

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HEYELAN HIZ ALANLARININ ANLIK TUSAGA-AKTİF ÖLÇÜLERİYLE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Neşat BAŞOĞLU

MAYIS 2014

GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HEYELAN HIZ ALANLARININ ANLIK TUSAGA-AKTİF ÖLÇÜLERİYLE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Neşat BAŞOĞLU

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

“Harita Mühendisliği Anabilim Dalı”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.05.2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 14.05.2014

MAYIS 2014




KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Temel BAYRAK danışmanlığında Neşat BAŞOĞLU tarafından hazırlanan “HEYELAN HIZ ALANLARININ ANLIK TUSAGA-AKTİF ÖLÇÜLERİYLE BELİRLENMESİ” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.


Başkan

: 
(Yrd. Doç. Dr. Yusuf AŞIK)


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

HEYELAN HIZ ALANLARININ ANLIK TUSAGA-AKTİF ÖLÇÜLERİYLE BELİRLENMESİ

Neşat BAŞOĞLU

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Temel BAYRAK
2014, 95 sayfa

Heyelanların sebep olduğu maddi ve manevi kayıplara bakıldığında, heyelanların izlenmesi ve araştırmalar yapılması gereken önemli bir doğa olayı olduğu ortaya çıkar. Kayıpları en aza indirmek ve bu doğa olayıyla mücadele edilebilmek için heyelanların periyodik olarak izlenmesi gerekmektedir. Deformasyon ölçümleri bu hareketlerin hızına bağlı olarak belirli periyot aralıklarında yapılmalıdır. Gerçekleştirilen ölçümler neticesinde deformasyon analizleri yapılabilenkte objelerin değişimleri belirlenebilmekte ve objeler üzerinde karar verilebilmektedir.

Bu çalışmada, Trabzon ili Çağlayan beldesi Kutlugün (Hacımehmet) bölgesindeki heyelanı kapsayacak şekilde araziye tesis edilen 35 ayrı noktada TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Aktif Ağı) ile 3 periyot (Ağu.2012–Kas.2012–Şub.2013)

da gerçekleştirilen GPS ölçülerinden yararlanılarak; meydana gelen deformasyonların hem statik hem de kinematik deformasyon analizleri yapılmış ve elde edilen veriler irdelenmiştir. Bu veriler, statik ve kinematik deformasyon modellerinde kullanılmıştır. Kinematik tek nokta modeliyle noktaların hareketleri, hareketlerin hızları ve ivmeleri belirlenmiştir. Modelin özümünde Kalman-Filtreleme tekniği kullanılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda noktalara ait yatay ve dişey konum değişimleri ve hareket parametreleri hesaplanmıştır. Heyelanın güncel durumu, mekanizması ve ileriye yönelik önlemler alınması hakkında yorumlar yapılmıştır. Noktaların, kayma yönleri, kayma miktarları ve hızları belirlenmiş, bu gelişmelere bağlı olarak da, heyelanın davranışları analiz edilmiştir.

TUSAGA-Aktif sisteminin, deformasyon izlemede kullanılabilirliğinin ve istenilen hassasiyete ulaşılıp ulaşılamayacağı soruları yanıtlanmaya çalışılmıştır. TUSAG-Aktif sisteminin küçük çaplı, lokal heyelanlarda; zaman ve maliyet açısından kullanılabilirliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon, Heyelan, Kinematik Model, Statik Model, TUSAGA-Aktif.

ABSTRACT

MS THESIS

**DETERMINATION OF LANDSLIDE VELOCITY FIELD BY MEANS OF
INSTANT TUSAGA-ACTIVE MEASUREMENTS**

Neşat BAŞOĞLU

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Temel BAYRAK

2014, 95 pages

In view of moral and material losses caused by landslides, landslide monitoring and research needs to be done ensue an important natural event. In order to minimization of losses and cope with these natural events crustal movements should be monitored periodically. Deformation measurements can be made periodically, depending on the speed of these movements. As a result of the measurements performed deformation analysis can be made, changes of objects can be determined and can be decided about objects.

In the study, 35 different points covers landslides in Kutlugün(Hacımehmet) village in Çağlayan in the province of Trabzon TUSAGA-Active and benefiting from GPS measurements performed in 3 periods (Aug.2012, Nov.2012, Feb.2013). Static and kinematic deformation analysis of occurring deformations were made. Obtained data are

analyzed. These data were used in static deformation model and kinematic model of single point. The movement of points, the movements of speeds and accelerations were determined by kinematic model of single point. Kalman-Filtering technique is used in the solution of the model.

As a result of analysis are determined horizontal and vertical position variations and velocity vectors. Some comments have been made about current status and mechanism of landslide's and taking measure rewardingly. Direction, amount and speed of floating point are determined. And according to this, behavior of the landslide is analyzed.

Deformation monitoring availability of TUSAGA-Active systems were investigated and has tried to answer the question whether or not achieved desired sensibility. Usability of TUSAGA-Active system in terms of time and cost is highlighted in small scale and locally landslides.

Keywords: Deformation, Landslides, Kinematic Model, Static Model, TUSAGA-Active.

TEŞEKKÜR

Heyelan hız alanlarının Anlık TUSAGA-Aktif ölçüleriyle belirlenmesini konu alan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca yardım eden, yol gösteren saygıdeğer hocam Doç. Dr. Temel BAYRAK' a teşekkür ederim. Arazide yapılan çalışmalarında bana yardımcı olan, Adem ÖZTÜRK, Barış DUYAR, Erdem KAZANCI, Eyüp KARPUZ, Mustafa SARI, Oğuz Kaan ÖZTÜRK ve Serkan AKBAŞ'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca yanımda olan anneme, babama ve kardeşlerime çok teşekkür ederim.

Neşat BAŞOĞLU
Gümüşhane, 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. HEYELAN	4
2.1. Heyelan Tipleri	5
2.2. Heyelan Oluşma Nedeneri	6
2.3. Heyelanların İzlenmesi	7
3. GNSS	9
3.1. Dgnss...	10
3.2. Rtk	12
3.3 Ağ-Rtk	13
3.3.1. Ağ-Rtk Avantajarı	14
3.4. TUSAGA-Aktif(Cors-Tr).....	15
3.5. Tusaga Aktif ile Deformasyon İzleme.....	17
3.6. Deformasyon Modelleri	21
3.6.1. Statik Deformasyon Modeli	21
3.6.2. Kinematik Deformasyon Modeli	26

3.6.2.1.	Kinematik Tek Nokta Modeli	26
3.6.2.1.1.	Kalman Filtreleme Tekniği	26
3.6.2.1.2.	Kalman Filtreleme Tekniğinin Global Testi	34
3.6.2.1.3.	Hareket Parametrelerinin Anlamlık Tesiti	35
3.6.2.1.4.	Kalman-Filtreleme Tekniğinde Başlangıç Periyodunda Yapılacak İşlemler	36
4.	TRABZON-KUTLUGÜN(HACİMEHMET) HEYELANI	41
4.1.	Çalışma Alanı	41
4.2.	Jeoleojik Yapı	45
4.2.1.	Yerel Jeoloji	47
4.2.2.	Mevcut Durum	50
4.2.3.	Heyelan Oluşma Nedenleri	52
4.3.	Meteorolojik Çalışmalar	53
4.4.	Jeodezik Çalışmalar	54
4.4.1.	Ön Çalışmalar	54
4.4.2.	TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Gerçekleştirilmesi ve Dengelenmesi	56
4.5.	Deformasyon Analizi	63
4.5.1.	Statik Deformasyon Modeli ile Deformasyon Analizi	63
4.5.2.	Kinematik Deformasyon Modeli ile Deformasyon Analizi	71
5.	SONUÇLAR.....	87
6.	KAYNAKLAR	91
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Heyelan türleri	6
Şekil 3.1. DGNSS çalışma prensibi	11
Şekil 3.2 Gerçek zamanlı kinematik ölçme (RTK)	12
Şekil 3.3 Ağ-RTK çalışma prensibi	14
Şekil 3.4. TUSAGA – Aktif kullanım tasarımı	16
Şekil 3.5 TUSAGA-Aktif sisteminin bileşenleri	16
Şekil 3.6. TUSAGA – Aktif kullanıcılarının görüntülenmesi	20
Şekil 3.7. Deformasyon modelleri	21
Şekil 3.8. Kalman-Filtreleme Tekniğinin Akış Şeması	33
Şekil 4.1. Çalışma alanının yer buldur haritası	41
Şekil 4.2. Heyelan bölgesi ve yakın çevresinin uydu	42
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan pilyelerden birinin görünümü	42
Şekil 4.4. Çalışma alanına ait resimler	43
Şekil 4.5. İçme suyu isale hattı	43
Şekil 4.6. Mevcut karayolu ve heyelan topuk bölgesi	44
Şekil 4.7. Oluşan afet nedeniyle boşaltılan konutlar	44
Şekil 4.8. Heyelan bölgesi ve yakın çevresinin jeolojik haritası	45
Şekil 4.9. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik kolon kesiti	46
Şekil 4.10. Bölgenin jeolojik yapısı	47
Şekil 4.11. Mevcut yol platformunda gözlenen deformasyonlar	48
Şekil 4.12. Hacımehmet heyelanı karşıdan görünüş	51
Şekil 4.13. Aylara ait yağış grafiği	53

Şekil 4.14.	Aylara ait sıcaklık grafiği	54
Şekil 4.15.	Çalışma alanının uydu fotoğrafı	55
Şekil 4.16.	Çalışma alanının 25000 lik paftası	55
Şekil 4.17.	Çalışma alanının halihazır durumu	56
Şekil 4.18.	Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş x ve y yönündeki hareketi	67
Şekil 4.19.	Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların z yönünde ve Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların x yönünde statik modelle belirlenmiş hareketi	68
Şekil 4.20.	Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş y ve z yönündeki hareketi	69
Şekil 4.21.	Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş x, y ve z yönündeki yer değiştirmeleri	70
Şekil 4.22.	Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların Kinematik modelle belirlenmiş x ve y yönündeki hareketi	75
Şekil 4.23.	Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların z yönünde ve Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların x yönünde Kinematik modelle belirlenmiş hareketi	76
Şekil 4.24.	Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların y ve z yönünde Kinematik modelle belirlenmiş hareketi	77
Şekil 4.25.	Noktaların Ağustos2012-Kasım2012 periyodunda Kinematik modelle belirlenmiş x,y,z yönündeki hareket hızları	78
Şekil 4.26.	Noktaların Ağustos2012-Şubat2013 periyodunda x,y,z yönündeki hareket hızları	79
Şekil 4.27.	Noktaların Ağustos2012-Şubat2013 periyodunda x,y,z yönündeki hareket ivmeleri	80
Şekil 4.28.	Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların Kinematik modelle belirlenmiş x, y ve z yönündeki yer değiştirmeleri	81
Şekil 4.29.	Kas.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların Kinematik modelle belirlenmiş x, y ve z yönündeki yer değiştirmeleri	82
Şekil 4.30.	Ağu.2012-Kas.2012-Şub.2013 periyodlarında noktaların Kinematik modelle belirlenmiş x, y ve z yönündeki hareket hızları	83

Şekil 4.31.	Kas.2012-Şub.2013 periyodlarında noktaların Kinematik modelle belirlenmiş y ve z yönündeki hareket hızları	84
Şekil 4.32.	Düşey değişim kesitlerinin alındığı eksenler	84
Şekil 4.33.	Noktaların Ağustos2012-Kasım2012, Kasım2012-Şubat2013 periyodların da kesitlere göre düşey değişimleri	85
Şekil 4.34.	Bazı Noktalara ait Ağustos2012-Şubat2013 periyodunda Kinematik modelle belirlenmiş Yatay Hız haritası	85
Şekil 4.35.	Bazı Noktala ait Ağustos2012-Şubat2013 periyodunda Kinematik modelle belirlenmiş Düşey Hız haritası	86
Şekil 5.1.	Karayolları 10. Bölge müdürlüğünce heyelan bölgesinde yapılan çalışmalar	89
Şekil 5.2.	Karayolları 10. Bölge müdürlüğünce heyelan bölgesinde yapılan çalışmalar	89

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Heyelanların Sınıflaması	5
Tablo 2.2 Heyelan hareketlerinin ölçülmesinde kullanılan temel yöntemler ve doğrulukları	8
Tablo 3.1 GnsS konum belirleme yöntemleri	10
Tablo 3.2. Yaygın İzleme Metotları ve Aletlerin Karşılaştırılması	18
Tablo 3.3. Statik Deformasyon Analizi İş Akış Şeması	25
Tablo 4.1. 1 nolu noktanın 1. Periyot 10 epok ölçüleri	56
Tablo 4.2. 1 nolu noktanın 1., 2. ve 3. periyotlara ait dengelenmiş koordinatları	63
Tablo 4.3. Noktaların Ağu.2012-Kas.2012 periyodundaki statik deformasyon analizi sonuçları	65
Tablo 4.4. Noktaların Ağu.2012-Şub.2013 periyodundaki statik deformasyon analizi sonuçları	66
Tablo 4.5. Noktaların Ağu.2012-Kas.2012 periyodundaki Kinematik deformasyon analizi sonuçları	72
Tablo 4.6. Noktaların Ağu.2012-Şub.2013 periyodundaki Kinematik deformasyon analizi sonuçları	73
Tablo 4.7. Noktaların Ağustos2012-Şubat2013 periyodundaki (İvme) Kinematik deformasyon analizi sonuçları	74

SEMBOLLER ve KISALTMALAR

DGPS	: Diferansiyel GPS
GNSS	: Küresel navigasyon uydu sistemleri
GPS	: Global konum belirleme sistemi
RTK	: Gerçek zamanlı kinematik ölçü
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
WGS84	: World Geodetic System 1984
K_{FF}	: Bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları
S_0	: Birim ölçünün ortalama hatasının öncül değeri
Q	: Tablo değeri
m_0	: Birim ölçünün ortalama hatasının soncul değeri
n	: Gözlem sayısı
u	: Bilinmeyen sayısı
Q_{II}	: Ölçülerin ters ağırlık matrisi
T	: Test değeri
$v^T p v$: Düzeltmelerin kareleri toplamı
X_k, Y_k, Z_k	: Dengelenmiş koordinatlar
ΔX	: Bağlı konum koordinatları
$\overline{\Delta X}$: Dengeli Ölçüler
v_{Δ}	: Düzeltmeler
$(-\ell_{\Delta})$: Ötelenmiş gözlemler.
dx, dy, dz	: X, Y, Z yönündeki yer değiştirme
mX_k, mY_k, mZ_k	: Denlenmiş koordinatların karesel ortalama hatası
(p)	: Gözlenen periyot numaraları

1.GİRİŞ

Yer kabuğu hareketlerinde ve mühendislik yapılarında zamanla oluşabilecek deformasyonları izlemek üzere birçok jeodezik yöntem kullanılır. Bu yöntemlerde jeodezik ölçüler, obje ve çevresi kontrol noktaları ile kaplı ve belirli periyotlarda olmak üzere, klasik ölçme yöntemleriyle veya GPS ile ölçüleri ile gerçekleştirilir. Bu noktaların hareketleri objede oluşan hareketi ortaya çıkarır. Klasik yaklaşımda sadece objenin geometrisi ortaya konmaktadır. Bu noktalar belirli zaman aralıklarında ölçülür ve nokta hareketlerinden objenin yer değiştirdiği ortaya çıkar (Erol, 1999).

Deformasyon analizi jeodezinin en önemli dallarından birisidir. Sürekli değişim halinde olan yerkabuğu hareketleri ve mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi, toprak kaymaları, madencilik kazıları vb. çalışmalarda jeodezik kontrol ağları oluşturulur. Ayrıca, bu ağlarda periyodik olarak ölçümler yapılmaktadır. Jeodezik kontrol ölçmelerinin esas amacı, objelerin yer değiştirme büyüklüklerini bulmak ve obje deformasyonlarını elde etmektir. Deformasyon çeşitli modellere göre değerlendirilir; bunlar statik model, dinamik model ve kinematik modeldir.

Statik model, konu bölge veya objenin, zamanı ve etkiyen kuvvetleri dikkate almaksızın, bir objenin geometrik değişimlerini tanımlar. Yapılan ölçümler sonucunda periyotlar arası koordinat farkları hem araştırılan objedeki deformasyonu hem de gözlemlerdeki hataları yansıtır. Statik model, deformasyon belirleme amacı ile yapılan mühendislik uygulamalarının en çok kullanılanıdır (Bayrak ve Yalçınkaya, 2002).

Dinamik model, deformasyonların zamanın bir fonksiyonu olarak ele alındığı modellerdir. Dinamik deformasyon modellerinde, geometrik değişimlerin yanı sıra deformasyonlara neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimi ve birbiri arasındaki ilişkiyi; kuvvetlerin oluşmasına neden olan, zamana bağlı dönüşüm fonksiyonları yardımıyla araştırır. Dinamik deformasyon modeli, statik ve kinematik deformasyon modellerini kapsayan en genel modeldir (URL-1, 2007).

Kinematik model, etkiyen kuvvetleri dikkate almaksızın zamana ve konuma bağlı olarak deformasyon noktalarının hareketlerini veya deformasyon bölgesinin hareket yüzeyini saptamaktır. Kinematik modellerin hepsinde ana amaç, noktaların hızlarını, ivmelerini, hız vektörlerini, hız yüzeylelerini, zamana ve konuma bağlı olarak belirlemektir (Doğanalp, 2005).

Bu tez çalışmasında, uygulama alanı olarak Doğu Karadeniz Bölgesi, Trabzon ili, Çağlayan beldesi Kutlugün köyü (Hacımehmet) heyelanı seçilmiştir. Heyelanın hareketini belirleyebilecek yerlere, heyelanın güncel sınırlarına göre bölgeye, 35 noktadan oluşan deformasyon noktaları tesis edilmiştir. Bu noktalarda, üç periyotluk (Ağu.2012, Kas.2012, Şub.2013) TUSAGA-Aktif ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Periyotlarda Cors alıcısı ile her noktada 10 epokluk ölçü yapılmıştır. Her bir periyot da yapılan ölçüler, dengelenerek noktaların periyotlara ait dengeli koordinatları elde edilmiştir. Dengelenen koordinatlar ile statik ve kinematik deformasyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ile statik ve kinematik modeller oluşturulmuş ve heyelan bölgesinin üç boyutlu hareketlerine ait değişimler izlenmiştir. Bu aşamada statik ve kinematik modellerle hesaplanan hareket parametreleri istatistik olarak test edilmiş, anlamlı hareket eden noktalar ve hareket parametreleri; noktaların, kayma yönleri, kayma miktarları ve noktalara ait hızlar belirlenmiştir.

Heyelanın, sınırları, güncel durumu, tipi, mekanizması belirlenmiş, tüm periyotlarda saptanan hareketleri görebilmek için grafikler çizilmiştir. Geoistatistikte kullanılan ve birçok alanda popülaritesini kanıtlayan Kriging Enterpolasyon yöntemi ile de noktalara ait yer değiştirme haritaları ve noktaların hızlarına ait haritalar oluşturulmuştur. Böylece heyelan hareketleri uygun olarak yorumlanabilmiştir.

Çalışma alanında saptanan hareketin tüm noktalarda genel manada heyelanın taç kısmından topuk kısmına doğru olduğu gözlenmiştir. Heyelanın topuk bölgesinden Trabzon-Erzurum Karayolu geçmekte olup, heyelanın olası zararlarını önlemek amacıyla Karayolları 10. Bölge Müdürlüğüne jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapılmış bunların sonucunda yol platformu güvenliğinin sağlanması için bir dizi tedbirler alınmıştır.

Kutlugün köyü heyelanına ait, Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması konulu doktora tezi Bayrak., tarafından 2003 yılında oluşturulmuş; tez kapsamında, Dinamik deformasyon modelini oluşturmak amacıyla öncelikle bölgede, jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapılarak oluşan heyelanın tipi ve nedenleri belirlenmiş ve jeodezik çalışmalarda deformasyonun belirlenmesinde GPS ile statik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Heyelanın oluşmasında, suyun etkisinin özellikle yeraltı suyundaki değişimin etkili olduğu belirtilmiştir (Bayrak, 2003). Günümüzde de Kutlugün heyelanını tetikleyen en büyük fiziksel etkenin yer altı suyu olduğu yapılan jeolojik çalışmalarda gözükmektedir.

Bu tez çalışmasında Statik ölçme yöntemi yerine 1 GNSS alıcısı ile TUSAGA-Aktif sisteminden yararlanılmıştır. TUSAGA-Aktif sisteminin, deformasyon izlemede kullanılabilirliğinin ve istenilen hassasiyete ulaşıp ulaşılamayacağı soruları yanıtlanmaya çalışılmış ve TUSAG-Aktif sisteminin küçük çaplı lokal heyelanlarda; zaman ve maliyet açısından kullanılabilirliği vurgulanmıştır.

2. HEYELAN

Heyelanlara ait çok değişik tanımlar yapılmakla beraber genellikle içerik olarak benzer tanımlardır. Basit olarak düzensiz bir geometriye sahip doğal şevlerin kayma hareketine heyelan, insanlar tarafından belli bir projeye göre yapılan ve belirli geometrisi olan yapay eğimli yüzeylere de şev denilmektedir. Taş, toprak veya bunların karışımından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde, hissedilebilir bir şekilde hareket etmesine heyelan denir (Öz, 2009).

Heyelanların oluşması ile meydana gelen olumsuz etkilerin azaltılması veya önlenmesi için, heyelanların periyodik olarak izlenmesi ve bu heyelanların mekanizmalarının belirlenmesi çok önemlidir. Dış kuvvetler sonucunda heyelan sahasında meydana gelen hareketin irdelenmesinin en kolay yolu, heyelan yüzeyine ait kayma miktarının ölçülmesidir (Hastaoğlu, 2009).

Yamaçları oluşturan malzemeler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri olan karmaşık bir yapıya sahiptir. Toprak, organik madde, değişken su karışımlı toprak, hava ve kaya karışımından oluşmaktadır. Suyun ve organik malzemenin miktarı ve toprağın özellikleri dış kuvvetlerden dolayı değişime uğrayabilir. Toprak ve toprak malzemenin bileşimini değiştiren ve mukavemetini azaltan faktörler arasındaki karmaşık etkileşim yamacın şeklinin değişmesine ve kaymasına neden olmaktadır (Bayrak, 2003).

Bazı yamaçlar her ne kadar daha durağan olsa da heyelana karşı dirençsizdirler. Yamaçların bu dirençsizliğine birçok faktör neden olur. Heyelan olayının meydana gelmesinde jeolojik yapı, eğim durumu ve su durumu ana faktörleri içerir. Bu faktörlerden birinin olmaması veya ortadan kaldırılması o alanda heyelanın oluşum koşulunun ortadan kaldırılması demektir. Bu sebeple, gerekli mühendislik çalışmaları yapılmadan imara açılıp yerleşim alanı haline getirilen yamaç ve engebeli arazilerde yapı inşaaası, doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi, değişik amaçlı kazılar vb. heyelanların oluşumunu tetikleyen önemli faktörlerdir.

Heyelanların sık görüldüğü yörelerin, topografik, jeolojik ve iklimsel özellikleri ile kütle hareketleri arasındaki ilişkilerin, ayrıntılı biçimde analiz edilmesi gerekmektedir. Bunun için teorik ve uygulamalı çalışmalar birlikte yürütülmeli, mühendislik dalları kendi aralarında koordinasyonu sağlamalıdır.

2.1. Heyelan Tipleri

Heyelanlar yeryüzü üzerinde sıklıkla meydana gelen, ülkemizde de eğimin fazla olduğu bölgelerde bilhassa Karadeniz Bölgesinin doğusu ve batısın da, oldukça yaygın olan bir kütle hareketi çeşidi olup, bu sebep den ötürüde Heyelanlarla ilgili oldukça fazla sayıda sınıflandırma bulunmaktadır. Bunlardan Varnes'in 1978 yılında yapmış olduğu sınıflandırma en çok kullanılanıdır. Varnes (1978)'de yapmış olduğu sınıflandırmada heyelanlar, hareket türlerine göre 6 ana gruba ayrılmıştır (Şekil 2.1). Her bir ana grup kendi içinde, malzemenin cinsi baz alınarak tanımlanmıştır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Heyelanların sınıflaması (Baltacı, 2010)

HAREKET TÜRÜ		Malzemenin Cinsi		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Taneli	İnci Taneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Molozda Devrilme	Zeminde Devrilme
AKMA	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
KAYMA	Ötelenmeli	Kayada Blok Türü Ötelenme	Zeminde ve Molozda Blok Türü Ötelenme	
	Dönel	Sıkı Çatlaklı Kayada Dönel Kayma	Zeminde ve Molozda Dönel Kayma	
YANAL YAYILMA		Kaya Yayılması	Zemin ve Moloz Yayılması	
KARMAŞIK		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

Malzeme		Hareket Tipi		
		KAYA	MOLOZ	ZEMİN (TOPRAK)
Düşme	Düşme	Kaya düşmesi	Moloz düşmesi Moloz Kaya Talus Moloz konisi	Toprak düşmesi İnce malzeme Kaya Moloz konisi Moloz konisi
		Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi Moloz konisi	Toprak devrilmesi Moloz konisi
Kayma	Dönel	Tekil dairesel kayma (çökme) Kayma yüzeyi	Çoğul dairesel kayma Tepe ayına Ana ayına Tali ayına Kayma yüzeyi	Ardışık dairesel kayma
	Ötelenmeli (Düzlemsel)	Kaya kayması	Moloz kayması	Toprak kayması
Yanal Yayılma		Yanal yayılma	Ör: Şişme ve kamburlaşma	Toprak yayılması
Akma		Toprak akması (periglasiyal akma)	Moloz akması	Toprak (çannur) akması
Karmaşık		Ör: Çökme-toprak akması ile kaya düşmesi	Ör: Kompozit dairesel olmayan/dönel düzlemsel kayma toprakta toprak akmasına dönüşüyor	

Şekil 2.1. Heyelan türleri (Akçalı, 2011)

2.2. Heyelan Oluşma Nedenleri

Heyelan oluşma nedenleri, doğal nedenler ve yapay nedenler olarak iki ana başlıkta toplanmaktadır. Doğal nedenler kendi içerisinde su seviyesi, sismik aktiviteler, volkanik aktiviteler olarak üzere 3 bölüme ayrılmaktadır. Yapay nedenler ise insanların çevreleriyle

olan ilişkileri göz önüne alınarak; kazılar, zemin yüzeyindeki bitki örtüsünün tahribatı, zemine gelen ek yüklerin artırılması ve patlamalar olarak sıralanabilir (Bayrak, 2003).

Bir bölgedeki nüfus arttıkça yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duyulması sebebiyle, Ormanlık alanların tahrip edilmesi, doğal şevlerin bozulması, yapılan patlamalar nedeniyle zeminin durağanlığının bozulması, yer altı su seviyesindeki değişiklikler nedeniyle tabiatın dengesi bozulmakta ve bunun doğal bir sonucu olarak heyelanlar oluşmaktadır.

Heyelanlar, iklim koşulları (yağmur, sıcak-soğuk, rüzgar vs. etkenler tarafından yeryüzündeki kayaların ayrışması) gibi ağır işleyen bir mekanizmada gerçekleşebileceği gibi, dış mekanizmalar tarafından da aktif hale getirilir. Doğal (depremler) ya da yapay (büyük yer altı patlamaları, makine titreşimleri) nedenlerle meydana gelen titreşimler kitlelerde gerilmeler oluşturarak yamaç dengesini bozabilirler ve zemini akıcı duruma getirebilirler (Öz, 2009).

2.3 Heyelanların İzlenmesi

Heyelanların izlenmesi oldukça yoğun, süreklilik gerektiren, zahmetli çalışmalardır. Heyelanların izlenmesi için jeodezik ve jeofiziksel birçok yöntem kullanılmaktadır. Genel olarak jeodezik ve jeofiziksel yöntemler birlikte değerlendirildiği heyelan sahalarında daha gerçekçi sonuçlar bulunmaktadır (Hastaoğlu, 2009).

Heyelan davranışlarının analiz edilmesi ve gerekli önlemlerin önceden alınması heyelanı izlemekle mümkündür. Yüzeğe ait hareketlerin ölçülmesi, etkiyen kuvvetler sonucu oluşan hareketi analiz etmek ve heyelanın gelişimini gözlemenin en basit yoludur (Bayrak, 2003).

Son yıllarda, GPS her türlü deformasyon ölçmeleri (güncel yer kabuğu hareketleri, depremlerin önceden kestirimi, heyelanlar, mühendislik yapılarının denetimi v.b.) konularında diğer yöntemlerin yerini almaya başlamıştır. GPS teknikleri, diğer jeodezik ölçme tekniklerinden daha kullanışlıdır. GPS donanımı sağlam, hafif, ucuz, güvenilir ve kullanması kolaydır. Çalışma alanının büyüklüğüne göre ekonomiklik, üretkenlik, hareket kabiliyeti, hız ve doğruluk göz önüne alındığında GPS teknikleri, diğer jeodezik ölçme tekniklerinden daha kullanışlıdır. GPS kullanmanın en büyük avantajlarından birisi de noktaların yerlerinin seçiminde ağ geometrisinin fazla önemli olmamasıdır.

