyla belirlenerek elimine edilebilirler. Tespit edilen uyuşumsuz ölçülerin ya yeniden ölçülerek ve değerlendirilerek uyumlu hale getirilmesi ya da ölçüm açısından çıkarılarak elimine edilmesi gerekir. Uyuşumsuz ölçü testleri bir anda düzeltilmesi en büyük olan bir ölçüyü belirlemeye yönelik olarak çalışmaktadır. Hata miktarı en büyük olan uyuşumsuz ölçü tespit edilip elimine edildikten sonra kalan diğer ölçüler yeniden dengelenerek tekrar test edilirler ve uyuşumsuz ölçü kalmayınca kadar bu işleme devam edilir (Hekimoğlu vd.1993; Tanır, 2000). Bu çalışmada uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde klasik yöntemlerden tau testi kullanılmıştır.

Herhangi bir l_i ölçüsüne ilişkin düzeltme V_i , düzeltmelerin kofaktör matrisi (Q_{vv}) 'nin i 'inci köşegen elemanı q_{vivi} , soncul standart sapma m_0 ve yanılma olasılığı $\alpha_0=0.001$ olmak üzere her bir ölçünün tau testi için test büyüklüğü ve sınır değeri,

$$T_i = \frac{|v_i|}{m_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \sim \tau_f \quad (4.27)$$

$$T_{\text{sınır}} = T_f, 1 - \alpha, \quad (4.28)$$

olarak hesaplanır. Yapılan testlerde ölçüler arasındaki test büyüklüğü en büyük olanın (T_{max}) belirtilen sınır değerlerden büyük olması durumunda ($T_{\text{max}} > T_{\text{sınır}}$), bu ölçü atılarak veya yenilenerek yeniden ölçümler test edilirler. Uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar bu işleme devam edilir (Bayrak, 2003; Tanır, 2000; Şimşek, Demirel, 1997; Dilaver, 1996; Kuang, 1996; Yalçınkaya (Ünver), 1994; Konak, 1994; Öztürk, Şerbetçi, 1992; Şimşek, 1992; Ayan, 1992; Demirel, 1987; Aksoy, 1984).

Her bir periyottaki uyumsuz ölçümler ayıklandıktan sonra elde edilen dengelenmiş koordinatlar arasındaki farklar ölçümlerdeki rastgele hatalardan dolayı yine tam olarak meydana gelen deformasyonu yansıtmıyor olabilir. Bu durumda koordinatlardaki değişimin anlamlılığını irdelemek için koordinat farklarının istatistiksel yöntemlerle test edildiği deformasyon analizi gerçekleştirilir.

4.3. Deformasyon Modelleri

Herhangi bir etkiden dolayı objenin şeklinde, boyutunda ve konumunda meydana gelen değişimler deformasyon olarak adlandırılır. Değişimlerin belirlenmesi ve yorumlanması deformasyon modellerinin ana amacıdır. Deformasyon ölçmeleri mühendislik ölçmelerinde ki en önemli aktivitelerden biridir. Deformasyon ölçme sonuçları direkt olarak insan hayatı ve mühendislik yapılarının güvenliği ile ilgilidir (Kuang, 1996).

Deformasyon ölçüsü yapmanın iki temel amacı vardır. Bunlar; deforme olan objenin konumunda ya da şeklinde meydana gelen değişimler ile objeye etkiyen kuvvet deformasyon ilişkisi hakkında bilgi edinmektir. Bu iki problem deformasyon analizlerinin ilgi alanına girmektedir. Günümüzde zamana, konuma ve etkiyen kuvvete bağlı olarak bir objenin hareketlerini ve yer değiştirmelerini araştırmak deformasyon analizlerinin temel

görevi olmuştur. Kontrol ölçmelerinin ve deformasyon analizinin amacı hareketlerin ya da konumların yüksek doğrulukta elde edilmesidir. Deformasyon izlemede önemli olan rölatif büyüklükler olduğu için seçilen koordinat sisteminin önemi yoktur (McLellan vd.,1989; Gökalp, 1995; Gökalp ve Karaali, 1994).

Deformasyon belirleme süreci, deformasyon oluşumunun ölçümü, analizi ve yorumlanması şeklindedir. Deformasyon analizinde kullanılacak deformasyon modelinin seçimi önemlidir (örneğin modellerin tipi ve modellerdeki parametreler). Uygun bir deformasyon modeli deformasyon olayını doğru bir şekilde tanımlarken yetersiz bir model deformasyon analizinde başarısızlıklara neden olabilir. Kompleks deformasyon modelleri modelin doğruluk, güvenilirlik ve hassasiyetini azaltmaz buna karşılık deformasyon analizinin başarısızlığına sebep olabilir. Diğer yandan basit deformasyon modelleri araştırılan objenin deformasyonunu tanımlamak için yetersiz kalabilir. Deformasyon seyri ve şiddeti konusunda bir ön bilgi mevcut olmadığı zaman basit modellerle başlangıç yapılabilir. Eğer basit modeller istatistik testler sonucunda yetersiz görülürse daha kompleks modellerle çalışılabilir (Ding vd., 2000; Ren, Ding, 1996; Yalçınkaya (Ünver), 1994; Wuhan, 1978). Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne göre değişik modeller içinde incelenir (Bayrak, 2003).

Bu modeller;

- Zamana bağlı olmayan statik modeller,
- Zamana ve konuma bağlı olan kinematik modeller ve
- Hareketin nedeninin de dikkate alındığı zamana ve konuma bağlı dinamik modellerdir.

Statik deformasyon modeli, deformasyon irdelemesi yapılan objenin karakteristik noktalarına ait deformasyon vektörlerinin, zamandan ve etkiyen dış kuvvetlerden bağımsız olarak belirler. Bu modelle deformasyonun belirlenmesi için öncelikle obje çeşitli periyotlarda ölçülmeli ve her periyottaki ölçüler ayrı ayrı dengelenmelidir. Ölçme periyotları arasındaki koordinat farkları hem araştırılan objedeki deformasyonu hem de gözlemlerdeki hataları yansıtır. Bu nedenle periyotlar arasındaki koordinat farkları, istatistik yöntemlerle test edilerek deformasyon irdelemesi yapılır. Objeye etki eden yükler ve geometrik reaksiyonlar arasındaki davranışların incelenmesi statik modelin konusu dışındadır. Bu modelde tüm sistemin bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır. Bu tanımla statik model jeodezik olarak en çok uygulanan bir deformasyon

analizi yöntemidir (Atasoy, 2001; Atasoy, 1988; Yalçınkaya (Ünver), Tanır, 2000; Heunecke, Pelzer, 1998; Ayan, 1982).

Statik deformasyon modelinde araştırılan objenin bir kez ölçülmesi sırasında hareket etmediği ve sadece iki periyot arasında konum değiştirdiği kabul edilmektedir. Aslında araştırılan obje bir kez ölçülmesi sırasında genellikle az ya da çok sürekli bir hareket içindedir. Bu durumlarda, zamana bağlı olarak hareket parametrelerinin (konum, hız, ivme) belirlendiği kinematik deformasyon modelleri uygulanmalıdır. Kinematik modelin amacı, deformasyona neden olan dış güçleri dikkate almaksızın zamana bağlı fonksiyonlar yardımıyla nokta hareketlerinin uygun bir tanımını bulmaktır (Gülal, 1999/1, 1999/2; Ayan,1982; Yalçınkaya (Ünver), 1988).

Obje deformasyonlarının büyüklüğü, deformasyonların zaman sürecindeki değişimi gibi ön bilgiler, geliştirilecek model tasarımı için gereklidir. Bu tasarım bilgileri başlangıç aşamasında genelde yeterlidir. Böylece kullanılacak ölçü yöntemleri için önemli kriterler üretilebilir. Bunlar ulaşılabilecek ölçü doğruluğu, gözlem periyotlarının zamana göre dağılımı ve sayısı ile bir gözlem için harcanacak süre gibi önemli kriterlerdir. Deformasyonun zamansal değişiminin izlenebilmesi için gözlem periyotlarının zamana göre dağılımı ve ölçü süreleri belirlenmelidir. Ölçme periyotları, etkiyen kuvvetin aktif-pasif olma durumuna bağlıdır. Ölçü süresi ise deformasyon hızına ve ölçü inceliğine bağlıdır (Pelzer, 1993).

Yukarıda verilen bilgiler ışığında deformasyon modelleri Tablo 4.'deki gibi sınıflandırılabilirler.

Tablo 4.1. Deformasyon Modelleri (Welsch, 1996; Heunecke, Pelzer, 1988).

PARAMETRE	Statik Model	Kinematik Model	Dinamik Model
Zaman	Modelleme yok	Hareketler zamanın fonksiyonu olarak düşünülür	Hareketler zamanın ve yüklerin fonksiyonu olarak düşünülür
Etkiyen Güçler	Hareketler yüklerin fonksiyonu olarak düşünülür	Modelleme yok	
Objenin Durumu	Yüklerin altındaki dengede yeterlilik	Harekette devamlılık	Harekette devamlılık

Tablo 4.1. 'de görüldüğü gibi dinamik deformasyon modeli, deformasyon analizi için kullanılan en genel modeldir. Fiziksel parametreler dikkate alınmazsa dinamik model bir geometrik deformasyon modeline dönüşür. Geometrik model, zamanı dikkate alan konum, hız ve ivme bileşenlerinden oluşan kinematik model ile hız ve ivme bileşenlerinin dikkate alınmadığı statik modeli içerir.

4.3.1. Statik Deformasyon Modeli

Basit olarak iki koordinat değerinin karşılaştırılması yerine, ölçülerin tamamının değerlendirildiği istatistik testlere dayalı çeşitli statik deformasyon modelleri geliştirilmiştir. Statik model bir objede hareket oluşup oluşmadığını, o obje ve çevresini kapsayan deformasyon ağının çeşitli periyotlarda belirlenen nokta koordinat farklarını istatistik olarak eşdeğerlik testi ile saptayan en temel yöntemdir. Bu modellerden bazıları, Pelzer tarafından geliştirilmiş θ^2 -Ölçütü, Heck, Kuntz, Mier-Hirmer tarafından geliştirilen ve noktaların analitik yoldan irdelenmesini sağlayan Analitik Yöntemler, Mierlo tarafından geliştirilen Mierlo Yöntemi, Caspary-Schwintzer tarafından geliştirilen Cholesky Carpanlarına Ayırma Yöntemleri olarak isimlendirilir. Bu çalışmada statik modellerden uygulamada en çok kullanılan θ^2 -Ölçütü yöntemi uygulanmıştır.

Deformasyon ağlarının ölçme planı ve uygulanan ölçme yöntemleri, araştırma süresi boyunca aynı kalırsa yöntemden kaynaklanan sistematik etkiler, karşılaştırılan periyotların tümünde benzer ve aynı büyüklükte ortaya çıkmış olur. Eşdeğerlik testleri sırasında koordinat vektörlerinin farkları ile işlem yapıldığından belirlenen deformasyonlar, sistematik hatalardan arındırılmış olur. İki ölçme periyodu arasında geçen sürede hiçbir noktada deformasyon olmasa bile kaçınılmaz ölçü hataları nedeniyle, bu ölçülerden elde edilen nokta kümeleri arasında kesin bir eşdeğerlik beklenemez. İki ölçü periyodunda elde edilen nokta kümelerinin birbiri üzerine dönüştürülmesi sonucunda bazı noktalar az çok farklılıklar gösterecektir. Bu farklılığın rasgele hatalardan mı kaynaklandığı, yoksa karşılaştırılan bu iki konum bilgileri kümesi arasında bir değişim mi bulunduğu sorusuna χ^2 -Ölçütü ile çözüm aranmaktadır. Bu yöntemde, önce tüm periyotlardaki ölçüler ayrı ayrı serbest dengelenerek, dengeli koordinatlar vektörü x , düzeltmelerin kareleri toplamı $\sum v^2$, bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi hesaplanır. İki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığını belirlemek için, periyotlardan elde edilen dengeli koordinatların fark vektörü (d) hesaplanır.

İki ölçü periyodunda hesaplanan dengelenmiş koordinatlar Helmert dönüşümü ile birbiri üzerine çakıştırıldığında ortak noktalardaki fark doğrudan doğruya d vektörünün elemanını verir (Yalçınkaya (Ünver), Tanır, 2000; Kuhlman, Pelzer, 1997; Pelzer, 1985; Atasoy, 1984; Öztürk, 1987).

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

$$\bar{d} = \bar{X}_2 - \bar{X}_1 \quad (4.29)$$

olarak hesaplanır. Ağın herhangi bir noktasında deformasyon olup oluşmadığını araştırmak için, sıfır hipotezi hiçbir noktada deformasyon yoktur şeklinde

$$H_0 : \bar{X}_2 - \bar{X}_1 = 0 \quad (4.30)$$

(23)'e göre kurulur (Öztürk, 1987). d fark vektörüne ait kofaktörler matrisi Q_d , iki grup ölçülerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı ile hata yayılma kuralı uygulandığında,

$$Q_d = Q_{xx1} + Q_{xx2} = (A_1^T P_1 A_1)^{-1} + (A_2^T P_2 A_2)^{-1} \quad (4.31)$$

olarak elde edilir. Hipotezin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi olan θ^2 -ölçütü,

$$\theta^2 = (X_2 - X_1)^T \left\{ (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ \right\} (X_2 - X_1) \quad (4.32)$$

biçiminde elde edilir. Q_d 'nin rangı, ağın geometrik şeklinin ve datum parametrelerinin her iki ölçme periyodunda da aynı kaldığı durumlarda

$$h = rang(Q_{xx1}) = rang(Q_{xx2}) = u_k - d_{datum} \quad (4.33)$$

Biçiminde hesaplanır. Burada, u_k ; ağdaki koordinat bilinmeyen sayısı, d_{datum} ; datum parametreleri sayısıdır. Ölçülerin; aynı aletler, aynı meteorolojik koşullarda, aynı ölçme ekibince yapıldıkları varsayılırsa her iki ölçü dizisinin kuramsal varyansları eşit olur. Her iki ölçü kümesinin ortak standart sapması;

$$s_0^2 = \sqrt{\frac{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2}{f_1 + f_2}} \quad (4.34)$$

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

Eşitliğinden hesaplanır. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü,

$$T = \frac{\theta^2}{s_0^2 h} \quad (4.35)$$

olarak hesaplanır. Test değeri T, F-tablo değeri ile karşılaştırılır. $f = f_1 + f_2$ olmak üzere,

$T < F_{h,f,1-\alpha}$ ise H_0 hipotezi geçerlidir. Yani iki periyot arasında geçen süre $s = 1 - \alpha$ kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarında deformasyon gözlenmiş denilebilir.

$T > F_{h,f,1-\alpha}$ ise H_0 hipotezi geçerli değildir. Yani periyotlar arası geçen sürede $s = 1 - \alpha$ kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarından birinde ya da birkaçında deformasyon olduğuna karar verilir. Deformasyon olduğuna karar verildikten sonra, ağda hareket eden noktalar tek tek belirlenir. Bunun için ağ noktaları içinde her seferinde bir nokta hareketli,

diğerleri sabit olduğu varsayımı ile nokta sayısı kadar θ^2 - Ölçütü değeri hesaplanır. $\bar{d}$ fark vektörü ve Qd kofaktörler matrisi aşağıdaki gibi alt matrislere ayrılır.

$$d = \begin{bmatrix} d_F \\ d_B \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

$$Q_d = \begin{bmatrix} Q_{FF} & Q_{FB} \\ Q_{BF} & Q_{BB} \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

Burada B, hareketli noktaları ve F, sabit noktaları göstermektedir. Q_d matrisinin tersi alınarak ağırlık matrisi aşağıdaki biçimde

$$Q_d^+ = P_d = \begin{bmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

elde edilmiş olur. Her nokta deformasyon kuşkusu bulunan B noktası olarak ele alınır. Böylelikle her yeni adımda başka bir noktanın koordinatları, alt vektör $\bar{d}_B$ olarak yazılır.