GPS kullanarak heyelanları izlemek için iki yöntem kullanılır, periyodik ölçüler ve sürekli izleme. Her iki yöntemde de hareket miktarını saptayabilmek için zemine tesis edilmiş noktalara ihtiyaç vardır. Periyodik ölçme yönteminde, deformasyonu

belirleyebilecek özelliklere sahip; heyelan alanını kapsayacak şekilde bir jeodezik ağ tesis edilir.

Tablo 2.2. Heyelan hareketlerinin ölçülmesinde kullanılan temel yöntemler ve doğrulukları

YÖNTEM	KULLANIM	SONUÇLAR	MESAFE	DOĞRULUK
Fissurometer	Birimlerin diferansiyel hareketi	dD	<20 mm	±0.1 mm
Levellingvernier Pole	Küçük çatlakların açılımı	dD	<200mm	± 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	1-5 mm+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	3 mm+1-5ppm
Yer Fotogrametrisi	Yer değiştirmeler	dX, dY, dZ	<200 mm	40 mm
Hava fotogrametrisi	Yer değiştirmeler Sayısal Yükseklik Modeli	dX, dY, dZ	Huçuş<500 m	100 mm
Radar interferometry İNSAR	Yer değiştirmeler Sayısal Yükseklik Modeli	dX, dY, dZ	Değişken	3-5 mm
GPS (Statik)	Yer değiştirmeler	dX, dY, dZ	Değişken Genellikle Baz < 20 km	1-2 mm
GPS (Rtk)	Yer değiştirmeler	dX, dY, dZ	Değişken Genellikle	5-30 mm
GPS (Hızlı-Statik)	Yer değiştirmeler	dX, dY, dZ	Değişken Genellikle Baz < 20 km	5-10 mm+1 ppm

3. GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) şu anda faal olarak çalışmakta olan Amerika Birleşik Devletleri tarafından işletilen GPS, Rusya tarafından kullanılmakta olan GLONASS ve Avrupa Birliği lkeleri tarafından kurulmakta GALILEO uydu konumlama sistemlerinden oluşmaktadır.

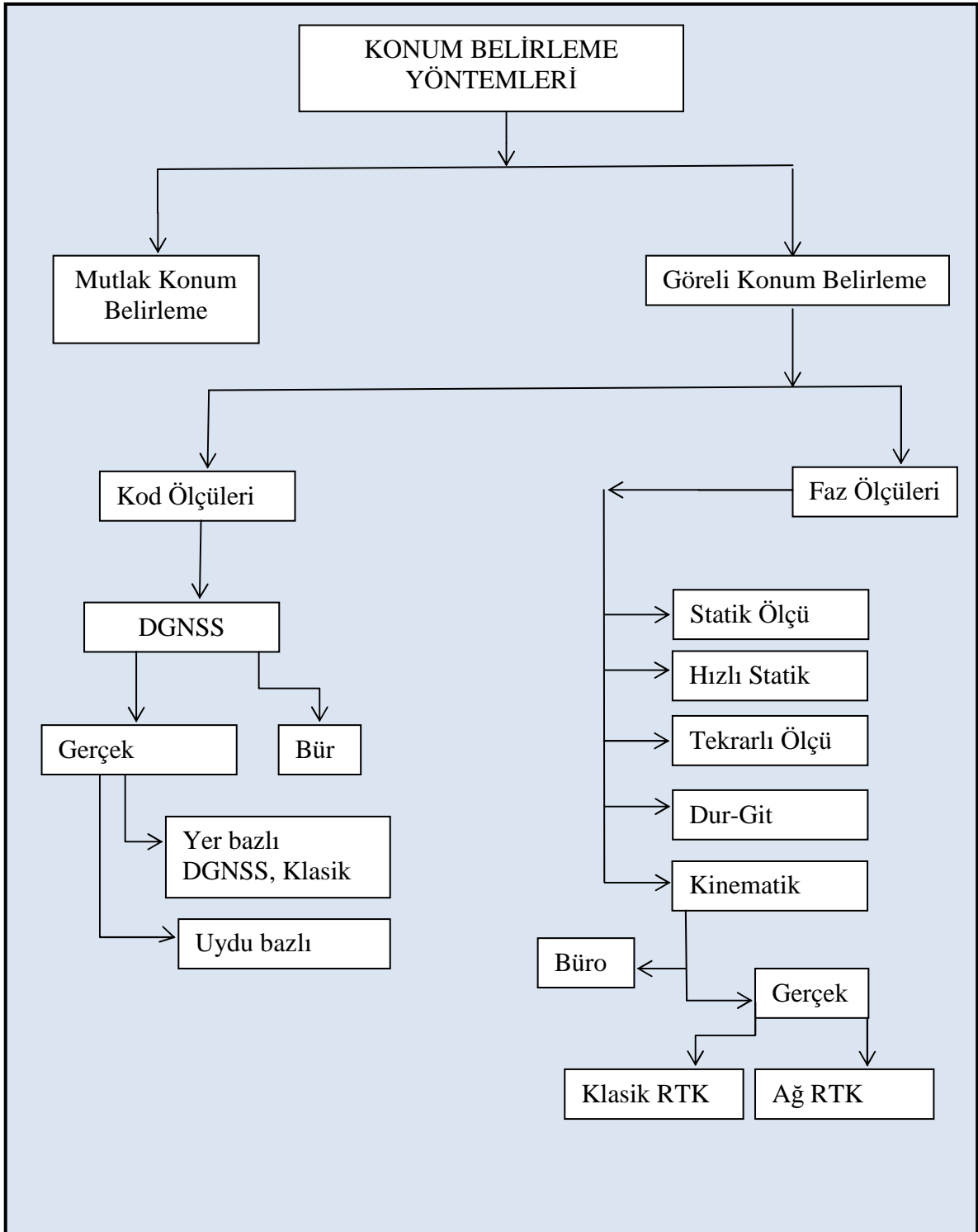
Uzay teknolojilerinin hızlı gelişimi ve değişimi sonucunda dünyada fazla sayıda ülkede değişik amaçlarla kurulan sabit GPS/GNSS istasyonları ve bu istasyonlardan elde edilen sürekli ve güncel verilerle oluşturulan ağlar haritacılık sektörü ve mühendislik ölçmeleri açısından önemli bir gelişme sağlamıştır. Uydularla navigasyon 2000'li yılların başından itibaren özellikle ticari havacılıkta ve deniz ulaşımında güvenlik ve etkinlik vaat eden bir sistem olmuştur (Pektaş, 2010).

GNSS alıcılardan daha verimli ve ekonomik olarak yararlanabilmek için ülkeler ve sonrasında da yerel yönetimler gerçek zamanlı sabit referans istasyon ağları kurmaya başlamışlardır. 7 gün 24 saat istenilen zaman aralığında koordinat düzeltmesi yayınlayan referans istasyonlarının bir rneği de ülkemizde kurulmuştur.

GNSS teknolojisinin yoğun kullanılmaya başlanması, yüksek doğruluk ve duyarlılık olarak gerçek zamanlı konum belirleme ihtiyacını doğurmuş ve bunun sonucu olarak öncelikle Standart (Klasik)-RTK tekniği, ardından da Ağ-RTK (Network RTK) tekniği geliştirilmiştir. Günümüzde birçok ülkede Ağ-RTK tekniği olan sürekli gözlem yapan sabit GPS/GNSS istasyonları ağları (Continuously Operating Reference Station - CORS) bulunmaktadır. Ülkemizde de Mayıs 2009'da faaliyete geçen, TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sistemi ile İstanbul ilini kapsayan, Kasım 2008 itibariyle çalışır hale getirilen İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi-Uydudan Konum Belirleme Sistemi (İSKİ-UKBS) adı verilen biri ulusal ölçekte, diğeri yerel ölçekte olan iki farklı GNSS-CORS ağı mevcuttur (Taftalı, 2010).

GPS ile konum belirleme uydu-alıcı uzaklıklarının hesabına dayanan uzayda geriden kestirme probleminin zmdr. GNSS ile iki farklı konum belirleme yöntemi vardır (Tablo3.1). Bir noktaya ait konum doğrudan doğruya kod gözlemleri ile belirleniyor ise buna mutlak konum belirleme denir. Birden fazla noktanın konumlarının birbirine göre belirlenmesine ise bağlı konum belirleme denir (Kahveci ve Yıldız, 2007).

Tablo 3.1 GNSS konum belirleme yöntemleri (Kahveci ve Yıldız, 2009)

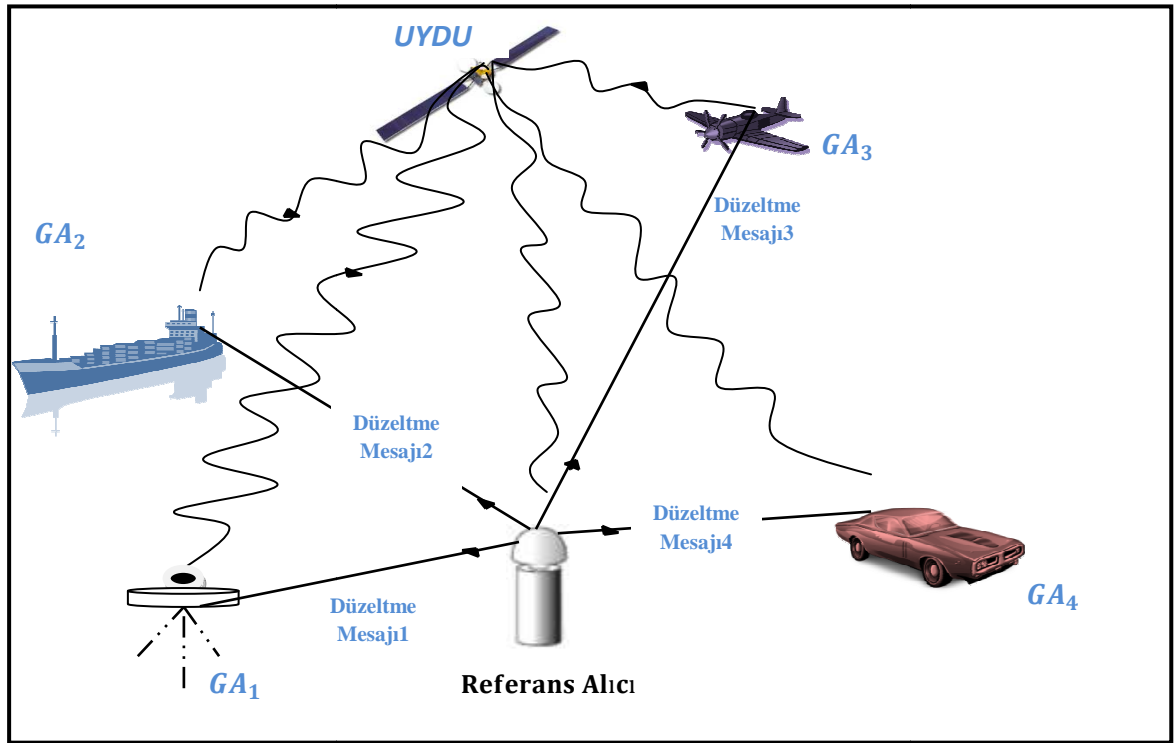


3.1. DGNSS (Diferansiyel GPS)

Birçok jeodezik çalışma için GPS'in anlık konumsal doğruluğu yeterli olmamaktadır. Diferansiyel GPS, Global Konum Belirleme Sistemi GPS'in doğruluğu ve

güvenirliğini arttıran bir tekniktir. DGPS ile elde edilen verilerin doğrulukları yalın GPS ile elde edilen doğruluklara göre çok daha iyidir (Özenç, 2003).

GPS/GNSS ile elde edilen anlık doğruluk birçok amaç için yeterli olmakla beraber bazı navigasyon uygulamalarında daha yüksek doğruluklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ise mevcut GPS/GNSS sisteminden anlık konum belirlemede yararlanabilme olanaklarını kısıtlamaktadır. Bununla birlikte, istenen navigasyon amaçlı doğruluklara DGPS/DGNSS gibi bazı özel teknikler kullanılarak erişilebilmektedir (Pektaş, 2010).



Şekil 3.1. DGNSS çalışma prensibi

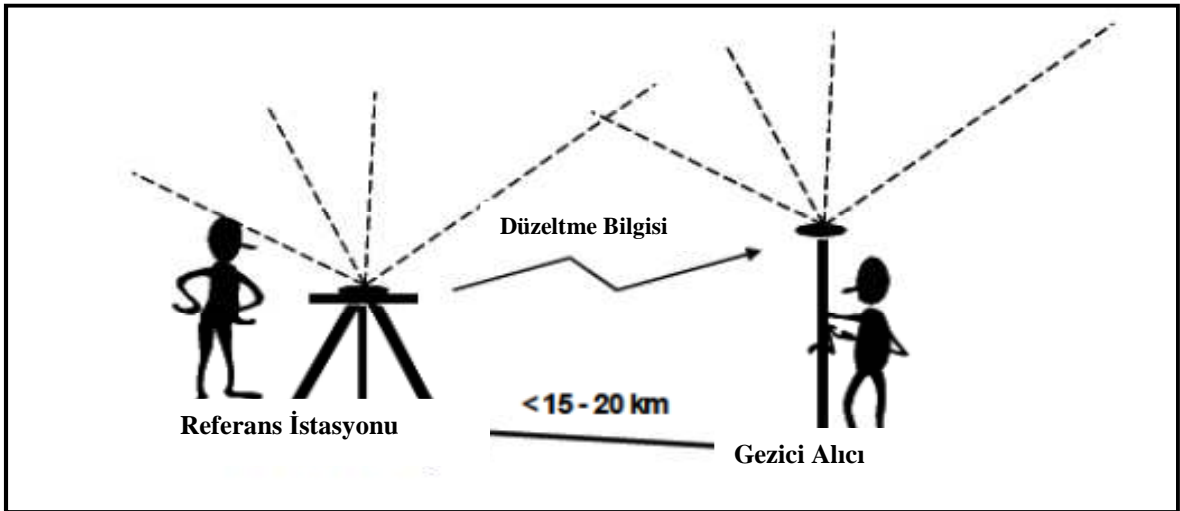
DGPS/DGNSS tekniğinde biri sabit diğeri gezici olmak üzere en az iki alıcıya gereksinim vardır. Sabit alıcı, konumu daha önceden hassas şekilde belirlenmiş bir noktaya kurulur ve gezen alıcının konumu belirlenir. Her iki noktada da en az dört ortak uyduya eş zamanlı olarak gözlem yapılmalıdır. Sabit alıcı gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu-alıcı uzaklıklarını hesaplayarak bu değerleri kendi hassas konumundan faydalanarak hesapladığı pseudorange'ler ile karşılaştırır. Aradaki farklar gözlem hatası olarak yorumlanır ve bu farklar konumu belirlenecek olan noktalardaki gezen alıcı/alıcılar tarafından kaydedilen gözlemlere düzeltme olarak getirilerek, gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenir.

DGNSS' de kod ölçülerini kullandığı zaman ancak 1-5 m gibi düşük doğruluklarda sonuç verebilmektedir. Bu hassasiyet jeodezik çalışmalar açısından düşünüldüğünde yeterli

görülmemektedir. Bilim adamları gerçek zamanlı ve çok daha hassas konum belirleme çalışmaları sonucunda; DGNSS' ten farklı olarak kod ölçüleri yerine taşıyıcı faz gözlemlerine göre konumlama yapabilen “Gerçek Zamanlı Kinematik (Real-Time Kinematic-RTK)” adı verilen yeni bir yöntem geliştirilmiştir (Arslanoğlu ve Mekik, 2003).

3.2.RTK (Real Time Kinematik)

RTK GPS ölçüm yöntemi genel olarak DGPS' e benzemekle beraber DGPS' de kullanılan metre mertebesindeki doğruluğa sahip kod gözlemleri yerine taşıyıcı dalga faz gözlemlerini kullanır. Taşıyıcı dalga faz ölçülerinin kod ölçülerine göre daha hassas olması sebebiyle, yüksek doğruluk istenen uygulamalarda; RTK GPS yöntemi DGPS' e göre çok daha hassas sonuç verir. RTK GPS ile arazideki bir noktaya ilişkin koordinatların $\pm 1-5$ cm. ile belirlenmesi mümkündür. Bununla beraber RTK GPS yöntemiyle koordinatların istenirse yerel bir sistemde ya da ülke sisteminde araziye $\pm 1-5$ cm. 'lik bir hassasiyet ile uygulaması yapılabilir (Arslanoğlu ve Mekik, 2003).



Şekil 3.2 Gerçek Zamanlı Kinematik ölçme (RTK)

Yüksek doğruluk istenen uygulamalarda GNSS deki en önemli hata kaynakları arasında yer alan atmosferik hataların modellenmesindeki gelişmelere ve teknolojiye gelişmelere sonucunda donanım ve yazılımlarda gelişmeler oluşmuş bunlara paralel olarak RTK uygulamalarında günümüzde birkaç cm doğruluk ile konum belirlemek mümkün hale gelmiştir. RTK sistemi, konumu bilinen bir noktada bulunan referans istasyonu ile yeni

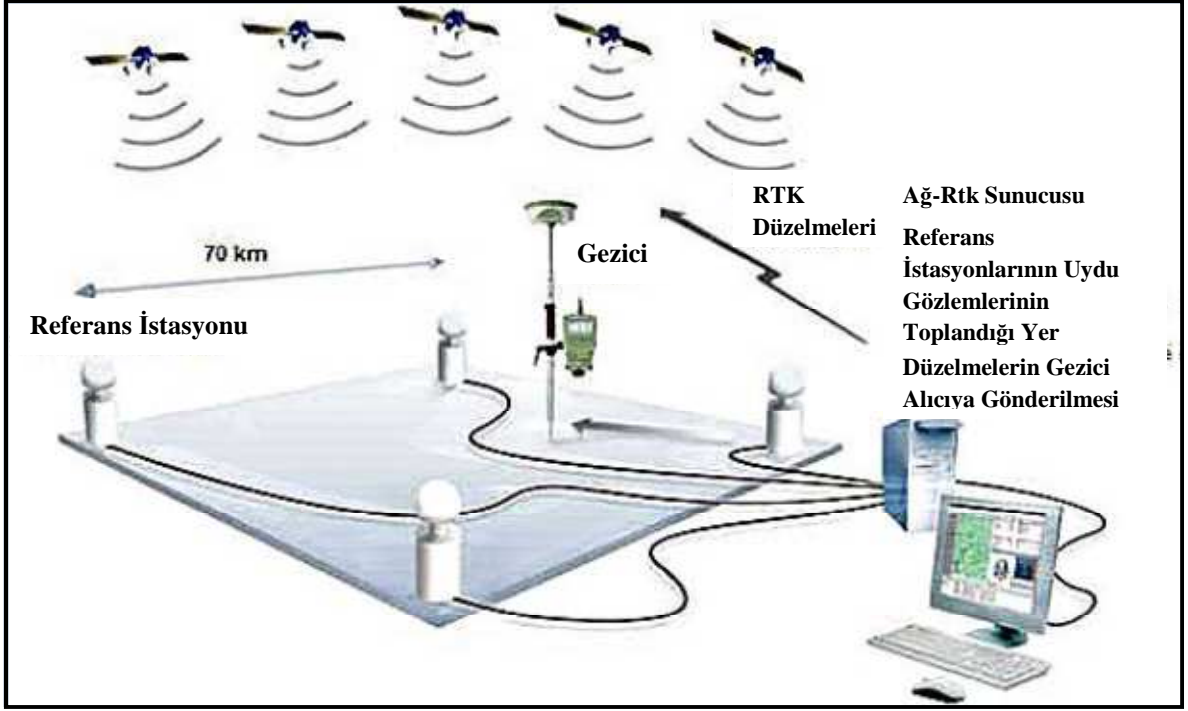
noktaların konumunu belirleyecek olan gezici alıcıdan oluşur. RTK yönteminde gezici alıcılar tarafından gerçekleştirilen faz ölçüleri ile referans istasyonlarından gönderilen düzeltme bilgileri ile gezici alıcının konumu anında arazide belirlenir. RTK ölçme yönteminde istenen doğruluğu etkileyen en önemli faktör referans istasyonu ile gezici alıcı arasındaki mesafedir. Bu mesafenin 15-20 km'yi geçmemesi istenir (Taftalı, 2010).

RTK GNSS' de yaşanan bu tarz gelişmeler yaklaşık aynı mertebedeki doğrulukların hareket halindeki GPS/GNSS alıcıları içinde geçerli olmasını sağlamıştır. Diğer taraftan, klasik DGPS tekniğinde geniş bir coğrafi bölgeye dağılmış ana kontrol ve izleme istasyonları ağından oluşan sistemlerin, yüksek doğruluk isteyen gerçek zamanlı uygulamalarda da kullanılabilirliği irdelenmiş ve sonuç olarak birden fazla referans istasyonuna dayalı olarak çalışan ve klasik RTK tekniğinin uzaklık bağımlı hatalarının da modellendirilebildiği “Ağ RTK” yada “Ağ tabanlı RTK” tekniği ortaya çıkmıştır (Pektaş, 2010).

3.3. AĞ – RTK

Ağ-RTK sisteminin kurulmasındaki temel amaç, uzaklığa bağlı olarak farklılık gösteren hataların (iyonosfer, troposfer, yörünge vb.) asgari seviyeye indirmek ve Klasik RTK' nın zayıf taraflarını ortadan kaldırmaktır. Gerçek zamanlı ve doğru hesaplamaların yapılabilmesi için ağdaki tüm istasyonlar birbirleriyle güvenilir bir iletişim vasıtasıyla bağlanmaktadır. Bir referans istasyonu en az bir alıcı, bir anten, iletişim vasıtası ve güç kaynağından oluşmaktadır. Sistemin son ucunda ise ağa herhangi bir iletişim aracı vasıtasıyla (örn. cep telefonu, internet vb.) bağlanabilen kullanıcılar bulunmaktadır (Kahveci, 2009).

Ağ-RTK sisteminde, çalışma bölgesini kaplayan koordinatları bilinen referans istasyonlarına yerleştirilen GNSS alıcıları uydulardan aldıkları verileri kontrol merkezine ADSL, leasline veya GPRS/EDGE üzerinden iletilmekte, kontrol merkezinde atmosfer modellenerek RTK/DGNSS düzeltmeleri gerçek zamanda hesaplanıp (Şekil 3.3), RTCM formatında GPRS/EDGE üzerinden konumlama için gezici GNSS alıcılarına gönderilmektedir (Taftalı 2010).



Şekil 3.3 Ağ-RTK çalışma prensibi (URL-2, 2011)

Klasik RTK tekniğinde ham ölçüler ve düzeltme bilgileri tek bir referans istasyonu ile tek bir gezen alıcı arasında aktarılmaktadır. Ağ-RTK sisteminde, tekli referans istasyonu kavramı ortadan kalkmış, ayrıca, çok sayıda referans istasyonuna ait verilerden yararlanarak belirli bir bölgeye ait atmosferik etkileri modelleme yapılması olanağı sağlanmış, GPS/GNSS gözlem tekniklerinin gücü ile ağ yapısının üstünlükleri (ağ dengelemesi) birleştirilmiştir. Sonuç olarak Ağ-RTK, klasik RTK tekniğine göre daha uzun baz uzunluklarında (50-100 km) faz gözlemlerine dayalı olarak cm doğruluğunda ve gerçek zamanlı konum belirleme tekniğidir. Gezici, gerçek zamanlı kinematik veriyi alır almaz uygun bir algoritmaya göre bulunduğu konumu hesaplar. Ağ verilerinin gezicilere aktarılmasında da farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler düzeltmelerin referans istasyonunda ya da gezicide yapıldığına, gönderilecek bilgilerin kapsamına, veri aktarma protokolüne (formatına) ve veri aktarma ortamına (telsiz, GPRS vb.) bağlı olarak değişmektedir (Pektaş, 2010).

3.3.1 AĞ-RTK Avantajları

- Referans istasyonu bir kez kurulur.
- Gezicinin hesapladığı koordinatların doğrulukları daha homojen bir dağılım gösterir.

- Uzaklığa bağlı sorunlar ortadan kalkmıştır.
- Tek referanslı bir RTK ölçümüne göre daha az referans istasyonuna ihtiyaç duyulur.
- Bir istasyonun getireceği düzeltmeyi, başka bir istasyon yapabilir.
- Güvenilirlik yüksektir.
- Ölçülerde belli bir standart yakalanır
- Etkin ve performansı yüksektir.
- Arazide sabit istasyon kurulmasına gerek yoktur.
- GPS kullanımındaki tüm olası hata kaynakları elenerek, kullanıcıya temiz veri sağlanır.
- Mevcut haberleşme altyapısı kullandığından, telsiz gibi izne tabii ve kısıtlayıcı sistemlere gerek yoktur.
- Altyapı olarak elde edilen hassasiyetler tüm kullanıcılar için standarttır.
- Tüm kullanıcılar aynı koordinat sistemini kullanır (Turan, 2012).

3.4. TUSAGA-Aktif (CORS-TR)

Günümüzde ülke jeodezik ağı, sürekli ve gerçek zamanlı gözlem yapan, Uydularla Konum Belirleme Sistemi Sabit Ağlarından (**GNSS:Global Navigation Satellite System**) oluşmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte tüm ülkelerde CORS ağlarının kurulması hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu ağlar yüksek doğruluklu çok amaçlı, başta haritacılık olmak üzere askerî ve sivil birçok alanda (jeodezik ölçüler, mühendislik ölçmeleri, navigasyon uygulamaları, CBS uygulamaları, meteorolojik çalışmalar, jeofizik ve jeodinamik uygulamalar vb.) yoğun olarak kullanılmaktadır (Pektaş, 2010).

Daha hızlı, ekonomik ve duyarlıklı konum belirlemek amacı ile İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) ile Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) çalışmaları ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) destekleri neticesinde çalışmalara 08 Mayıs 2006 tarihinde başlanmış olup, 01 Mayıs 2009 itibarı ile tamamlanarak sistem çalışmaya başlamıştır. TUSAGA-Aktif istasyonları arasındaki mesafeler ortalama 90 km civarındadır. Bu sistemle ülke genelinde 24 saat hizmet verecek, format ve standart birliği sağlayacak modern bir sistem kazanılmıştır. Bu projede ağ prensibinde çalışan gerçek zamanlı kinematik (RTK) prensipli sabit GPS istasyonlarının kurulması ve hücresel dönüşüm

parametrelerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiş ayrıca uluslararası sistem ve standartlarla uyumlu halde çalışılması sağlanmıştır (Bozan, 2012).



Şekil 3.4 TUSAGA – Aktif kullanım tasarımı (URL-2, 2011)



Şekil 3.5 TUSAGA-Aktif sisteminin bileşenleri (URL-2, 2011)

TUSAGA-Aktif Projesi kapsamında 2 adet kontrol merkezi kurulmuştur. Tüm TUSAGA-Aktif istasyon verileri, otomatik olarak bu merkeze iletilmekte ve burada yapılan CORS ağ hesapları ve düzeltmeler buradan kullanıcılara ulaştırılmaktadır. Sistemde, sabit GNSS istasyonları ile kontrol merkezi arasındaki iletişim, ADSL/GPRS üzerinden, Kontrol merkezi ile gezen alıcılar arasında iletişim ise GSM veya Radyo

yöntemleri ile sağlanmaktadır. Kontrol merkezlerinde bulunan sunucular, tüm istasyonlardan bir saniye aralıklı gelen ham gözlem verilerden yararlanarak atmosferik modelleme yapmakta ve hassas düzeltme verileri hesaplanmaktadır. Söz konusu düzeltme verileri arazide, TUSAGA-AKTİF sistemi ile uyumlu gezici alıcılara internet üzerinden aktarılmaktadır. Kullanıcı kendi alıcısında “koordinat belirleme” işlemini başlattığı andan itibaren, istenilen noktada hassas koordinatlar belirlenmiş olmaktadır. TUSAGA-Aktif sisteminde gerçek zamanlı anlık konum belirleme için 3 teknik kullanılmaktadır. Bunlar; FKP tekniği, VRS tekniği ve MAC tekniğidir (Erkan vd., 2010).

TUSAGA-Aktif sisteminde her bir referans istasyonu, CORS Ağ özelliklerine sahiptir ve kapsadığı alan içinde gerçek zamanda cm mertebesinde konum belirlemeye olanak vermektedir. RTK GNSS ağlarında veriler arşivlenmekte ve hesaplanmakla birlikte bunlara ilave olarak konum düzeltme bilgileri de kullanıcılara gerçek zamanlı olarak herhangi bir iletişim vasıtasıyla yayınlanmaktadır. Sabit istasyonların koordinatları ITRF96 ve 2005-0 epoğundadır. TUSAGA-Aktif istasyon verileri başta haritacılık olmak üzere birçok alanda yürütülen çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır

Sürekli gözlem yapan sabit istasyonlar aynı zamanda kontrol merkezinde data kaydı yapmaktadır. Statik ölçülerde kullanılmak üzere sabit istasyon noktalarına ait RINEX veriler kontrol merkezinde yayında olan bir web sayfasından kullanıcılara sunulmaktadır (Pektaş, 2010)

3.5 TUSAGA-Aktif İle Deformasyon İzleme

Herhangi bir etkiden dolayı objenin şeklinde, boyutunda ve konumunda meydana gelen değişimler deformasyon olarak adlandırılır. Değişimlerin belirlenmesi ve yorumlanması deformasyon modellerinin ana amacıdır Deformasyon ölçme sonuçları direkt olarak insan hayatı ve mühendislik yapılarının güvenliği ile ilgilidir (Bayrak, 2003).