Bu durumda ağırlık nokta sayısı p kadar aykırılık etkisi hesaplanır. Alt matrisler Gauss yöntemi ile indirgenerek

$$\bar{d}_B = d_B - P_{BB}^{-1} P_{BF} d_F \quad (4.39)$$

$$\bar{P}_{FF} = P_{FF} - P_{FB} P_{BB}^{-1} P_{BF} \quad (4.40)$$

değerleri hesaplanır. bu değerler yardımıyla θ^2 değeri ;

$$\theta^2 = d^T Q_d^+ d = d_F^T \bar{P}_{FF} d_F + \bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B \quad (4.41)$$

olarak bağımsız iki bileşene ayrılır. $d_F^T \overline{P_{FF}} d_F$ Sabit olduğu varsayılan noktaya ait aykırılık,

$\overline{d_B^T P_{BB} d_B}$ hareketli olduğu varsayılan her noktaya ait aykırılıktır.

$$(\theta^2)_i = \left(\overline{d_B^T P_{BB} d_B} \right)_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (4.42)$$

Toplam aykırılıktaki payı en büyük olan $(\theta^2)_{\max} = \text{Max}((\theta^2)_i)$ olan noktada, $s = 1 - \alpha$ kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilir. Ağda hareket eden başka nokta olup olmadığını araştırmak için d ve Qd ' ye bir S- dönüşümü yapılarak geriye kalan (p-1) noktadan yararlanarak yeni bir datum verilir. d ve Qd ' de deformasyon noktasına ait elemanlar, en son satır ve sütunlara atılır. GNSS ağı için ortogonal özellikli dönüşüm parametre katsayılar matrisi (G), p sayıda nokta için aşağıdaki biçimde oluşturulur.

$$\underline{G}^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & \dots & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} \end{bmatrix} \quad (4.43)$$

G matrisinden yararlanarak S dönüşüm matrisi aşağıdaki biçimde elde edilir.(Yalçınkaya (Ünver), 1996/2; Kurt, 1996; Öztürk, Şerbetçi, 1992; Mierlo, 1978).

$$S_i = I - GG^T \quad (4.44)$$

Dönüşüm matrisi yardımıyla d ve Qd matrisi

$$d_i = S_i d \quad (4.45)$$

$$Q_{di} = S_i Q_d S_i^T$$

(39)

biçiminde dönüştürülür.i. dönüşümden sonra fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi

$$d_i = \begin{vmatrix} d_D \\ d_N \end{vmatrix} = S_i \begin{vmatrix} d_F \\ d_B \end{vmatrix} = S_i d \quad (4.46)$$

$$Q_{di} = \begin{vmatrix} Q_{DD} & Q_{DN} \\ Q_{ND} & Q_{NN} \end{vmatrix} \quad (4.47)$$

biçiminde alt matrislere ayrılır. Burada D, datum noktalarını; N, datum dönüşümüne katılmayan noktaları göstermektedir. dN, toplam aykırılıktaki payları en büyük olan θ^2 max noktalarına ait dB değerinin dönüşümden sonraki değeridir. i. belirleme adımından sonra kalan aykırılık,

$$\theta^2_{kalan} = d_D^T Q_{DD}^+ d_D \quad (4.48)$$

olarak hesaplanır. Serbestlik dereceleri, m;deformasyon olduğu belirlenen noktaya ilişkin koordinatların sayısı olmak üzere $h_D = h - m, f_D = f - 3$ biçiminde hesaplanır. Test büyüklüğü,

$$T_D = \frac{\theta^2_{kalan}}{s_0^2 \cdot h_D} \rangle F_{hD, fD, 1-a} \quad (4.49)$$

ise ağda hareketli noktalar vardır. Yeni hareketli nokta, yukarıda açıklanan işlemler tekrar edilerek belirlenir. Bu işlemlere test büyüklüğü, tablo değerinde küçük oluncaya kadar devam edilir. Son bir S dönüşümü ile ağda sabit kalan noktalar PD, deformasyon olduğu kanıtlanan noktalar PN ve deformasyon büyüklükleri dN elde edilir. (Atasoy, 1988; Gründig vd, 1985; Dupraz vd, 1979; Pelzer, 1971).

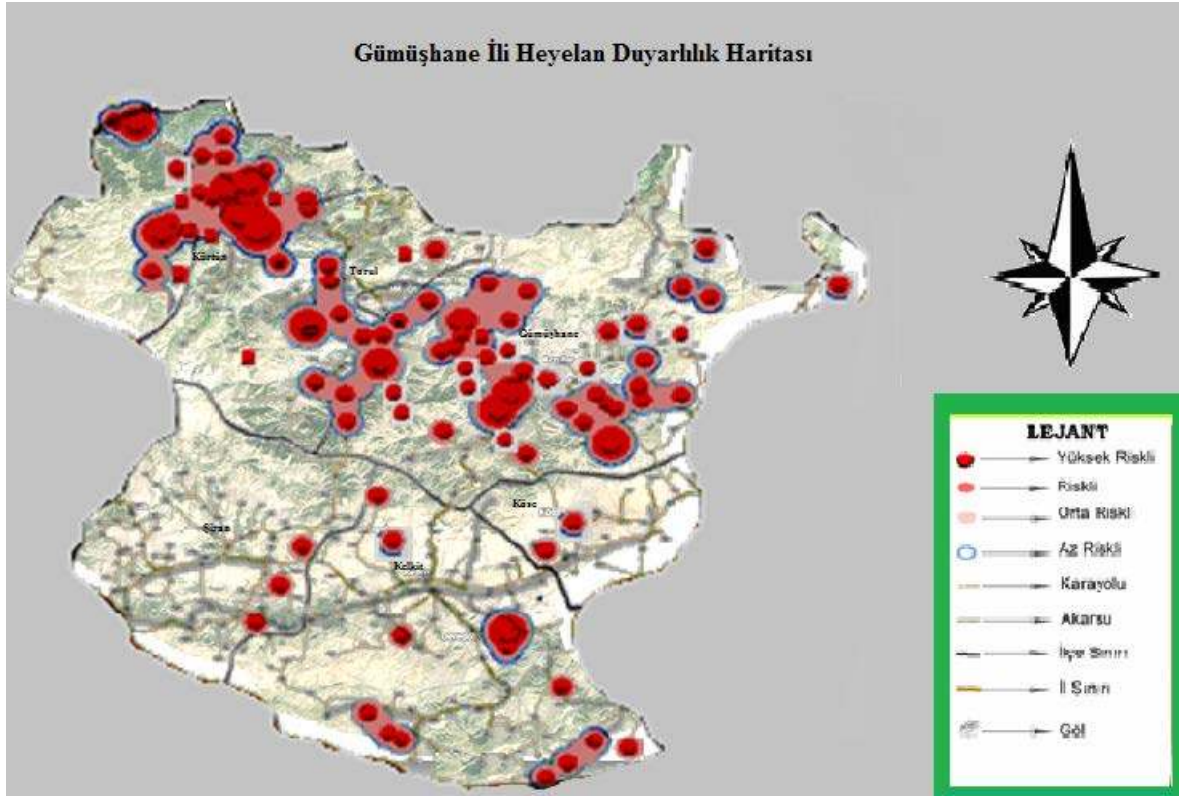
5. YAPILAN ÇALIŞMALAR

5.1. GİRİŞ

Bu çalışmada; Gümüşhane İli Merkez Çamlıca Mahallesi sınırları içerisinde yer alan Gümüşhane İmam Hatip Lisesi ve çevresindeki bölgede, jeodezik ve jeolojik çalışmalar sonucu, heyelan hareketlerinin dikkate alındığı statik deformasyon modeli ile elde edilen bulgular irdelenmiş ve heyelan sonucu oluşan hareketler yorumlanmıştır. Türkiye genelinde heyelana en çok maruz kalan il sıralamasında oluşmuş heyelan sayısı ve bu illerde tehlikeyle karşı karşıya gelmiş kişi sayısı Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5. 1. Heyelan tehlikesine en çok maruz kalan iller (Afet İşleri Genel Müd.).

DERECE	İL	OLAY SAYISI	RİSKE MARUZ NÜFUS
1	Trabzon	272	16,500
2	Kastamonu	229	13,800
3	Zonguldak	204	12,250
4	Kahramanmaraş	201	12,100
5	Gümüşhane	182	9,300
6	Rize	151	9,100
7	Malatya	141	8,500
8	Sivas	137	8,200
9	Ankara	131	7,900
10	Erzincan	125	7,500
11	Sinop	120	7,300
12	Çorum	117	7,200
13	Bingöl	115	6,900
14	Artvin	114	6,850
15	İçel	108	6,500
TOPLAM		2,347	139,900



Şekil 5.1. Gümüşhane Heyelan Duyarlılık Haritası

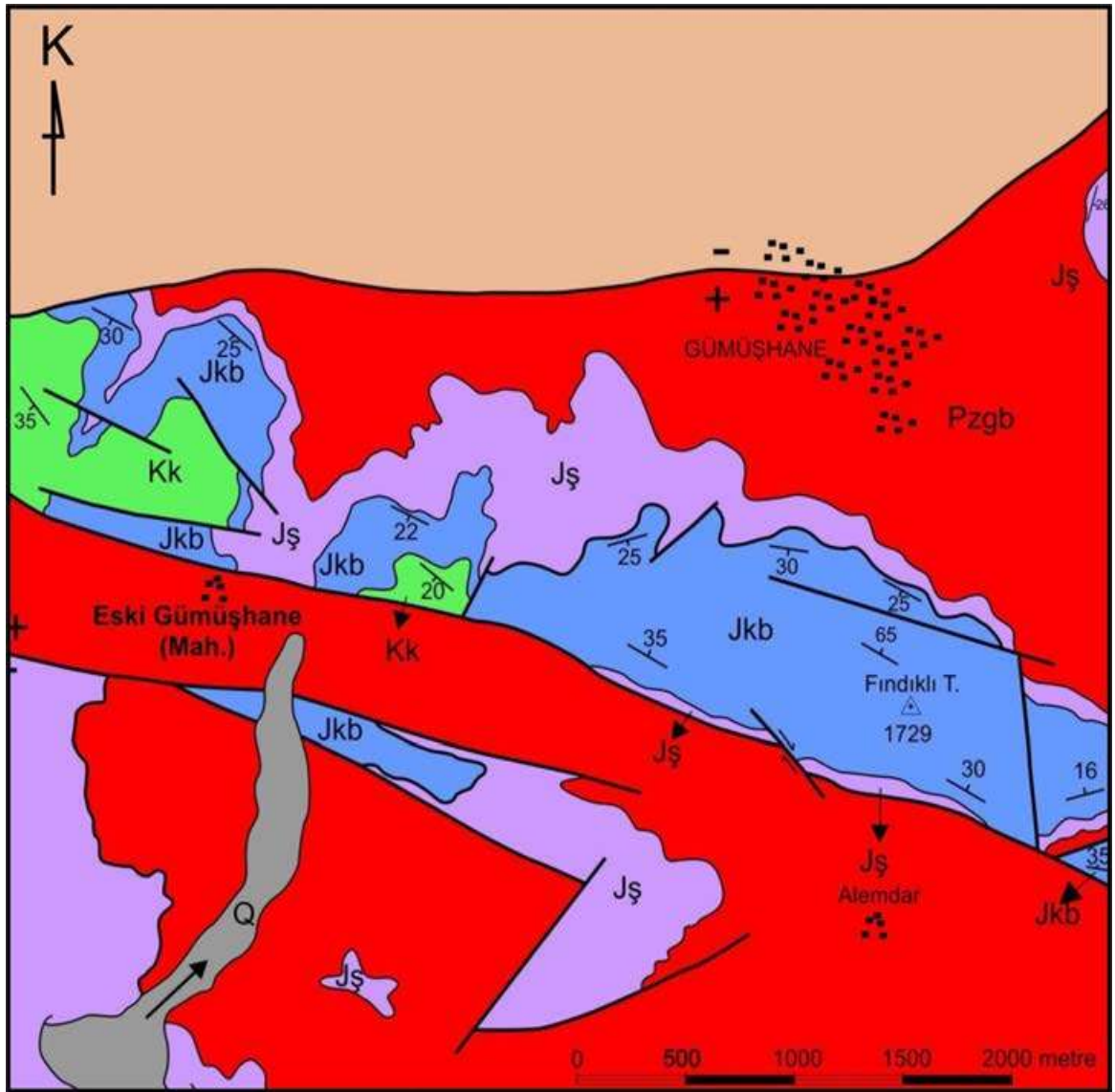
Gümüşhane İli ve ilçelerinde 1962 yılından itibaren günümüze kadar meydana gelen heyelanların değerlendirildiği Şekil 5.1.'e bakıldığında en fazla heyelan miktarının Gümüşhane Merkez, Torul ve Kürtün İlçeleri olduğu görülmektedir.

Heyelanların meydana geldiği yer koordinatları tespit edilerek, bu koordinatlarda 1962 yılından günümüze kadar meydana gelen heyelan sayıları ilişkilendirilmiş ve bu ilişkilerle heyelan için, yüksek riskli, riskli ve az riskli olan alanlar gösterilmiştir.

5.2. Çalışma Bölgesinin Jeolojik - Jeoteknik Yapısı

İnceleme alanı, Anadolu'nun tektonik birliklerinden Pontid Tektonik Birliği (Ketin,1966) içinde ve bu birliğin Güney Zonu'nda, Gümüşhane ili merkez ilçe sınırları içinde yer almaktadır. Bölgede Paleozoyik'ten Eosen'e kadar değişik yaşta ve farklı litolojide birimler görülmektedir. Doğu Pontid Tektonik Kuşağı, batıda Bafra-Kızılırmak vadisinden başlayarak Gürcistan sınırına kadar Doğu-Batı istikametinde uzanan yaklaşık 500 km uzunluğundadır. Birliğin kuzey sınırını Karadeniz, güney sınırını ise Kuzey Anadolu Fay Zonuna kadar 100-150 km genişliğine sahip bir alan oluşturmaktadır. Doğu

Karadeniz Tektonik Kuşığı, metalojenik türde Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş yitime bağlı ada yayı dizisinin bir parçası olduğu araştırmacılarca kabul edilmektedir (Ketin, 1966). İnceleme alanı ve yakın yöresi Doğu Pontid tektonik birliğinin içerisinde, Erken Alpin dönemine Austirik, Orta Alpin döneminde Anadolu ve Geç Alpin döneminde ise Attik tektonik fazlarının etkisinde kalmıştır. Kuvaterner döneminde epirojenik hareketlere bağlı olarak gelişen regresif hareketlerle denizel sekiler oluşmuştur. İnceleme alanı boyunca yüzeylenen kayalarda Alp orojenezinin etkisi ile kırık tektoniği etkin olmuştur. İnceleme alanı dışındaki alanlarda az olmakla beraber kıvrımlı yapılarda gözlenir. Doğu Pontid'ler ve bölgeyi etkileyen bu fazlar sonucu magmatik kayalarda kırılmalar, tortul kayalarda ise kırıklı ve kıvrımlı yapılar olmuştur. Kırıklı yapılar, çatlaklar ve faylar şeklinde gelişmiştir. Çatlaklar hem tortul hem de magmatik kayalar içinde değişen oranlarda ve farklı doğrultularda gelişmiştir. Faylar ise genellikle normal fay tipinde olup, normal fayların yanı sıra doğrultu atımlı ve ters faylara da rastlamak mümkündür. Fayların doğrultuları çoğunlukla KD-GB ve KB-GD olarak gelişmiştir. Tüm bu veriler dikkate alındığında, bölgeyi etkileyen kuvvetlerin K-KB yönlü sıkışma olduğu söylenebilir. Eosen sonrası tektonizmaya bağlı olarak gelişen KB-GD doğrultulu faylar, tektonik deformasyon dışında, hidrotermel alterasyon ve cevherleşmelere de yön vermiştir (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).



HARİTA BİRİMLERİNİN AÇIKLAMASI

KUVATERNER	Q	Yamaç molozu
EOSEN	Ta	Alibaba Formasyonu; Bazalt, andezit ve piroklastikleri, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, kilaşı
ÜST KRETASE	Kk	Kermutdere Formasyonu; Kumlu kireçtaşı, mikritik kireçtaşı
ÜST JURA-ALT KRETASE	Jkb	Berdiga Formasyonu
ALT-ORTA JURA	Jş	Şenköy Formasyonu; Bazalt, andezit ve piroklastikleri, kömür ara seviyeli çakıltı, kumtaşı, kilaşı, marn, kireçtaşı
ÜST PALEOZOYİK	Pzgb	Gümüşhane batoliti

Şekil 5.2. Çalışma alanının Türkiye'nin tektonik birliklerindeki yeri ve Gümüşhane yöresinin jeoloji haritası (Okay ve Tüysüz; 1999).



Şekil 5.3. İmam Hatip Lisesi duvarlarındaki hasarlar (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).



Şekil 5.4. Necip Bülent DOĞRU' ya ait binada zemin hareketliliğine bağlı gelişen çatlaklar (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).



Şekil 5.5. İmam Hatip Lisesi duvarlarındaki hasarlar

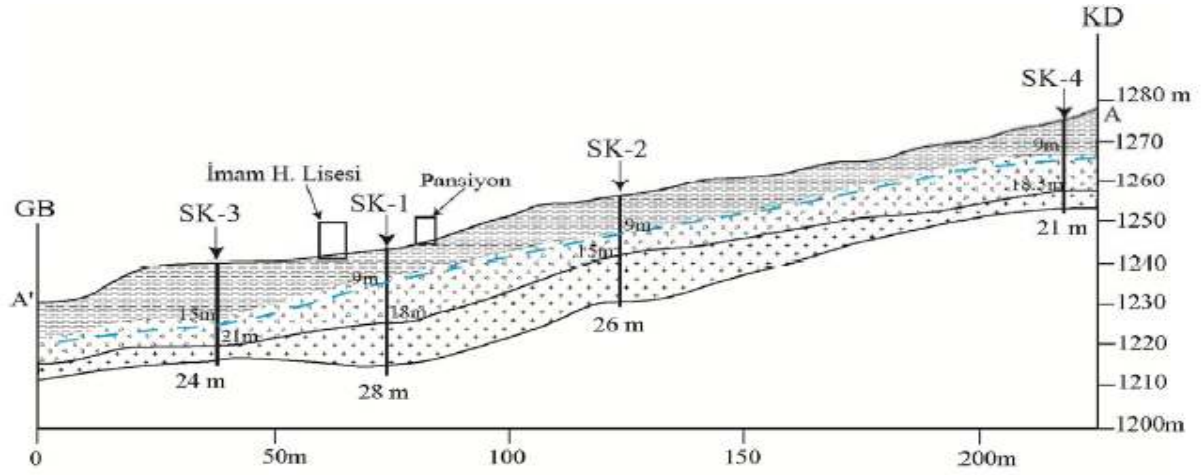


Şekil 5.6. İmam Hatip Lisesi duvarlarındaki hasarlar

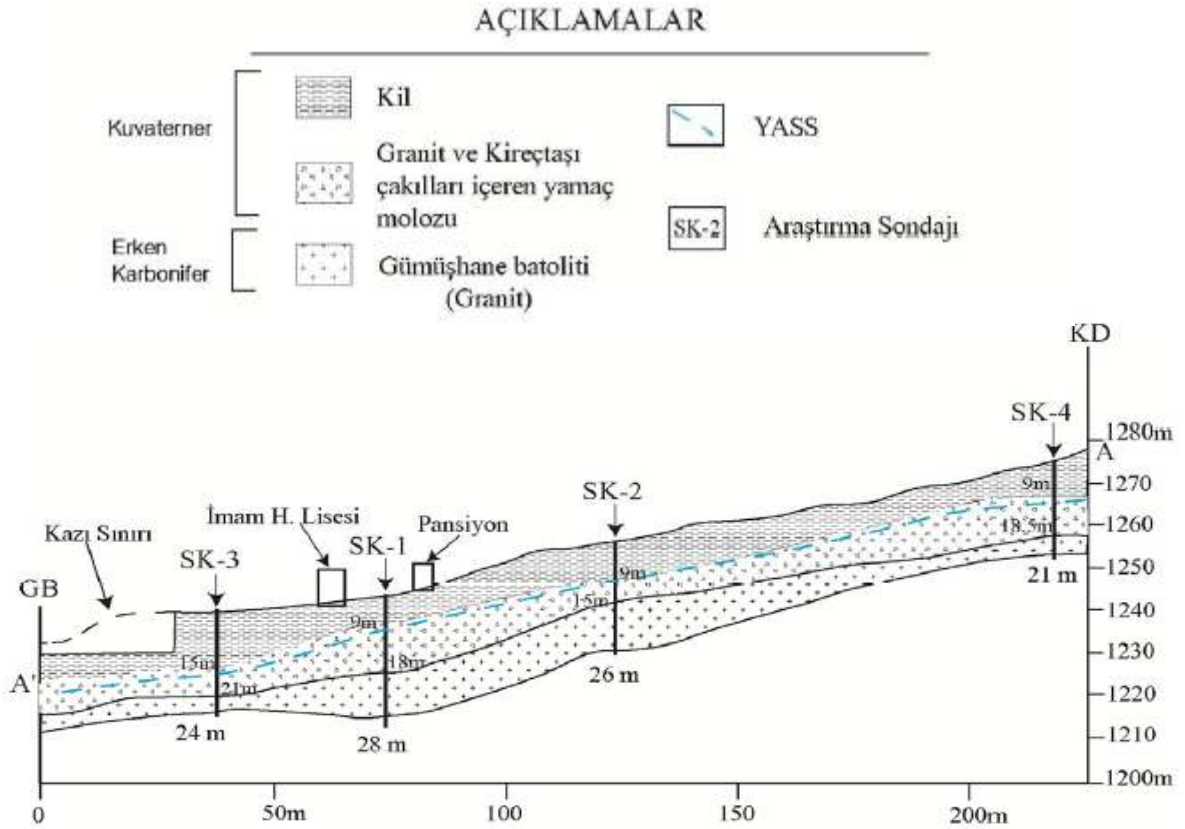


Şekil 5.7. Çalışma alanındaki sondaj kuyularının konumlarını gösteren uydu fotoğrafı.
(Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).

Çalışma alanı ve çevresinde yapılan gözlemlerle bölgede açılmış herhangi bir sondaj kuyusunun olmadığı saptanmıştır. Çalışma alanında açılan jeoteknik sondajlardan yeraltı suyu ölçümleri yapılarak seviyesi belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre, SK-1 no lu sondajda yeraltı suyunun 9.5 m’de, SK-2 nolu sondajda 9 m’ de, SK-3 nolu sondajda 15 m’de ve SK-4 no lu sondajda 12 m’de bulunduğu belirlenmiştir. İmam Hatip Lisesinin Kuzeyinde bulunan ve heyelan alanı olan elma bahçelerinde yazları yapılan bahçe sulamaları ve bahar mevsimlerinde yağın yağmurların topoğrafik olarak yüzeysel akış oluşturacağı (beslenme alanı) düşünüldüğünde kil ve yamaç molozu niteliğindeki zemin bu yüzey sularından etkilenecektir. Bu durumu göz önünde bulundurduğumuzda İmam Hatip Lisesi’nin üst tarafından (Kuzey) açılacak 1.5 m derinliğinde bir drenaj hendek ile yüzeysel suların zemini doymun duruma getirmemesi için Lisenin güneybatısından geçen kuru dereye aktarılması gerekmektedir. Bu kuru dere de mevsimsel yağışlara bağlı su gözlenmektedir (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).

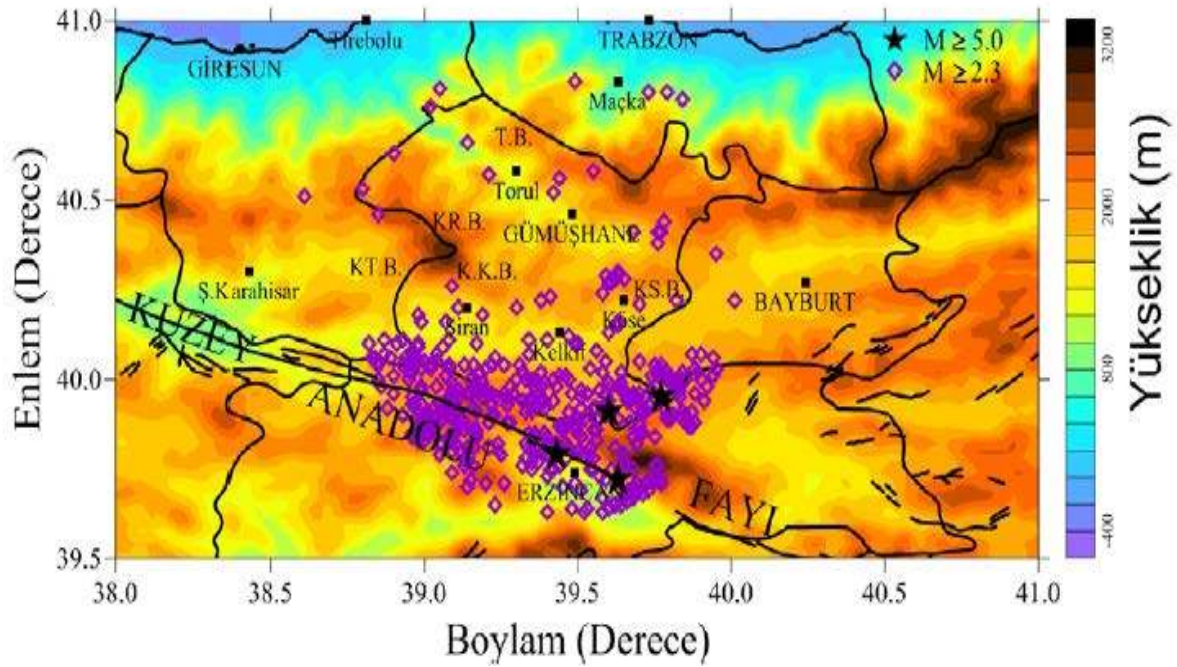


Şekil 5.8. Kazı Öncesi A-A' jeolojik kesit hattı (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).



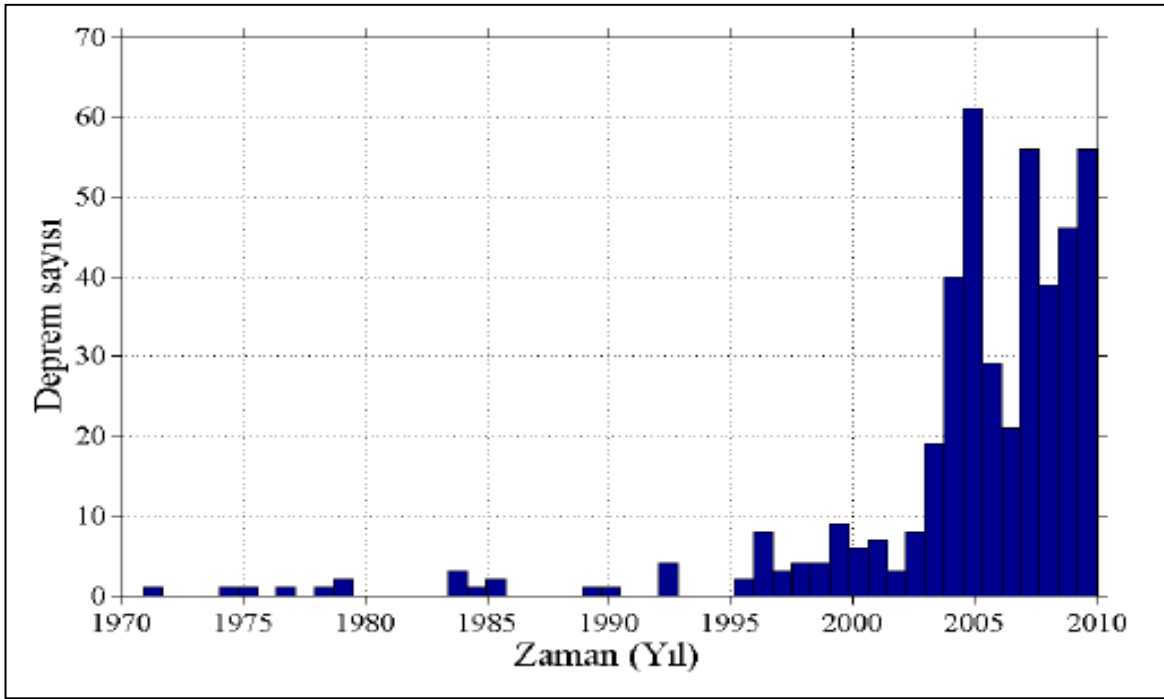
Şekil 5.9. Kazı sonrası A-A' jeolojik kesit hattı (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).

Çalışma alanı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı "Türkiye Deprem Haritası" değerlendirmelerine göre 3. derecede deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Bu nedenle çalışma alanı depremin yıkıcı etkisine maruz kalma tehlikesi altında değildir. Gümüşhane yöresinde aktivitesi yüksek fay hatları bulunmamaktadır. Ancak ilimizin yaklaşık 80 km güneyinden geçen ve deprem üretme potansiyeli yüksek olan Kuzey Anadolu Fayı üzerinde meydana gelebilecek büyük depremler bölgede sarsıntılara neden olacaktır. Bu sarsıntılar özellikle dere yataklarındaki alüvyonlar üzerine yapılmış yüksek katlı binalarda 35 hasarlara yol açabilecektir. Deprem büyüklüğü değerleri dikkate alındığında 2.5-3.5 büyüklüğündeki depremlerin daha yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 5.10.).



Şekil 5.10. 1970-2010 Yılları Arasında Gümüşhane ili ve çevresindeki depremler ve bölgenin tektoniği (Öztürk; Bayrak; Maltaş, 2010).

Gümüşhane ve çevresinde meydana gelen depremleri yıllara göre incelersek (Şekil 5.11.) 1995 yılından sonra deprem sayısında bir artış olduğunu görürüz. Bu tarihe kadar ülkemizde deprem kayıt istasyonları yeterli sayıda olmadığından meydana gelen birçok deprem kayıt altına alınamamıştır. Bu nedenle artışın 1995 yılından önceki yıllarda da devam ettiği ihtimali düşünülmektedir.



Şekil 5.11. Gümüşhane İli 1970–2010 yılları arası deprem sayısı grafiği (Öztürk; Bayrak; Maltaş, 2010).

5.2.1. Şev Duyarsızlığı, Limit Denge Analizi

İmam Hatip Lisesi yerleşim alanında stabilite problemi gözlenen hat boyunca yamaçlarının stabilitesini belirlemek için limit denge analiz yapan “Slide v5.0” (Rocscience, 2003) bilgisayar programından yararlanılmıştır. “Slide” programı zemin şevleri için güvenlik sayılarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Program ile değişken özellikler gösteren, farklı geometrilerdeki yüzeyler gibi basit ve karmaşık problemler modellenebilmekte, boşluk suyu basıncının etkisi, zemin özellikleri ve çeşitli analiz yöntemleri ile yükleme koşulları belirlenebilmektedir. Ayrıca, programda analiz yaparken heterojen zemin tipleri ve karmaşık stratigrafik durumlarda değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, sahada yapılan araştırma sondajlarından elde edilen zemin özelliklerine ait değerler ve laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen doygun birim hacim ağırlık değeri ve kayma direnci parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) kullanılarak zemin özellikleri tanımlanmıştır. Analizlerde Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmış olup, kayma şekli olarak dairesel ve birleşik kayma türleri seçilmiştir. Zemin uzunluğu kalınlığına göre daha büyük olduğundan ve birleşik kayma riskinin de

olabileceğinden dolayı limit denge analizlerinde Janbu Yöntemi kullanılmıştır. Arazinin genelinde yapılan incelemeler sonucunda herhangi bir gerilme çatlak oluşumuna rastlanmamıştır. Çalışma alanındaki İmam Hatip Lisesinin yaklaşık 100m Kuzeydoğu'sunda bulunan alanda Krip (yavaş akma) türünde bir heyelanın olduğu tespit edilmiştir (Karlı; Alemdağ; Dağ, 2011).

Tablo 5.2. Limit denge analizlerine göre güvenlik katsayısının değerlendirilmesi

	Etüd Hattı – Kazından Önce	Etüd Hattı – Kazından Sonra
Limit denge analizi	2.119	1.146
Durum	Güvenli	Güvensiz

Etüd hattı boyunca (A-A') kazı öncesi yapılan limit denge analizinde güvenlik sayısı değerleri Gs: 2.119 ve kazı sonrası durum analiz edildiği zaman güvenlik katsayısı değeri Gs: 1.146 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.8. ve Şekil 5.9.). Bulunan bu değerler etüd hattındaki yamaca ait en kötü koşullar için hesap edilen güvenlik katsayısı değerleri olup, şevlerin denge durumu için kabul edilen Gs: 1.5 değerine göre değerlendirildiğinde kazı öncesi duyarlı olan inceleme alanı, kazı sonrasında duyarsız hale gelmiştir (Tablo 6). Limit denge analizi ile belirlenen kazı sonrası elde edilen Gs: 1.146 değeri 1.5' den küçük olduğu için duyarsızlık söz konusudur. Arazide yapılan incelemeler sonucunda İmam Hatip Lisesinin (Lise binası iki kısımdan oluşmaktadır) batı kısmındaki bölümünde meydana gelen çatlamlar ve ek kısmında oluşan açılmaları limit denge analizi de destekler durumdadır. Yapılan analiz sonucunda kayma dairesi kazı sınırından 33.5m uzaklıkta oluşmuş olup, İmam Hatip Binasını da içine almaktadır. Kayma dairesinin derinliği zemin profilinde gözlenen kil içinde gerçekleşmekte olup, yaklaşık 13-14m derinlikten geçmektedir. Yapılan analizde kazı palyesinde Gs: 1.5 değeri için, yani şevlerin denge durumu için oluşan yanal itki kuvveti 231 kN olarak belirlenmiştir. Bu durumda 231 kN' luk bir yanal itki kuvvetini dengeleyecek bir zemin iyileştirmesi (Şekil 5.12.) yapılması gerekmektedir (Karlı; Alemdağ; Dağ, 2011).