Gelişen ölçme teknikleri, deformasyon analizinde yeni değerlendirme modellerinin ve yazılımların kullanılmasına zorunlu kalmıştır. Günümüzde artık mühendislik ölçmelerinin amacı, köprüler, barajlar, ile heyelanlara ve depremlere maruz kalan kütleler gibi objelerin davranışlarına analiz etmek olmuştur. Bu uygulamalarda, konuma ilave olarak (statik model) hareketlerin davranışlarına (hız, ivme) zamana bağlı olarak belirleyen kinematik deformasyon modelleri tercih edilmektedir. Hareketlerin belirlenmesi ve

hareketlerin davranışlarının yorumlanması hareketi izlemekle mümkündür. Son yıllarda deformasyon izleme çalışmalarında GPS klasik ölçme tekniklerinin yerini almıştır (Bayrak ve Yalçınkaya, 2002).

Tablo 3.2. Yaygın izleme metotları ve aletlerin karşılaştırılması

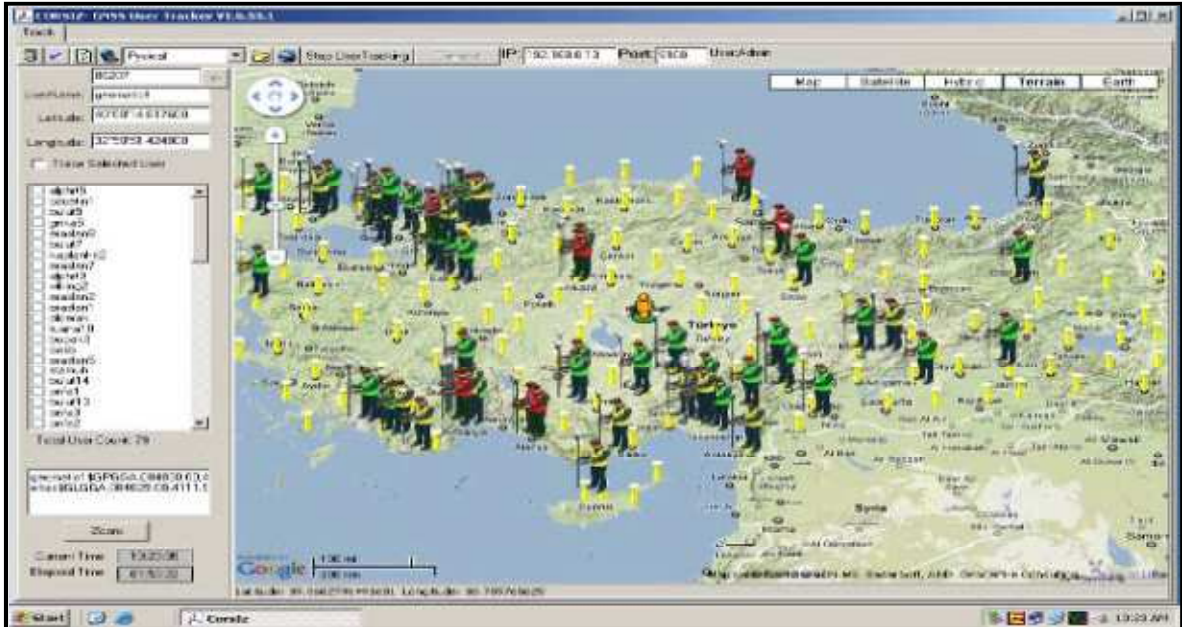
Metot	Alet	Hassasiyet	Uygulama Değerlendirme
Genel Jeodezi Metotları	Total station, Teodolit, Uzaklık ölçer	Farklı hassasiyetler	Fazla esneklik, farklı yapıdaki binalar için uygun, arazi görüşü ve iklimsel durum etkisi dezavantaj, otomatik izleme zordur
	Mekanik yer değiştirme metresi	-Takometre hassasiyeti 0.01 mm, -Komparatör hassasiyeti 0.01 mm	Yüksek hassasiyet, ölçü süreci kolay, uygulama için sürekli izleme ve otomatik gözlem kolay, yerel gözlem bilgisi sağlayabilir fakat esneklik rutin ölçümlere bağlıdır
Özel Ölçüm Yöntemleri	Yer değiştirme sensörü	0.01 mm	
	Açı ölçer	Hassasiyeti uzaklıkla ilişkilidir, maksimum 1mm	Bina defleksiyonunu, yüksek bina eğilimini, temel oturmasını ölçebilir
	Aliyman Ölçümü	Genel hassasiyeti 10^{-5} mm, 10^{-6} mm	Yapıların yatay yerdeğiştirmesini ölçebilir, yüksek hassasiyetli, otomasyon kolaydır fakat esneklik rutin ölçüme bağlıdır
	Fotoğrafik teodolit		Gözlem hassasiyeti düşüktür ve bazı zamanlar ihtiyaç karşılanamaz

Fotogrametri Metotları	Dijital Kamera	mm seviyesinde	Her izleme noktası senkronize olmamıştır, hassas yapıların hacim ve şekliyle ilişkilidir, doğal afetleri ve coğrafik durumları sınırlandırır
	TCA Ölçme Robotu	$1 \text{ mm} + 10^{-6}$	Yerleşimi, yer değiştirmeyi, bina eğilimini ölçebilir, otomasyon kolaydır fakat izleme noktası senkronize olmamıştır ve iklimden etkilenir, tüm gün izleme yapamaz, araç maliyeti yüksektir
3D Tarama		1-5 mm	Yüksek hassasiyet, ölçüm süreci hızlı, kapsamlı, fazla izleme noktasına ihtiyaç duymaz, uygulama için dinamik otomasyon izleme kolaydır, gizli noktaların iç yapı bilgisini vermesi dezavantajdır, araç maliyeti yüksektir
GNSS Statik (1-2 saat)		Yatay hassasiyet 1mm, Düşey hassasiyet 1.5 mm	Tüm gün izleme yapabilir, basit işleyiş, yüksek otomasyon, yüksek hassasiyet, dezavantajı konum hızının yavaşlığı
RTK-GNSS		Yatay hassasiyet $10+1*10^{-6} \text{ mm}$ Düşey hassasiyet $20+1*10^{-6} \text{ mm}$	Tüm gün izleme yapabilir, basit işleyiş, yüksek otomasyon, konum hızı hızlıdır, yatay hassasiyeti yüksektir, düşey hassasiyetinin düşük olması dezavantajdır

Günümüze kadar GNSS sistemi teknik, yöntem ve gözlemlerin modellenmesindeki algoritmalar olarak sürekli geliştirildi ve hassaslaştırıldı. Örneğin santimetre doğruluğa

ulaşabilmek için gerekli olan gözlem zamanı bazı uygulamalarda saatlerden birkaç dakikaya kadar indirildi. Uygun ölçme ve değerlendirme yöntemlerini kullanarak milimetreler mertebesinde hassas konum belirlemek sıradan uygulamalara dönüştü. Diğer taraftan iletişim tekniklerindeki gelişmeler ve veri iletişiminin ucuzlaması gerçek zamanlı konum belirleme çalışmalarının önünü açmıştır. Referans istasyonu ile gezici alıcı arasında mesafe kısıtlamasının olduğu RTK uygulamaları, bu gelişmelerin ışığı altında yerini istasyonlar arasındaki mesafelerin yaklaşık 100 km'ye dayandığı Ağ-RTK uygulamalarına bırakmıştır (Gülal vd., 2011; Rizos vd., 2011).

TUSAGA-AKTİF ölçülerinin yüksek doğruluğu, 24 saat kullanılabilirlik, tüm hava koşulları altında işletilebilirlik, noktaların birbirini görme zorunluluğunun olmaması, düzgün tanımlanmış referans sisteminde (WGS-84) 3D koordinatları elde etme imkanı, verimli data toplama için kinematik yöntemlerin uygulanabilirliği ve otomasyondan ötürü, GNSS tekniği toprak hareketinde, deformasyonda ve çökmelerde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyette gözlenmiş dataları ile TUSAGA-AKTİF teknik avantajlar ve deformasyon izleme analizi için uygun maliyetli yerbilimi altyapısı sağlar. Bununla birlikte; TUSAGA-AKTİF tekniği günümüzde yüksek frekansta kayıt alabilme özelliğine sahip olup, yatayda 1 cm ve düşeyde 2 cm' ye varan hassasiyete sahiptir. Bu imkan, deformasyonların güvenilir biçimde izlenmesini sağlamıştır (Pehlivan vd., 2009).



Şekil 3.6. TUSAGA – AKTİF kullanıcılarının görüntülenmesi (URL-2, 2011)

Bu sistemin tercih edilmesindeki bir başka neden ise, izleme sistemi, yapı ile ilgili değerlendirmeyi hızlı yapabilecek özellikte olması, yapının hasar durumunun

belirlenebilmesi için, izleme sisteminde elde edilen verilerden, özel mühendislik parametrelerine (kayma oranı,..vb) ulaşmak kolay ve güvenilir olması gibi özellikler etkili olmuştur (Uluişik, 2006).

Heyelanlar noktasal olarak GPS ile izlenirken, son yıllarda GPS' in yanı sıra INSAR ve fotogrametrik teknikler kullanılarak alansal deformasyonlarda izlenmektedir (Hastaoğlu, 2009).

Deformasyon Modeli	Fonksiyon	Belirlenen Parametreler	Zaman	Etkiyen Güçler	Objenin Durumu
Quasi-Statik Model	$x_{ti} = x_{ti-1}$	Geometrik Değişimler	Modellenemez	Modellenemez	Dengede
Statik Model	$x_{ti} = x_{ti-1} + \emptyset_s(x)$	Geometrik Değişimler	Modellenemez	Yüklerin bir fonksiyonu olarak deplasman	Yükler altında yeterince dengede
Kinematik Model	$x_{ti} = x_{ti-1} + \emptyset_k(x, ti - t_{i-1})$	Geometrik değişimler yanında hız ve ivme vektörleri	Zamanın bir fonksiyonu olarak hareket	Modellenemez	Sürekli olarak hareketli
Dinamik model	$x_{ti} = x_{ti-1} + \emptyset_d(x, f_{ti} - f_{ti-1})$	Geometrik Değişimler	Zamanın ve yüklerin bir fonksiyonu olarak hareket	Zamanın ve yüklerin bir fonksiyonu olarak hareket	Yükler altında sürekli olarak hareketli

Şekil 3.7. Deformasyon modelleri (Doğanalp, 2005)

3.6. Deformasyon Modelleri

3.6.1 Statik Deformasyon Modeli

Statik model en basit deformasyon modelidir. Özet 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 (Bayrak, 2003).

Statik model, dış kuvvetlerden ve zamandan bağımsız olarak, bir objenin geometrik hareketleri ve yükler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi tanımlar. Ölçüm periyotları arasındaki

koordinat farkları, hem araştırılan objedeki deformasyonu hem de gözlemlerdeki hataları yansıtır. Deformasyon incelemesine konu bölge veya yapının karakteristik noktalarının, deformasyon vektörlerinin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesi statik modelin konusu içine girmektedir. Statik bir deformasyon analizinde el edilen sonuçlar kısıtlıdır. Bu sonuçlar, objede sadece noktalara ait değişim miktarlarından ibarettir. Statik model deformasyon belirleme amaçlı mühendislik uygulamalarında en çok uygulanan bir deformasyon analizidir (Bayrak ve Yalçınkaya, 2002; Bayrak, 2006; Doğanalp ve Turgut, 2009).

Aşağıda TUSAGA-AKTİF ile periyodik olarak ölçümünden dengelenmiş koordinatların statik analizi matematiksel olarak ifade edilmiştir

X_k, Y_k, Z_k : Dengelenmiş koordinatlar

$m_{X_k}, m_{Y_k}, m_{Z_k}$: Dengelenmiş koordinatların karesel ortalama hataları

$k = 1, 2, \dots, p$

p : Gözlenen periyot numaraları

Olmak üzere fonksiyonlar aşağıdaki gibi yazılır. Bu denklemlere hata yayılma kuralı uygulanarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

Fonksiyonlar

$$\Delta X_{k+1,k} = X_{k+1,k} - X_k$$

$$\Delta Y_{k+1,k} = Y_{k+1,k} - Y_k \quad (3.1)$$

$$\Delta Z_{k+1,k} = Z_{k+1,k} - Z_k$$

Denklemlere hata yayılma kuralı uygularsak,

$$d\Delta X_{k+1,k} = \frac{\partial \Delta X_{k+1,k}}{\partial X_k} \cdot dX_k + \frac{\partial \Delta X_{k+1,k}}{\partial X_{k+1}} \cdot dX_{k+1}$$

$$d\Delta Y_{k+1,k} = \frac{\partial \Delta Y_{k+1,k}}{\partial Y_k} \cdot dY_k + \frac{\partial \Delta Y_{k+1,k}}{\partial Y_{k+1}} \cdot dY_{k+1} \quad (3.2)$$

$$d\Delta Z_{k+1,k} = \frac{\partial \Delta Z_{k+1,k}}{\partial Z_k} \cdot dZ_k + \frac{\partial \Delta Z_{k+1,k}}{\partial Z_{k+1}} \cdot dZ_{k+1}$$

Aşağıdaki denklemleri elde ederiz

$$\begin{aligned}
d\Delta X_{k+1,k} &= -1 \cdot dX_k + 0 \cdot dY_k + 0 \cdot dZ_k + 1 \cdot dX_{k+1} + 0 \cdot dY_{k+1} + 0 \cdot dZ_{k+1} \\
d\Delta Y_{k+1,k} &= 0 \cdot dX_k - 1 \cdot dY_k + 0 \cdot dZ_k + 0 \cdot dX_{k+1} + 1 \cdot dY_{k+1} + 0 \cdot dZ_{k+1} \\
d\Delta Z_{k+1,k} &= 0 \cdot dX_k + 0 \cdot dY_k - 1 \cdot dZ_k + 0 \cdot dX_{k+1} + 0 \cdot dY_{k+1} + 1 \cdot dZ_{k+1}
\end{aligned} \quad (3.3)$$

Denklemleri yukarıdaki gibi düzenleyip aşağıdaki matris eşitliği şeklinde (3.4) yazabiliriz. Bu eşitlik statik deformasyon analizi için fonksiyonel modeldir.

$$\begin{bmatrix} d\Delta X_{k+1,k} \\ d\Delta Y_{k+1,k} \\ d\Delta Z_{k+1,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dX_k \\ dY_k \\ dZ_k \\ dX_{k+1} \\ dY_{k+1} \\ dZ_{k+1} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$K_{XYZ} = \begin{bmatrix} m_{X_k}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{Y_k}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{Z_k}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{X_{k+1}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{Y_{k+1}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{Z_{k+1}}^2 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Fonksiyonel modele karşılık gelen varyans-kovaryans matrisi yukarıdaki gibi yazılabilir. Buradan bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları aşağıdaki gibi elde edilir.

$$K_{FF} = A \cdot K_{XYZ} \cdot A^T \quad (3.7)$$

$$K_{FF} = \begin{bmatrix} m_{\Delta X_{k+1,k}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\Delta Y_{k+1,k}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_{\Delta Z_{k+1,k}}^2 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\begin{bmatrix} m_{\Delta X_{k+1,k}}^2 \\ m_{\Delta Y_{k+1,k}}^2 \\ m_{\Delta Z_{k+1,k}}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{X_k}^2 + m_{X_{k+1}}^2 \\ m_{Y_k}^2 + m_{Y_{k+1}}^2 \\ m_{Z_k}^2 + m_{Z_{k+1}}^2 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

n : Ölçü sayısı

u : Bilinmeyenlerin sayısı

f = n – u : Serbestlik derecesi

$\alpha = 0.05$

Deformasyon vektörünün anlamlı olup olmadığını belirlemek için test büyüklükleri,

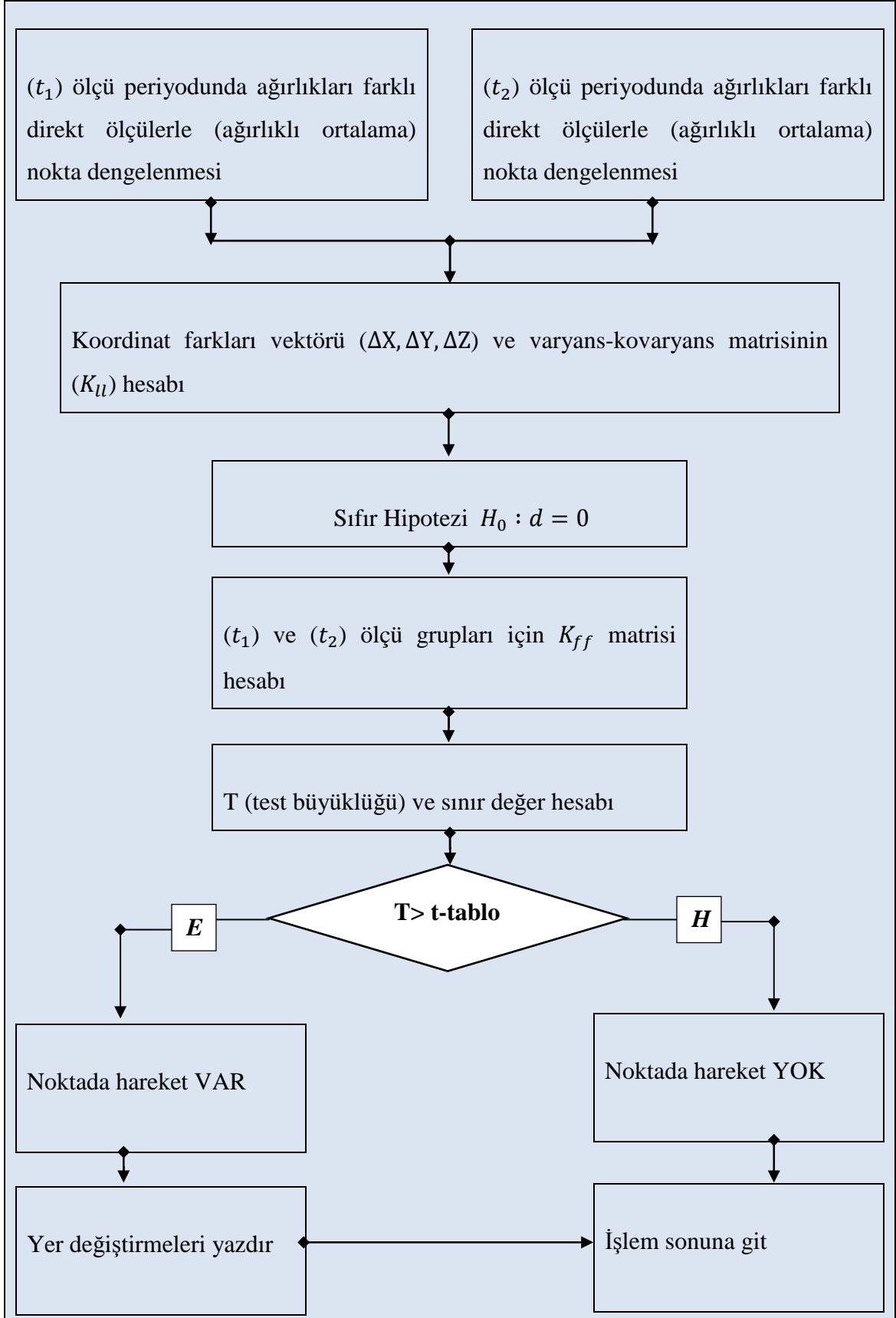
$$\begin{aligned} T_X &= \frac{|\Delta X_{k+1,k}|}{m_{\Delta X_{k+1,k}}} \\ T_Y &= \frac{|\Delta Y_{k+1,k}|}{m_{\Delta Y_{k+1,k}}} \\ T_Z &= \frac{|\Delta Z_{k+1,k}|}{m_{\Delta Z_{k+1,k}}} \end{aligned} \quad (3.10)$$

biçiminde hesaplanıp, test büyüklüklerine karşılık gelen sınır değer t dağılım tablosundan alınır.

$$q = t_{f, 1 - \frac{\alpha}{2}} \quad (3.11)$$

$T_i > q$ ise nokta hareketlidir (Bayrak, 2003; Turan, 2012).

Tablo 3.3. Statik Deformasyon analizi iş akış şeması (Turan, 2012)



3.6.2 Kinematik Deformasyon Modeli

Kinematik hareketlerin tanımlanabilmesi için kurulan modeller, bir jeodezik ağdaki konum değişikliklerini zamanın fonksiyonu olarak verirler. Bu modellerin genel amacı, etkiyen kuvvetleri dikkate almaksızın zamana ve konuma bağlı olarak deformasyon noktalarının hareketlerini veya deformasyon bölgesinin hareket yüzeyini saptamaktır (Doğanalp, 2005).

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda deformasyon analizleri genelde statik olarak yapılmıştır. Ancak ölçümlerde zaman parametrelerinin işin içine girmesiyle birlikte deformasyon analizlerinde, konuma ilave olarak (statik model) hareketlerin davranışlarını (hız, ivme) zamana bağlı olarak belirleyen kinematik modellerinin tercih edilmesi kaçınılmaz bir hal almıştır. (Bayrak ve Yalçınkaya, 2002; Doğanalp ve Turgut, 2009).

3.6.2.1 Kinematik Tek Nokta Modeli

Kinematik tek nokta modelinde, jeodezik ağda zamanla hareket eden noktalar, hareketin büyüklüğü, nokta hareketlerinin hızları ve ivmeleri hesaplanır.

Kinematik Tek Nokta modelinden her noktanın hareket parametrelerinin, aynı anda dengeli olarak hesaplanabilmesi için çok sayıda ölçme periyodunda yapılmış ölçülere gereksinim vardır. Bu nedenle, hareket parametrelerini az sayıda ölçü periyodu ile belirleyebilen Kalman-filtreleme yöntemiyle hesaplamının yapılması gerekir (Yalçınkaya, 1994; Bayrak, 2003)

3.6.2.1.1. Kalman-Filtreleme Tekniği

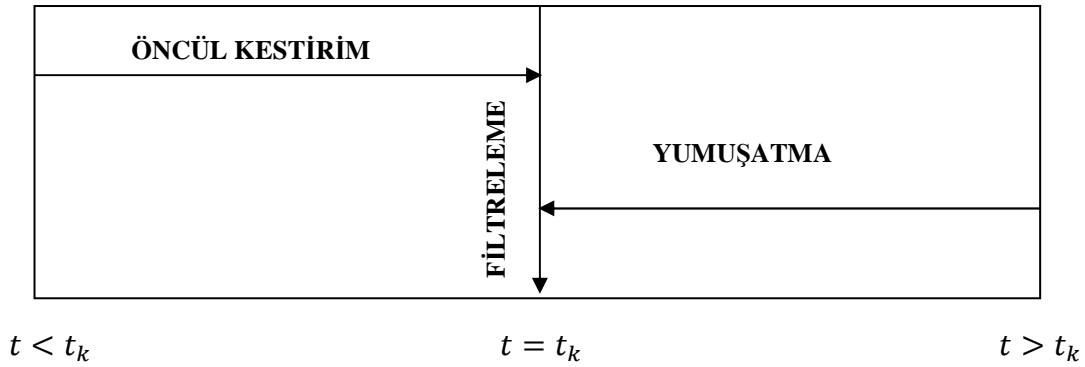
Kalman filtresi, Rudolf Emil Kalman tarafından 1960 yılında ortaya konmuştur. Sonra mühendisler ve istatistikçiler tarafından geliştirilmiş ve mühendislik uygulamalarının birçoğunda kullanılmaya başlanmıştır (Doğanalp, 2005).

Kalman filtreleme, kinematik konumlamada, radyo dalgalarının ve radar sinyallerinin kestiriminde, sismik verilerin analizinde, navigasyonda, obje izlemede, görüntü işlemede, hava raporlarının tahmininde, tarım ürünlerinin en uygun toplanma zamanlarının önceden tahmin edilmesi gibi bir çok mühendislik uygulamalarında, işlem kontrol sistemlerinde, nüfus tahmininde, borsa fiyat tahmininde kullanılabilen bir kestirim yöntemidir (Delaney and Ward, 2004; Bayrak, 2003). Yöntem doğrusal dinamik

sistemlerin tahmini için tasarlanmıştır (Kalman, 1960; Kalman ve Bucy, 1961; İnce ve Şahin, 2000; Doğanalp vd., 2007).

Kalman Filtreleme Yöntemi üç temel aşamadan oluşur,

- a) Öncül kestirim (prediction, ekstrapolasyon): $t < t_k$ koşuluyla t_k anındaki durum değişkenlerinin, sistemin önceki özelliklerinden faydalanarak hesaplanması aşaması,
- b) Filtreleme (filtering, süzme): Herhangi bir t anında sistemin t_k anındaki durum parametreleri $t = t_k$ koşulu ile t_i anındaki ölçüler de kullanılarak hesaplanması aşaması,
- c) Yumuşatma (smoothing): Herhangi bir t anında, t_k anındaki durum değişkenleri $t > t_k$ koşuluyla, t_k anına kadar ki tüm ölçülerle birlikte hesaplanması aşamasıdır.



Şekil 3.8. Öncül Kestirim (prediksiyon), Filtre, Yumuşatma Aşamaları ve Aralarındaki İlişki (İnce, 1999).

Kalman-filtreleme Tekniği, t_{k-1} periyodunda bilinen hareket parametrelerinden oluşan durum vektörü bilgileri ve t_k periyodunda yapılmış ölçüler yardımıyla güncel durum vektörünün tahmininde kullanılır. Bu yöntemde prediksiyonla çözüm yapıldığı için ölçülerin belirli oranda ölçü hatalarıyla yüklü oluşu ve bir önceki zamandaki durum vektöründeki elemanların da hatasız olmaması nedeniyle sınırsız biçimde ekstrapolasyonla genişletilmemelidir (Bayrak, 2003).

Bu aşamalar zamana bağlı olarak bilinmeyen parametrelerin en küçük kareler ilkesine göre kestirildiği uygulamalarda kullanılmaktadır (Yalçınkaya; 2001; Doğan, 2002; Bayrak, 2003).

Kinematik model dinamik yapıların karakteristiklerini ve alansal ve zamana bağlı davranışlarını izlemek için önemli bir araçtır. Kinematik model zamanı 4. boyutta kullanır

ve hız tahminlerine hız skaler alanının lineer modeli ve ivme tahminlerine ivme skaler alanın karesel modeli gibi izin verir (Shahar ve Even-Tzur, 2009). Kinematik modelin temel amacı, yer değiştirmeye sebep olan güçleri dikkate almadan, zamana bağımlı fonksiyonlar kullanarak nokta yer değiştirmesi için uygun bir tanım bulmaktır (Welsch ve Heunecke, 2001). Çünkü, hız ve ivmeyi belirlemek için “tek nokta deformasyon modeli” olarak adlandırılan prosedür her izleme noktası için uygulanır (Bayrak ve Yalçınkaya, 2003).