Şekil 5.12. Fore kazık uygulamasından bir görünüm (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).

İnceleme alanı eski bir heyelan sahası olup, yapılan sondajlarda zemin özellikleri detaylı bir şekilde sınıflandırılmıştır. İlgili bölgede hareketin olup olmadığına yönelik olarak jeodezik izleme yöntemi uygulanmıştır.

5.3. Jeodezik Çalışmalar

Heyelanlar; 3 boyutlu, zamana ve konuma bağlı hareketlenmeler olduklarından yine bunların 3 boyutlu olarak değerlendirilebilmesi için, çalışma için seçilmiş bölgeyi en iyi şekilde temsil edebilecek şekilde deformasyon ağı kurulması ve GNSS ile belirlenen periyot aralıklarında ölçümler yapılması planlanmıştır.

5.3.1. Jeodezik Deformasyon Ağı'nın Tasarımı ve Tesisi

Yüksek lisans tezi için belirlenen Gümüşhane İli İmam Hatip Lisesinin tahliyesine de neden olan heyelan bölgesi, arazide de gezilerek görülmüş; heyelanın vermiş olduğu zararlar gözlenmiş ve uygulama alanında yapılacak çalışmaya uygun olacak şekilde bu alan çevresinde 3 nokta belirlenmiştir. Bölgede seçilen bu 3 hareketli nokta ile TRBN, GUMU, ERZ1 ve BAYB TUSAGA istasyonları dayanak noktalar olarak seçilmiş ancak değerlendirme aşamasında bu sabit TUSAGA noktalarından ERZ1 noktası deformasyon ağı için uygun görülmeyp çıkarılmıştır. Böylece TRBN, GUMU ve BAYB TUSAGA istasyonları olmak üzere 3 dayanak noktası seçilerek deformasyon ağı oluşturulmuştur (Şekil 5.13.).



Şekil 5.13. Hareketli Noktalar ve GNSS Noktaları

Nokta yerlerinin seçiminde, uydu görüşünün açık olması, noktalara ulaşımın zor olmaması, noktaların heyelanlı alanı temsil edebilecek özellikte olması ve bölgede yapılan jeolojik incelemeler dikkate alınmıştır. Hareketli noktalar olarak belirlediğimiz yerlere 50 cm uzunluğunda demir çubuk kullanılmış ve röperleri alınarak noktalar işaretlenmiştir. Ayrıca noktaların yer seçimi yapılırken çevresel faktörlerden etkilenmeyecek şekilde yapılmıştır.



Şekil 5.14. P1 No' lu nokta



Şekil 5.15. P2 No' lu nokta



Şekil 5.16. P3 No' lu nokta

Şekil 5.14. , 5.15. ve 5.16. 'de görülen noktaların önceden inceleyerek hareketli olabileceği kanaatine varıldı. Bu noktaları ile dayanak olarak seçilen bölgeye en yakın olan TUSAGA-Aktif istasyonlarından BAYB-GUMU ve TRBN sabit TUSAGA noktalarının

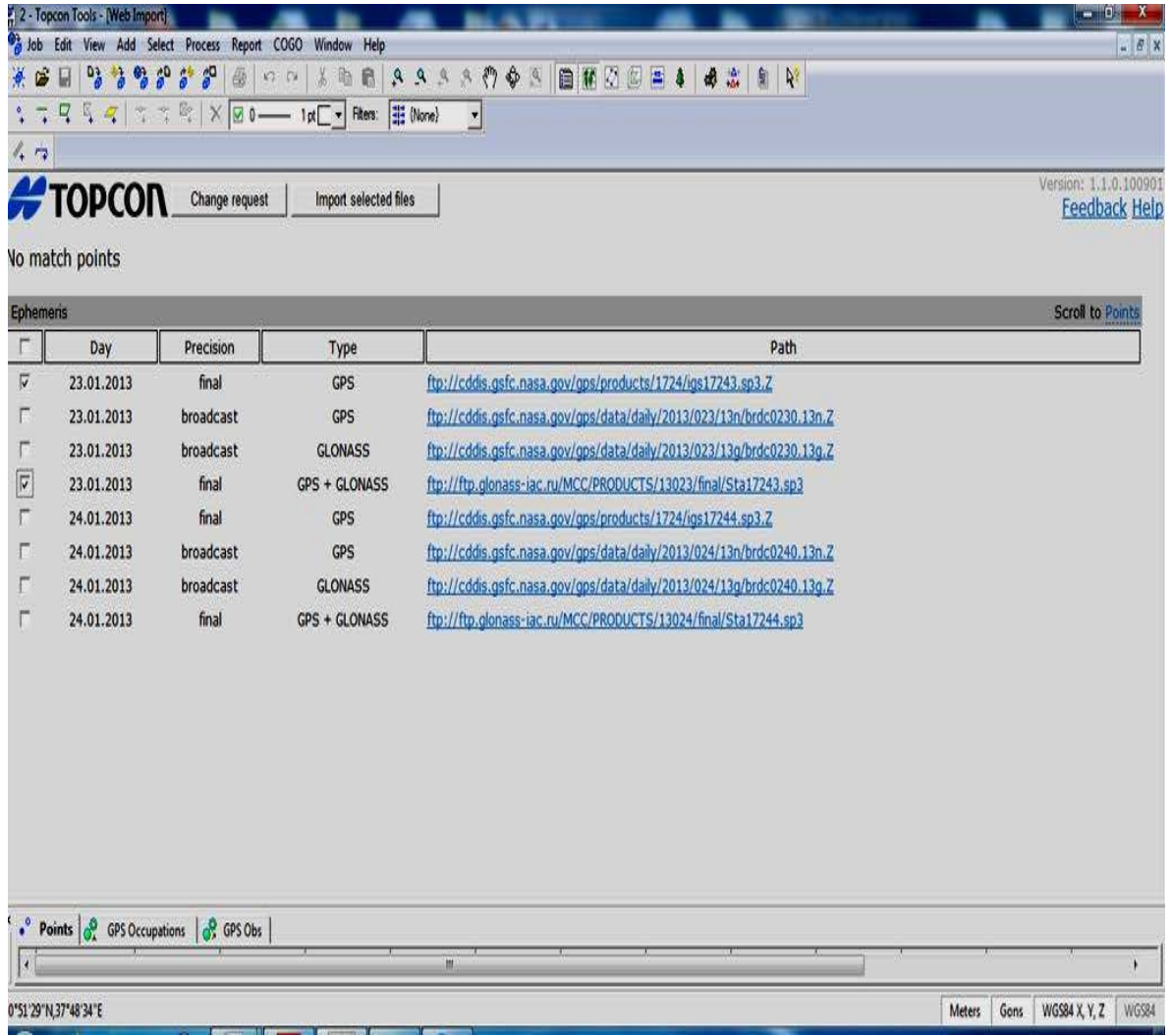
GNSS ölçümlerini gerçekleştirmeye uygun oldukları görüldükten sonra kullanılan sabit noktalar ile birlikte harita üzerine çizilerek deformasyon ağı oluşturulmuştur.

5.4. GNSS Ölçülerinin Yapılması ve Değerlendirilmesi

GNSS' in yüksek duyarlığa sahip olması, üç boyutlu koordinatları aynı anda elde edebilmede pratik ve hızlı oluşu, noktaların birbirini görme zorunluluğunun olmamasından dolayı bu çalışmada ölçülerin yapılmasında kullanılmıştır. Deformasyon ölçüleri Hiper-Pro marka 3 adet GNSS alıcıları ile yapılmıştır.

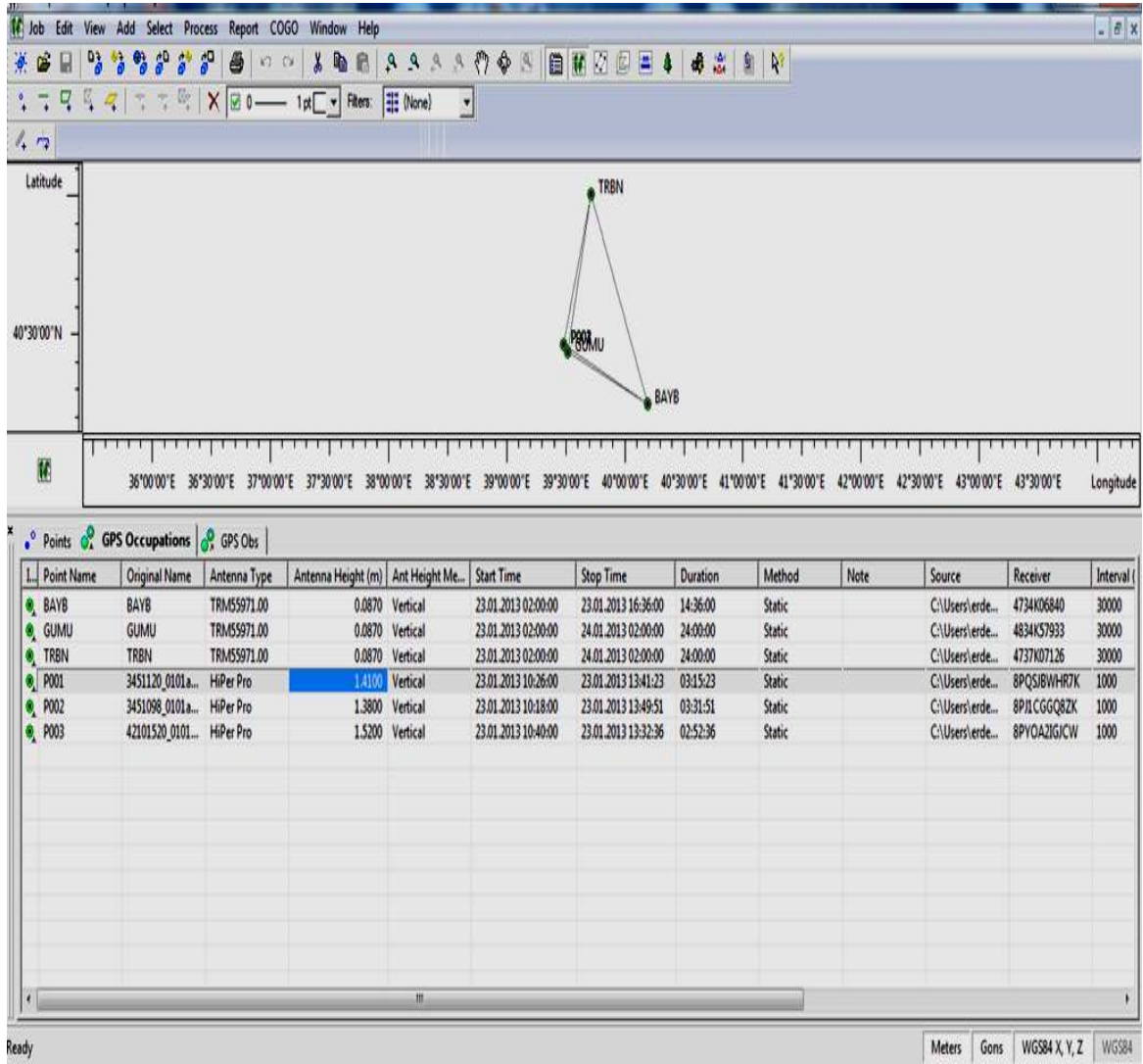
Deformasyon ağı tasarlandıktan sonra yeterli doğruluk seviyesini elde edebilmek (yatayda mm) ve anlamlı hareketleri gözlemleyebilmek için hareketli kabul ettiğimiz noktalar üzerine kurduğumuz GNSS cihazlarımızı eş zamanlı olarak başlatılmasına özen göstererek 3-4 saat kadar veri toplama işlemi gerçekleştirildi. Bu işlemler 28.04.2012-22.01.2014 tarihlerinde olmak üzere 2 periyot olarak yapıldı. GNSS gözlemlerinin yapılmasında yüksek duyarlılık gerektiren heyelan hareketlerinin izlenmesinde milimetre mertebesinde doğruluk sağlaması nedeni ile statik yöntem tercih edilmiştir.

Toplanan veriler Gümüşhane Üniversitesinin Lisansına sahip olduğu Topcon Tools yazılımında değerlendirilmiştir. Açılan Topcon Tools ekranında New Job sekmesine tıklanıp; yeni işin ismi girilerek iş dosyası açıldı. Daha sonra ise job Configuration sekmesine tıklanarak gerekli ihtiyacımız olan hassasiyet ve kullanılacak yöntemlere göre ayarlamalar yapıldı. Ayrıca istenilen veriler için gerekli projeksiyon sistemi olarak Zone 33 (ITRF96) ve koordinatları elde etmek istediğimiz WGS84X,Y,Z seçilerek koordinatların kartezyen koordinat olarak görülmesi sağlandı (Şekil 5.17.).



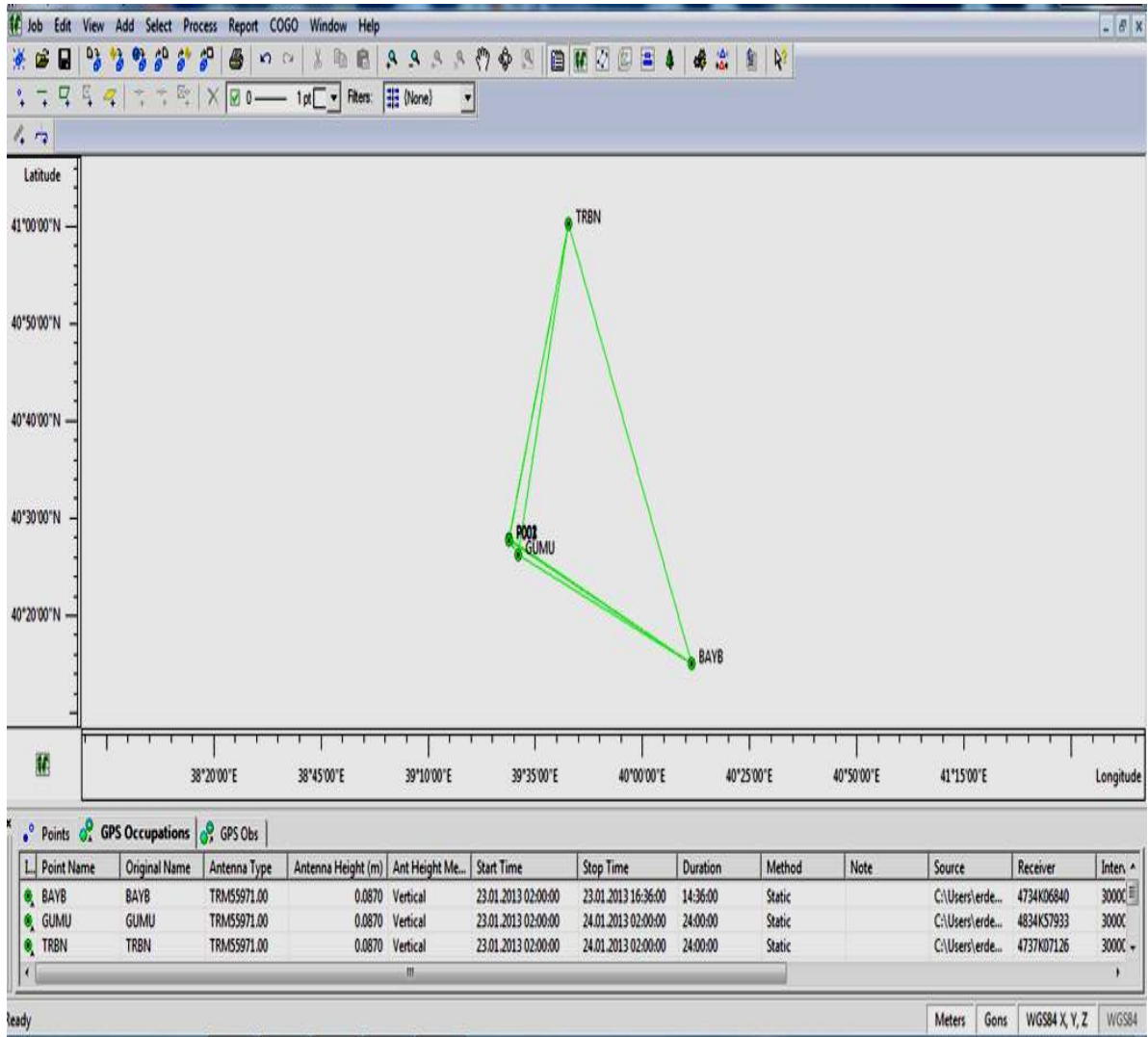
Şekil 5.18. Sp3 Formatındaki Hassas Yörünge Verilerinin (Efemeris) İmport Edilmesi

Bu aşamada noktalara ait prezisyonu tamamlanmış olan GPS ve GLONASS uydularına ait efemeris verileri import edildi. Daha sonra GPS Occupations sekmesine tıklanarak arazide kullandığımız noktaların isimlerini, noktalar üzerine kurulan GPS aletlerinin alet yüksekliğini ve anten tiplerini (Hiper Pro) manuel olarak girerek veriler Process aşamasına hazır hale getirildi (Şekil 5.19.).