Kinematik modelde yaygın bir şekilde kullanılan bu yaklaşım karesel polinomal fonksiyondur (Welsch and Heunecke, 2001). Hareket parametrelerinden oluşan durum vektörü, konum ve konumun zamana göre birinci türevi hız, ikinci türevi ivmeden oluşan değişkenlerdir. Bu parametreler artırılabilir veya azaltılabilir. Artırıldığı zaman hareketin yorumlanması zorlaşabilir. Kullanılan bu yaklaşım izlenen noktaların zamana bağlı 3 boyutlu konum, hız ve ivmeden oluşan kinematik hareket modeli aşağıdaki (12) eşitliğine göre oluşturulmakta ve uygulanmaktadır (Yalçınkaya, 2001; Yalçınkaya ve Bayrak, 2005; Acar vd., 2008; Eyo ve Bayrak, ; Yalçınkaya, 2001; Bayrak, 2003).

$$\begin{aligned}
 x_k &= x_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{x}_{k-1} + \frac{1}{2} (t_k - t_{k-1})^2 \ddot{x}_{k-1} \\
 y_k &= y_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{y}_{k-1} + \frac{1}{2} (t_k - t_{k-1})^2 \ddot{y}_{k-1} \\
 z_k &= z_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{z}_{k-1} + \frac{1}{2} (t_k - t_{k-1})^2 \ddot{z}_{k-1}
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

Burada, (x_k, y_k, z_k) ve $(x_{k-1}, y_{k-1}, z_{k-1})$, noktanın sırasıyla t_k ve t_{k-1} periyodundaki koordinatlarını,

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_{k-1} &= \frac{\partial x_{k-1}}{\partial t}, \text{ } x_{k-1} \text{ koordinatının } t_{k-1} \text{ anındaki hızını,} \\
 \dot{y}_{k-1} &= \frac{\partial y_{k-1}}{\partial t}, \text{ } y_{k-1} \text{ koordinatı için } t_{k-1} \text{ anındaki hızını,} \\
 \dot{z}_{k-1} &= \frac{\partial z_{k-1}}{\partial t}, \text{ } z_{k-1} \text{ koordinatının } t_{k-1} \text{ anındaki hızını,} \\
 \ddot{x}_{k-1} &= \frac{\partial^2 x_{k-1}}{\partial t^2}, \text{ } x_{k-1} \text{ koordinatının } t_{k-1} \text{ anındaki ivmesini,}
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

$$\ddot{y}_{k-1} = \frac{\partial^2 y_{k-1}}{\partial t^2}, y_{k-1} \text{ koordinatının } t_{k-1} \text{ anındaki ivmesini,}$$

$$\ddot{z}_{k-1} = \frac{\partial^2 z_{k-1}}{\partial t^2}, z_{k-1} \text{ koordinatının } t_{k-1} \text{ anındaki ivmesini}$$

göstermektedir. (3.12) eşitliğinde görüldüğü gibi t_k zamanındaki nokta konumları, t_{k-1} zamanındaki nokta hareket parametrelerinden yararlanarak hesaplanmaktadır. (3.18) eşitliğindeki her nokta için konum, hız, ivme bilinmeyenlerinin hesabı için çok sayıda ölçü periyoduna gereksinim vardır. t_k zamanındaki nokta hareket parametrelerini Kalman-filtreleme yöntemiyle hesaplayabilmek için (3.12) eşitliğindeki denklemlerin zamana göre birinci türevleri alınarak hız denklemleri, ikinci türevleri alınarak ivme denklemleri (3.14) eşitliğinde görüldüğü gibi oluşturulur. Böylece Kalman-filtrelemede durum vektörü bilinmeyenleri daha az ölçü periyodu verileri ile hesaplanabilir (Yalçınkaya, 1996).

$$x_k = x_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{x}_{k-1} + \frac{1}{2}(t_k - t_{k-1})^2 \ddot{x}_{k-1}$$

$$y_k = y_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{y}_{k-1} + \frac{1}{2}(t_k - t_{k-1})^2 \ddot{y}_{k-1}$$

$$z_k = z_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{z}_{k-1} + \frac{1}{2}(t_k - t_{k-1})^2 \ddot{z}_{k-1}$$

$$\dot{x}_k = \dot{x}_{k-1} + (t_{k-1} - t_{k-1}) \ddot{x}_{k-1}$$

$$\dot{y}_k = \dot{y}_{k-1} + (t_{k-1} - t_{k-1}) \ddot{y}_{k-1}$$

$$\dot{z}_k = \dot{z}_{k-1} + (t_{k-1} - t_{k-1}) \ddot{z}_{k-1}$$

$$\ddot{x}_k = \ddot{x}_{k-1}$$

$$\ddot{y}_k = \ddot{y}_{k-1}$$

$$\ddot{z}_k = \ddot{z}_{k-1}$$

(3.14)

(3.14) numaralı eşitlikteki kinematik modelin matrix formu aşağıdaki gibi gösterilebilir (Bayrak ve Yalçınkaya, 2003; Acar vd, 2008).

$$\bar{Y}_k = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \vdots \\ x \\ \vdots \\ y \\ \vdots \\ z \\ \vdots \\ x \\ \vdots \\ y \\ \vdots \\ z \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} I & I(t_k - t_{k-1}) & I \frac{(t_k - t_{k-1})^2}{2} \\ 0 & I & I(t_k - t_{k-1}) \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \vdots \\ x \\ \vdots \\ y \\ \vdots \\ z \\ \vdots \\ x \\ \vdots \\ y \\ \vdots \\ z \end{bmatrix}_{k-1} \quad (3.15)$$

$$\bar{Y}_k = T_{k,k-1} \hat{Y}_{k-1} \quad (3.16)$$

\bar{Y}_k , t_k anı için prediksyon (öncül kestirim) durum (konum, hız, ivme) vektörü,

\hat{Y}_{k-1} , t_{k-1} anındaki durum (konum, hız, ivme) vektörü,

$T_{k,k-1}$, prediksyon (yeni durumu elde etme) matrisi,

I , birim matristir.

(3.16) eşitliği Kalman-filtrelemenin temel denklemi olan prediksyon (ön kestirim) denklemidir. t_k ve t_{k-1} periyotları arasındaki sabit bozucu ivme w olmak üzere, prediksyon denkleminde bulunan sistem gürültüleri (modelin rasgele hataları), (3.16) denkleminde T matrisinin son sütunundaki terimlerden oluşan S gürültü vektörü (3.19) olarak düşünülür. Böylece prediksyon denklemi ve kovaryans matrisi aşağıdaki gibi olur (Yalçınkaya, 2001; Bayrak, 2003).

$$\bar{Y}_k = T_{k,k-1} \hat{Y}_{k-1} + S_{k,k-1} w_{k-1} \quad (3.17)$$

$$Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} = T_{k,k-1} Q_{\hat{Y}\hat{Y},k-1} T_{k,k-1}^T + S_{k,k-1} Q_{ww,k-1} S_{k,k-1}^T \quad (3.18)$$

$$S_{k,k-1}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \frac{(t_k - t_{k-1})^2}{2} & \mathbf{I}(t_k - t_{k-1}) & \mathbf{I} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Bozucu etkilerin ivme vektörü w belirsizdir ve kural olarak ölçülemez. Bu nedenle w için psödo gözlem vektörü $w = 0$ alınabilir. Bozucu etkilerin konuma etkisi daha önceki deneylerden yararlanarak belirlenebilir. Buna karşın hız ve ivmedeki etkileri zor tahmin edilir. Bozucu etki ivmesinin kovaryansı bozucu matris S yardımıyla aşağıdaki bağıntıdan türetilebilir.

$$Q_{ww,k-1} = 4(t_k - t_{k-1})^{-4} Q_{SS,k-1} \quad (3.20)$$

Burada Q_{SS} , noktaların $(k-1)$ periyodundaki konumlarının bozucu bileşenleri için kovaryans matrisidir. k periyodunda yapılmış olan ölçülerin düzeltme denklemi,

$$l_k + v_{l,k} = A_k \hat{Y}_k = \begin{bmatrix} A_{\text{konum},k} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ \dot{Y} \\ \ddot{Y} \end{bmatrix}_k \quad (3.21)$$

ile k periyodunun prediksyon denklemi (3.17) ile birleştirilerek filtre aşamasının fonksiyonel ve stokastik modeli aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} \bar{Y}_k \\ l_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ A_k \end{bmatrix} \hat{Y}_k - \begin{bmatrix} v_{\bar{Y},k} \\ v_{l,k} \end{bmatrix}, \quad Q_k = \begin{bmatrix} Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} & 0 \\ 0 & Q_{ll,k} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Kalman kazanç (gain) matrisi olarak adlandırılan matris K_k aşağıdaki gibi olmak üzere,

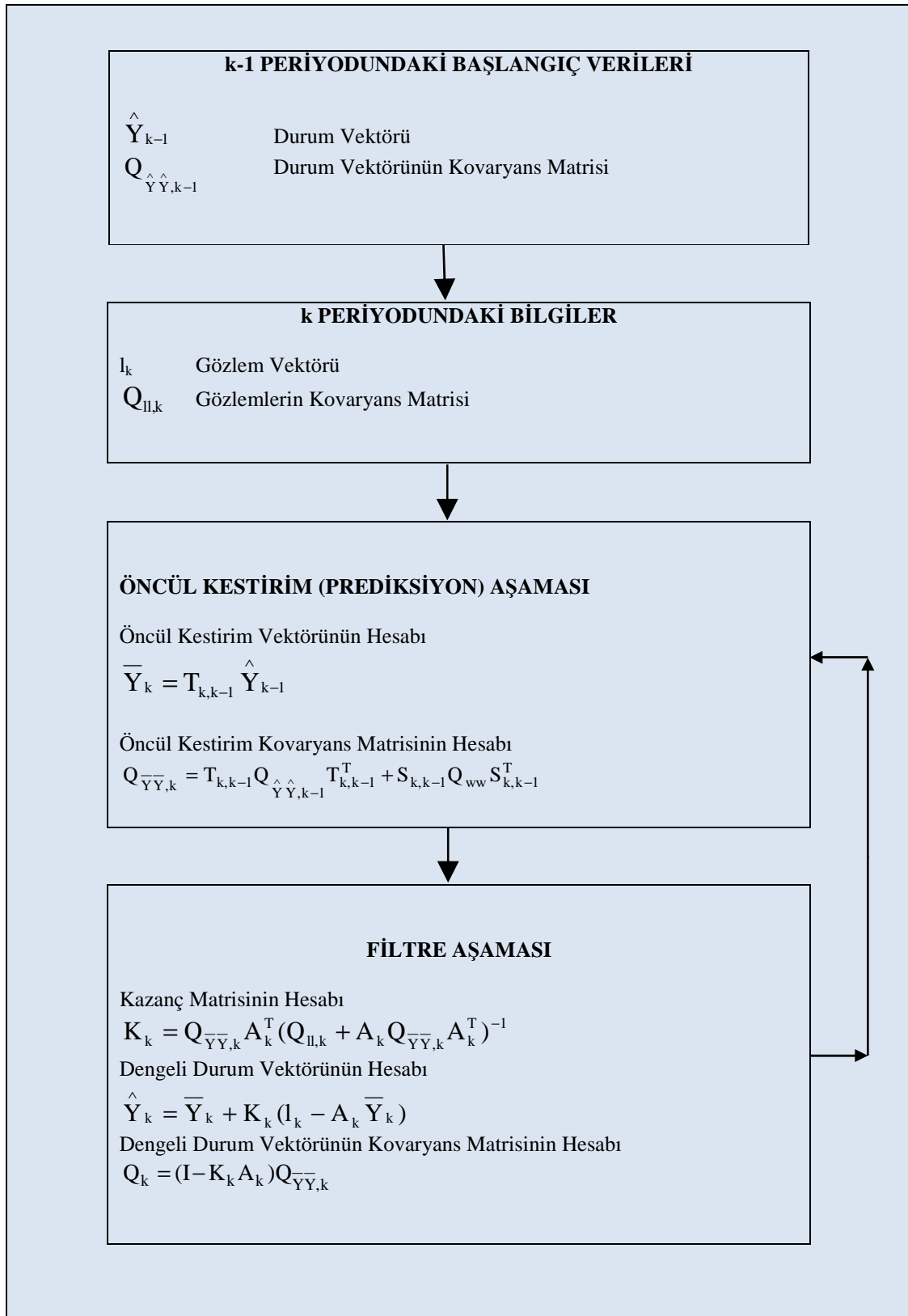
$$K_k = Q_{\bar{Y}\bar{Y},k}^{-1} A_k^T (Q_{ll,k} + A_k Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} A_k^T)^{-1} = Q_{\bar{Y}\bar{Y},k}^{-1} A_k^T D_k^{-1} \quad (3.23)$$

Yenilik vektörü d_k , t_k anındaki filtre edilmiş (dengelenmiş) durum vektörü \hat{Y}_k , prediksiyon edilmiş durum vektörünün düzeltilmesi $v_{\bar{Y},k}$ ve t_k anındaki ölçülerin düzeltilmesi $v_{l,k}$ aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} d_k \\ \hat{Y}_k \\ v_{\bar{Y},k} \\ v_{l,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_k & I \\ I - K_k A_k & K_k \\ -K_k A_k & K_k \\ Q_{ll,k} D_k^{-1} A_k & -Q_{ll,k} D_k^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{Y}_k \\ l_k \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Filtre aşaması gerçekte klasik en küçük kareler yöntemiyle dengelemedir. Klasik dengelemeden en önemli farkı, klasik dengelemede ölçü sayısı n bilinmeyen sayısı u 'dan daha büyük olmak zorundadır, Kalman-filtresinde ise ölçme sayısı bilinmeyenlerin sayısından az olabilir. Filtre, ölçme verileri ve öncül kestirim bilgilerinin ağırlıklı kombinasyonu ile durum bilinmeyenlerinin filtre edilmiş (dengelenmiş) değerlerini hesaplar.

Pelzer (1986)' ya göre Kalman Filtresi her yeni periyotta tekrar başa dönerek çalışmasına devam eder. Bu tekrarlı yapı Kalman Filtresinin en önemli özelliklerinden biridir. Bunun yanı sıra yöntem tekrarlı yapısı içerisinde her öncül kestirimini, o ana kadar yapılmış tüm ölçüleri kullanarak hesaplar (Chui ve Chen, 1998; Yalçınkaya, 2001). Kalman-Filtreleme Tekniğinin iş akış şeması Şekil 3.8' de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kalman-Filtreleme tekniğinin akış şeması (Bayrak, 2003)

Hareketin yorumlanması için özellikle ivmenin işareti çok önemlidir. Çünkü deformasyonun seyrinin nasıl olacağı ivmenin büyüklüğüne göre yorumlanabilir. “ivme> 0” ise deformasyon hızı büyür. Bu durum araştırılan noktanın kararsızlığını gösterir. “ivme< 0” ise deformasyon hızı azalır. Çoğu kez ivmenin işaretini deformasyon modelinin fiziksel çevre koşulları etkiler (Doğanalp, 2005).

Filtre aşaması gerçekte klasik en küçük kareler yöntemiyle dengelemedir. Klasik dengelemeden en önemli farkı; klasik dengelemede ölçü sayısı n bilinmeyen sayısı u’dan daha büyük olmak zorundadır. Kalman Filtresinde ise ölçme sayısı bilinmeyenlerin sayısından az olabilir. Filtre, ölçme verileri ve öncül kestirim bilgilerinin ağırlıklı kombinasyonu ile durum bilinmeyenlerinin filtre edilmiş (dengelemiş) değerlerini hesaplar (Gülal, 1999; Bayrak ve Yalçınkaya, 2002).

3.6.2.1.2. Kalman-Filtreleme Tekniğinin Global Testi

Ön kestirimle hesaplanan durum vektörü ile dengelemeyle (filtrelemeyle) bulunan durum vektörü arasındaki fark test edilir.

$$\hat{Y}_k - \bar{Y}_k = K_k d_k \quad (3.25)$$

Sıfır hipotezi aşağıdaki biçimde kurulur.

$$H_0: E(d_k) = E(l_k) - A_k E(\bar{Y}_k) = 0 \quad (3.26)$$

Test büyüklüğü, filtreleme yönteminin birim ölçünün varyansı $s_{0,k}^2$ ile önceki prediksyondan kestirilen varyans s_0^2 yardımıyla, $n_{1,k}$, k periyodundaki ölçü sayısı olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_G = \frac{s_{0,k}^2}{s_0^2} = \frac{d_k^T D^{-1} d_k}{n_{1,k} s_0^2} \quad (3.27)$$

$T_G > F_{n_l, k, f, 1-\alpha}$ ise sıfır hipotezi geçerli sayılamaz. Uyuşumsuzluk gözlem vektörü l_k ya da prediksyonla kazanılan \bar{Y}_k dan kaynaklanabilir. Ölçülerdeki kaba hatalar uyumsuz ölçüler testi ile belirlenir ve ayıklanır. Global test hala anlamlı çıkmıyorsa uyumsuzluğun nedeni predikte edilen durum vektöründe olduğu varsayılır.

Bir P_j noktasına ait 9 hareket parametresinden oluşan düzeltme vektöründen (3.28) yararlanarak test büyüklüğü, (3.30) eşitliğinden hesaplanarak tablo değeriyle karşılaştırılır.

$$v_j^T = \begin{bmatrix} v_{x_j}^{\wedge} & v_{y_j}^{\wedge} & v_{z_j}^{\wedge} & v_{x_j}^{\cdot} & v_{y_j}^{\cdot} & v_{z_j}^{\cdot} & v_{x_j}^{\ddot{\cdot}} & v_{y_j}^{\ddot{\cdot}} & v_{z_j}^{\ddot{\cdot}} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

$$\frac{v_j^T Q_{jj}^{-1} v_j}{9 s_0^2} \geq F_{9, f, 1-\alpha} \quad (3.30)$$

(3.34) eşitliği geçerli ise P_j noktasında bir model hatası vardır. Bu model hatası, P_j noktasındaki bozucu etkilerin büyütülmesiyle giderilebilir. Bu durumda model hatası oluşan noktadaki bozucu ivmenin varyansı büyütülmelidir. Bu işleme anlamlı model hatası kalmayıncaya kadar devam edilmelidir (Yalçınkaya (Ünver), 1994; Bayrak, 2003).

3.6.2.1.3. Hareket Parametrelerinin Anlamlılık Testi

Kalman-filtreleme tekniği ile hesaplanan konum, hız, ivme parametrelerinin anlamlı olup olmadıkları test edilmelidir. Her noktanın koordinatlarının, konum, hız, ivme bilinmeyenlerinin testi için test büyüklükleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} T_{x_i} &= \frac{|x_i|}{m_{x_i}} \quad , & T_{y_i} &= \frac{|y_i|}{m_{y_i}} \quad , & T_{z_i} &= \frac{|z_i|}{m_{z_i}} \\ T_{\dot{x}_i} &= \frac{|\dot{x}_i|}{m_{\dot{x}_i}} \quad , & T_{\dot{y}_i} &= \frac{|\dot{y}_i|}{m_{\dot{y}_i}} \quad , & T_{\dot{z}_i} &= \frac{|\dot{z}_i|}{m_{\dot{z}_i}} \end{aligned} \quad (3.31)$$

$$T_{x_i} = \frac{\left| \begin{array}{c} \dots \\ x_i \end{array} \right|}{m_{x_i}}, \quad T_{y_i} = \frac{\left| \begin{array}{c} \dots \\ y_i \end{array} \right|}{m_{y_i}}, \quad T_{z_i} = \frac{\left| \begin{array}{c} \dots \\ z_i \end{array} \right|}{m_{z_i}}$$

Test büyüklükleri ayrı ayrı t-Tablo değeri ile karşılaştırılır.

$T_{x_i} \geq t - \text{Tablo}$, $T_{y_i} \geq t - \text{Tablo}$, $T_{z_i} \geq t - \text{Tablo}$ ise KONUM bilinmeyi ANLAMLIdır.

$T_{x_i} \geq t - \text{Tablo}$, $T_{y_i} \geq t - \text{Tablo}$, $T_{z_i} \geq t - \text{Tablo}$ ise HIZ bilinmeyi ANLAMLIdır.

$T_{x_i} \geq t - \text{Tablo}$, $T_{y_i} \geq t - \text{Tablo}$, $T_{z_i} \geq t - \text{Tablo}$ ise İVME bilinmeyi ANLAMLIdır.

3.6.2.1.4. Kalman-Filtreleme Tekniğinde Başlangıç Periyodunda Yapılacak İşlemler

Kalman-filtreleme analizinin yapılabilmesi için t_{k-1} periyodundaki hareket parametrelerinin ve bunların kovaryans matrislerinin bilinmesi gerekmektedir. Fakat başlangıç periyodunda bunlar bilinmemektedir. Bu bilgiler, ancak t_0 , t_1 ve t_2 periyotlarının değerlendirilmesinden sonra elde edilirler. Kalman-filtreleme modeliyle yapılacak çözümde başlangıç periyodunda yapılacak işlemler aşağıda açıklanmıştır.

- Sıfırinci Periyodun (t_0) Değerlendirilmesi

Sıfır periyodunun değerlendirilmesinde ölçülerin türüne göre kurulan matematik modelin dengelenmesi sonucunda ağ noktalarının konum bilinmeyenleri ve bunların ters ağırlık matrisleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$Y_0^T = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ \dots \ x_n \ y_n \ z_n] \quad (3.32)$$

$$Q_{YY,0} = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} \\ Q_{yx} & Q_{yy} & Q_{yz} \\ Q_{zx} & Q_{zy} & Q_{zz} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

- Birinci Periyodun (t_1) Değerlendirilmesi

Birinci periyotta hız bilinmeyenleri hesaplanabilir. Bunun için sıfır periyodundaki durum vektörü, hesaplanacak hız kadar sıfırla genişletilir.

$$\hat{Y}_0^T = [x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad . \quad . \quad x_n \quad y_n \quad z_n \quad 0 \quad . \quad . \quad 0] \quad (3.34)$$

(36) eşitliğindeki kovaryans matrisi, hız parametresi için yapılan tahminlerle aşağıdaki gibi türetilerek genişletilir.

$$Q_{\hat{Y}\hat{Y},0} = \begin{bmatrix} Q_{YY,0} & Q_{\dot{Y}Y,0} \\ Q_{\dot{Y}Y,0} & Q_{\dot{Y}\dot{Y},0} \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

$Q_{YY,0}$, sıfır periyodundaki kovaryans matrisidir. Hız ile konum arasında korelasyon olmadığı varsayımı yapıldığından, ilgili matrisler sıfır alınır.

$$Q_{\dot{Y}Y} = Q_{Y\dot{Y}} = 0 \quad (3.36)$$

Hızların varyans-kovaryans matrisi henüz bilinmediğinden yaklaşık olarak tahmin edilir. Deformasyon ağının hareketli noktalarında düşünülebilen maksimum hızlar yardımıyla maksimum hata

$$H_{\max} = \dot{Y}_0 - \dot{Y}_{\max} \quad (3.37)$$

biçiminde türetilir. Ağda başlangıçta herhangi bir şekilde bilinen ya da statik bir yöntemle belirlenen hareketli noktadaki varyans aşağıdaki eşitlikten kestirilir.

$$I_1 + v_{1,1} = A_1 \hat{Y}_1 = [A_{\text{konum}} \quad 0] \begin{bmatrix} \dot{Y} \\ \dot{Y} \end{bmatrix}_1 \quad (3.42)$$

şeklindedir. Burada, A_1 ve A_{konum} ; birinci periyottaki konum (x,y,z) bilgileri için katsayılar matrisi, I_1 ve $v_{1,1}$; birinci periyotun ölçüleri ve düzeltmeleridir. Oluşturulan matrislerle Şekil 10'daki akış şeması aşamaları izlenerek birinci periyodun durum vektörü ve kovaryans matrisi hesaplanmış olur.

$$\hat{Y}_1 = \begin{bmatrix} \dot{Y} \\ \dot{Y} \end{bmatrix}_1, \quad Q_{\hat{Y}\hat{Y},1} = \begin{bmatrix} Q_{YY} & Q_{Y\dot{Y}} \\ Q_{\dot{Y}Y} & Q_{\dot{Y}\dot{Y}} \end{bmatrix}_1 \quad (3.43)$$

- İkinci Periyodun (t_2) Değerlendirilmesi

Artık ikinci periyotta ivme bilinmeyenleri hesaplanabilir. Bunun için sıfır periyodundaki durum vektörü, hesaplanacak ivme kadar sıfırla genişletilir.

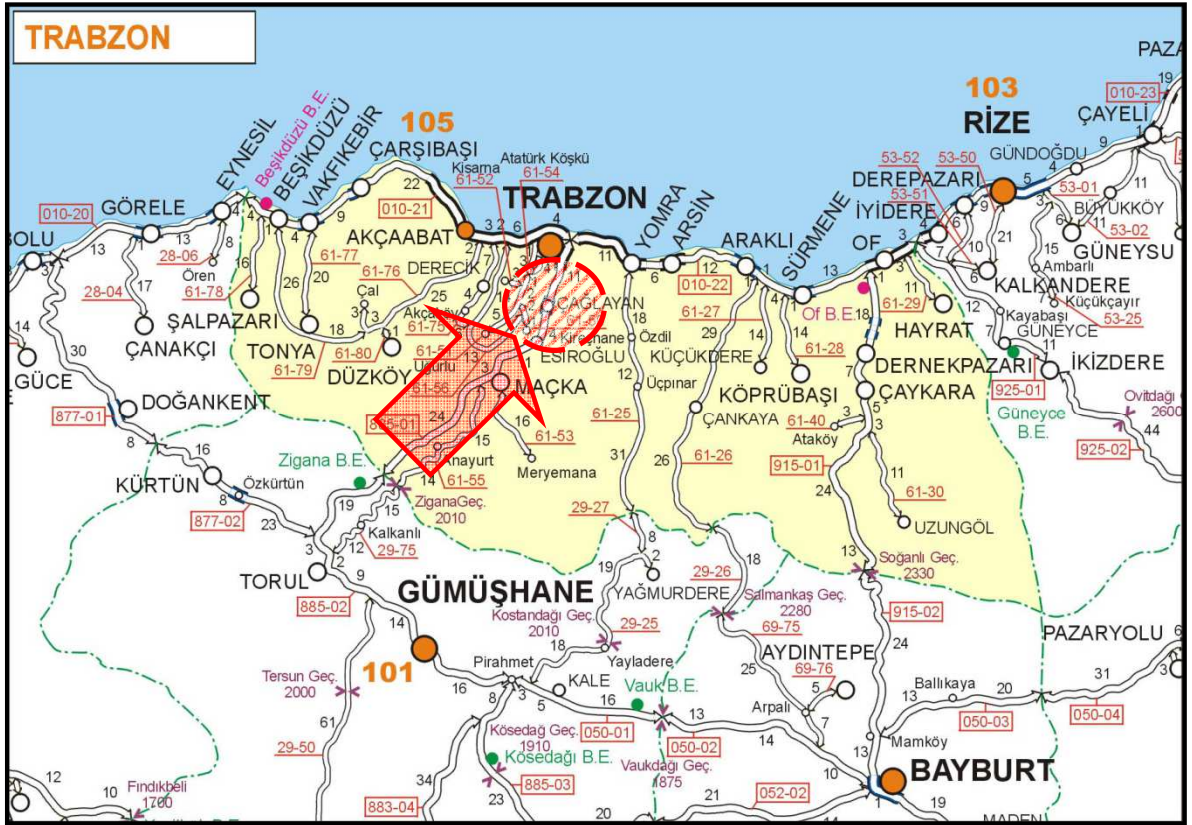
$$\hat{Y}_1^T = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & \dots & x_n & y_n & z_n & \dot{x}_1 & \dot{y}_1 & \dot{z}_1 & \dots & \dot{x}_n & \dot{y}_n & \dot{z}_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_1 \quad (3.44)$$

Birinci periyottaki kovaryans matrisi ivme için genişletilir. İvmenin varyans-kovaryans matrisi henüz bilinmediğinden birinci periyottaki gibi yaklaşık olarak tahmin edilir. Birinci periyotta hesaplanan hız ve konum ile ivme arasında korelasyon olmadığı varsayımı yapıldığından, ilgili terimler sıfır alınarak kovaryans matrisi,

4. TRABZON/KUTLUGÜN (HACİMEHMET) HEYELANI

4.1. Çalışma Alanı

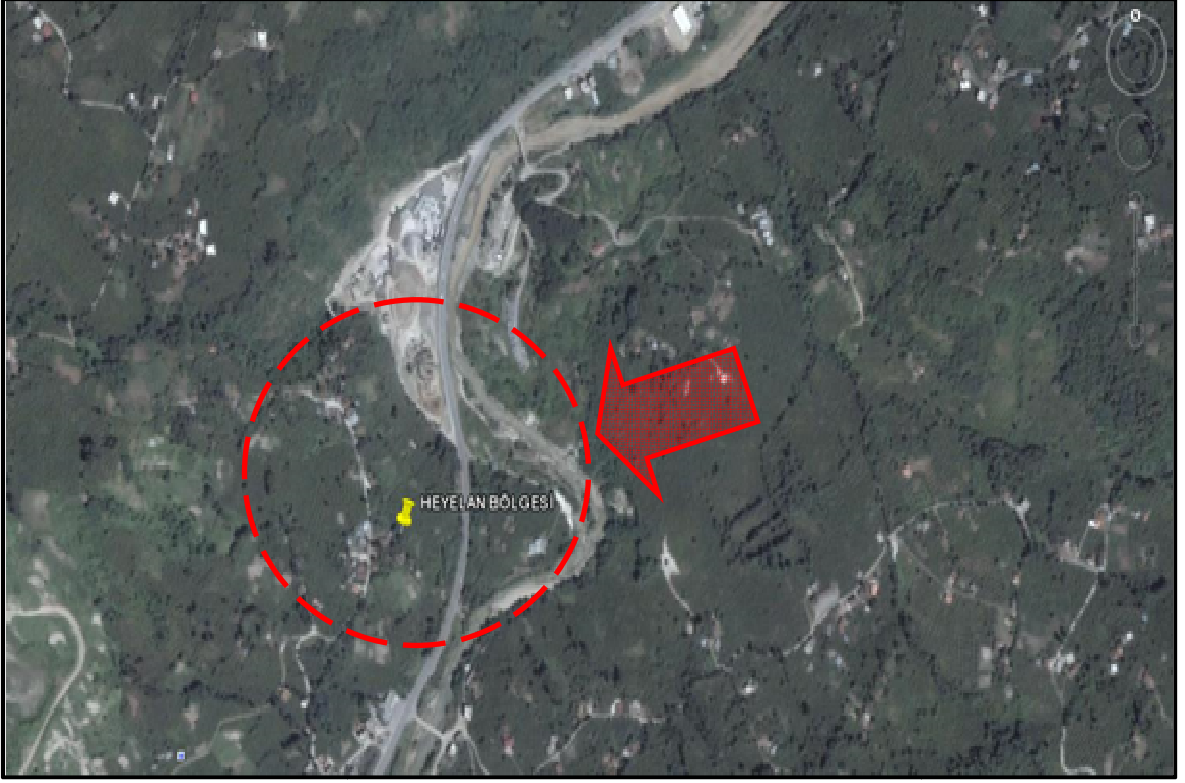
Uygulama alanı olarak, Doğu Karadeniz Bölgesi, Trabzon ili, Çağlayan beldesinde heyelanlı bir bölge olan Kutlugün Köyü seçilmiştir (Şekil 4.1). Çalışma alanı, Trabzon – Maçka – Gümüşhane Devlet Yolu 7. Km’lerde sağ yamaç da bulunmaktadır (Şekil 4.2). Çalışma alanında genelde seyrek yerleşim görülmekle beraber; arazi, fındık ve tarım alanlarından oluşmaktadır (Şekil 4.3, Şekil 4.4).



Şekil 4.1. Çalışma alanının yer buldur haritası

Çalışma yapılan yamacın alt kısmından, Trabzon-Maçka karayolu, Değirmendere nehri, ve Trabzon ilinin içme suyu ihtiyacını karşılayan ana isale hattı geçmektedir (Şekil 4.5). İsale hattı geçmişte muhtelif heyelanlar gelişmesi sebebiyle güzergahı değiştirilmiştir. Mevcut Trabzon-Maçka Devlet yolu, sandık yarmadan geçmekte olup; önceleri Değirmendere nehrini takip ederken, daha sonra yapılan değişikliklerle; yol

platformu heyelan topuğunun bir miktar boşaltılmasıyla şu anki durumuna gelmiştir. (Şekil 4.6).



Şekil 4.2. Heyelan bölgesi ve yakın çevresinin uydu görüntüsü



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan pilyelerden birinin görünümü (Bayrak, 2003)



Şekil 4.4. Çalışma alanına ait resimler



Şekil 4.5. İçme suyu isale hattı (Bayrak, 2003)



Şekil 4.6. Mevcut karayolu ve heyelan topuk bölgesi

Uygulama alanında, heyelanın çökme, göçme, kabarma şekillerine bağlı olarak gelişmiş yayvan tepecikler, küçük düzlükler ve çukurlarla; eğimleri lokal olarak değişen engebeli arazi şekilleri bulunmaktadır. Bölge, heyelanın etkilerine bağlı olarak homojen eğime sahip olmamakla beraber; bahar ve kış mevsimlerinde uzun süreli yağışlar almaktadır. Çalışma alanında, heyelanın kaynağını oluşturan yolun üst kesimi afete maruz bölge içerisine alınarak bazı konutların boşaltılması ve nakledilmesi yoluna gidilmiştir (Şekil 4.7).

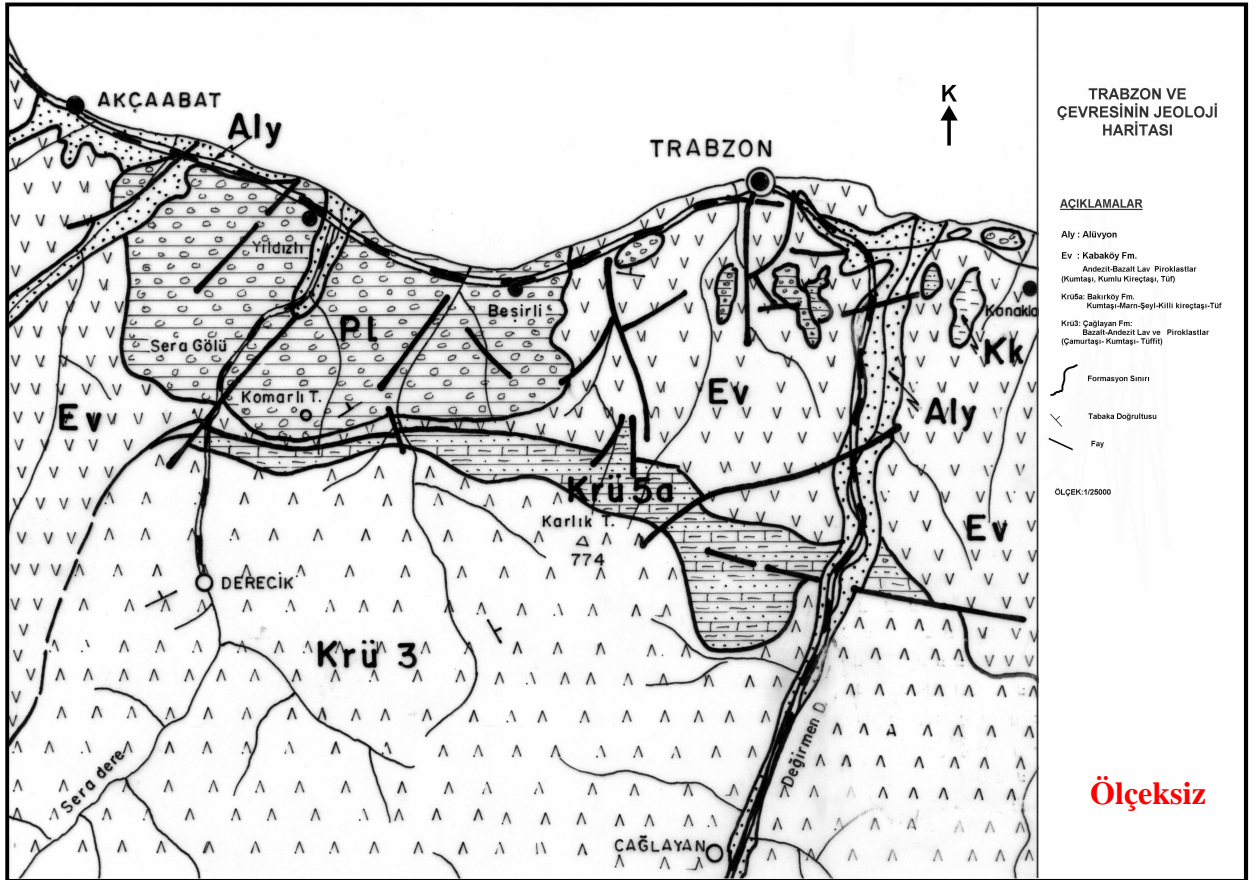


Şekil 4.7. Oluşan afet nedeniyle boşaltılan konutlar

4.2. Jeolojik Yapı

Heyelan nedeniyle oluşan etkilerin, topuk noktasında mevcut devlet yolu platformunu da içine alacak şekilde gelişim göstermiş, mevcut ve potansiyel zemin problemlerinin tespit edilmesi ve uygun çözümlerin oluşturulması gerekliliği doğmuştur; bu kapsamda, Trabzon – Erzurum (Trabzon – Gümüşhane Arası) Devlet Yolu güzergahına komşu kesimde Km: 6+950 – 7+300 arasında zaman içerisinde gelişen heyelanın mekanizmasının tespitine ve hareketlerin önlenmesine yönelik çalışmalar ile çözüm projesini içeren değerlendirme raporu, 2010 yılında Karayolları 10. Bölge Müdürlüğüne hazırlanmıştır.

Trabzon – Erzurum (Trabzon – Gümüşhane Arası) Devlet Yolu Km = 6+950 - 7+300 Hacımehmet Heyelanı Değerlendirme Raporu kapsamında Jeolog ve Jeofizikçiler tarafından arazi çalışmaları yapılmıştır. Bölgenin jeolojik yapısı incelenmiş, zemin etüdü ve projelendirme çalışmaları yapılmıştır.



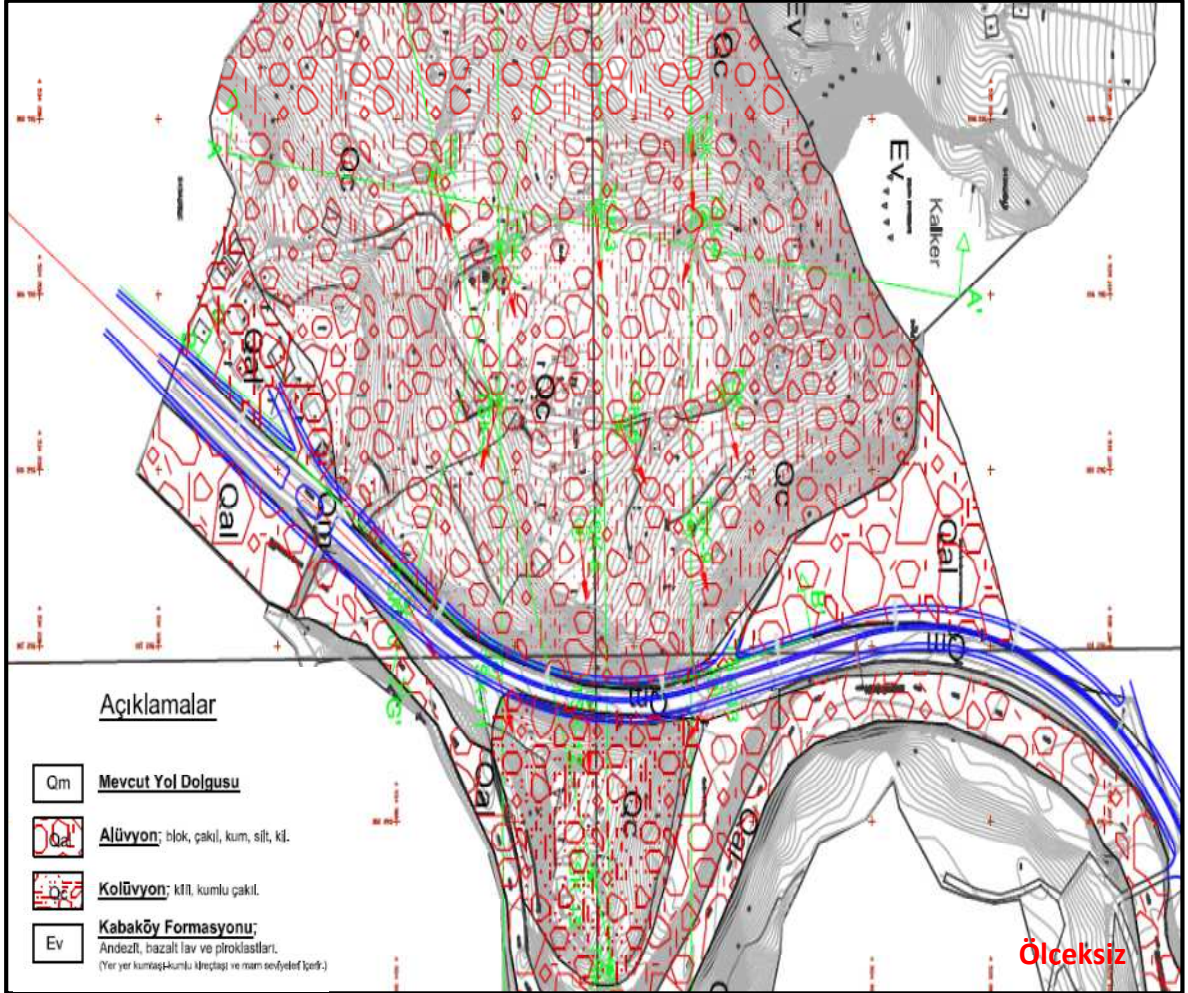
Şekil 4.8. Heyelan bölgesi ve yakın çevresinin jeolojik haritası (Hacımehmet heyelan raporu, 2010)

ÜST SİSTEM		SİSTEM		SERİ	KAT	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR			
M E S O Z O Y I K	J U R A	K R E T A S E	Ü S T K R E T A S E	KAMPANİYEN-MAASTRİHTİYEN	KABAKÖY	KABAKÖY	Qal		Kum, kil, çakıl.			
							PLiO. KUV.	HAMI DIYE	Plih	HAMIDIYE FORMASYONU	Çakıllı, kum, kil.	
							PLiO.	BESİR- LI	PliB	BESİRLİ FORMASYONU	Konglomera, kumtaşı, killi, bazalt aglomera.	
									Tk	KABAKÖY FORMASYONU	Andezit-bazalt lav ve piroklastları (Kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn)	
									KTb	BAKIRKÖY FORMASYONU	Tk2 Kaçkar granitoidi-I UYUMSUZLUK	
									KÇb	ÇAYIRBAĞ FORMASYONU	BAKIRKÖY FORMASYONU	Kumtaşı, marn, killi kireçtaşı.
									KÇa	ÇAĞLAYAN FORMASYONU	ÇAYIRBAĞ FORMASYONU	Riyolit-riyodasitik lav ve piroklastları
									Kk	KIZILKAYA FORMASYONU	ÇAĞLAYAN FORMASYONU	Bazalt-andezit lav ve piroklastları (Kırmızı çamurtaşı, marn, kumtaşı, tuf.)
									Kc	ÇATAK FORMASYONU	KIZILKAYA FORMASYONU	Riyodasit-dasitik lav ve piroklastları
									JKb	BERDİGA FORMASYONU	ÇATAK FORMASYONU	Bazalt-andezit lav ve piroklastları (Kumtaşı, silttaşı, killi kireçtaşı.)
		Jh	HAMURKESEN FORMASYONU	BERDİGA FORMASYONU	Çörtlü kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, resifal kireçtaşı.							
PALEOZOYİK						Pzm		HAMURKESEN FORMASYONU	Bazalt-andezit lav ve piroklastları (Konglomera, kırmızı renkli kumtaşı, killi kireçtaşı, marn.)			
								UYUMSUZLUK	METAMORFİK TEMEL	Gnays, mikasist, klorit şist.		

Şekil 4.9. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik kolon kesiti (Hacımehmet heyelan raporu, 2010)

4.2.1. Yerel Jeoloji

Heyelanlı alanda açılan araştırma sondajlarından elde edilen verilere göre, tabii zemin seviyesinden itibaren karşılaşılan birimler sırasıyla kolüvyon, Kabaköy Formasyonunu oluşturan çamurtaşı-kiltaşı-kumtaşı-kireçtaşıdır.



Şekil 4.10. Bölgenin jeolojik yapısı (Hacıme Mehmet heyelan raporu, 2010)

Tabii zemin seviyesinden itibaren girilen Kolüvyon, kaya malzemenin yerinde ayrışması ve yamaç boyunca yerçekimi etkisiyle hareket edip yamaç eteğine birikmesiyle oluşmuş, killi kumlu çakıllı, bloklu malzemeden meydana gelmektedir. Çalışma bölgesi heyelanı da Kabaköy Formasyonunun ayrışmasından oluşan kolüvyon içinde oluşmuştur.

Kabaköy Formasyonu (Ev) ise yukarıda da bahsedildiği gibi çamurtaşı-kiltaşı-kumtaşı-kireçtaşı birimlerinden ve bunların yer yer aralanmasından oluşmuştur. Birim, yeşilimsi gri renkli, yumuşak-az sert yer yer orta sert, çok zayıf-zayıf dayanımlı, orta derecede – çok ayrışmıştır.

Hacımehmet Heyelanı'nın varlığı yaklaşık 50 yıldır bilinmektedir. Son 20 yılda heyelan bölgesindeki evlerde çatlaklar oluşması ile Trabzon-Maçka karayolunu ilgilendiren kesiminde somutlaşan bir kitle kayma hareketinin varlığı belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Mevcut yol platformunda gözlenen deformasyonlar

Soruna çözüm bulmak için hareket eden kütleyi tanımlama, aktiviteye doğrudan ve dolaylı etkin faktörleri saptama, heyelanın sınıfını belirleme, stabilitesi bozulan yamaçların jeolojik ortam tespitlerini yapma, yüzey ve yeraltı çalışmaları, programa göre yürütülen araştırmalar sonucu sağlanmıştır. Mühendislik jeolojisi çalışmaları, sondaj işlemleri ile birlikte koordineli yürütülmüştür. Heyelan sonucu, kütle hareketi ile oluşan ve morfolojiye yansıyan esas ve ikincil aynaların oluşturduğu yay ve at nalı biçimli şekiller ile taç-kopma aynası şevleri belirlenmiştir.

İncelenen alan ve özellikle daha üst kotlarda, morfoloji ve oluşturduğu topografik şekillerle, çökme bölgelerinde oluşan çukur ve düzlükler, kabarma bölgelerini karakterize eden küçük tepeler, yer kaymasını işaret eden delillerdir. Çalışma alanımız dışında da kopma aynaları daha üst kotlarda bulunan at nalı morfolojik şekilli rotasyonel kayma heyelanları saptanmıştır. Hacımehmet Heyelanı büyüklüğü birkaç kilometrekareyi bulan fosil bir heyelan alanı içinde yer almaktadır. Bu heyelan başlangıçta gerileyen tipte gelişmiş, ilk oluşan ve hareket halindeki kütlelerin kayarak daha gerideki kütleden kopması ve buna benzer ardışık hareketler sonucunda oluşturmuştur. Hacımehmet Heyelanı tarihçesine göre duyarlı potansiyel durumdan, ilerde açıklanacak nedenlerle aktif hale geçerek, ilerleyen bir heyelan yapısı kazanmıştır. Yani ikincil kayma aynaları yamaç aşağı yönde gelişmiştir.

Heyelan bölgesindeki kayma hareketi, kiltası-kumtaşı ardalanmasının yamaç aşağı kopmaları ile başlar. Kopmalar sonucunda heyelan aynası oluşmuştur. Bu kopmaların meydana getirdiği kayma düzlemi kaşık biçimli olup hareket rotasyoneldir. Varnes'in Şekil 2.1 deki sınıflamasına göre az ve çok parçalı ana kayada oluşan heyelan "Rotasyonel Heyelan" tipindedir. Bu tip bir heyelanın oluşturduğu topografyaya akseden heyelan morfolojisi, oturma, çökme, kabarma ve akma bölgeleri örneklemesine uymaktadır. Hacımehmet Heyelanı, yaklaşık olarak 750 m. uzunlukta, ortalama 400-450 m eninde ve Devlet Yolu kısmında 200 m. enindedir. Esas aynadan başlayan kayma düzleminin derinliği yapılan sondajlara göre, ~50-60 m. Trabzon-Maçka Yolu kısmında ise 15-20 m. olarak belirlenmiştir.

İlk harekette, yamaç eğiminin etkili olmadığı kanısına varılmıştır. Yamaç eğiminin ortalama 11-16 derece arası değiştiği eski topografyada, yamaca bağlı kayma riski ortam altındadır. Heyelan eden kütlelerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri nedeni ile ortam koşullarının etkisi altında kaldığı doğaldır. Kaya olarak litolojisinden kaynaklanan düşük direnç özelliğe sahip kiltası-kumtaşı ardalanmasının, su ve hava teması ile dağılabilmesi, çok sık süreksizliklerle bölünmesi ve ayrıca mekanik olarak parçalanması da ayrışmayı kolaylaştırmıştır. Ardalandığı birimin ayrışmasıyla birlikte plastik killi seviyeleri de içeren kütle oluşmuştur. Bu kütlelerin mekanik kırılma ve ayrışma sonucunda gevşemesi ile porozitesi ve dolayısı ile su tutma kapasitesi yükselmiştir.

Bölgenin uzun süreli yağışlı mevsime sahip olması ve yıllık yağış miktarının yüksekliği, su tutarak akifler özelliğine gelen bu malzemede yüksek su tablası oluşturmuş ve boşluk suyu basınçlarını arttırmıştır. Büyük bir olasılıkla yamaç altında Değirmendere'nin topuk oyması sonucu yanal desteği kalkan ve jeoteknik açıdan düşük direnç özellikleriyle hareket potansiyeli taşıyan kütlede, yamaç yukarı doğru gerileyen rotasyonel çok safhalı bir heyelan gelişmiştir. İlk oluşan heyelan, morfoloji ve sondaj bulgularına göre Değirmendere'yi kapatarak, derenin mecrasını bugünkü hale getirmiştir. Heyelan ederek hareketlenen kütle bir kere daha parçalanmış, direnç özellikleri azalarak rezidüel nitelik kazanmıştır.

Yeraltı suyuna ait bilgiler, yüzey çalışmaları ve delgi sırasında su seviyesinin düzenli izlenmesi sonucu elde edilmiştir. Heyelan oluşum sürecinde mekanik olarak ayrışan malzemede yüksek gözeneklilik ve geçirimsizlik gelişmiştir. Yağışlı bir iklime sahip bölgede bütün heyelan alanı, suyu depolayacak akifer niteliğine sahiptir. Hacımehmet

heyelanının üst kesiminde yer alan fosil yer kayması, incelenen heyelanın morfolojisine paralel olarak çanak şekilli bir beslenme alanı oluşturmaktadır. Akifer tabanı olarak belirlenen geçirimsiz kayma düzleminin topografyayı kestiği kesimlerden, yer altı suyunun pınarlar halinde boşaldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak heyelan alanındaki malzeme önemli ölçüde su etkisi altında bulunmaktadır.

Heyelanın hareketlenmesindeki etkin faktörler, olumsuz yeraltı suyu koşullarına bağlı olarak gelişen şartlar ve yüksek ayrışma olarak belirlenmiştir. Akifer nitelikleri de taşıyan heyelanlı bölgede yüksek su tablasıyla oluşan boşluk suyu basıncına ek olarak artezyen basınçları da meydana gelmiştir. Gevşemiş ve parçalanmış kütlede ayrışma daha da etkili olarak zeminin suya doygun hale gelmesine neden olmuştur. Suya doygun bu çoğunlukla killi malzeme oluşan bu birim oldukça düşük direnç nedeni ile potansiyel olarak düşük kayma duraylılığına sahip hale gelmiştir (Hacıme Mehmet Heyelan Raporu, 2010).

4.2.2. Mevcut Durum

Önceki bölümde detaylı olarak tariflendiği şekliyle Trabzon – Maçka – Gümüşhane Eski Devlet Yolu'nun yerine inşa edilen yeni devlet yolunda Km:6+950 – 7+300 kesiminde tespit edilen hareketlerin zaman içerisinde muhtelif defalar sorun teşkil ettiği bilinen bir durumdur. Bu kesimde yolun 550 – 600 metre sağına kadar uzanan alanda daha önce tespit edilen hareketlenmeler ertesi bölgenin afete maruz bölge kapsamına alındığı bilinmekte, afetzede olarak bazı konut nakillerinin yapıldığı görülmektedir. Hareketler, Karadeniz Bölgesi'ne has iklimsel koşulların yanı sıra bölgede mevcut jeolojik ve morfolojik yapıya bağlı olarak zaman içinde mevcut yol platformuna ulaşmış, yolun altında mevcut ana isale hattını muhtelif defalar kırmış, trafik akışını etkileyecek ölçüde çatlama, oturma ve ötelenmeler meydana gelmiştir.

İncelenen kesimde mevcut yol platformu, sağına doğal ve dere tabanına doğru hareket eden heyelandan doğrudan etkilenmiş olup, platform; heyelanın topuk noktasında kalmıştır. Asıl itibarıyla, platform eski heyelanın topuk bölgesinde ve sandık yarmada teşkil edilmiş olup, bu durumun heyelanı tetikleyici bir faktör olduğu düşünülmektedir. Tespit edilen kayma hareketi, literatüre konu olabilecek boyutlara sahip olmakla birlikte, klasik tipte bir hareket olup, keskin ve tariflenebilen hatlar içermekte ve benzer hareketlerle sıkça karşılaşılmaktadır. Hareket sınırlarının dışında ve komşu kesimlerde belirgin deformasyonlar ve gerilme çatlakları görülmektedir. Hareketlerin aktivitesinin

problemi yaşıyan bölgenin yol platformunu doğrudan tehdit etmesi ile heyelanlı alanın yüzey ve yeraltı suyu ile sürekli olarak beslenmesi gibi faktörler, kalıcı heyelan ve drenaj önlemlerinin bir arada düşünülmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple, yeni yol imalatlarının yapımı ertesinde, destek ve drenaj önlemleri alınmadığı takdirde hareketlerin niceliklerinin artması beklenecektir (Hacımehmet Heyelan Raporu, 2010).

4.2.3. Heyelan Oluşma Nedenleri

Çalışma alanında yapılan gözlemler, araştırma çalışmaları sonucu oluşturulan jeolojik yapı ve inklinometrik ölçüm sonuçları hareketlerin oluşum mekanizmaları konusunda önemli veriler içermektedir. Önceki bölümlerde de bahsi geçtiği üzere, mevcut devlet yolunun eski bir heyelanın topuğunda inşa edildiği ve bu durumun heyelanı tetikleyici bir faktör olduğu bilinen bir durumdur. Heyelanlı alana ait saha araştırmaları üst seviyelerde rastlanan Kil, Kum, Blok ve Çakıl'dan oluşan Kolüvyon'un, alttaki Kıltaşı, Kumtaşı ve Çamurtaşı'ndan oluşan kaya birimlerin üzerine yerleştiğini göstermektedir. Bölgede tespit edilen jeolojik birimler, heyelanlı kütlenin üzerinde mevcut eski heyelana ait beslenme havzasından yerüstü ve yer altı suları ile yoğun bir biçimde beslenmeye devam etmektedir. Asıl olarak yamaçtan gelen yüzey ve yeraltı sularının büyük bir kısmının heyelanlı alanın içine boşalması, inceleme alanında yerleşik, Kabaköy Formasyonu'nun ayrışmasından oluşmuş, kimi kesimlerde 80 metre kalınlıklara ulaşan Kil, Kum, Blok ve Çakıl birimin kendi içerisinde gelişmeye müsait bir ortam oluşturmaktadır.

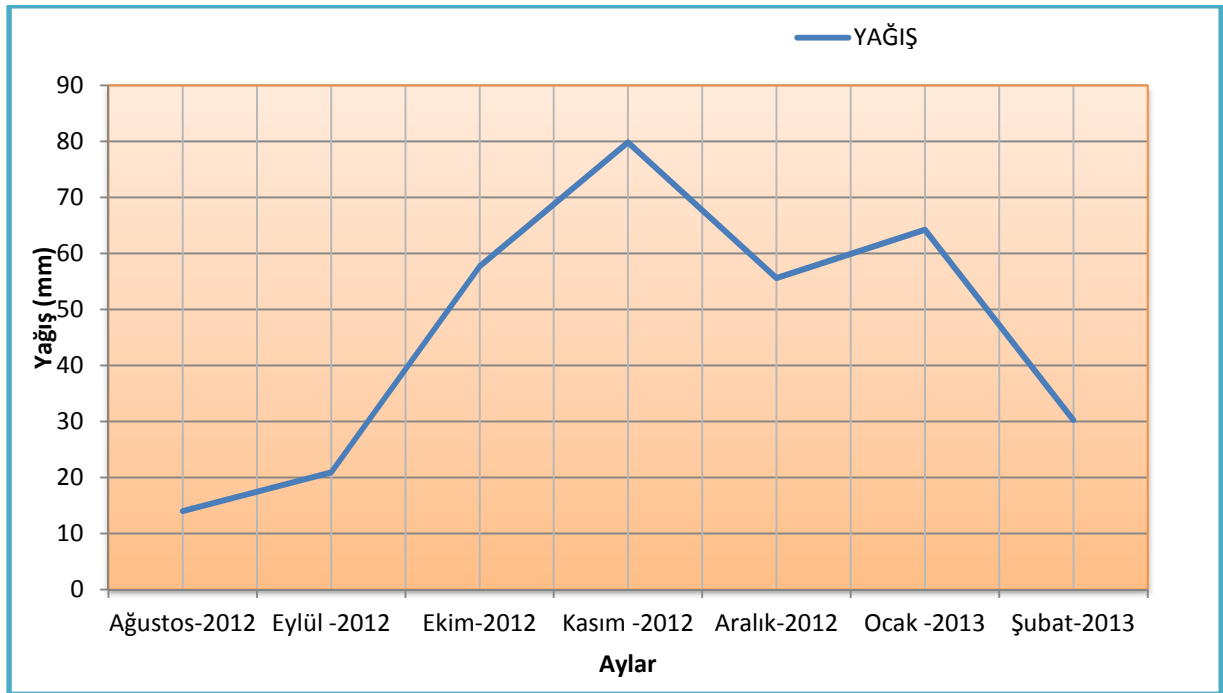
Araştırma sondajları ışığında ortaya çıkan sonuçlara göre, heyelanlı şev yüzeyini oluşturan ve maksimum 80 metre derinliklere ulaşan ayrışmış, bozuşmuş Kolüvyon birimlerinin kimi kesimlerde kendi içerisinde ve kimi kesimlerde de ana kaya üzerinde kaydığı inklinometrik ölçümlerle de teyit edilmiş bir durumdur. Söz konusu hareketlerin bir taraftan devlet yolunun yapımı sırasında topuk bölgesinde yük kaldırılması neticesinde duraylılık dengesinin bozulması, diğer taraftan da ayrışmış, bozuşmuş Kolüvyon birimine sızan yüzey ve yeraltı suyunun hareketli bünyeyi beslemesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Söz konusu faktörler sonucu oluşan duraysızlıkların öncelikli olarak sığ düzlemsel ve dairesel ötelenmeli kaymalar ya da akmalar yarattığı, devamında ise hareketlerin ardışık olarak berisindeki birimlerin topuk desteğini yok ederek geliştiği ve heyelanın güncel halini aldığı düşünülmektedir.