Şekil 5.19. Verilere ait bilgilerin girilerek Process aşamasına hazır hale getirilmesi

Nokta Adları, Alıcı Türleri ve Anten Yüksekliklerinin Girilmesinden sonra dengelemenin birinci aşaması olan ağdaki tüm noktalar arasındaki baz bileşenlerinin dengelendiği process aşaması aşağıdaki gibi gerçekleştirdi (Şekil 5.20.).



Şekil 5.20. Ağdaki tüm noktalar arası baz bileşenlerinin dengelendiği Process aşaması

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere process aşaması her 2 periyotta da tüm işlem adımları ayrı ayrı tekrar edilerek yapılır. Ancak eğer process aşamasında ağdaki bazlardan birisi kırmızı renkte yanıp hata veriyorsa; GPS Occupations sekmesinde belirlemiş olduğumuz yatayda 3 cm düşeyde ise 5 cm hata payını aşan baz olmuş demektir. Böyle bir problemle karşılaşıldığında bu bazın hangi uydulara ait sinyallerden dolayı hassasiyetinin düştüğünü anlamak ve bunu gidererek o baza ait hassasiyeti arttırabilmek için kırmızı renkte belirtilen baz üzerinde sağ tık yapılarak residual view sekmesine tıklanılır. Açılan pencerede görülecek olan uydu sinyallerindeki çiftli uydu farklarından 0 çizgisinden en çok uzaklaşmış olan veriler tespit edilerek silinmesi gereken veriler elemine edilerek geçerli hassasiyet sağlanmış ve process aşamasındaki bu problem giderilmiş olur.

Ağıdaki tüm baz bileşenlerinin kendi aralarında dengelendiği process aşamasından sonra artık ağın dengeleme aşamasına geçilecektir. Bu aşamada, diğer üç periyotta da kullanılmak üzere, ilk periyotta process aşaması tamamlandıktan sonra elde ettiğimiz noktalara ait dengelenmiş koordinat değerleri ile koordinat fark ölçülerine ait varyans-kovaryans matrisine ihtiyaç duyulur.

Tablo 5.3. Yaklaşık Koordinatlar

Nokta Adı	X (m)	Y (m)	Z (m)
BAYB	3724825.0845	3146767.9149	4100329.4167
GUMU	3751012.9702	3093876.0452	4115854.7904
TRBN	3708089.3834	3079772.3630	4162933.5738
P001	3751478.3027	3090383.3480	4118076.3016
P002	3751408.4180	3090395.7796	4118162.2808
P003	3751573.0448	3090334.0528	4117996.1000

Varyans-kovaryans matrisleri process aşamasından sonra, Topcon Tools programında yaklaşık koordinat dosyalarının oluşturulduğu gibi burada da verilerin export işlemi yapılarak tüm periyotlara ait varyans kovaryans matrisleri bu şekilde elde edilir.

5.5. GNSS Ölçülerinin Dengelenmesi

Her iki periyotta da process işlemleri tamamlandıktan sonra bütün periyotlara ait deformasyon ağlarının ayrı ayrı serbest dengelemesi yapılmıştır. Bu aşamada uyuşumsuz ölçülerin elemine edilebilmesi için, tüm periyotlarda birim ölçünün ortalama hatasının soncul değeri m_0 , öncül değeri olan s_0 'a eşit alınır.

5.6. Birinci Periyot Dengeleme Sonuçları

Tablo 5.4. Birinci Periyot Ölçülerin Dengeleme Sonuçları

Nokta Sayısı	6
Baz Sayısı	15
Gözlem Sayısı (n)	45
Bilinmeyen Nokta Sayısı (u)	18
Sabit Nokta Sayısı	3
Serbestlik Derecesi (n-u+d)	30
V^{TPV}	0.367
S_0	0.111 cm
m_0	0.111 cm
Test Değeri T	1.006
Tablo Değeri q	2.074
f-Dağılım Tablo Değeri Güvenilirlik Derecesi	0.975

Tablo 5.5. Birinci Periyoda ait uyumsuz ölçüler testi (Tau Testi)

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Test Büyüklükleri			t-test	tau
		tx	ty	tz		
BAYB	GUMU	0.044	1.355	0.726	2.042	3.050
BAYB	TRBN	0.313	0.080	0.138	2.042	3.050
GUMU	TRBN	0.646	1.300	1.887	2.042	3.050
BAYB	P001	0.471	0.372	0.065	2.042	3.050
GUMU	P001	0.709	0.581	1.747	2.042	3.050
P001	TRBN	0.328	0.500	0.589	2.042	3.050
BAYB	P002	0.236	0.341	0.125	2.042	3.050
GUMU	P002	1.142	0.805	0.336	2.042	3.050
P002	TRBN	1.267	0.987	0.328	2.042	3.050
P001	P002	1.863	1.541	0.320	2.042	3.050
BAYB	P003	0.518	0.718	0.921	2.042	3.050
GUMU	P003	2.219	1.532	0.914	2.042	3.050
P003	TRBN	1.946	0.242	1.749	2.042	3.050
P001	P003	1.668	1.615	0.825	2.042	3.050
P002	P003	2.336	1.827	0.398	2.042	3.050

Görüldüğü üzere $S_0 = m_0$ alınarak model hipotezinin geçerliliği sağlanmıştır. Hipotezin geçerli olabilmesi için değişmez kural $T < q$ ' da sağlanmıştır. 1. Periyottaki uyumsuz ölçüler testi (Tau Testi) tablosu da yukarıda gösterilmiştir (Tablo 5.4.).

Tablo 5.6. Birinci Periyot Dengelenmiş Koordinatlar (Kartezyen) ve Standart Sapmalar

Noktalar	X (m)	Y (m)	Z (m)	mx (cm)	my (cm)	mz (cm)
BAYB	3724825.0845	3146767.9149	4100329.4167	0.11	0.07	0.11
GUMU	3751012.9700	3093876.0453	4115854.7904	0.04	0.03	0.04
TRBN	3708089.3833	3079772.3630	4162933.5737	0.10	0.08	0.12
P001	3751478.3027	3090383.3480	4118076.3018	0.03	0.03	0.04
P002	3751408.4177	3090395.7796	4118162.2806	0.03	0.03	0.04
P003	3751573.0455	3090334.0528	4117996.1001	0.03	0.02	0.04

1. Periyot ölçülerinin Topcon Tools'da processi ile ilgili işlemlerin yapılmasından sonra elde edilen yaklaşık koordinatlar ile varyans kovaryans matrislerinin matlabda serbest ağ dengemesi programı ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen dengelenmiş Kartezyen koordinatlar ve standart sapmalar yukarıdaki tablodaki gibi elde edilmiştir. Bu işlemlerden sonra ise her iki periyotta da ayrı ayrı hesaplanmak üzere, Statik deformasyon analizinde kullanılacak olan dengelenmiş koordinatlara ait 18x18 büyüklüğündeki ters ağırlık matrisi hesaplanmıştır.

5.7. İkinci Periyot Ölçüleri Dengeleme Sonuçları

Tablo 5.7. 2. Periyot Ölçüleri Dengeleme Sonuçları

Nokta Sayısı	6
Baz Sayısı	15
Gözlem Sayısı (n)	45
Bilinmeyen Nokta Sayısı (u)	18
Sabit Nokta Sayısı	3
Serbestlik Derecesi (n-u+d)	30
$V^T P V$	0.180
S_0	0.077 cm
m_0	0.077 cm
Test Değeri T	1.010
Tablo Değeri q	2.074
f-Dağılım Tablo Değeri Güvenilirlik Derecesi	0.975

Tablo 5.8. İkinci Periyoda ait uyumsuz ölçüler testi (Tau Testi)

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	tx	ty	tz	t-test	tau
BAYB	GUMU	0.822	1.263	0.801	2.042	3.050
BAYB	TRBN	0.933	1.513	0.154	2.042	3.050
GUMU	TRBN	0.01	0.798	0.012	2.042	3.050
BAYB	P002	0.274	0.374	0.767	2.042	3.050
GUMU	P002	0.923	0.815	0.553	2.042	3.050
P002	TRBN	0.937	0.746	0.386	2.042	3.050
BAYB	P003	0.398	0.713	0.547	2.042	3.050
GUMU	P003	1.006	0.455	0.722	2.042	3.050
P003	TRBN	0.438	1.34	0.45	2.042	3.050
P002	P003	0.028	1.619	1.565	2.042	3.050
BAYB	P001	0.637	0.494	0.307	2.042	3.050
GUMU	P001	2.019	1.514	0.291	2.042	3.050
P001	TRBN	0.547	0.231	0.05	2.042	3.050
P001	P002	0.43	1.403	1.856	2.042	3.050
P001	P003	0.218	1.761	1.73	2.042	3.050

Tablo 5.9. İkinci Periyot Dengelenmiş Koordinatlar (Kartezyen) ve Standart Sapmalar

Noktalar	X (m)	Y (m)	Z (m)	mx (cm)	my (cm)	mz (cm)
BAYB	3724825.0940	3146767.9208	4100329.4321	0.05	0.03	0.06
GUMU	3751012.9656	3093876.0486	4115854.7775	0.02	0.02	0.02
TRBN	3708089.3816	3079772.3687	4162933.5836	0.05	0.04	0.06
P001	3751478.2822	3090383.3418	4118076.2866	0.02	0.01	0.02
P002	3751408.3896	3090395.7949	4118162.2453	0.02	0.01	0.02
P003	3751573.0407	3090334.0234	4117996.0662	0.02	0.01	0.02

İkinci periyot içinde 1. Periyottaki adımlar izlenerek sonuç olarak yukarıdaki Tablo 5.9.'daki veriler elde edilmiş olur.

6. BULGULAR

6.1. Deformasyon Analizi

Deformasyon, bir objenin şeklinde ya da konumunda meydana gelen geometrik veya fiziksel değişimlerdir. Bu değişimleri belirlemek için yapılan ölçümlere deformasyon ölçmeleri, bu ölçülerin yer, zaman ve büyüklük değerlerine göre değişimlerin belirlenip anlamlandırılması işlemine deformasyon analizi denilir (Duygu, 2012). Deformasyon analizinin amacı da bir bölgedeki tekrarlı ölçümler yardımıyla eşlenik noktaların konumlarındaki değişimleri istatistiksel olarak kanıtlamaktır (Acar, 2009; İlgar, 2011).

Deformasyon belirlemek amacıyla tesis edilmiş jeodezik ağda, Nisan 2012 ve Ocak 2014 olmak üzere 2 periyotluk GNSS ölçüsü yapılmıştır. 2012 yılı Nisan ayı referans zamanı (t_0 zamanı) olarak alınmıştır. Bu periyottaki ölçüler serbest ağ yöntemiyle dengelenmiş ve uyuşumsuz ölçüler irdelemesi yapılmış. Nisan 2012 periyodunda hesaplanan dengeli koordinatlar diğer periyotlarda yaklaşık koordinatlar olarak kullanılmıştır. Tüm periyotlarda uyuşumsuz ölçüler irdelemesi yapıp ağ, uyumlu ölçülerle her iki periyot için ayrı ayrı serbest ağ yöntemiyle dengelenmiştir. Ölçü periyotlarına ait serbest ağ dengelemesi sonuçları hesaplanmıştır. Dengeleme sonucunda elde edilen dengeli koordinatlar, koordinatların ters ağırlık matrisleri ve birim ölçülerin ortalama hataları, statik deformasyon modelinde veri olarak kullanılmıştır.

6.2. θ^2 - Ölçütü Statik Deformasyon Analizi Yöntemi İle Deformasyonların Belirlenmesi

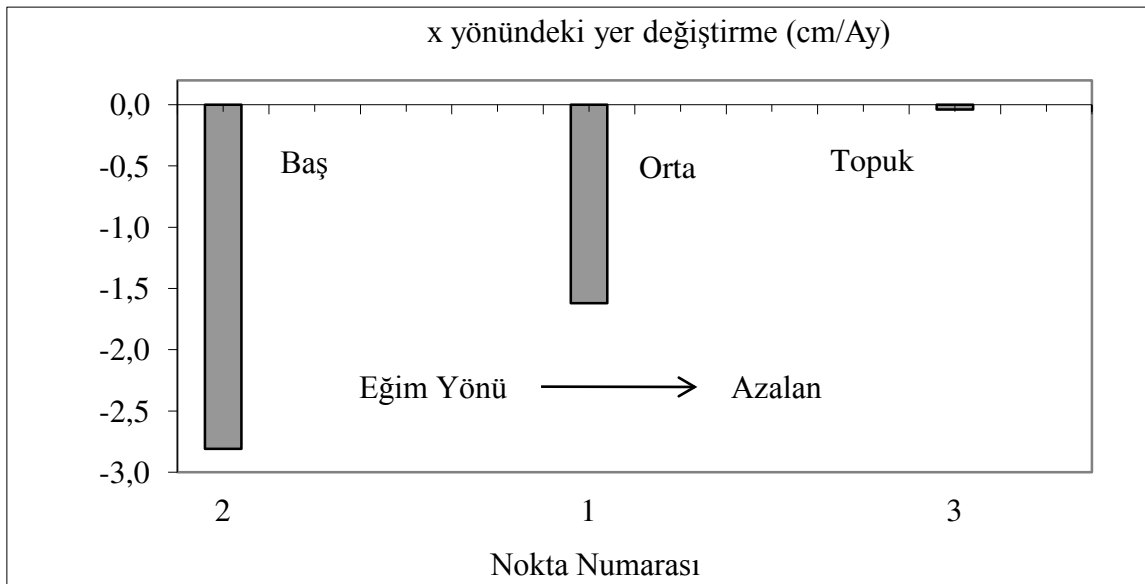
4.3.1. bölümünde anlatılan θ^2 -Ölçütü yöntemine göre, Nisan 2012 - Ocak 2014 periyotları arasındaki zaman zarfında, hareket belirlemede kullanmak amacı ile araziye tesis ettiğimiz P1, P2, P3 noktalarındaki hareket büyüklükleri olan dx, dy, dz hesaplanmıştır. Test büyüklüğü (T) ile f-Tablo değeri (q) da belirlenerek, aşağıdaki Tablo 13. 'de deformasyonun anlamlı bir şekilde gözlemlendiği 1. Periyot ölçüleri ile 2. Periyot ölçüleri arasındaki statik deformasyon analizi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Nisan 2012-Ocak 2014 periyotlarından elde edilen hareketli noktalara ait deformasyon değerleri (cm)

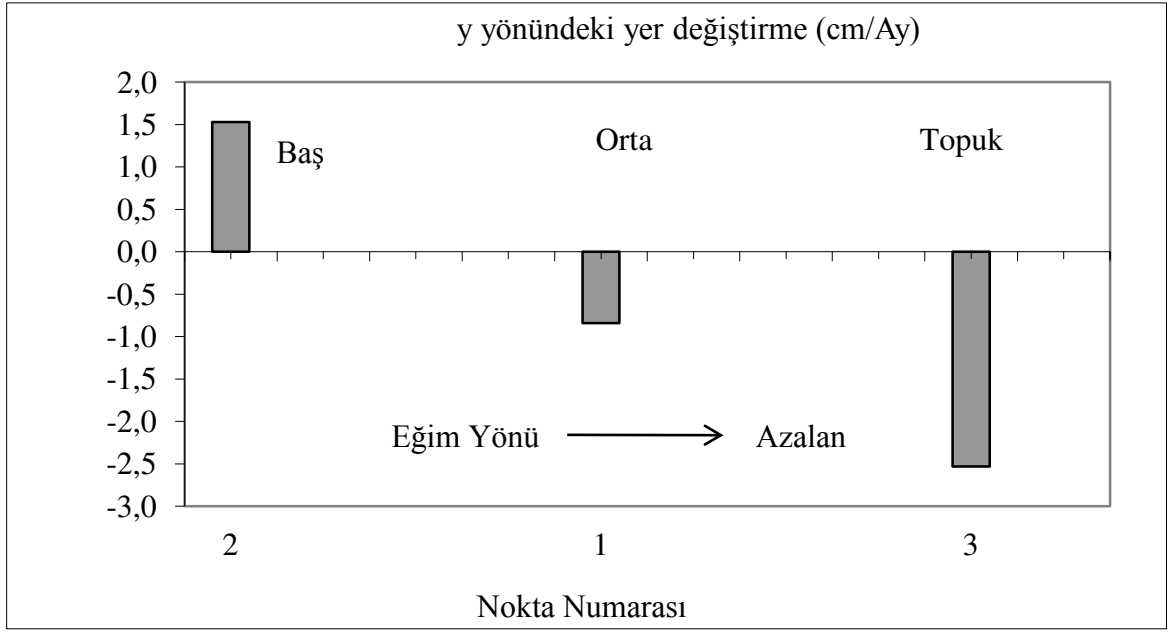
Noktalar	P.1	P.2	P.3
dx	-1.62	-2.81	-0.04
dy	-0.84	1.53	-2.53
dz	-1.45	-3.53	-2.66
T	513.742	230512.4	58750.66
Q	2.334	2.061	2.169

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü üzere 1. periyot (Nisan 2012) ile 2. Periyot (Ocak 2014) arasında geçen zaman içerisinde sabit zeminlere tesis edilen her üç noktada deformasyon belirlenmiştir. Arazinin eğim yönündeki nokta hareketlerinin davranışlarını görsel olarak izlemek için statik deformasyon analiz sonuçları, x, y ve z yönlerinde grafik olarak verilmiştir (Şekil 6.1. , Şekil 6.2. , Şekil 6.3.).