Duraysızlık problemi yaşıyan bölgenin yol platformunu doğrudan tehdit etmesi, ardışık bir mekanizma sergileyen ikincil ve üçüncül hareketlerin varlığı, heyelanlı alanın

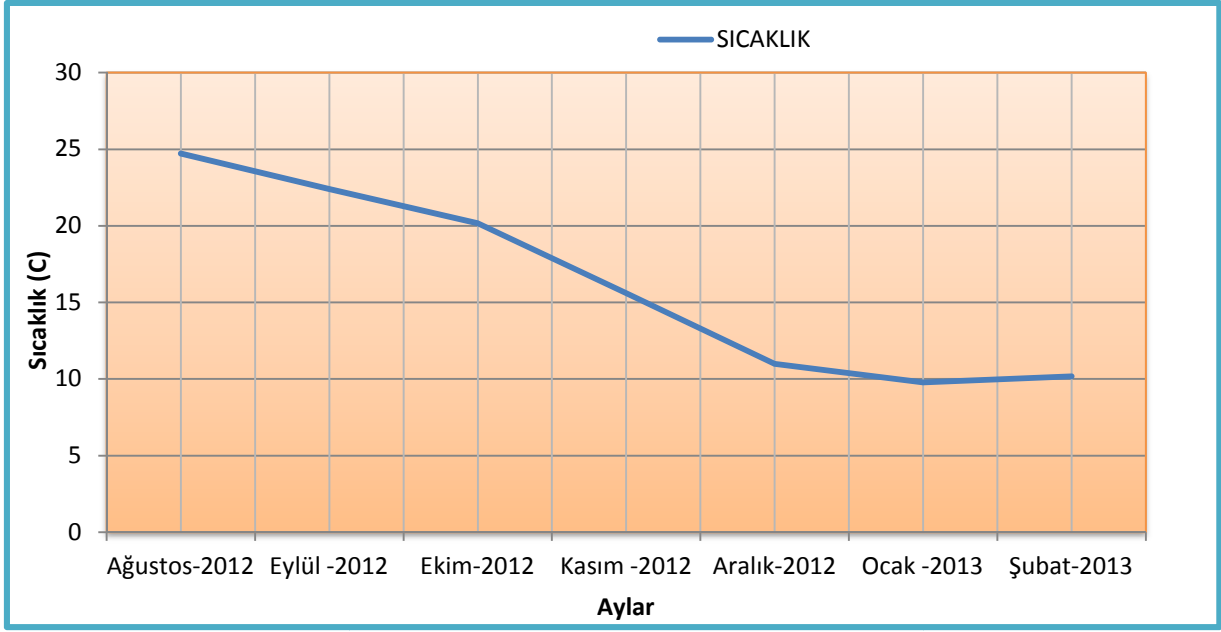
beslenme havzasından kaynaklı olarak yüzey ve yeraltı suyu ile yoğun ve sürekli bir biçimde beslenmesi gibi faktörler, kalıcı heyelan ve drenaj önlemlerinin bir arada düşünülmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple, yeni yol imalatlarının yapımı ertesinde, destek ve drenaj önlemleri alınmadığı takdirde hareketlerin niceliklerinin artması beklenecektir (Hacıme Mehmet Heyelan Raporu, 2010).

4.3. Meteorolojik Çalışmalar

Deformasyonun zamansal gelişiminin belirlenebilmesi için yapılacak gözlemlerin zamanının uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Heyelan bölgesinde, yağmur ve buna bağlı olarak oluşan yer altı suyu ve Bozukoğlu deresi, heyelan için tetikleyici etkenlerdir. Bu nedenle bölgenin en fazla ve en az yağış aldığı zamanlarda ölçülerin yapılmasının uygun olacaktır. Trabzon Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden bölgenin son on yıllık hava durumu bilgileri alınmış ve ölçü periyotları için verilen kararın uygunluğunu test etmek amacıyla Ağustos-2012 den başlamak üzere Şubat-2013'e kadar aylık yağış ve sıcaklık grafikleri çizilmiştir.



Şekil 4.13. Aylara ait yağış grafiği



Şekil 4.14. Aylara ait sıcaklık grafiği

4.4. Jeodezik Çalışmalar

4.4.1. Ön Çalışmalar

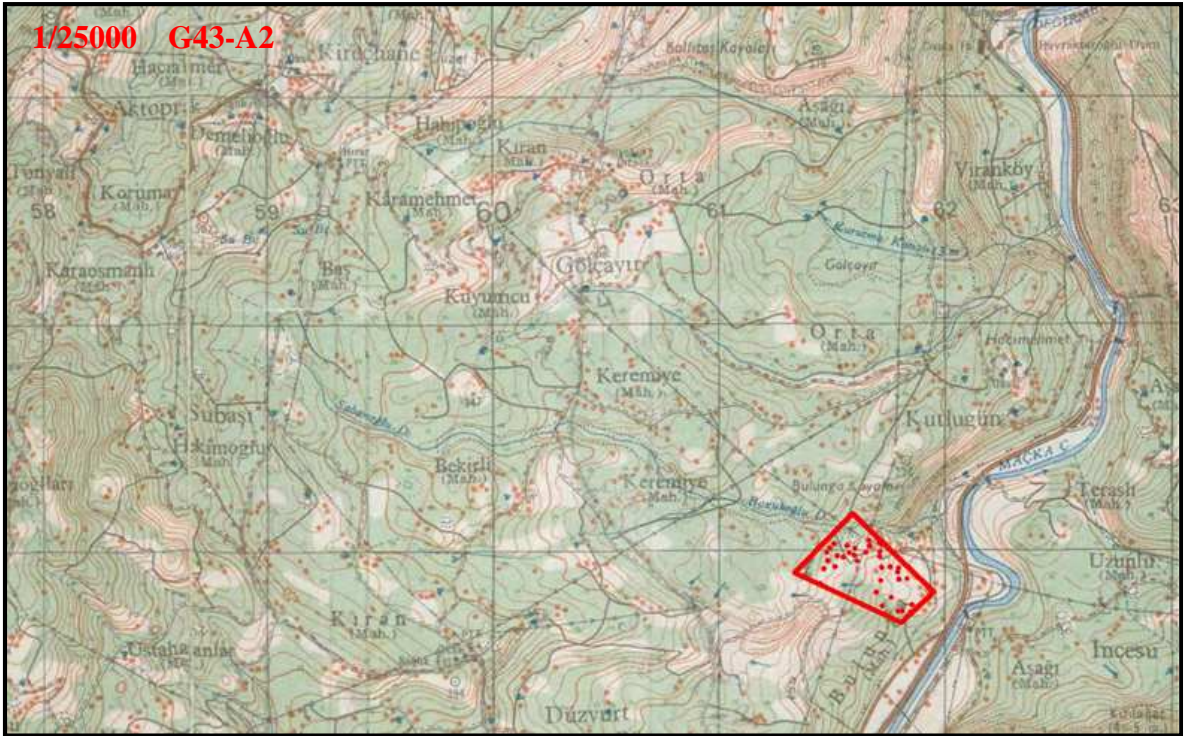
Heyelanlar, zamana ve konuma bağlı hareketler olduklarından, hareketlerin belirlenebilmesi için bölgeye amaca uygun jeodezik deformasyon noktaları tesis edilmiştir. Deformasyon noktalarının, heyelanın hareketlerini, karakteristiklerini, yönlerini ve büyüklüklerini ortaya çıkarılabilecek ve araziyi iyi temsil edebilecek yerlerde tesis edilmelerine dikkat edilmiştir (Şekil 4.15).

Jeodezik deformasyon noktalarının tesisinin ilk aşamasında, bölgenin 1:25.000 ölçekli paftasında ve uydu fotoğraflarından tesis edilecek noktaların yerleri belirlenmiştir. Nokta yerlerinin seçiminde, uydu görüşünün açık olması, dikkate alınmıştır.

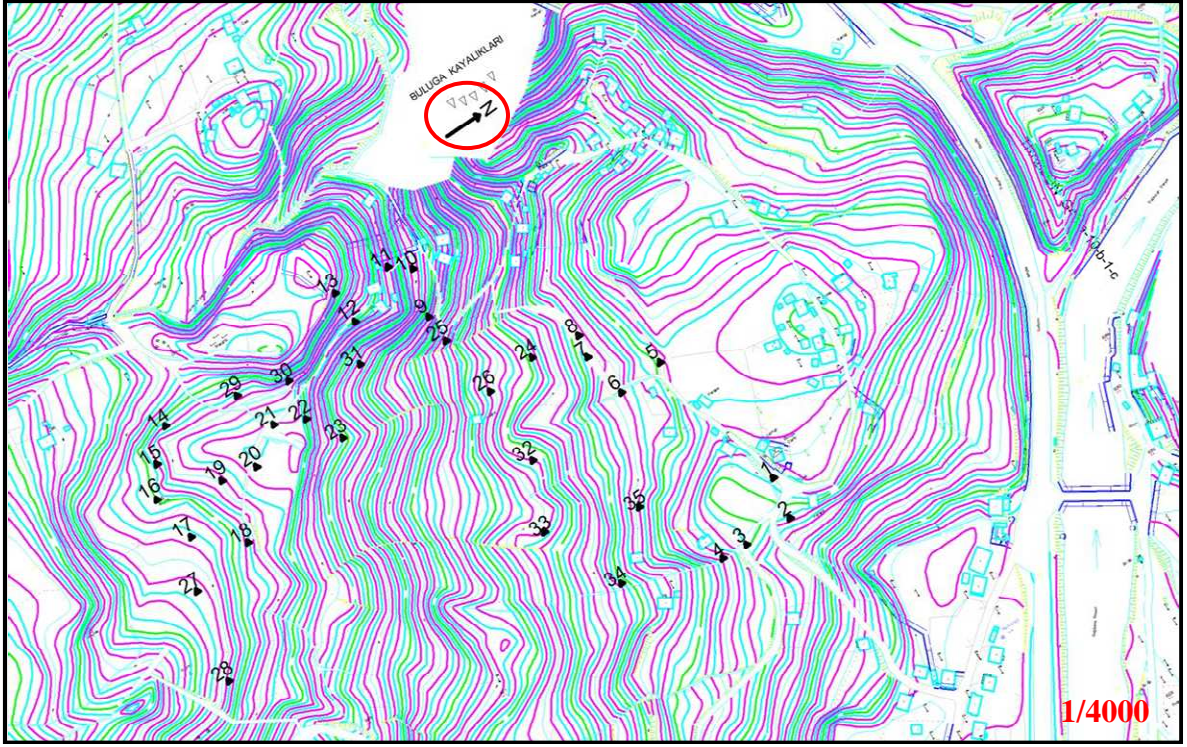
Jeodezik deformasyon noktaları 35 noktadan oluşmakta olup nokta tesisi 50 cm lik demir boru ve vidalarla yapılmıştır. TUSAGA-Aktif alıcılarının, heyelan bölgesi bitki örtüsünün yoğun olmasından dolayı, çalışma alanının her bölgesinde yeterince hassasiyette çalışmaması sebebiyle, jeodezik deformasyon noktalarının araziyi temsil edecek şekilde tesisini kısıtlamıştır (Şekil 4.16, Şekil 4.17).



Şekil 4.15. Çalışma alanının uydu fotoğrafı



Şekil 4.16. Çalışma alanının 25000 lik paftası (G43-A2)



Şekil 4.17. Çalışma alanının halihazır durumu

4.4.2 TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Gerçekleştirilmesi ve Dengelenmesi

Uygulama alanının da *SOUTH* marka *GNSS* alıcıları ile deformasyon noktalarında üç ayda bir olmak üzere Ağu.2012, Kas.2012, Şub.2013 periyotların da TUSAGA-Aktif ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüler her bir noktada 10 epok olacak şekilde yapılmıştır. Noktalara ait 10 epokluk koordinatların dengeli koordinatları aşağıda verilmektedir.

Bir noktada yapılan 10 epok ölçülere RTK dengelemesi aşağıdaki işlem adımları takip edilerek uygulanmıştır,

Tablo 4.1. 1 nolu noktanın 1. Periyot 10 epok ölçüleri

Nokta	X (m)	Y (m)	Z (m)	mx (cm)	my (cm)	mz (cm)
1	4534379.956	561863.739	123.542	1.48	1.48	1.61
1	4534379.969	561863.743	123.542	1.42	1.42	1.62
1	4534379.962	561863.747	123.544	1.46	1.46	1.59
1	4534379.968	561863.742	123.536	1.52	1.52	1.63
1	4534379.963	561863.745	123.546	1.49	1.49	1.58
1	4534379.966	561863.749	123.538	1.51	1.51	1.59
1	4534379.954	561863.748	123.539	1.53	1.53	1.58
1	4534379.965	561863.743	123.540	1.52	1.52	1.63
1	4534379.963	561863.743	123.542	1.46	1.46	1.61
1	4534379.963	561863.740	123.538	1.43	1.43	1.58

$$\begin{array}{ll}
X_1^1 + V_{X_1^1} = \hat{X}_1^1 & X_6^1 + V_{X_6^1} = \hat{X}_6^1 \\
Y_1^1 + V_{Y_1^1} = \hat{Y}_1^1 & Y_6^1 + V_{Y_6^1} = \hat{Y}_6^1 \\
Z_1^1 + V_{Z_1^1} = \hat{Z}_1^1 & Z_6^1 + V_{Z_6^1} = \hat{Z}_6^1 \\
X_2^1 + V_{X_2^1} = \hat{X}_2^1 & X_7^1 + V_{X_7^1} = \hat{X}_7^1 \\
Y_2^1 + V_{Y_2^1} = \hat{Y}_2^1 & Y_7^1 + V_{Y_7^1} = \hat{Y}_7^1 \\
Z_2^1 + V_{Z_2^1} = \hat{Z}_2^1 & Z_7^1 + V_{Z_7^1} = \hat{Z}_7^1 \\
X_3^1 + V_{X_3^1} = \hat{X}_3^1 & X_8^1 + V_{X_8^1} = \hat{X}_8^1 \\
Y_3^1 + V_{Y_3^1} = \hat{Y}_3^1 & Y_8^1 + V_{Y_8^1} = \hat{Y}_8^1 \\
Z_3^1 + V_{Z_3^1} = \hat{Z}_3^1 & Z_8^1 + V_{Z_8^1} = \hat{Z}_8^1 \\
X_4^1 + V_{X_4^1} = \hat{X}_4^1 & X_9^1 + V_{X_9^1} = \hat{X}_9^1 \\
Y_4^1 + V_{Y_4^1} = \hat{Y}_4^1 & Y_9^1 + V_{Y_9^1} = \hat{Y}_9^1 \\
Z_4^1 + V_{Z_4^1} = \hat{Z}_4^1 & Z_9^1 + V_{Z_9^1} = \hat{Z}_9^1 \\
X_5^1 + V_{X_5^1} = \hat{X}_5^1 & X_{10}^1 + V_{X_{10}^1} = \hat{X}_{10}^1 \\
Y_5^1 + V_{Y_5^1} = \hat{Y}_5^1 & Y_{10}^1 + V_{Y_{10}^1} = \hat{Y}_{10}^1 \\
Z_5^1 + V_{Z_5^1} = \hat{Z}_5^1 & Z_{10}^1 + V_{Z_{10}^1} = \hat{Z}_{10}^1
\end{array}$$

Yaklaşık değerler (koordinatların ortalaması) seçilmiştir,

Nok	Xo (m)	Yo (m)	Zo (m)	mo(cm)
1	4534379.963	561863.744	123.541	1.00

Düzeltilme denklemleri oluşturulmuştur,

$$\begin{array}{l}
X_1^1 + V_{X_1^1} = X_1^{1,0} + dX_1^1 \\
Y_1^1 + V_{Y_1^1} = Y_1^{1,0} + dY_1^1 \\
Z_1^1 + V_{Z_1^1} = Z_1^{1,0} + dZ_1^1 \\
X_2^1 + V_{X_2^1} = X_2^{1,0} + dX_2^1 \\
Y_2^1 + V_{Y_2^1} = Y_2^{1,0} + dY_2^1 \\
Z_2^1 + V_{Z_2^1} = Z_2^{1,0} + dZ_2^1
\end{array}$$

$$\begin{aligned}
X_3^1 + V_{X_3^1} &= X_3^{1,0} + dX_3^1 \\
Y_3^1 + V_{Y_3^1} &= Y_3^{1,0} + dY_3^1 \\
Z_3^1 + V_{Z_3^1} &= Z_3^{1,0} + dZ_3^1 \\
X_4^1 + V_{X_4^1} &= X_4^{1,0} + dX_4^1 \\
Y_4^1 + V_{Y_4^1} &= Y_4^{1,0} + dY_4^1 \\
Z_4^1 + V_{Z_4^1} &= Z_4^{1,0} + dZ_4^1 \\
X_5^1 + V_{X_5^1} &= X_5^{1,0} + dX_5^1 \\
Y_5^1 + V_{Y_5^1} &= Y_5^{1,0} + dY_5^1 \\
Z_5^1 + V_{Z_5^1} &= Z_5^{1,0} + dZ_5^1 \\
X_6^1 + V_{X_6^1} &= X_6^{1,0} + dX_6^1 \\
Y_6^1 + V_{Y_6^1} &= Y_6^{1,0} + dY_6^1 \\
Z_6^1 + V_{Z_6^1} &= Z_6^{1,0} + dZ_6^1 \\
X_7^1 + V_{X_7^1} &= X_7^{1,0} + dX_7^1 \\
Y_7^1 + V_{Y_7^1} &= Y_7^{1,0} + dY_7^1 \\
Z_7^1 + V_{Z_7^1} &= Z_7^{1,0} + dZ_7^1 \\
X_8^1 + V_{X_8^1} &= X_8^{1,0} + dX_8^1 \\
Y_8^1 + V_{Y_8^1} &= Y_8^{1,0} + dY_8^1 \\
Z_8^1 + V_{Z_8^1} &= Z_8^{1,0} + dZ_8^1 \\
X_9^1 + V_{X_9^1} &= X_9^{1,0} + dX_9^1 \\
Y_9^1 + V_{Y_9^1} &= Y_9^{1,0} + dY_9^1 \\
Z_9^1 + V_{Z_9^1} &= Z_9^{1,0} + dZ_9^1 \\
X_{10}^1 + V_{X_{10}^1} &= X_{10}^{1,0} + dX_{10}^1 \\
Y_{10}^1 + V_{Y_{10}^1} &= Y_{10}^{1,0} + dY_{10}^1 \\
Z_{10}^1 + V_{Z_{10}^1} &= Z_{10}^{1,0} + dZ_{10}^1
\end{aligned}$$

$$V_{X_1^1} = 1 \cdot dX_1^1 + 0 \cdot dY_1^1 + 0 \cdot dZ_1^1 + 4534379.956 - 4534379.9629$$

$$V_{Y_1^1} = 0 \cdot dX_1^1 + 1 \cdot dY_1^1 + 0 \cdot dZ_1^1 + 561863.739 - 561863.7439$$

$$\begin{aligned}
V_{Z_1^1} &= 0 \cdot dX_1^1 + 0 \cdot dY_1^1 + 1 \cdot dZ_1^1 + 123.542 - 123.5407 \\
V_{X_1^1} &= 1 \cdot dX_1^1 + 0 \cdot dY_1^1 + 0 \cdot dZ_1^1 + 4534379.969 - 4534379.9629 \\
V_{Y_1^1} &= 0 \cdot dX_1^1 + 1 \cdot dY_1^1 + 0 \cdot dZ_1^1 + 561863.743 - 561863.7439 \\
V_{Z_1^1} &= 0 \cdot dX_1^1 + 0 \cdot dY_1^1 + 1 \cdot dZ_1^1 + 123.542 - 123.5407 \\
V_{X_3^1} &= 1 \cdot dX_3^1 + 0 \cdot dY_3^1 + 0 \cdot dZ_3^1 + 4534379.962 - 4534379.9629 \\
V_{Y_3^1} &= 0 \cdot dX_3^1 + 1 \cdot dY_3^1 + 0 \cdot dZ_3^1 + 561863.747 - 561863.7439 \\
V_{Z_3^1} &= 0 \cdot dX_3^1 + 0 \cdot dY_3^1 + 1 \cdot dZ_3^1 + 123.544 - 123.5407 \\
V_{X_4^1} &= 1 \cdot dX_4^1 + 0 \cdot dY_4^1 + 0 \cdot dZ_4^1 + 4534379.968 - 4534379.9629 \\
V_{Y_4^1} &= 0 \cdot dX_4^1 + 1 \cdot dY_4^1 + 0 \cdot dZ_4^1 + 561863.742 - 561863.7439 \\
V_{Z_4^1} &= 0 \cdot dX_4^1 + 0 \cdot dY_4^1 + 1 \cdot dZ_4^1 + 123.536 - 123.5407 \\
V_{X_5^1} &= 1 \cdot dX_5^1 + 0 \cdot dY_5^1 + 0 \cdot dZ_5^1 + 4534379.963 - 4534379.9629 \\
V_{Y_5^1} &= 0 \cdot dX_5^1 + 1 \cdot dY_5^1 + 0 \cdot dZ_5^1 + 561863.745 - 561863.7439 \\
V_{Z_5^1} &= 0 \cdot dX_5^1 + 0 \cdot dY_5^1 + 1 \cdot dZ_5^1 + 123.546 - 123.5407 \\
V_{X_6^1} &= 1 \cdot dX_6^1 + 0 \cdot dY_6^1 + 0 \cdot dZ_6^1 + 4534379.966 - 4534379.9629 \\
V_{Y_6^1} &= 0 \cdot dX_6^1 + 1 \cdot dY_6^1 + 0 \cdot dZ_6^1 + 561863.749 - 561863.7439 \\
V_{Z_6^1} &= 0 \cdot dX_6^1 + 0 \cdot dY_6^1 + 1 \cdot dZ_6^1 + 123.538 - 123.5407 \\
V_{X_7^1} &= 1 \cdot dX_7^1 + 0 \cdot dY_7^1 + 0 \cdot dZ_7^1 + 4534379.95 - 4534379.9629 \\
V_{Y_7^1} &= 0 \cdot dX_7^1 + 1 \cdot dY_7^1 + 0 \cdot dZ_7^1 + 561863.748 - 561863.7439 \\
V_{Z_7^1} &= 0 \cdot dX_7^1 + 0 \cdot dY_7^1 + 1 \cdot dZ_7^1 + 123.539 - 123.5407 \\
V_{X_8^1} &= 1 \cdot dX_8^1 + 0 \cdot dY_8^1 + 0 \cdot dZ_8^1 + 4534379.965 - 4534379.9629 \\
V_{Y_8^1} &= 0 \cdot dX_8^1 + 1 \cdot dY_8^1 + 0 \cdot dZ_8^1 + 561863.743 - 561863.7439 \\
V_{Z_8^1} &= 0 \cdot dX_8^1 + 0 \cdot dY_8^1 + 1 \cdot dZ_8^1 + 123.54 - 123.5407 \\
V_{X_9^1} &= 1 \cdot dX_9^1 + 0 \cdot dY_9^1 + 0 \cdot dZ_9^1 + 4534379.963 - 4534379.9629 \\
V_{Y_9^1} &= 0 \cdot dX_9^1 + 1 \cdot dY_9^1 + 0 \cdot dZ_9^1 + 561863.743 - 561863.7439 \\
V_{Z_9^1} &= 0 \cdot dX_9^1 + 0 \cdot dY_9^1 + 1 \cdot dZ_9^1 + 123.542 - 123.5407 \\
V_{X_{10}^1} &= 1 \cdot dX_{10}^1 + 0 \cdot dY_{10}^1 + 0 \cdot dZ_{10}^1 + 4534379.963 - 4534379.9629 \\
V_{Y_{10}^1} &= 0 \cdot dX_{10}^1 + 1 \cdot dY_{10}^1 + 0 \cdot dZ_{10}^1 + 561863.74 - 561863.7439 \\
V_{Z_{10}^1} &= 0 \cdot dX_{10}^1 + 0 \cdot dY_{10}^1 + 1 \cdot dZ_{10}^1 + 123.538 - 123.5407
\end{aligned}$$

Dengelenmiş koordinatların karesel ortalama hataları hesaplandı.

$$m_{X_k} = 0.12$$

$$m_{Y_k} = 0.12$$

$$m_{Z_k} = 0.13$$

1 nolu noktanın 2. ve 3. periyotlarındaki koordinatlarına ait düzeltmeler aynı yöntemle hesaplanarak dengeli koordinatlar elde edilmiştir.

Tablo 4.2. 1 nolu noktanın 1., 2. ve 3. periyotlara ait dengelenmiş koordinatları

Dengelenmiş Koordinatlar						
Periyot	X (m)	Y (m)	Z (m)	mx (cm)	my (cm)	mz (cm)
1	4534379,963	561863,744	123,541	0.12	0.12	0.13
2	4534379,958	561863,759	123,414	0.08	0.08	0.25
3	4534379,900	561863,786	123,375	0.10	0.10	0.26

RTK ölçülerinin dengelenmesi, statik ve kinematik deformasyon analizlerinin yapılması için **EXCEL**' de programlar yazılmıştır. Bu dengeleme programında bir noktaya ait yapılmış 10 Epok ölçüler dengelenmiş, deformasyon analizleri yapılmıştır.

4.5. Deformasyon Analizi

4.5.1 Statik Deformasyon Modeli İle Deformasyon Analizi

3.6.1. bölümünde açıklanan Statik deformasyon modeli yöntemine göre, Ağu. 2012-Kas.2012-Şub.2013 periyotları arasında geçen süre içinde hareket eden noktalar belirlenmiş ve onlara ait hareket büyüklükleri (dx, dy, dz) hesaplanmış ve test büyüklüğü (T) ve onlara karşılık gelen F-tablo değerleri (q) saptanarak Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 de gösterilmiştir. Test değerleri tablo değerlerinden büyük olan noktalarda deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Tablolardaki karar satırında deformasyon olan noktalarda "+", deformasyon belirlenmeyen noktalarda ise "-" ifadesi kullanılmıştır.

Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.'de görüldüğü üzere arazide tesis edilen 35 Deformasyon noktasının, Ağu.2012-Kas.2012-Şub.2013 periyotları arasında çoğunlukla deformasyon

belirlenmiştir. Deformasyon saptanmayan noktalar; Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda, 2(x), 8(x,y,z), 11(x), 14(y), 19(y), 20(y), 26(x), Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda, 2(x), 19(y), 20(x) nolu noktalardır.

Heyelanın taç bölgesinden topuk bölgesi yönündeki nokta hareketlerinin davranışlarını görsel olarak görmek için tüm noktaların x, y, z eksenleri yönündeki hareketlerinin statik deformasyon analiz sonuçları grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 4.18 - 4.20).

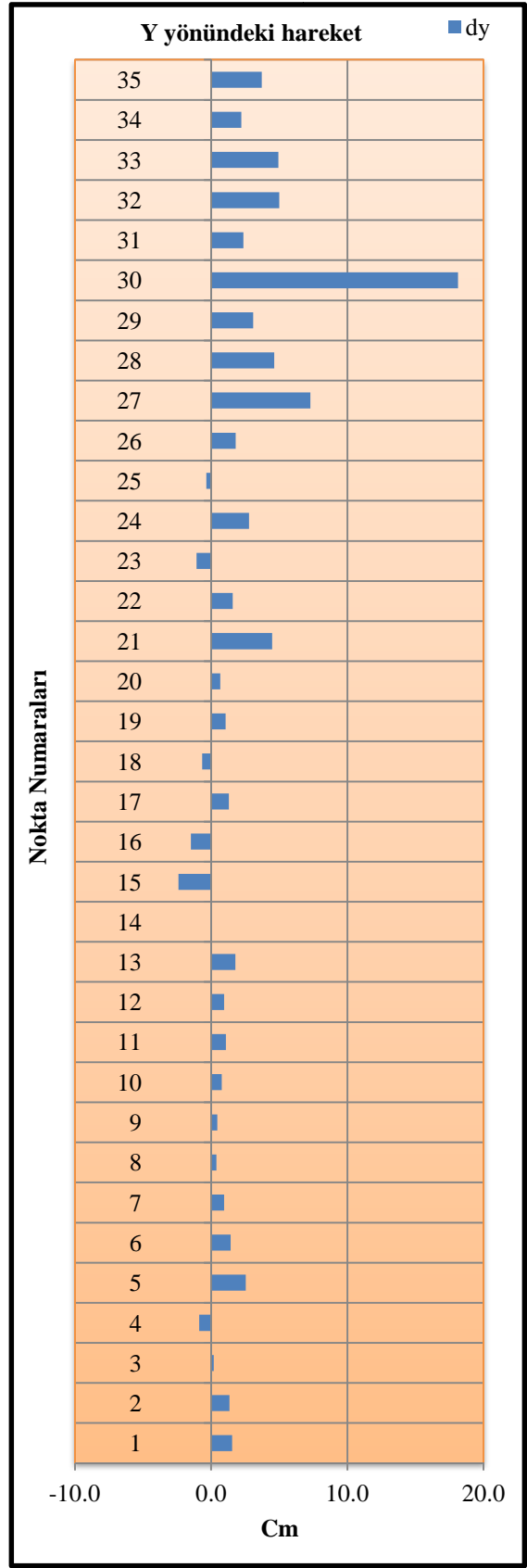
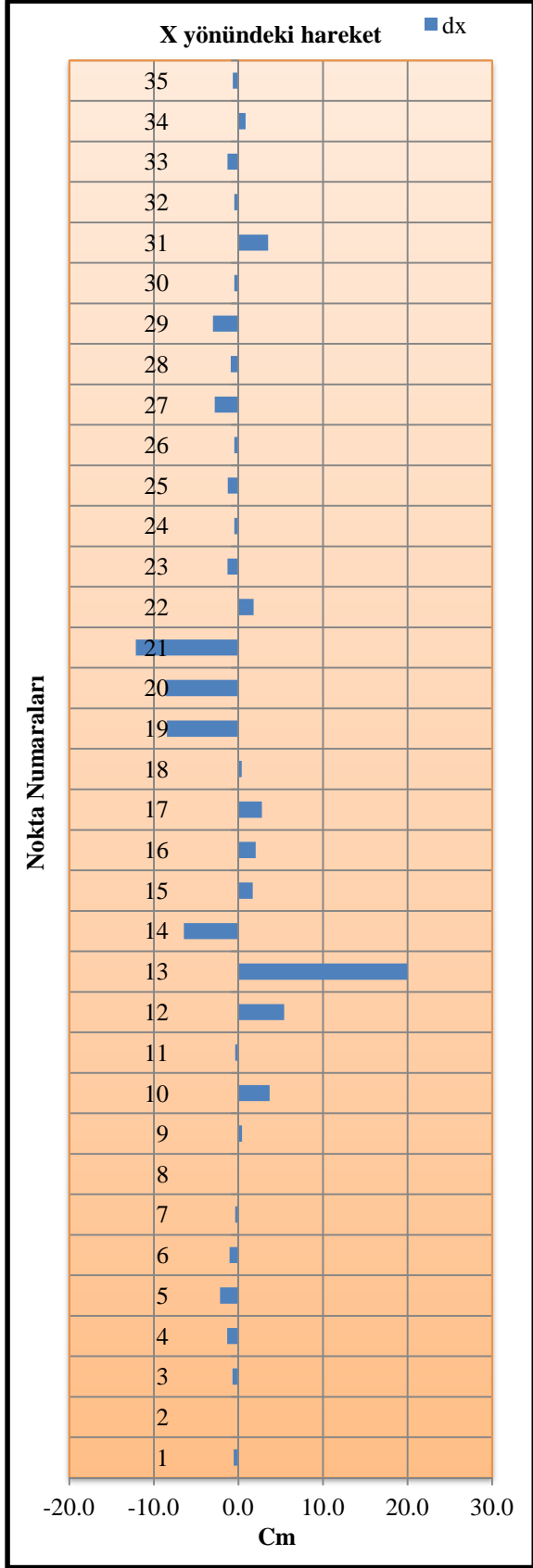
ArcGis yazılımında Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak heyelan sahasına ait x, y, z eksenleri yönündeki yer değiştirme haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.21). Yer değiştirme haritaları yardımıyla heyelan bölgesindeki hareketin, çalışma alanının hangi kesiminde yoğunlaştığı ve ne kadar büyüklükte olduğu gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Noktaların Ağu.2012-Kas.2012 periyodundaki statik deformasyon analizi sonuçları

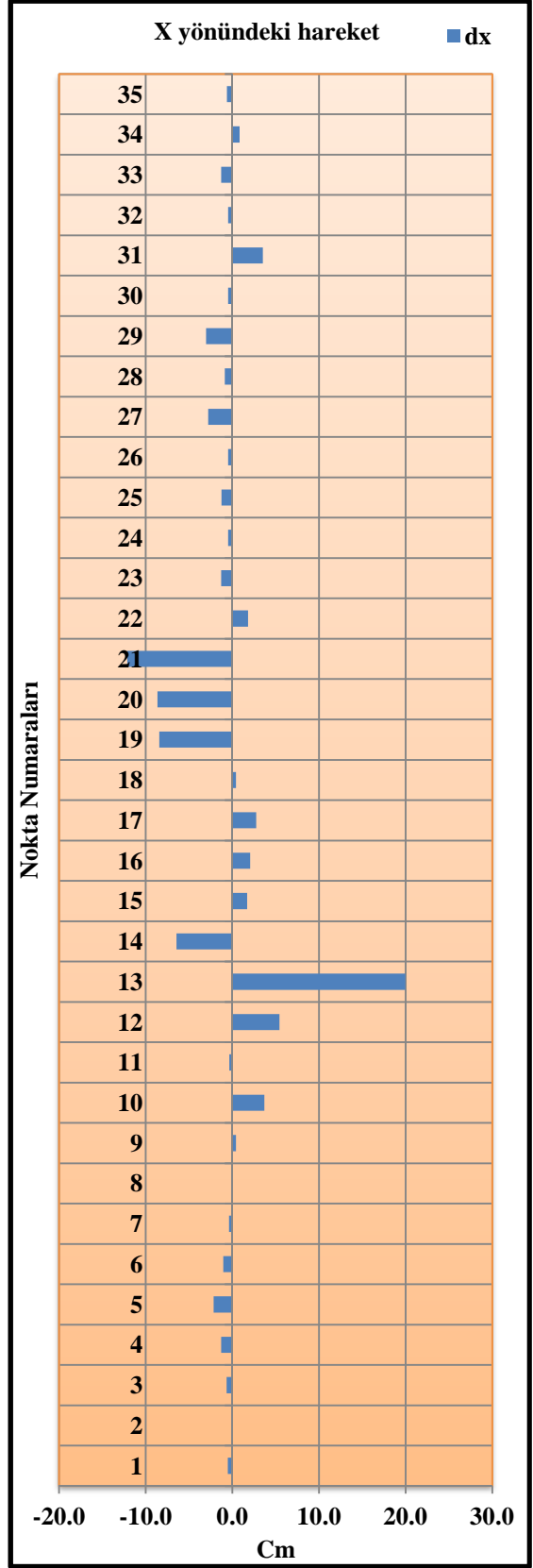
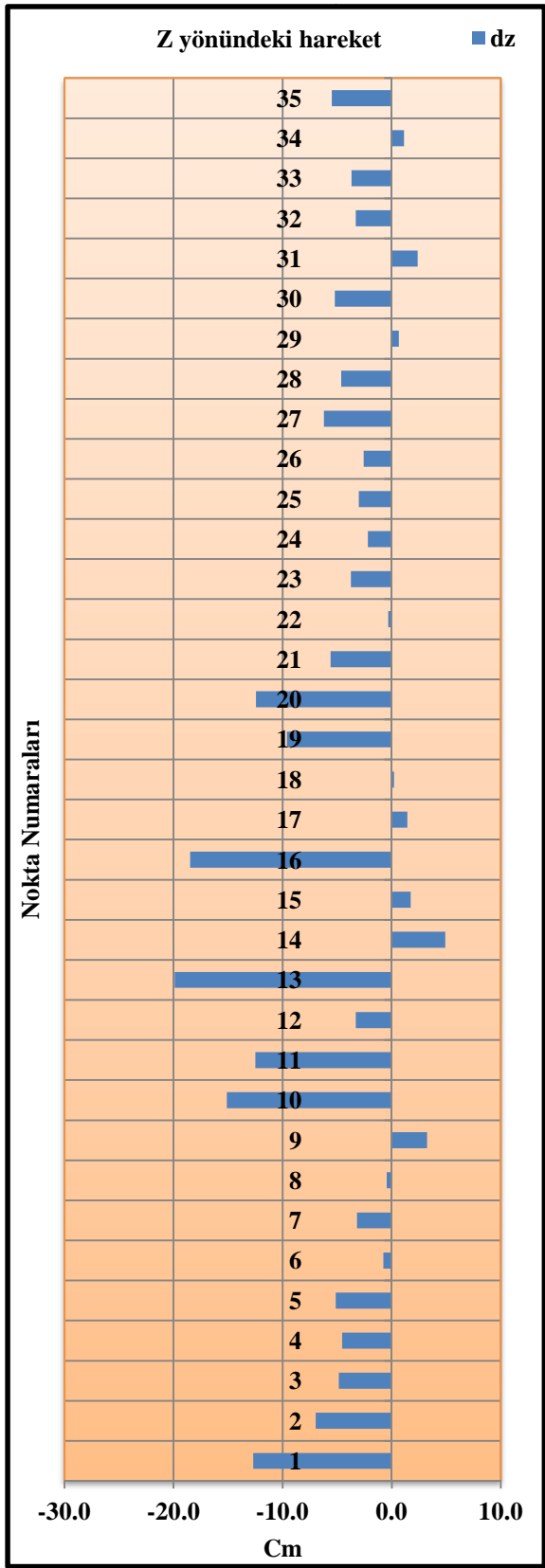
N.No	g = 2.052			T > g ise (+)			T < g ise (-)		
	Yerdeğiştirme Miktarı(cm)			Test Değeri			Karar (Tdx)	Karar (Tdy)	Karar (Tdz)
	dx	dy	dz	Tdx	Tdy	Tdz			
Kg01	-0.5	1.5	-12.7	3.8	10.8	45.5	(+)	(+)	(+)
Kg02	-0.1	1.4	-7.0	0.3	7.6	25.1	(-)	(+)	(+)
Kg03	-0.7	0.2	-4.9	4.7	1.4	16.3	(+)	(+)	(+)
Kg04	-1.3	-0.9	-4.6	4.1	2.7	6.8	(+)	(+)	(+)
Kg05	-2.2	2.5	-5.1	15.1	17.7	13.5	(+)	(+)	(+)
Kg06	-1.1	1.4	-0.8	6.1	8.3	3.0	(+)	(+)	(+)
Kg07	-0.4	0.9	-3.2	2.4	6.0	9.8	(+)	(+)	(+)
Kg08	-0.1	0.4	-0.5	0.5	2.0	1.3	(-)	(-)	(-)
Kg09	0.4	0.4	3.2	2.5	2.6	6.6	(+)	(+)	(+)
Kg10	3.7	0.8	-15.1	23.5	4.9	39.7	(+)	(+)	(+)
Kg11	-0.4	1.1	-12.5	1.7	5.0	36.4	(-)	(+)	(+)
Kg12	5.4	1.0	-3.3	31.8	5.6	9.8	(+)	(+)	(+)
Kg13	20.0	1.8	-19.9	94.7	8.4	34.8	(+)	(+)	(+)
Kg14	-6.4	-0.1	4.9	30.9	0.3	10.7	(+)	(-)	(+)
Kg15	1.7	-2.4	1.7	9.4	13.4	5.0	(+)	(+)	(+)
Kg16	2.0	-1.5	-18.5	9.8	7.1	55.2	(+)	(+)	(+)
Kg17	2.8	1.3	1.4	10.4	4.9	3.5	(+)	(+)	(+)
Kg18	0.4	-0.7	0.2	2.1	3.4	0.4	(+)	(+)	(-)
Kg19	-8.4	1.1	-9.6	14.1	1.8	8.8	(+)	(-)	(+)
Kg20	-8.6	0.7	-12.4	6.4	0.5	3.2	(+)	(-)	(+)
Kg21	-12.1	4.5	-5.6	53.6	19.8	13.9	(+)	(+)	(+)
Kg22	1.8	1.6	-0.3	7.4	6.5	0.9	(+)	(+)	(-)
Kg23	-1.3	-1.1	-3.7	6.6	5.6	6.6	(+)	(+)	(+)
Kg24	-0.5	2.8	-2.2	2.7	15.5	7.2	(+)	(+)	(+)
Kg25	-1.2	-0.3	-3.0	7.8	2.2	11.4	(+)	(+)	(+)
Kg26	-0.5	1.8	-2.6	2.0	7.3	5.9	(-)	(+)	(+)
Kg27	-2.8	7.3	-6.2	16.8	43.8	11.0	(+)	(+)	(+)
Kg28	-0.9	4.6	-4.6	5.2	27.3	11.8	(+)	(+)	(+)
Kg29	-3.0	3.1	0.7	20.6	21.1	2.1	(+)	(+)	(+)
Kg30	-0.5	18.1	-5.2	2.9	106.7	13.6	(+)	(+)	(+)
Kg31	3.5	2.4	2.4	15.5	10.4	5.0	(+)	(+)	(+)
Kg32	-0.5	5.0	-3.3	2.8	29.0	7.4	(+)	(+)	(+)
Kg33	-1.3	4.9	-3.7	8.7	32.9	10.8	(+)	(+)	(+)
Kg34	0.8	2.2	1.1	4.7	12.5	2.2	(+)	(+)	(+)
Kg35	-0.7	3.7	-5.5	4.1	23.3	12.7	(+)	(+)	(+)

Tablo 4.4. Noktaların Ağu.2012-Şub.2013 periyodundaki statik deformasyon analizi sonuçları

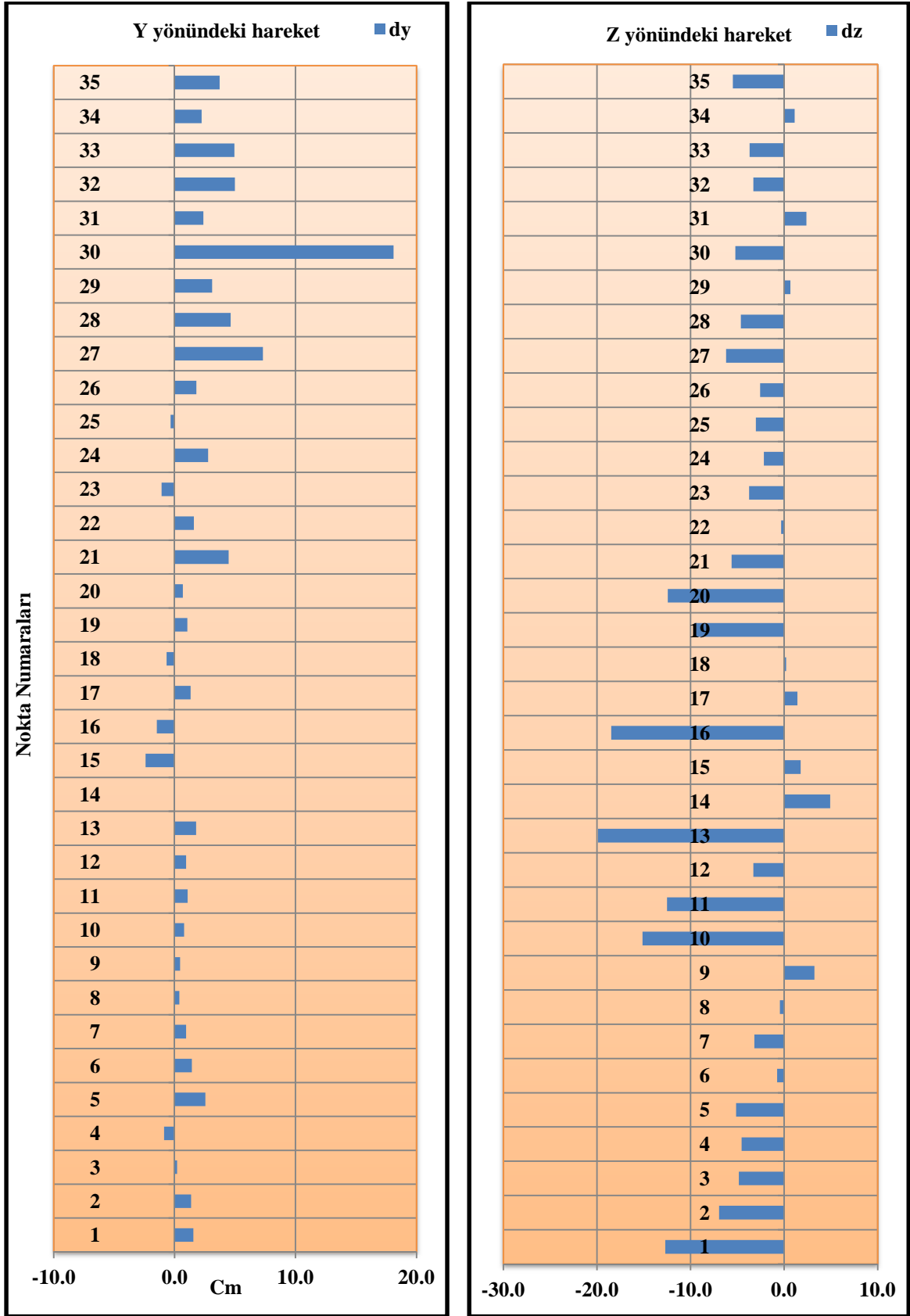
N.No	g = 2.052			T > g ise (+)			T < g ise (-)		
	Yerdeğiştirme Miktarı(cm)			Test Değeri			Karar (Tdx)	Karar (Tdy)	Karar (Tdz)
	dx	dy	dz	Tdx	Tdy	Tdz			
Kg01	-6.3	4.2	-16.6	41.2	27.6	56.8	(+)	(+)	(+)
Kg02	-4.1	4.0	-16.2	0.3	7.6	25.1	(-)	(+)	(+)
Kg03	-2.3	3.4	-7.0	13.5	20.2	20.0	(+)	(+)	(+)
Kg04	-2.7	1.7	-10.9	12.9	8.1	37.5	(+)	(+)	(+)
Kg05	-5.3	3.5	-8.7	38.8	25.5	28.1	(+)	(+)	(+)
Kg06	-1.6	4.3	-8.8	10.9	29.3	30.9	(+)	(+)	(+)
Kg07	-4.1	3.8	-6.3	22.8	21.6	17.0	(+)	(+)	(+)
Kg08	-1.2	3.0	-2.9	5.6	14.4	7.2	(+)	(+)	(+)
Kg09	-2.1	2.5	-4.0	10.6	12.6	6.9	(+)	(+)	(+)
Kg10	4.4	1.5	-21.3	22.1	7.7	39.9	(+)	(+)	(+)
Kg11	-2.0	2.0	-22.7	9.2	9.2	49.7	(+)	(+)	(+)
Kg12	1.5	3.4	-12.0	7.8	17.9	36.1	(+)	(+)	(+)
Kg13	18.2	6.0	-23.5	105.0	34.4	54.4	(+)	(+)	(+)
Kg14	-11.4	5.5	-0.1	60.7	29.1	0.2	(+)	(+)	(-)
Kg15	-4.0	9.8	-4.1	21.0	52.0	11.8	(+)	(+)	(+)
Kg16	-1.5	9.9	-26.8	7.6	50.0	53.9	(+)	(+)	(+)
Kg17	-1.3	10.5	-7.2	6.1	48.2	15.4	(+)	(+)	(+)
Kg18	-6.0	9.2	-9.7	31.7	48.4	23.4	(+)	(+)	(+)
Kg19	-15.2	11.5	-18.7	14.1	1.8	8.8	(+)	(-)	(+)
Kg20	-10.4	11.7	-21.3	39.8	44.5	59.0	(+)	(+)	(+)
Kg21	-21.2	12.9	-10.8	103.2	63.0	21.3	(+)	(+)	(+)
Kg22	-6.3	19.5	-3.6	30.0	92.2	7.2	(+)	(+)	(+)
Kg23	-13.5	20.9	-8.7	75.7	116.6	16.2	(+)	(+)	(+)
Kg24	0.7	6.2	-1.0	3.6	30.0	1.9	(+)	(+)	(-)
Kg25	-2.7	2.5	-8.0	15.3	14.4	14.6	(+)	(+)	(+)
Kg26	-2.1	4.4	-6.5	8.5	18.1	12.5	(+)	(+)	(+)
Kg27	-9.1	16.3	-13.3	61.5	109.9	26.7	(+)	(+)	(+)
Kg28	-5.7	10.9	-9.9	39.8	75.5	21.4	(+)	(+)	(+)
Kg29	-8.0	6.5	2.4	46.6	37.6	6.7	(+)	(+)	(+)
Kg30	-12.0	11.8	-10.6	63.8	62.5	24.2	(+)	(+)	(+)
Kg31	1.8	5.8	-2.5	9.0	28.2	6.3	(+)	(+)	(+)
Kg32	-2.1	10.6	-7.3	13.0	65.2	17.6	(+)	(+)	(+)
Kg33	-3.9	10.7	-10.6	23.9	65.8	20.3	(+)	(+)	(+)
Kg34	0.2	4.9	-2.2	1.1	28.1	3.5	(-)	(+)	(+)
Kg35	-2.4	8.3	-11.9	15.9	55.5	30.0	(+)	(+)	(+)



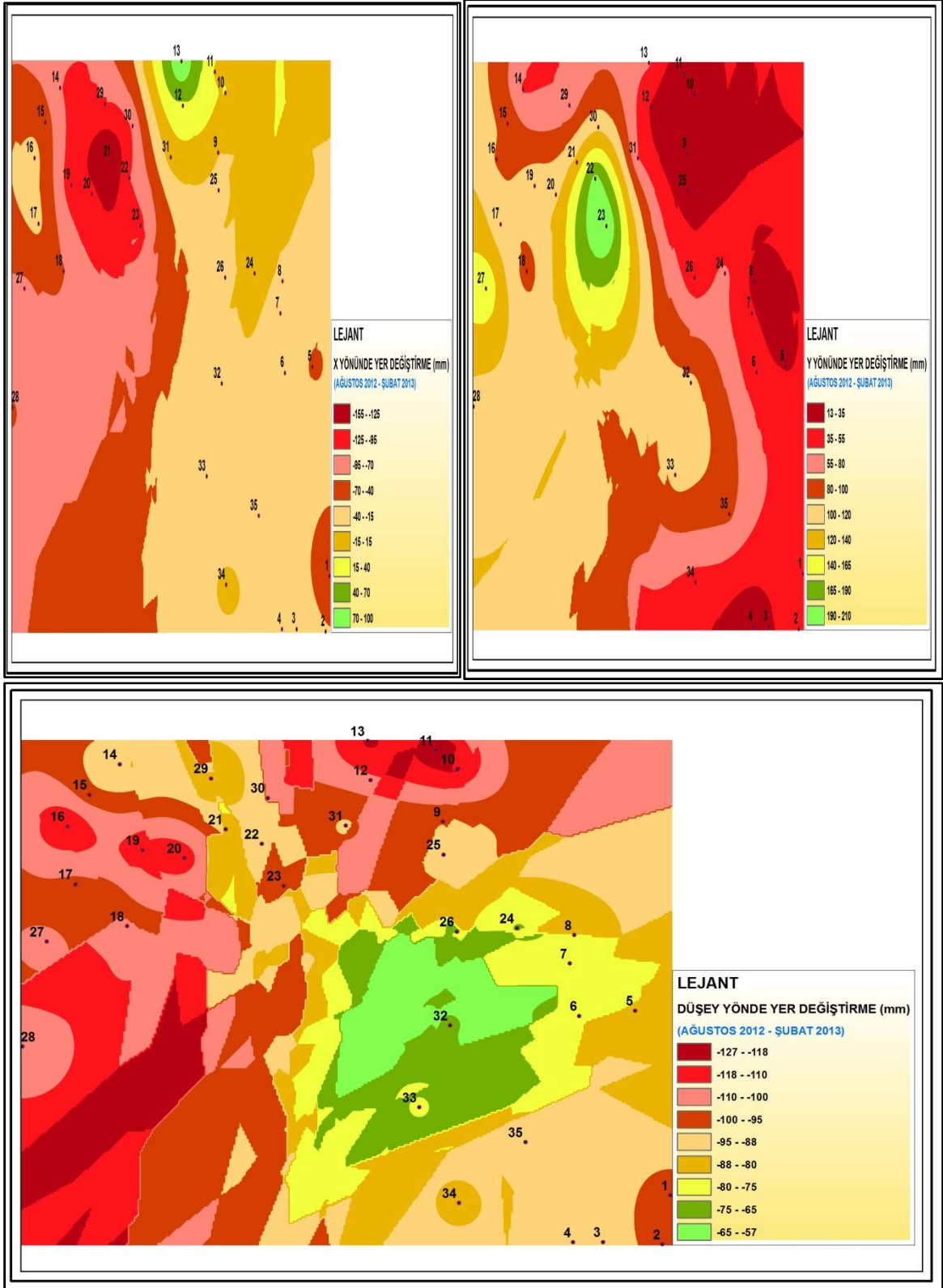
Şekil 4.18. Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş x ve y yönündeki hareketi



Şekil 4.19. Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların z yönünde ve Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların x yönünde statik modelle belirlenmiş hareketi



Şekil 4.20. Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş y ve z yönündeki hareketi



Şekil 4.21. Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların statik modelle belirlenmiş x, y ve z yönündeki yer değiştirmeleri

4.5.2. Kinematik Deformasyon Modeli İle Deformasyon Analizi

Kinematik tek nokta modeli, dengeli koordinatlarla oluşturulmuş ve hesaplamalar Kalman-Filtreleme yöntemine göre yapılmıştır. Hareket parametreleri (konum, hız ve ivme), Ağu.2012, Kas.2012, Şub.2013 periyotların da hesaplanmıştır. Her ölçü grubunun çözümü 3.6.2. bölümünde anlatıldığı biçimde adım adım yapılmıştır. Ölçü periyot gruplarının stokastik yapıları, birbirinden bağımsız olarak Kalman-Filtreleme tekniğinin başlangıç periyodunda yapılacak işlemlerin açıklandığı 3.6.2.1.4. bölümünde ki gibi iterasyonla oluşturulmuştur.

Her ölçü periyot gruplarının global testleri 3.6.2.1.2. bölümünde açıklandığı biçimde yapılmış ve istatistik sonuçlar elde edilmiştir. Hesaplanan hareket parametrelerinin ($d_x, d_y, d_z, v_x, v_y, v_z, a_x, a_y, a_z$) anlamlılık testleri 3.6.2.1.3. bölümünde açıklandığı biçimde yapılmıştır. Hareket parametreleri ve anlamlılık test sonuçları Tablo (4.5-4.7)'de verilmiştir. Bu tablolarda, her parametreye ait olan T değeri, test büyüklüğünü ve q_t ise t-tablo değerini göstermektedir. Test büyüklüklerinin t-tablo sınır değerinden büyük olduğu durumlarda ilgili parametrenin anlamlı olduğuna karar verilmiş ve karar satırlarında (+) işareti kullanılmıştır. Ters durumda ilgili parametrenin anlamlı olmadığına karar verilmiş ve karar satırlarında (-) işareti kullanılmıştır.

Heyelan bölgesinde her ölçü periyot grubunda tüm noktalara ait hareket parametrelerinin, x, y, z eksenleri yönündeki davranışlarını görebilmek için kinematik tek nokta modelinden hesaplanan hareket parametrelerinin konum ve hız değişimlerinin grafikleri çizilmiştir (Şekil4.22–4.27).

ArcGis yazılımında Kriging enterpolasyon yöntemi ile kinematik tek nokta modelinden hesaplanan hareket parametreleri kullanılarak heyelan sahasına ait x, y, z eksenleri yönündeki yer değiştirme ve hız haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.28-4.31). Yer değiştirme haritaları yardımıyla heyelan bölgesindeki hareketin, bölgenin hangi kesiminde yoğunlaştığı görülmekte olup hız haritaları yardımıyla ise deformasyon noktalarının x, y, z eksenleri yönünde hangi büyüklükte hareket ettiği tespit edilmiştir.

Kinematik tek nokta modelinden hesaplanan hareket parametreleri kullanılarak, Şekil 4.32 de gözükmekte olan heyelan sahası üzerinde alınan kesitler boyunca Ağu.2012-Kas.2012 ve Kas.2012-Şub.2013 periyotlarında meydana gelen düşey yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.33).