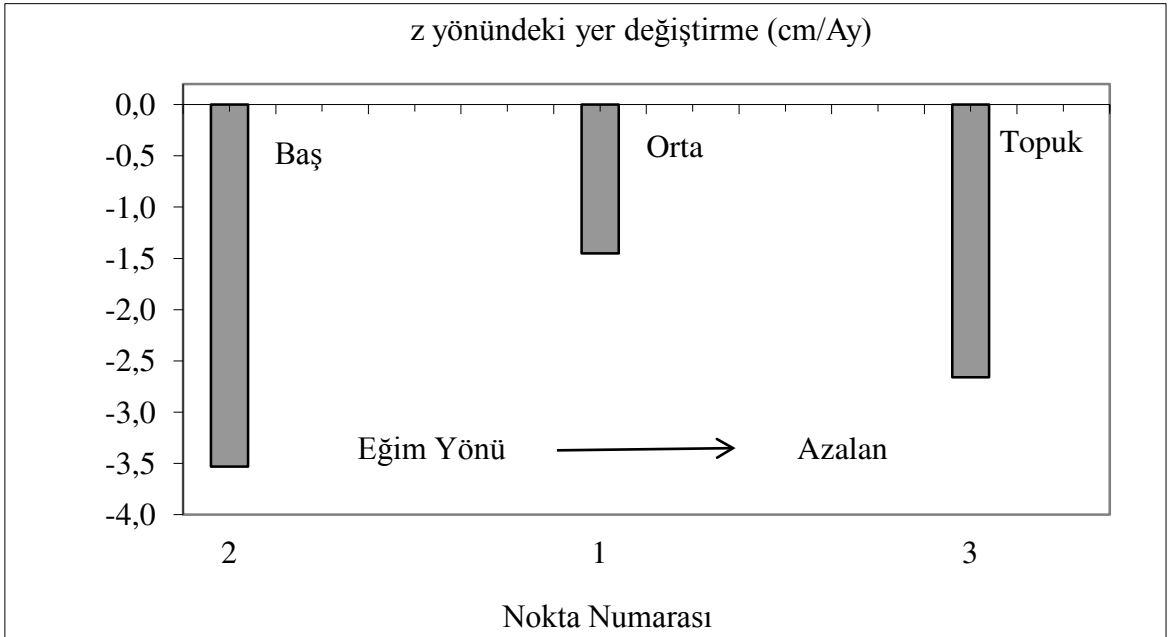
Arazide tesis edilen noktalarının x, y, z eksenleri yönündeki hareketlerinin yağışla olan ilişkilerini görebilmek için grafikleri çizilmiştir (Şekil 6.4. , Şekil 6.5. , Şekil 6.6.). Her noktanın ayrı ayrı yağış ve x, y, z eksen yönündeki hareket ilişkileri de (Şekil 6.7. , Şekil 6.8. , Şekil 6.9.). 'da verilmiştir.



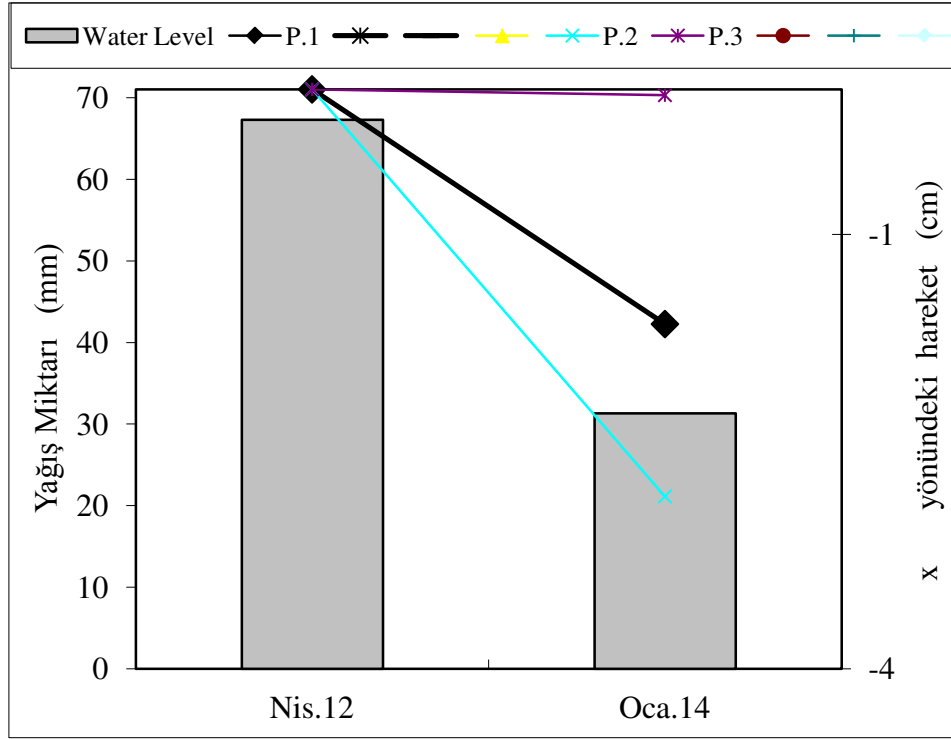
Şekil 6.1. Nisan.2012–Ocak.2014 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş x yönündeki hareketleri



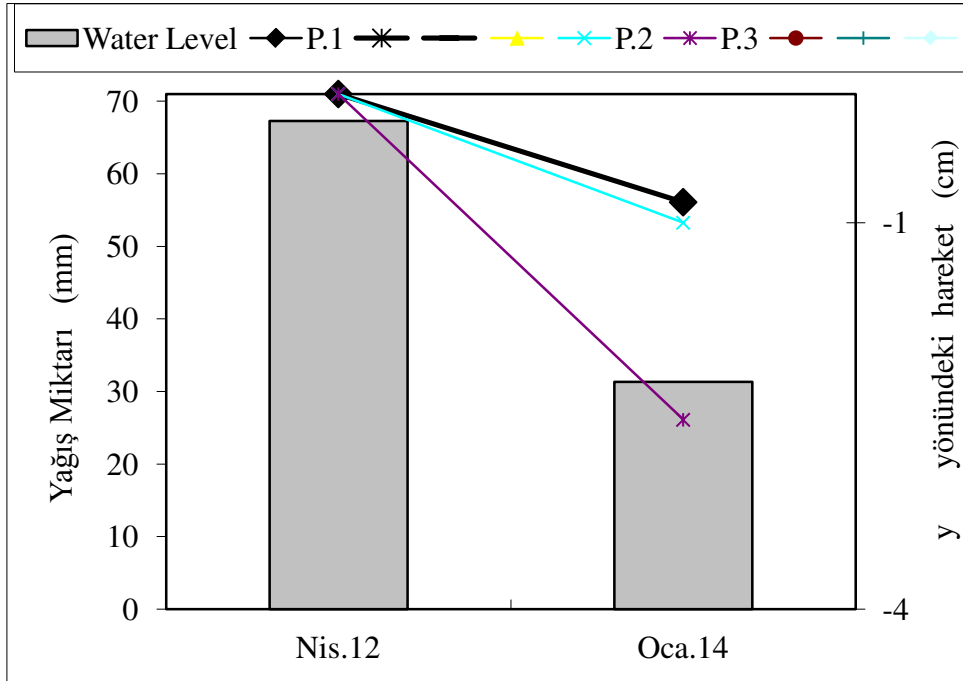
Şekil 6.2. Nisan.2012–Ocak.2014 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş y yönündeki hareketleri



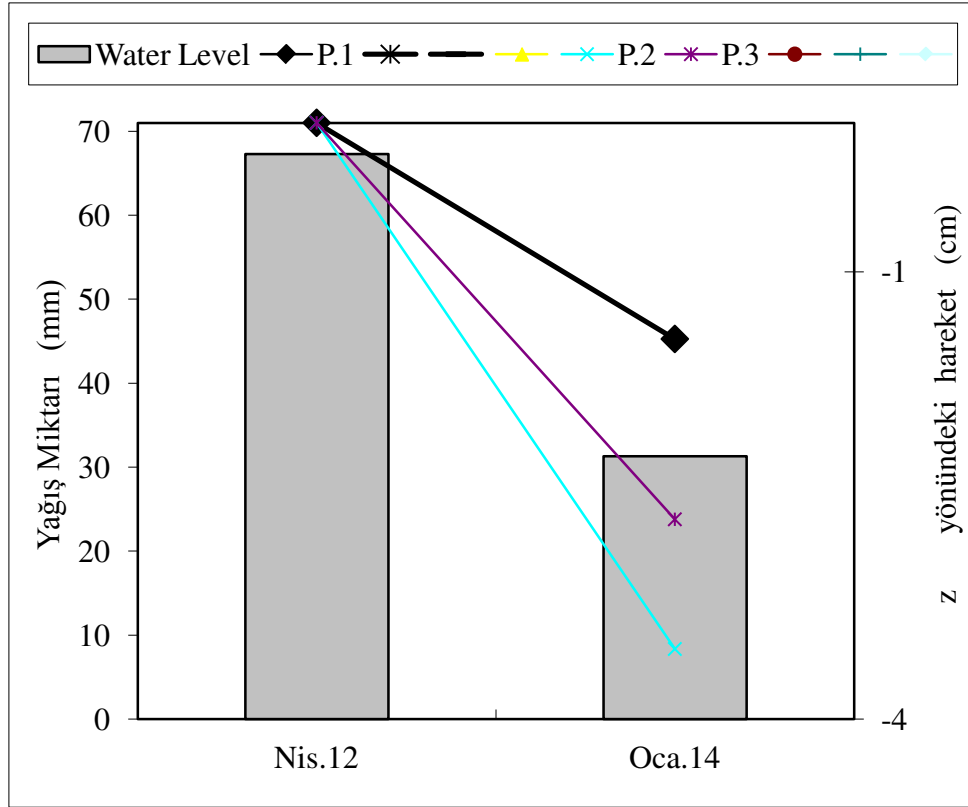
Şekil 6.3. Nisan.2012–Ocak.2014 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş z yönündeki hareketleri



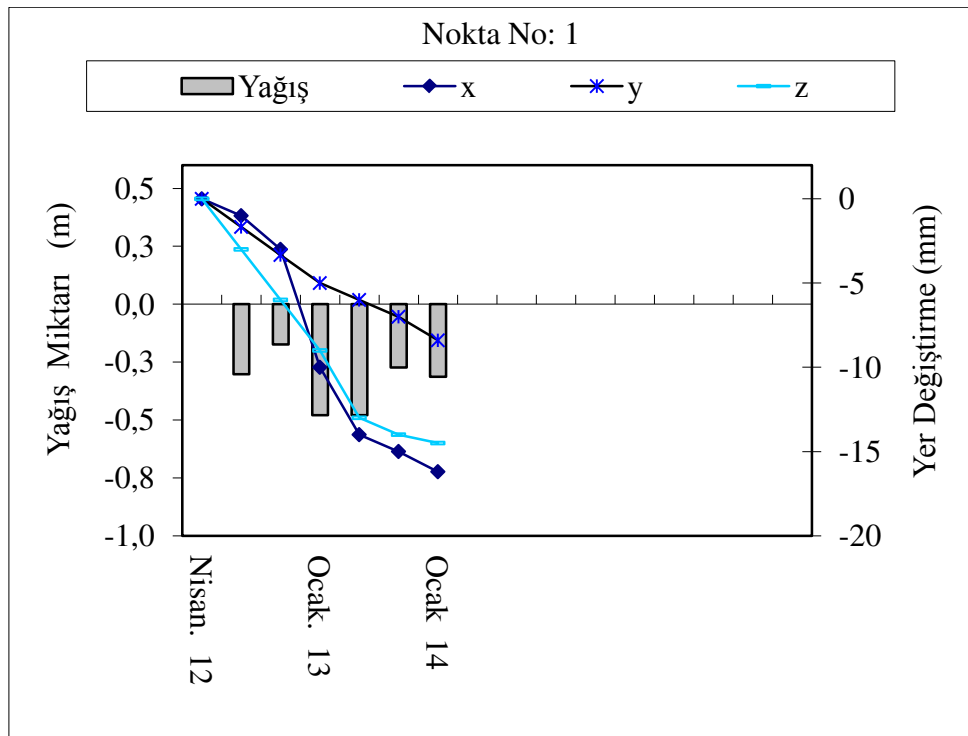
Şekil 6.4. Tüm noktaların statik modelle hesaplanmış x yönündeki hareket yağış ilişkileri



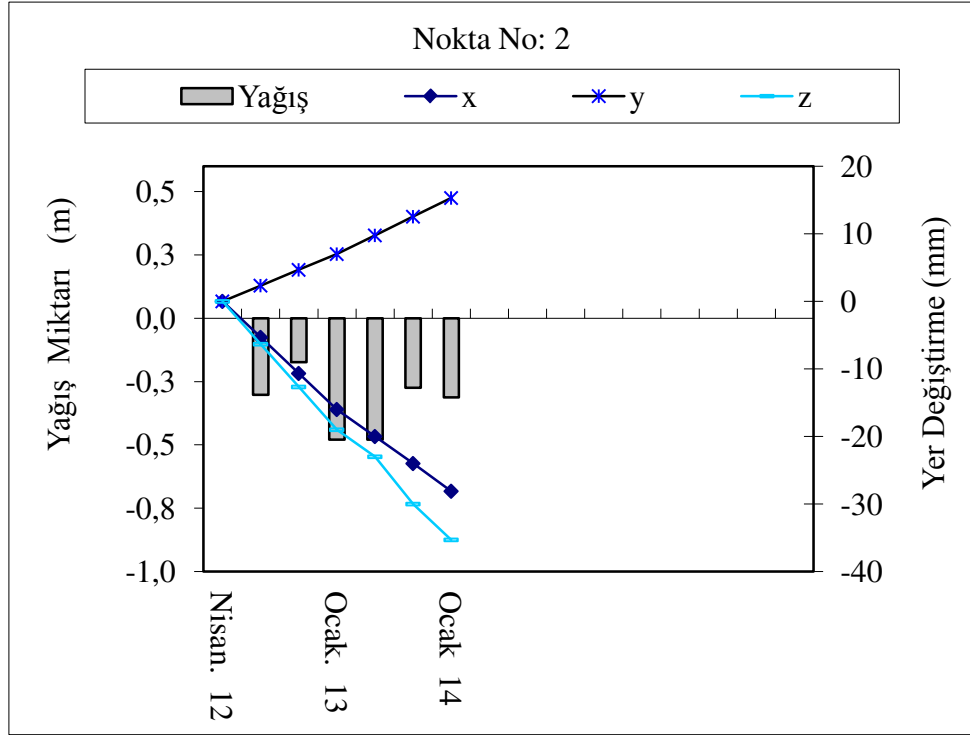
Şekil 6.5. Tüm noktaların statik modelle hesaplanmış y yönündeki hareket yağış ilişkileri



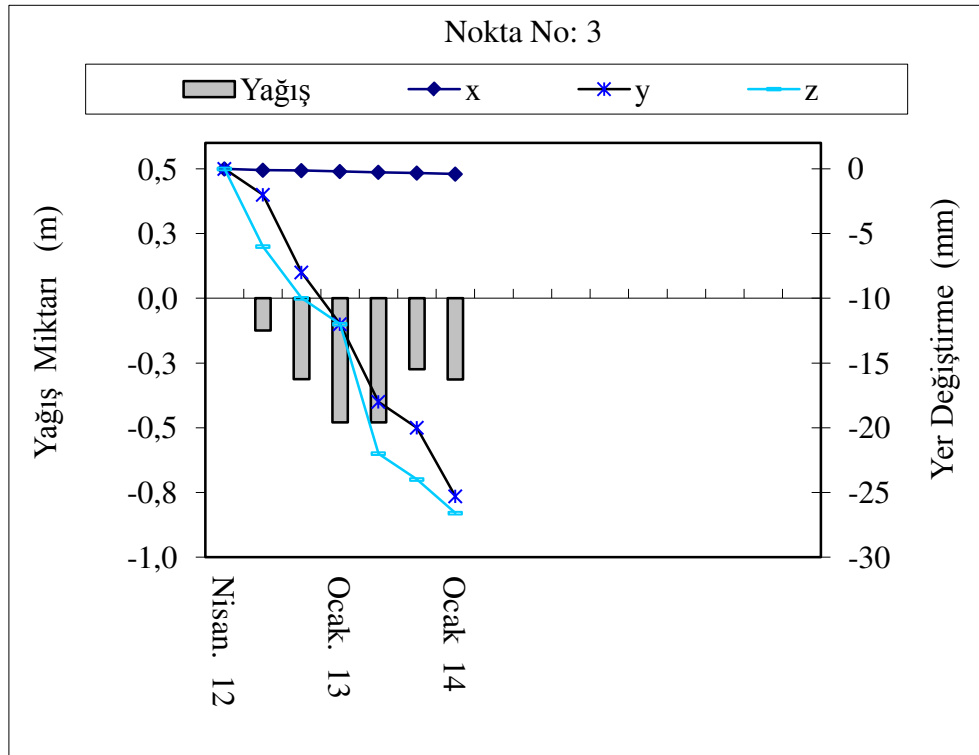
Şekil 6.6. Tüm noktaların statik modelle hesaplanmış z yönündeki hareket yağış ilişkileri



Şekil 6.7. 1 nolu noktanın statik modelle hesaplanmış yer değiştirme-yağış ilişkisi



Şekil 6.8. 2 nolu noktanın statik modelle hesaplanmış yer değiştirme-yağış ilişkisi



Şekil 6.9. 3 nolu noktanın statik modelle hesaplanmış yer değiştirme-yağış ilişkisi

7. İRDELEME

Bu çalışma ile Gümüşhane için heyelan ve yağış ilişkileri analiz edilmesi, Gümüşhane Merkez İmam Hatip Lisesi ve çevresinde meydana gelen deformasyonlar periyodik olarak ölçülmesi, statik yöntemle deformasyonların değerlendirilmesi ve deformasyon analizlerinin yapılmasında;

- ❖ çalışma alanı ile çevresinin zemin yapısını belirlemek ve harekete neden olabilecek etkenlerin belirlenebilmesi için yapılan jeolojik çalışmalar,
- ❖ deformasyon belirlenebilmesi için yapılacak periyodik ölçümlerin periyot aralıklarının belirlenmesi için meteorolojik çalışmalar,
- ❖ meydana gelen hareketin yönü, hızı, büyüklüğünü belirleyebilmek için jeodezik çalışmalar yapılmıştır.

Çalışma yapılacak arazinin zemin durumunu öğrenebilmek, meydana gelen heyelanların sebeplerini irdelemek için son derece önemlidir. Bu sebeple öncelikle çalışma alanının jeolojik durumu hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

İmam Hatip Lisesi'nin Kuzeydoğusunda bulunan alanda daha önceden gerçekleşmiş olan yavaş akma hareketinin, yapılan kazı çalışmalarından etkilenip etkilenmediğinin belirlenmesi amacı ile inceleme alanında belirlenen profilde kazı öncesi ve kazı sonrasında ait duyarlılık analizleri yapılmıştır. Limit denge analizleri sonucunda güvenlik sayısı değerleri kazıdan önce Gs: 2.119, kazıdan sonra Gs: 1.146 olarak belirlenmiştir. Şevler için Gs: 1.5 in üzerindeki güvenlik sayılarının duyarlı olduğu dikkate alındığında, kazı öncesi yamacın duyarlı olduğu, inceleme alanının GB kısmında yapılan kazı çalışmasının şevin duyarlılığını olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır (Karslı; Alemdağ; Dağ, 2011).

Bölgede yavaş akma şeklindeki heyelan tipi dikkate alındığında, hareketlerin jeodezik ağ yöntemi ile belirlenmesine karar verilmiştir. Jeodezik deformasyon ağının tasarlanabilmesi için bölgedeki heyelan sınırlarının güncel durumlarının saptanmasına gerek duyulmuş ve bunun için Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Doç. Dr. Orhan KARSLI ve Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ ile Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ' ın 2011 yılında yapmış olduğu ortak çalışma raporundan faydalanılmıştır. Bu raporun gösterdiği sağlam ve hareketli zemin yapısı dikkate alınarak, heyelan bölgesi ve çevresini kapsayacak biçimde bir jeodezik deformasyon ağı tesis

edilmiştir. Jeodezik deformasyon ağında bulunan hareketli noktaların, heyelan hareketlerinin karakteristiklerini, yönlerini ve büyüklüklerini ortaya çıkarılabilecek ve araziye iyi temsil edebilecek yerlerde tesis edilmelerine dikkat edilmiştir. Böylece yamaç boyunca oluşan heyelanın baş, orta ve topuk kısımlarında tesis edilmiş olan jeodezik ağ noktalarıyla daha uygun hareket yorumlaması yapılabilmektedir.

Çalışma alanındaki deformasyonun ve binada meydana gelen çatlakların sebebi olarak bölgede yapılmış olan kazı çalışmaları ile yer altı suyu değişiminden etkilemesi ve yer altı suyu seviyesi değişiminin de yağışla ilişkili olmasından dolayı meteorolojik çalışmalarla bölgenin yağış rejiminin belirlenmesine karar verilmiştir. Bu bağlamda bölgeye ait 8 yıllık meteorolojik bilgiler (günlük yağış ve günlük sıcaklık) incelenmiş ve grafikleri çizilerek bölgenin fazla ve az yağış aldığı aylar belirlenmiştir. Bu grafikler yorumlanarak, ölçüler yağış öncesi ve yağış sonrası aylarda yapılacak şekilde ölçü periyotlarının zamana göre dağılımına ve ölçü periyot aralığına karar verilmiştir. Ayrıca ölçü periyot zamanlarının uygunluğu, ölçü yapılan yıllardaki meteorolojik bilgilerle denetlenmiştir.

Heyelanı izlemek için tesis edilmiş olan jeodezik deformasyon ağında, belirlenen ölçü zamanlarında 2012 - 2014 yılları arasında üç periyotluk GNSS ölçüleri yapılmıştır. Tüm ölçü periyotlarında uydu sayısı ve DOP dağılımında çok büyük değişiklikler gözlenmemiştir. Her periyotta yapılan GNSS ölçüleri değerlendirilerek bağıl koordinatlar ile varyans - kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak ağ serbest dengelenmiş ve uyuşumsuz ölçüler belirlenmiştir. Her periyottaki ölçülere ve dengelemeye ait istatistik bilgiler tablolarla (Tablo 6 – Tablo 15) verilmiştir. Tablolarda verilen test büyüklüğü (T) ve F-tablo (q) değerleri karşılaştırıldığında tüm periyotlar için model hipotezinin geçerli olduğu yani diğer bir deyişle dengeleme sonucunda hesaplanan nokta koordinatları ile varyans - kovaryans matrislerinin deformasyon analizlerinde veri olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Çalışmada kullandığımız Statik modelle deformasyon analizi için sadece jeodezik ölçülerden elde edilen veriler yeterlidir. Bu çalışmada, statik modelle yapılan deformasyon analizinde ayırma gücü yüksek olan ve hareketli nokta ile hareket büyüklüklerinin kolayca saptandığı θ^2 -Ölçütü yöntemi kullanılmıştır. İlk ölçü periyodu olan Nisan 2012 başlangıcına göre yapılan deformasyon analiz sonuçları Tablo 16 'da verilmiştir. Tablo genel olarak irdelendiğinde, sabit zeminlere tesis edilen 1, 2 ve 3 numaralı noktalarda anlamlı hareketler gözlemlendiği görülebilmektedir. Bu yöntemle 1, 2 ve 3 numaralı

noktalarda x, y ve z yönlerinde sürekli artan bir hareket olduğu saptanmıştır. Yalnız 2 numaralı noktanın y koordinatlarındaki hareketlerin diğer noktaların ters yönünde olduğu gözlenmiştir. 1, 2 ve 3 numaralı noktalarda heyelan morfolojisi ve kayma yüzeylerinin bir takım etkilerinden dolayı, alçalma ve dönme şeklinde hareketler görülmüştür.

Çalışma alanındaki yıllık yağış miktarının ortalama 506 mm olması nedeniyle tüm ölçü periyotlarında yağış ile tüm noktaların x, y ve z eksenleri yönündeki hareketleri arasındaki ilişkiyi birlikte görebilmek için Şekil 6.5 - 6.7 'deki grafikler çizilmiştir. Noktalardaki yağış-yer değiştirme ilişkileri incelendiğinde tüm periyotlardaki nokta hareketlerinin kış ve bahar aylarında yağışla birlikte arttığı ve yaz aylarında ise duraklama gösterdiği şekillerden açık bir biçimde gözlenmektedir. Buradan yağışın heyelan oluşumunda önemli bir etken olduğu sonucu çıkmaktadır.

Ayrı ayrı her noktanın x, y ve z eksenleri yönündeki hareketleri ile yağış arasındaki ilişkileri Şekil 6.7 - 6.9' da verilmiştir. Şekiller ayrıntılı olarak irdelendiğinde heyelan kitlesi üzerinde bulunan hareketli noktaların her birinin etkiyen yüklere karşı farklı geometrik reaksiyonlar verdiği gözlenmektedir.

1 numaralı noktada hareketler sürekli artan biçimde ve $-x$, $-y$, $-z$ yönündedir. 2 numaralı nokta, tüm periyotlarda ve tüm yönlerde en fazla hareket gözlenen noktadır. Hareketler sürekli artan biçimde ve $-x$, $+y$, $-z$ yönündedir. 3 numaralı nokta, sürekli artan biçimde ve $-x$, $-y$, $-z$ yönündedir.

Araştırma yapılan yamacın baş, orta ve topuk kısmında bulunan noktaların statik deformasyon modeli ile hesaplanan hareket parametrelerinden nokta hareketleri ve hızlarına ait grafikler Şekil 6.1 - 6.3'deki gibi çizilerek heyelanın eğim yönündeki davranışları izlenebilmiştir. Bu şekillerden, nokta hareketlerinin yamacın baş kısmından topuk kısmına doğru azaldığı gözlenmektedir.

Tüm noktalara ait grafikler incelendiğinde, nokta hareketlerinin yağışın azaldığı yaz aylarında yavaşladığı, yağışın arttığı kış ve bahar aylarında da arttığı görülmektedir. Bu durum bölgedeki heyelanın oluşumunda, yağışın etkisinin ne kadar fazla olduğunu göstermektedir.

Araştırma sonuçları, deformasyona neden olan etkilerin belirlenebilmesi için periyodik olarak ölçümler yapılması ve bu ölçümlerin periyodik yapılması sebebiyle zamana bağlı olması statik yöntemle deformasyon analizinin tercih edilmesini mantıklı kılmıştır. Sonuç olarak hareketin belirlenebilmesi için sadece jeodezik yöntemlerle elde edilen sonuçların yeterli olduğu statik modelle deformasyon analizi yapmak ve bunu

harekete neden olabilecek doğal ve çevresel etkenleri de içine alan bir araştırma ile desteklemek, hareketlerin yorumlanmasında daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıkardığı söylenebilir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmaya ait heyelan verileri ve jeolojik etüt raporları Gümüşhane İl Afet Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Gümüşhane'de meydana gelen heyelanlar incelenmiş ve bu heyelanların yağış, sıcaklık verileri ile olan ilişkileri analiz edilmiştir. Çalışmada yağış ve sıcaklık verileri analiz edilmiş, il genelinde ve ilçeler bazında yağış ile heyelan oluşumu irdelenmiştir. Ayrıca yoğun yağış kaydedilen zaman dilimlerine göre de analizler yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre, bölgedeki heyelanların oluşmasındaki en önemli parametrelerden birinin yağış olduğu tespit edilmiştir. Nitekim heyelan raporlarında da heyelanların büyük bir bölümünün yağış sonucu meydana geldiği görülmüştür. Heyelan etüt raporlarına göre (1961–2013) 150 heyelan olmuş bunun sonucunda 109 köy 1318 konut etkilenmiştir.

Ülkemiz doğal afetlerin sık görüldüğü coğrafyalardan biridir. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yamaç eğimlerinin fazla olması, yıllık yağış seviyesi bakımından en fazla yağış alan bölge olması ve yer altı suları gibi doğal etkenlerin yanında çevresel etkenlerin de yer yüzeyini olumsuz yönde etkilemesi, beraberinde heyelanları da getirmektedir. Heyelan belirleme ve veri toplama çalışmalarında Jeodezik yöntemler kullanılması, meydana gelen olayların modellenebilmesine olanak sağladığı gibi heyelanların yönü, büyüklüğü ve hızı hakkında da yorum yapılabilmesine yardımcı olmaktadır. Jeodezik yöntemlerle deformasyon ve deformasyona ait parametreler elde edilebildiği gibi deformasyona neden olan etkenlerde irdelenebilmektedir. Jeodezik yöntemlerle elde edilen veriler jeolojik ve jeofizik çalışmalarla birlikte yorumlandığı takdirde daha gerçekçi ve kapsamlı sonuçlar elde edilebilecektir.

Deformasyonlar belirlenirken kullanılacak deformasyon modelinin uygulanacak alana uyumlu olması, meydana gelen deformasyonu daha doğruluklu temsil edebilmemize olanak sağlayacaktır. Bu nedenle jeodezik yöntemler kullanılarak yapılacak deformasyon analizinde uygun model kullanımı son derece önemlidir.

Heyelan meydana gelen alanda deformasyonun seyri ve şiddetini izleyebilmek için statik deformasyon modeli kullanılmış ve bu modelden deformasyona ait öncül bilgiler elde edilmiştir. Bu bağlamda araştırmada, jeodezik, jeolojik, jeofizik ve meteorolojik veriler kullanılmıştır. Yapılan araştırmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

❖ Heyelan araştırması yapılacak bölge olan Gümüşhane Merkez Çamlıca Mahallesi İmam Hatip Lisesi'nde, heyelan hareketlerinin baş orta ve topuk kısımlarının belirlenebilmesi için mutlaka jeolojik çalışmalar yapılarak deformasyona neden olan, heyelanı tetikleyen dış kuvvetlerin ve heyelan sınırlarının güncel durumlarının belirlenmesinin gerekli olduğu görülmüştür.

❖ Gümüşhane Üniversitesi ve Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Jeoloji Anabilim Dalı öğretim üyeleri İmam Hatip Lisesi'nin Kuzeydoğusunda bulunan alanda daha önceden gerçekleşmiş olan yavaş akma hareketinin, yapılan kazı çalışmalarından etkilenip etkilenmediğinin belirlenmesi amacı çalışma yapmışlardır. Bu çalışma ile inceleme alanında belirlenen profilde (A-A') kazı öncesi ve kazı sonrasında ait duyarlılık analizleri yapılmıştır. Limit denge analizleri sonucunda güvenlik sayısı değerleri kazıdan önce Gs: 2.119, kazıdan sonra Gs: 1.146 olarak belirlenmiştir. Şevler için Gs: 1.5 in üzerindeki güvenlik sayılarının duyarlı olduğu dikkate alındığında, kazı öncesi yamacın duyarlı olduğu, inceleme alanının GB kısmında yapılan kazı çalışmasının şevin duyarlılığını olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

❖ Heyelanın belirlenebilmesi için 3 noktada yaklaşık olarak 2 yıl ara ile 2 kampanya GNSS ölçümü gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümlerin değerlendirilmesi aşamasında tüm baz ölçümleri Tau uyumsuz ölçüler testine tabi tutulmuştur. Bölgedeki heyelanları tetikleyen ve yer altı suyu değişimlerini en fazla etkileyen yağış rejiminin belirlenebilmesi için meteorolojik veriler temin edilmiştir. Ölçü periyotlarına, meteorolojik verilere göre yağış öncesi ve yağış sonrası zamanlar olacak biçimde karar verilmiştir.

❖ Deformasyon belirlemek amacıyla tesis edilmiş jeodezik ağda, Nisan 2012 ve Ocak 2014 olmak üzere 2 periyotluk GNSS ölçüsü yapılmıştır. 2012 yılı Nisan ayı referans zamanı (t_0 zamanı) olarak alınmıştır. Bu periyottaki ölçüler serbest ağ yöntemiyle dengelenmiş ve uyumsuz ölçüler irdelenmesi yapılmış. Nisan 2012 periyodunda hesaplanan dengeli koordinatlar diğer periyotlarda yaklaşık koordinatlar olarak kullanılmıştır. Tüm periyotlarda uyumsuz ölçüler irdelenmesi yapıp ağ, uyumlu ölçülerle her üç periyot için ayrı ayrı serbest ağ yöntemiyle dengelenmiştir. Gerçekleştirilen Ölçü periyotlarına ait serbest ağ dengelemesi sonuçları hesaplanmıştır. Dengeleme sonucunda elde edilen dengeli koordinatlar, koordinatların ters ağırlık matrisleri ve birim ölçülerin ortalama hataları, statik deformasyon modelinde veri olarak kullanılmıştır.

❖ Her üç periyottan elde edilen dengelenmiş Kartezyen koordinatlar tablo 9, tablo 12 ve tablo 15'te gösterilmiştir. Tüm periyotlardan elde edilen dengelenmiş koordinatlar ile ters ağırlık matrisleri (Q_{xx}) kullanılarak uygulanan θ^2 -Ölçütü Statik deformasyon analizi sonucunda tüm noktalardaki deformasyonlar belirlenmiştir.

❖ Yapılan 2 periyot ölçüm sonucunda en anlamlı deformasyon 1. ve 2. periyotlar arasında gözlemlenmiştir. Bu nedenle 1. ve 2. periyot ölçüleri dengeleme sonuçları kullanılarak Statik deformasyon modeli ile deformasyon analizi yapılmış ve Tablo 16 'da gösterilen değerler elde edilmiştir.

❖ Bu değerlere göre p1, p2, p3 hareketli noktalarında, x, y ve z yönünde hareketler gözlemlenmiştir. Bu hareketler; x yönünde, p1 için -1.62 cm, p2 -2.81 cm, p3 -0.04 cm olarak tespit edilmiştir. Y yönünde, p1 -0.84 cm, p2 1.53 cm ve p3 -2.53 cm olarak tespit edilmiştir. Z yönünde ise p1 -1.45 cm iken p2 -3.53 cm ve p3 -2.66 cm olarak tespit edilmiştir.

❖ Çalışma alanında tesis edilen bu noktalardaki hareketlerin yönü, yapılan jeolojik çalışmadaki hareketlenmeyi destekler nitelikte olmuştur.

Bu çalışmada, doğal bir afet olan heyelanın belirlenmesinde ve gerekli tedbirlerin zamanında alınabilmesinde farklı disiplinlerin birlikte çalışmasının çok yararlı olduğu sonucu da ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak, statik deformasyon modeliyle heyelanların belirlenmesinde aşağıdaki adımların uygulanması önerilebilir:

➤ Can ve mal kaybına neden olan ve sonuçları hayati önem taşıyan heyelanların miktarı ve heyelanlara neden olan etkenlerin belirlenmesi çalışmalarında hareketler, statik deformasyon modeliyle belirlenebilir.

➤ Arazide jeolojik ve jeofizik araştırmalar yapılarak oluşan heyelanın tipi, güncel durumu ve nedenleri belirlenmelidir.

➤ Heyelanın tipi ve en önemli nedenlerine göre ölçme yöntemleri belirlenmelidir.

➤ Bölgenin meteorolojik verilerine göre ölçme periyot zamanları saptanmalıdır.

➤ Hareketin yönü, büyüklüğü ve harekete neden olan etkenler statik deformasyon modeli kullanılarak belirlenmelidir.

➤ Dünya'da ve Ülkemizde en çok can ve mal kayıplarının yaşandığı doğal afetlerin başında gelen heyelanların etkilerinin minimize edilebilmesi için, bu konuda

yapılan araştırmalara daha çok önem verilmelidir. Böylece yapılacak olan araştırma ve çalışmalarla daha mantıklı ve sağlıklı sonuçlar elde edilebilecek, yaşanan kayıpların önüne geçilebilecektir.

9. KAYNAKLAR

- Acar, M., 2009. Heyelanların İzlenmesinde Esnek Hesaplama Yöntemleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 162s.
- Aksoy, A., 1984, Uyuşumsuz Ölçüler Testi, Harita Dergisi, 93, 15-24.
- Aktuğ, B., Sezer, S., Özdemir, S., Lenk, O. ve Kılıçoğlu, A., 2011. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı Güncel Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması (Computation of the Actual Coordinates and Velocities of Turkish National Fundamental GPS Network), Harita Dergisi, 145, 2011, 1-14.
- Atasoy, V., 1984, Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 132s.
- Atasoy, V., 1988, Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Yer Kabuğu Hareketlerinin İrdelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 98s.
- Atasoy, V., Konak, H., Öztürk, E., 2001, Maden Sahalarında Kurulan Deformasyon Ağlarının İzlenmesi, 8. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 44s.
- Ayan, T., 1982, Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış, İ.T.Ü. Dergisi, 40, 21-25.
- Ayan T, Çelik, R.N. (1989) Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde Genç Kuşak Sorunları, Türkiye II. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 6-10 Şubat 1989, Ankara, 27.
- Ayan, T., 1992, Uyuşumsuz Ölçüler Testi, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 72, 38-46.
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., 1993, Heyelan Hareketlerinin İzlenmesi İçin Bir Jeodezik Uygulama, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 75, 55-68.

- Bayrak, T., 2003, Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon Ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 195s.
- Brunner, F. K., 1997, Continuous Monitoring of Deformation Using The Global Positioning System, AvH Magazine, 69, 29-38.
- Chang, C.C., 2000, Estimation of Local Subsidence Using GPS and Leveling Data, Surveying and Land Information Systems, 60, 85-94.
- Demirel, H., 1987, Nirengi Ağlarının Dengelenmesi ve Sonuçlarının Test Edilmesi, Harita Dergisi, Sayı 98, 22-33.
- Demirel, H., 1997, Jeodezik Verilerin Analizi, Y.T.Ü., F.B.E., Ders Notları, İstanbul.
- Dercourt, J., 2000, Apport du GPS au Suivi en Continu des Mouvements de Terrain: Application au Glissement-Coulee de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France), Earth and Planetary Sciences, 331, 175-182.
- Dilaver, A., 1996, Jeodezik Ağlarda Kaba Hatalı Ölçülerin Ayıklanması ve Güven Ölçütleri, K.T.Ü. M.M.F. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Raporları, Fakülte Yayın No: 2.
- Ding, X., Chen, Y., Huang, D., Zhu, J., Tsakiri, M., Srewart, M., 2000, Slope Monitoring Using GPS: A Multi-antenna Approach, GPS World, 52-55.
- Dupraz, H., Niemeier, W., Pelzer, H., 1979, Analyse von Deformationsmessungen durch Klaffungszerlegung, Deformationsanalysen, Heft 4, Hannover.
- Duygu, F., Deformasyon ve Ölçme Yöntemleri, 2012, Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü. Aksaray, 96s.
- Eren, K., Uzel, T., 1995, GPS Ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No: 301, İstanbul.

- Ersoy, N., 1997, GPS Sistemi İle Şehir Nirengi Ağlarının Analizi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 83, 6-27.
- French, G. T., 1996, An Introduction to the Global Positioning System, GeoResearch, Inc., ISBN: 0-9655723-0-7.
- Fukuoka, H., Tamari, Y., Furuya, G., Fujikawa, H., 2001, Application of Real Time GPS to Landslide Monitoring, ISSMGE ATC-9 Proceedings of Field Workshop on Landslides and Natural/Cultural Heritages in Turkey, Trabzon, Turkey.
- Gili, J. A., Corominas, J., Rius, J., 2000, Using Global Positioning System Techniques in Landslide Monitoring, Engineering Geology, 55, 167-192.
- Gökalp, E., 1994, GPS İle Deformasyon İzleme Amaçlı Yöntem Geliştirme, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 123s.
- Gökalp, E., Karaali, C., 1994, An Overview of the Physical Interpretation of Deformation Measurements, 1st International Symposium on Deformations, Istanbul, Proc, 234-241.
- Gökalp, E., 1995, GPS Ölçü Süresini Kısaltma Amaçlı Yöntem Geliştirme, Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Bilimsel Kongreleri, Ankara, Bildiriler Kitabı, Cilt II, 403-415.
- Gründig, L. V., Nevreither, M., Bahndorf, J., 1985, Deformationanalyse und S-Transformation, ZFV, Heft 4, 151-160.
- Gülal, E., 1999/1, Kalman Filtreleme Tekniğinin Deformasyon Analizinde Uygulanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 1, 11-25
- Gülal, E., 1999/2, Deformasyon Ölçülerinin Analizinde Dinamik Modelleme, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 2, 9-22.
- Güllü, M., 1998, GPS ve Yersel Gözlemlerin Birlikte Dengelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 128s.

- Hekimoğlu, Ş., (1993), Jeodezik Dik Koordinatlardan Eğri koordinatlara dönüşüm, Harita Dergisi, 36.
- Heunecke, O., 1995, Zur Identifikation und Verifikation von Deformationsprozessen mittels adaptiver KALMAN-Filterung, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr.208.
- Heunecke, O., Pelzer, H., 1998, A New Terminology for Deformation Analysis Models Based on System Theory, IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering in Eisenstadt, 20-22.
- Hofmann, W. B., Lichtenegger, H., Collins, J., 1992, Global Positioning System: Theory and Practice, Springer-Verlag Wien New York, ISBN 3-211-82364-6.
- İlgar, A., 2011. Marmara Bölgesi'nde Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Bağıl Gravite ve GPS Ölçüleri ile Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 110s.
- Kahveci, M., 2009. Gerçek Zamanlı Sabit GNSS(CORS) Ağları: Tanımı ve Temel Esaslar, 4. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Trabzon, 341-364.
- Kara, H. H., 1998, İteratif Uyuşumsuz Ölçü Belirleme Yöntemleri ve Kararlı Yapıdaki Jeodezik Ağlarda Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karaali, C., Gökalp, E., 1994, GPS Gözlemleri, K.T.Ü. M.M.F. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Raporları, Fakülte Yayın No: 2.
- Karslı, O., Alemdağ, S., Dağ, S., İmam Hatip Lisesi (Gümüşhane) ve Çevresindeki Heyelan Riskinin Değerlendirilmesine ait Jeolojik-Jeoteknik Raporu, 2011 128s.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, Ankara, No: 66, 20-34.

- Kılıçoğlu, A., 2011. GNSS ile Ölçme Tekniğinin Kadastro ve İmar Çalışmalarında Kullanılması, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- Kıranlıoğlu, Y., 2006. GPS Yöntemi ile Deformasyonların Tespitinde Gerinimlerin Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Gebze İleri Teknoloji Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze 90s.
- Konak, H., 1994, Yüzey Ağlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 125s.
- Krauter, E., 1988, Applicability and Usefulness of Field Measurements on Unstable Slopes, 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Proc., Vol. 1, 367-373.
- Kuang, S., 1996, Geodetic Network Analysis and Optimal Design, Ann Arbor Press, Inc., ISBN 1-57504-044-1.
- Kuhllman, H., Pelzer, H., 1997, Models of Deformation Analysis, Second International Symposium "Turkish-German Joint Geodetic Days", Berlin, Proceedings, 21-30.
- Kurt, O., 1996, GPS Ölçülerinin Değerlendirildiği Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 88s.
- Lepadatu, A., (2011). GNSS Technology For Structural Health Monitoring, Aralık.
- 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.
- 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, Number 1, 115-121.
- Meng, X., (2002). Real-Time Deformation Monitoring of Bridge Using GPS/Accelerometers, Doktora Tezi, The University of Nottingham, Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy, Nottingham.
- 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.
- Mikkelsen, P.E., 1996, Field Instrumentation. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides Investigation and Mitigation, TRB Special Report 247. National Academy Press, pp.278-316, Chapter 11, Washington, DC.
- 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.
- Niemeier, W., 1992, Potential of the Global Positioning System (GPS) for Local Deformation Studies, 6th FIG Symposium on Deformation Measurements, Hannover, Germany.
- Okay, A., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., Sérane, M. (Eds.), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications 156, pp. 475–515.
- Öztürk, E., 1987, Jeodezik ağılarda duyarlık ve Güven Ölçütleri, Türkiye I. Harita ve Teknik Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 641-699.
- Öztürk, E., Şerbetçi, M., 1992, Dengeleme Hesabı, K.T.Ü. Basımevi, Cilt III, Trabzon.
- Öztürk, S., Bayrak, T., Maltaş, A., 2010. Gümüşhane İlindeki Barajların Tetiklemiş Olduğu Depremler Üzerine Bir Değerlendirme. 405-413.

- Pehlivan, H., (2009). Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Yöntemiyle Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 180s.
- Pelzer, H., 1971, Zur Analyse Geodetischer Deformationsmessungen, DGK, R.C., Nr.164, München.
- Pelzer, H., 1985, Statische, Kinematische und Dynamische Punktfelder, in: Geodatische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung II, PELZER, H., Stuttgart.
- Pelzer, H., 1988, Ingenieurvermessung, Deformationsmessungen Massenberechnung, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart.
- Pelzer, H., 1993, Kinematische und Dynamische Fragestellungen der Ingenieurgeodasie, VR 8.
- Ren, D., Ding, X., 1996, Dynamic Deformation Analysis of Open Pit Slopes, Proocedings of FIG 8th International Symposium on Deformation Measurements, Hong Kong, Proceedings.
- Rocscience, 2003. Slide v5.0, 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Şimşek, M., 1992, Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi, Harita Dergisi, 108, 18-33.
- Şimşek, M., Demirel, H., 1997, Ağ Sıklaştırmada Modern Teknikler, 6. Harita Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 239-255.
- Tanır, E., 2000, Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 104s.
- Tiberius, C. C. J. M., 1999, The GPS Data Weight Matrix: What are The Issues?, National Technical Meeting and 19th Biennal Guidance Test Symposium, Canada, ION, 219-227.

- Wells, D., 1987, Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Association, ISBN 0-920-114-73-3.
- Welsch, W., 1996, Geodetic Analysis of Dynamic Processes: Classification and Terminology, The 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hong Kong, 147-156.
- Wolf P.R. and Ghilani C.D., 1996. Adjustment Computations, John Wiley & Sons, Inc., New York, 33.
- Wolf, P. R., Ghilani, C. D., 1997, Ghilani: Adjustment Computation : Statistics and Least Squares in Surveying and GIS, John Wiley and Sons, Inc., ISBN 0-471-16833-5.
- Wuhan, V. L., G., 1978, On the Separability of Deformation Models, Zeitschrift für Vermessungswesen, 11, 555-563.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 1988, Düşey Yöndeki Yer Kabuğu Hareketlerinin Duyarlıklı Nivelman Ölçüleri İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 116s.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 1994, Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 120s.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 1996/2, Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 80, 73-84.
- Yalçinkaya (Ünver), M., Tanır, E., 2000, Determination of Movements on Mining Areas by Static Deformation Models, 11th International Congress of the International Society for Mine Surveying”, Cracow Poland, Proceedings, 331-344.
- Yaşayan, R. Y., 1994, Bütünleşik Ağların Dengelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 87s.

Yıldırım, Ö., 2011. Bakıcı, S. ve Mekik, Ç., Tusaga-Aktif Sisteminin Tapu ve Kadastro Genel müdürlüğüne Katkıları, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

Yıldız, H., 2012. Yükseklik Modernizasyonu Yaklaşımı: Türkiye İçin Bir İnceleme (Height Modernization Approach: An Evaluation For Turkey), Harita Dergisi, 147, 1-12.

URL-1 <http://galeri.haberturk.com/gundem/galeri/420572-heyelen-yolu-kapatti/1/4>. 08 Aralık 2012.

URL-2 <http://www.haberler.com/gumushane-deki-heyelan-5174440-haberi/> 11 Ekim 2013.

ÖZGEÇMİŞ

27.09.1987 tarihinde Trabzon’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Fatih İlk Öğretim Okulu, Lise öğrenimini ise Yunus Emre Lisesinde 2004 yılında tamamladıktan sonra 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü’ nü kazandı. 2010 yılında başarılı bir şekilde bölümden mezun oldu. 2010 yılı sonunda askerlik görevini tamamladı. 2011 yılında Şanlıurfa Tarım Reformu Bölge Müdürlüğü’ ne atandı ve aynı zamanda Gümüşhane Üniversitesi Harita Anabilim Dalı’ nda yüksek lisansa başladı. 2011 yılı sonlarında Gümüşhane İl Özel İdaresine tekrar atandı. 2013 yılında evlendi. 2014 yılı başlarında naklen atama ile Trabzon Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığına geçiş yaptı. Halen bu kurumda görev yapmakta ve yüksek lisans eğitimine Gümüşhane Üniversitesi’nde devam etmektedir.