Tablo 4.5. Noktaların Ağu.2012-Kas.2012 periyodundaki Kinematik deformasyon analizi sonuçları

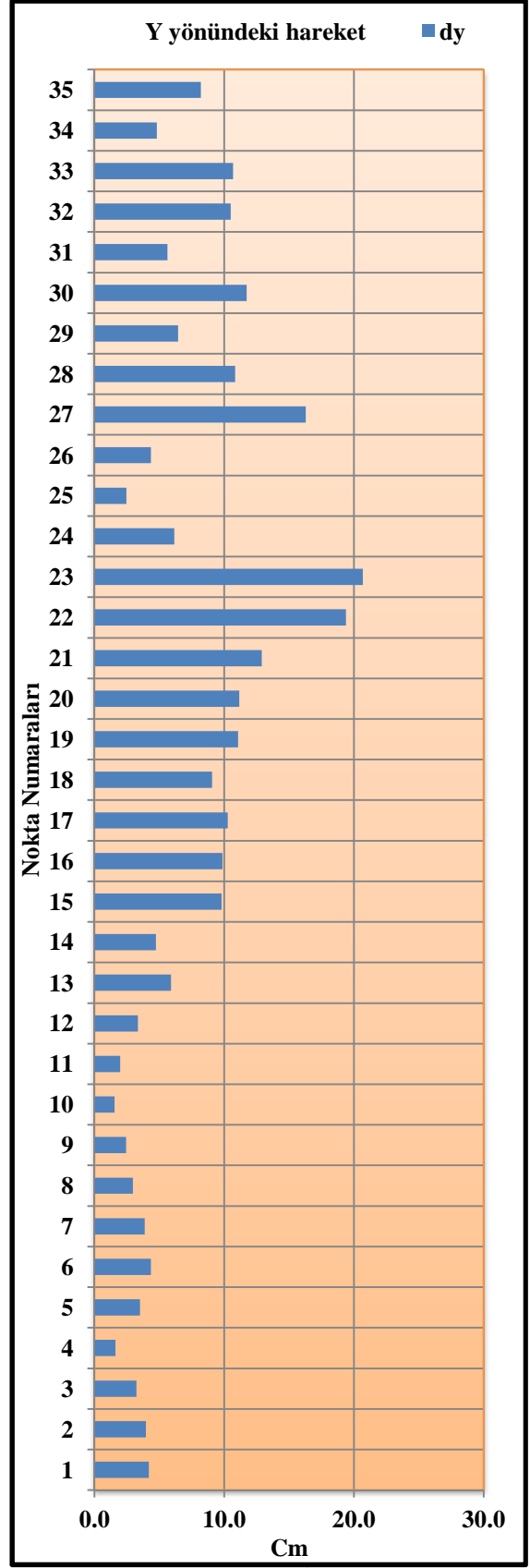
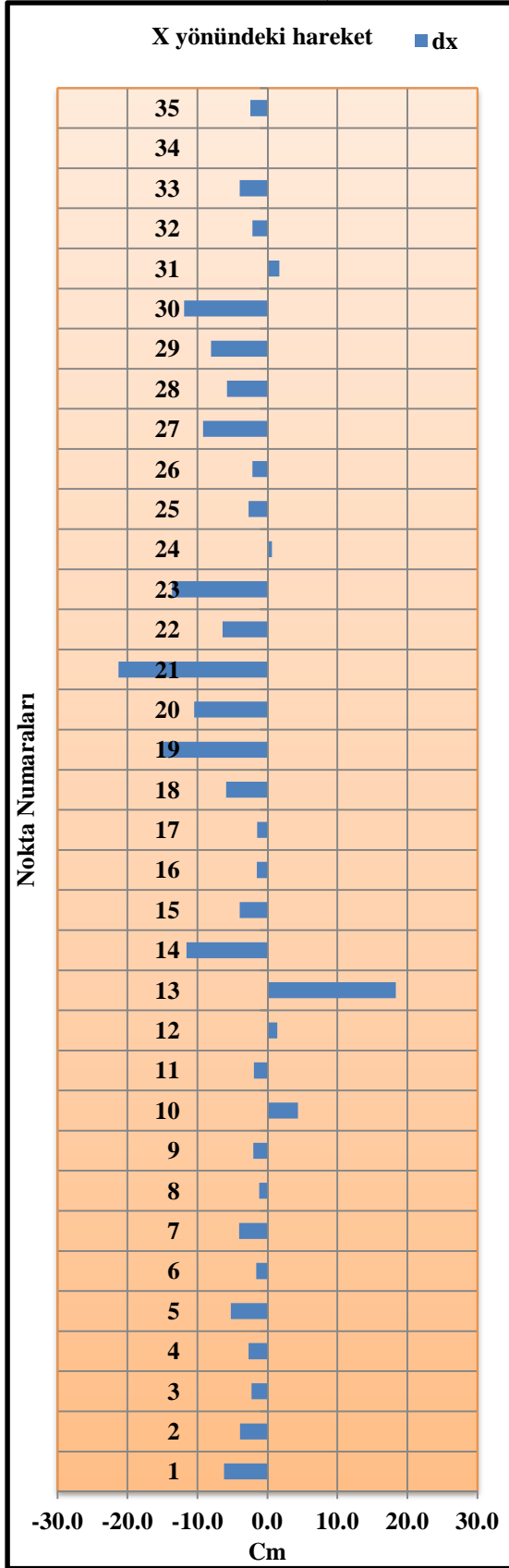
N.No	g = 2.04 T > g ise (+)									T < g ise (-)								
	Yerdeğiştirme Miktarı			Test Değeri			Karar			Hareket Hızı			Test Değeri			Karar		
	dx	dy	dz	Tdx	Tdy	Tdz	(Tdx)	(Tdy)	(Tdz)	Vx	Vy	Vz	Tvx	Tvy	Tvz	(Tvx)	(Tvy)	(Tvz)
Kg01	-0.5	1.5	-12.7	6.8	19	53	(+)	(+)	(+)	-0	0.5	-4	2.36	6.8	38.6	(+)	(+)	(+)
Kg02	-0.1	1.4	-7.0	0.4	11	42.4	(-)	(+)	(+)	-0	0.4	-2	0.2	7	22.8	(-)	(+)	(+)
Kg03	-0.7	0.2	-4.9	7.4	1.9	22.9	(+)	(+)	(+)	-0	0	-2	4.26	1	15.0	(+)	(-)	(+)
Kg04	-1.3	-1	-4.5	4.9	3.2	7.33	(+)	(+)	(+)	-0	-0	-2	3.26	2.1	6.5	(+)	(+)	(+)
Kg05	-2.1	2.6	-5.1	22	26	18.2	(+)	(+)	(+)	-1	0.9	-2	14.4	17	13.1	(+)	(+)	(+)
Kg06	-1.0	1.4	-0.7	8.5	12	4.64	(+)	(+)	(+)	-0	0.5	-0	5.07	7.1	2.4	(+)	(+)	(+)
Kg07	-0.4	0.9	-3.2	3.4	8.4	12.9	(+)	(+)	(+)	-0	0.3	-1	2.49	6.4	10.3	(+)	(+)	(+)
Kg08	-0.1	0.4	-0.4	1.1	3.6	2.62	(-)	(+)	(+)	-0	0.1	-0	0.63	2.4	1.4	(-)	(-)	(-)
Kg09	0.4	0.4	3.2	3.2	3	9.74	(+)	(+)	(+)	0.1	0.1	1	2.56	2.4	7.0	(+)	(+)	(+)
Kg10	3.7	0.8	-15.1	42	8.8	77	(+)	(+)	(+)	1.2	0.2	-5	29.1	6	50.2	(+)	(+)	(+)
Kg11	-0.3	1.1	-12.5	2.5	7.5	54.1	(+)	(+)	(+)	-0	0.3	-4	1.12	3.5	26.7	(-)	(+)	(+)
Kg12	5.4	0.9	-3.3	51	8.7	13.8	(+)	(+)	(+)	1.8	0.3	-1	39.3	6.6	11.4	(+)	(+)	(+)
Kg13	20.1	1.7	-19.9	118	10	47.5	(+)	(+)	(+)	6.7	0.6	-7	86.7	7.4	30.5	(+)	(+)	(+)
Kg14	-6.6	0	4.9	48	0.2	12.9	(+)	(-)	(+)	-2	0	1.6	29.4	0.1	10.3	(+)	(+)	(+)
Kg15	1.7	-2	1.7	13	19	6.7	(+)	(+)	(+)	0.6	-1	0.6	8.18	12	4.3	(+)	(+)	(+)
Kg16	2.0	-1	-18.6	13	9.3	118	(+)	(+)	(+)	0.7	-0	-6	8.67	6.3	46.0	(+)	(+)	(+)
Kg17	2.6	1.1	1.3	12	5.4	4.05	(+)	(+)	(+)	0.9	0.4	0.4	9.21	4	3.0	(+)	(+)	(+)
Kg18	0.3	-1	0.0	2.4	5.2	0.07	(+)	(+)	(+)	0.1	-0	0	1.6	3.6	0.0	(-)	(-)	(-)
Kg19	-8.5	0.9	-9.8	16	1.8	9.91	(+)	(-)	(+)	-3	0.3	-3	9.15	1	5.7	(+)	(+)	(+)
Kg20	-8.7	0.6	-12.6	6.8	0.5	3.47	(+)	(-)	(+)	-3	0.2	-4	3.55	0.3	3.0	(+)	(+)	(+)
Kg21	-12.2	4.4	-5.8	76	27	17.8	(+)	(+)	(+)	-4	1.5	-2	57.2	21	14.9	(+)	(+)	(+)
Kg22	1.7	1.5	-0.5	10	8.9	2.44	(+)	(+)	(+)	0.6	0.5	-0	6.85	6	1.1	(+)	(-)	(-)
Kg23	-1.4	-1	-3.8	11	9.3	8.54	(+)	(+)	(+)	-0	-0	-1	7.65	6.5	7.0	(+)	(+)	(+)
Kg24	-0.4	2.6	-2.2	3.5	19	25.8	(+)	(+)	(+)	-0	0.9	-1	3.03	17	14.2	(+)	(+)	(+)
Kg25	-1.3	-0	-3.1	12	3.5	18.4	(+)	(+)	(+)	-0	-0	-1	6.92	1.9	10.3	(+)	(+)	(+)
Kg26	-0.5	1.7	-2.6	3.8	12	9.04	(+)	(+)	(+)	-0	0.6	-1	2.28	7.7	6.6	(+)	(+)	(+)
Kg27	-2.9	7.2	-6.2	21	54	16.7	(+)	(+)	(+)	-1	2.4	-2	18.4	47	12.7	(+)	(+)	(+)
Kg28	-0.9	4.6	-4.7	6.9	34	17.5	(+)	(+)	(+)	-0	1.5	-2	5.32	26	11.3	(+)	(+)	(+)
Kg29	-3.0	3.1	0.6	34	35	2.42	(+)	(+)	(+)	-1	1	0.2	16.9	17	1.6	(+)	(-)	(-)
Kg30	-0.5	18	-5.3	4.6	157	21.3	(+)	(+)	(+)	-0	6	-2	3.02	106	13.8	(+)	(+)	(+)
Kg31	3.4	2.2	2.3	22	15	6.25	(+)	(+)	(+)	1.1	0.7	0.7	14.6	9.5	4.8	(+)	(+)	(+)
Kg32	-0.5	4.9	-3.3	4.7	44	9.17	(+)	(+)	(+)	-0	1.6	-1	2.03	20	5.9	(-)	(+)	(+)
Kg33	-1.4	4.9	-3.7	14	51	17.5	(+)	(+)	(+)	-0	1.6	-1	10.5	38	12.8	(+)	(+)	(+)
Kg34	0.7	2.1	0.9	6.1	17	2.13	(+)	(+)	(+)	0.2	0.7	0.3	3.86	11	1.8	(+)	(-)	(-)
Kg35	-0.7	3.6	-5.5	5.8	29	22.9	(+)	(+)	(+)	-0	1.2	-2	4.83	25	15.7	(+)	(+)	(+)

Tablo 4.6. Noktaların Ağu.2012-Şub.2013 periyodundaki Kinematik deformasyon analizi sonuçları

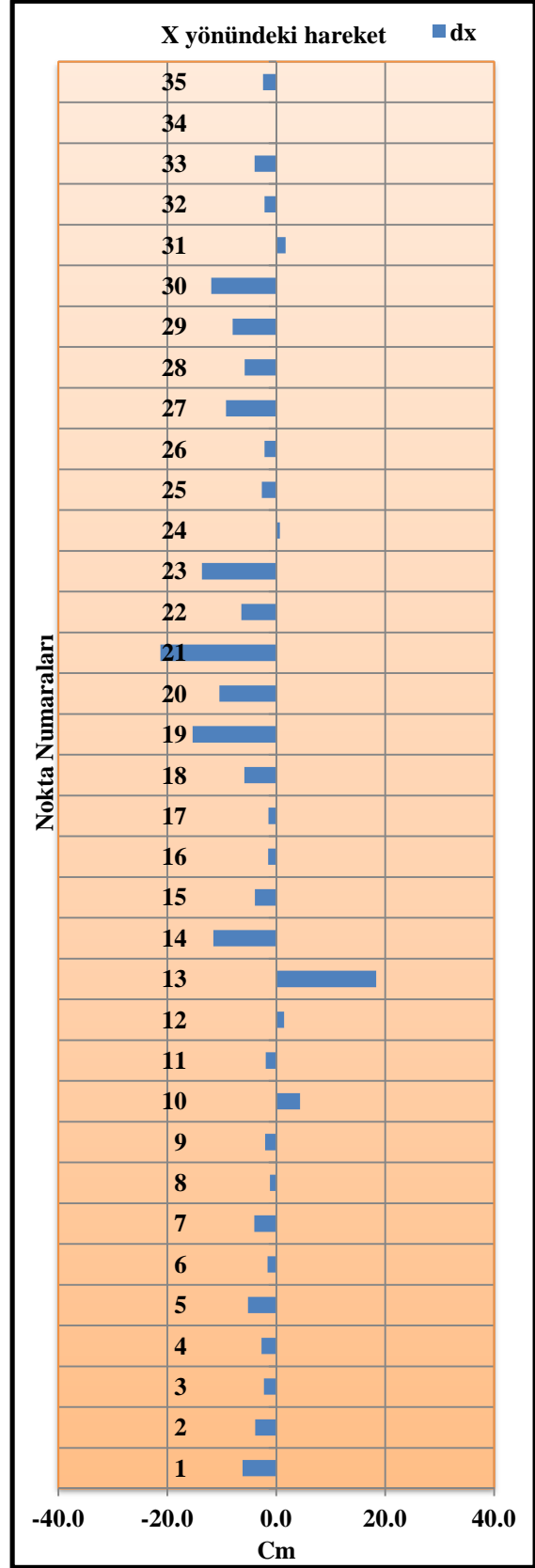
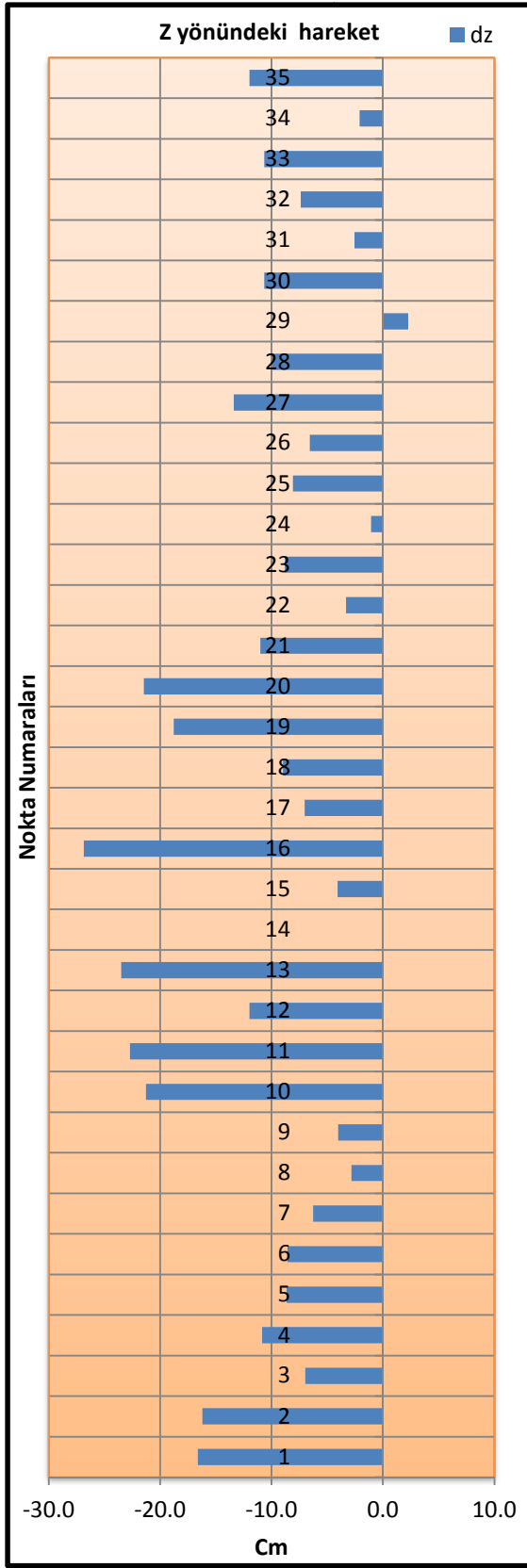
N.No	g = 2.04 T > g ise (+)									T < g ise (-)								
	Yerdeğiştirme Miktarı			Test Değeri			Karar			Hareket Hızı			Test Değeri			Karar		
	dx	dy	dz	Tdx	Tdy	Tdz	(Tdx)	(Tdy)	(Tdz)	Vx	Vy	Vz	Tvx	Tvy	Tvz	(Tvx)	(Tvy)	(Tvz)
Kg01	-6.2	4.2	-16.6	50.2	33.7	49	(+)	(+)	(+)	-1.9	1.4	-5.5	16	11	20.1	(+)	(+)	(+)
Kg02	-3.9	4	-16.2	18.3	18.1	21.5	(+)	(+)	(+)	-0.7	1.3	-5.4	7.7	6	13.8	(+)	(+)	(+)
Kg03	-2.3	3.2	-7.0	13.4	19.5	18.6	(+)	(+)	(+)	-0.7	0.8	-2.3	5.3	8.2	7.4	(+)	(+)	(+)
Kg04	-2.7	1.6	-10.8	17.4	10.6	39.3	(+)	(+)	(+)	-0.8	0.4	-3.5	8.9	4.8	17.2	(+)	(+)	(+)
Kg05	-5.2	3.5	-8.6	61.7	41.5	52.1	(+)	(+)	(+)	-1.7	1.2	-2.9	33	22	21.3	(+)	(+)	(+)
Kg06	-1.6	4.3	-8.6	13.2	36.3	30.1	(+)	(+)	(+)	-0.5	1.4	-2.5	3.9	11	14.2	(+)	(+)	(+)
Kg07	-4.0	3.9	-6.3	25.9	24.6	18.5	(+)	(+)	(+)	-1.2	1.3	-2.1	10	9.2	6.9	(+)	(+)	(+)
Kg08	-1.2	2.9	-2.8	8.16	20.6	9.8	(+)	(+)	(+)	-0.3	0.9	-0.7	3.2	7	4.2	(+)	(+)	(+)
Kg09	-2.0	2.4	-4.0	11.3	13.5	8.05	(+)	(+)	(+)	-0.6	0.7	-1.3	4.5	5.6	3.3	(+)	(+)	(+)
Kg10	4.4	1.5	-21.3	32	11.2	53.9	(+)	(+)	(+)	1.46	0.5	-7.1	12	4.2	24.3	(+)	(+)	(+)
Kg11	-1.9	2	-22.7	13.3	13.4	58.6	(+)	(+)	(+)	-0.5	0.6	-7.6	5	4.7	30.3	(+)	(+)	(+)
Kg12	1.4	3.3	-12.0	11.8	27.5	58.5	(+)	(+)	(+)	0.48	1.1	-4	4.5	11	17.9	(+)	(+)	(+)
Kg13	18.3	5.9	-23.5	139	44.7	109	(+)	(+)	(+)	6.12	1.9	-7.8	75	24	40.7	(+)	(+)	(+)
Kg14	-11.5	4.7	-0.1	28.7	12.7	0.06	(+)	(+)	(-)	-3.8	0.8	-0	13	7.5	0.0	(+)	(+)	(-)
Kg15	-3.9	9.8	-4.1	22.8	56.6	13	(+)	(+)	(+)	-1.3	3.2	-1.3	11	26	5.6	(+)	(+)	(+)
Kg16	-1.5	9.8	-26.8	8.98	58.3	57.5	(+)	(+)	(+)	-0.5	3.2	-8.9	3	20	34.3	(+)	(+)	(+)
Kg17	-1.5	10	-7.0	7.07	50.2	13.2	(+)	(+)	(+)	-0.5	3.2	-2.1	2.2	16	6.3	(+)	(+)	(+)
Kg18	-5.9	9.1	-9.0	15.3	23.2	10.6	(+)	(+)	(+)	-1.5	2.8	-1.5	6.3	9.5	4.9	(+)	(+)	(+)
Kg19	-15.3	11	-18.8	38.4	28.2	19.4	(+)	(+)	(+)	-5.1	2.5	-6.2	15	11	9.3	(+)	(+)	(+)
Kg20	-10.5	11	-21.5	23.1	25.2	23.9	(+)	(+)	(+)	-3.4	1.8	-6.8	8.1	15	7.4	(+)	(+)	(+)
Kg21	-21.3	13	-11.0	178	108	26.1	(+)	(+)	(+)	-7.1	4.3	-3.7	45	27	11.2	(+)	(+)	(+)
Kg22	-6.4	19	-3.3	31.8	96.4	5.34	(+)	(+)	(+)	-2.1	6.3	-0.8	9.6	29	3.5	(+)	(+)	(+)
Kg23	-13.6	21	-8.8	56.4	85.5	9.1	(+)	(+)	(+)	-4.5	6.7	-2.9	21	32	3.9	(+)	(+)	(+)
Kg24	0.6	6.1	-1.1	4.64	44.1	2.61	(+)	(+)	(+)	0.19	2	-0.3	1.2	10	1.7	(-)	(+)	(-)
Kg25	-2.7	2.5	-8.1	20.7	19.1	15.4	(+)	(+)	(+)	-0.9	0.7	-2.7	5.9	5.5	9.0	(+)	(+)	(+)
Kg26	-2.1	4.3	-6.6	15.6	31.6	16.2	(+)	(+)	(+)	-0.6	1.4	-2.1	6	11	8.2	(+)	(+)	(+)
Kg27	-9.2	16	-13.4	90.1	159	57.5	(+)	(+)	(+)	-3.1	5.4	-4.4	42	75	22.1	(+)	(+)	(+)
Kg28	-5.8	11	-9.9	51.5	96.5	25	(+)	(+)	(+)	-1.9	3.6	-3.3	18	34	13.3	(+)	(+)	(+)
Kg29	-8.0	6.4	2.3	63.8	51.2	7.88	(+)	(+)	(+)	-2.7	2.1	0.6	28	23	3.7	(+)	(+)	(+)
Kg30	-11.9	12	-10.6	44.8	43.8	17.2	(+)	(+)	(+)	-3.6	3.9	-3.5	18	18	7.2	(+)	(+)	(+)
Kg31	1.7	5.6	-2.6	15	49.9	9.49	(+)	(+)	(+)	0.56	1.9	-0.8	5.5	18	3.5	(+)	(+)	(+)
Kg32	-2.1	11	-7.4	20.6	101	21.1	(+)	(+)	(+)	-0.6	3.5	-2.4	8	37	9.6	(+)	(+)	(+)
Kg33	-4.0	11	-10.7	37.2	100	24.8	(+)	(+)	(+)	-1.3	3.6	-3.5	13	34	13.5	(+)	(+)	(+)
Kg34	0.1	4.8	-2.1	0.9	40.7	3.79	(-)	(+)	(+)	0.04	1.6	-0.5	0.4	14	1.6	(-)	(+)	(-)
Kg35	-2.5	8.2	-12.0	24.2	80.4	84.5	(+)	(+)	(+)	-0.8	2.7	-4	11	37	27.3	(+)	(+)	(+)

Tablo 4.7. Noktaların Ağu.2012-Şub.2013 periyodundaki (İvme) Kinematik deformasyon analizi sonuçları

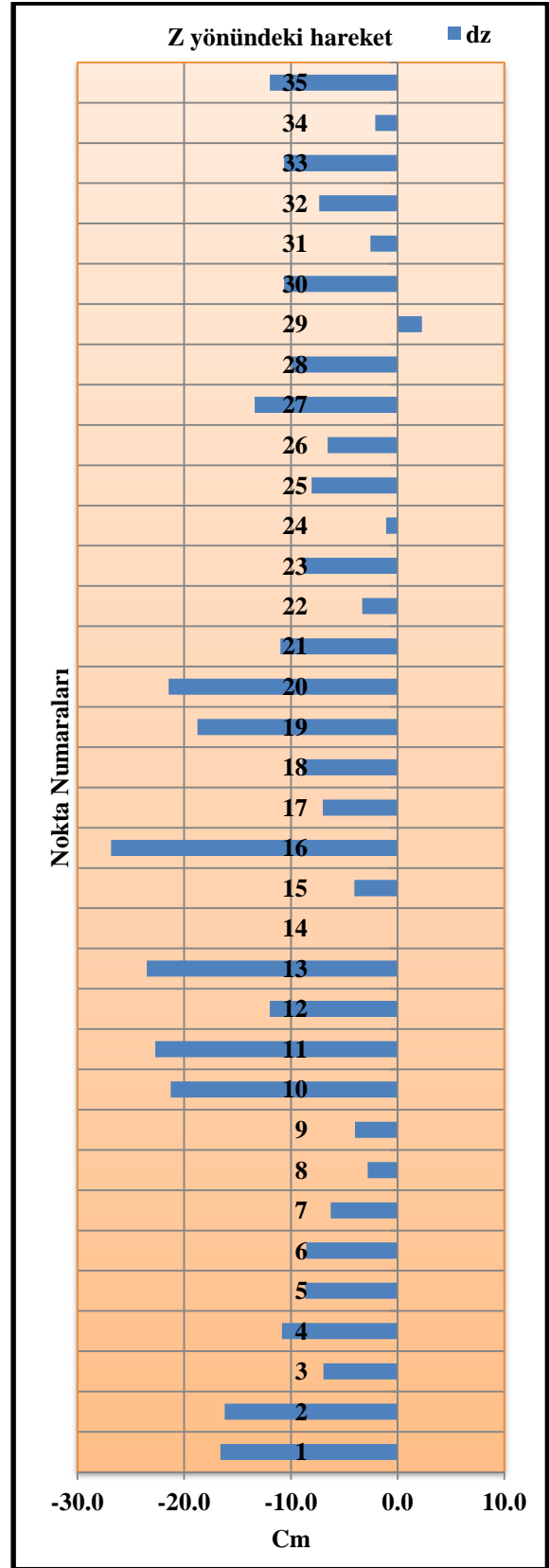
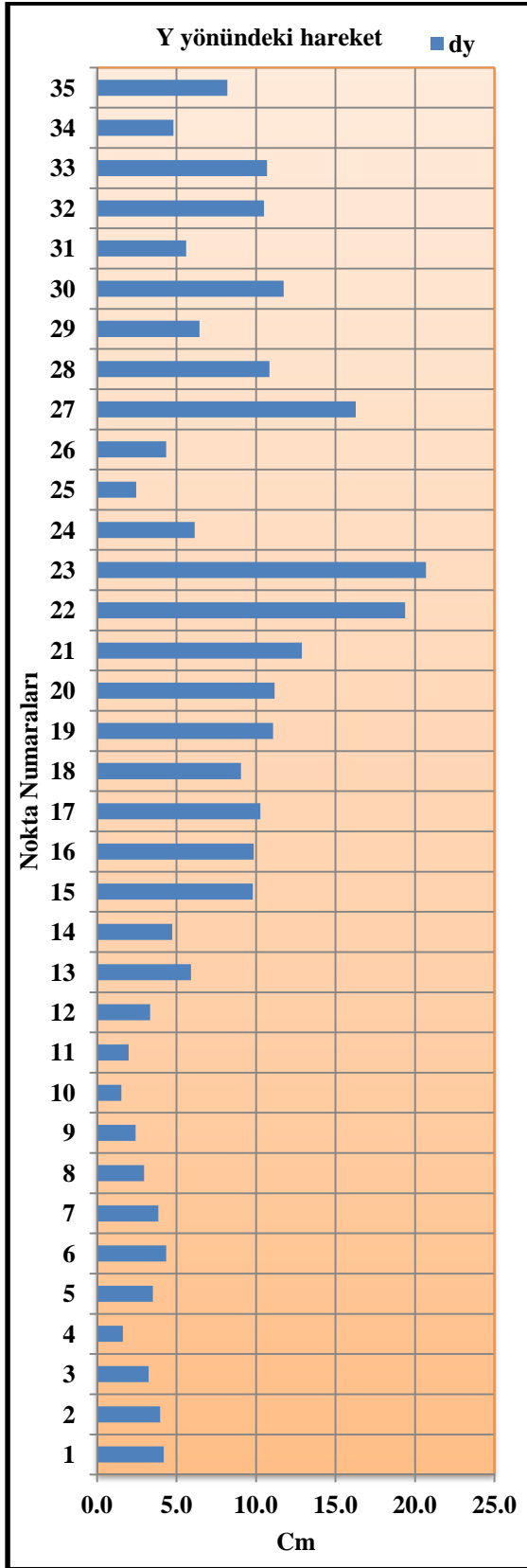
N.No	g = 2.04			T > g ise (+)			T < g ise (-)		
	İvme (cm/ay ²)			Test Değeri			Karar		
	ax	ay	dz	Tax	Tay	Taz	(Tax)	(Tay)	(Taz)
Kg01	-0.3	0.1	-0.2	7.6	3.8	3.1	(+)	(+)	(+)
Kg02	-0.1	0.1	-0.5	2.5	2.5	5.4	(+)	(+)	(+)
Kg03	-0.1	0.1	-0.1	2.2	3.5	1.4	(+)	(+)	(+)
Kg04	-0.1	0.1	-0.3	2.8	4.7	6.7	(+)	(+)	(+)
Kg05	-0.2	0.1	-0.2	13.3	4.0	5.7	(+)	(+)	(+)
Kg06	0.0	0.2	-0.3	0.8	4.4	7.5	(-)	(+)	(+)
Kg07	-0.2	0.2	-0.2	5.5	4.5	2.2	(+)	(+)	(+)
Kg08	0.0	0.1	-0.1	1.5	3.6	2.0	(-)	(+)	(-)
Kg09	-0.1	0.1	-0.4	3.4	2.8	3.9	(+)	(+)	(+)
Kg10	0.0	0.0	-0.3	1.2	1.4	4.6	(-)	(-)	(+)
Kg11	0.0	0.0	-0.6	1.7	1.2	8.6	(-)	(-)	(-)
Kg12	-0.2	0.1	-0.5	8.3	5.1	8.6	(+)	(+)	(+)
Kg13	-0.1	0.2	-0.2	4.9	11.6	4.0	(+)	(+)	(+)
Kg14	-0.3	0.0	-0.3	3.6	2.2	1.5	(+)	(+)	(-)
Kg15	-0.3	0.7	-0.3	9.8	21.4	5.1	(+)	(+)	(+)
Kg16	-0.2	0.6	-0.5	4.5	14.5	6.7	(+)	(+)	(+)
Kg17	-0.2	0.5	-0.4	4.0	8.6	4.9	(+)	(+)	(+)
Kg18	-0.2	0.5	-0.1	3.7	6.5	1.8	(+)	(+)	(-)
Kg19	-0.4	0.2	-0.5	4.0	3.9	2.8	(+)	(+)	(+)
Kg20	-0.1	0.0	-0.4	0.8	1.0	1.7	(+)	(-)	(-)
Kg21	-0.5	0.5	-0.3	12.3	11.5	3.6	(+)	(+)	(+)
Kg22	-0.4	0.9	-0.1	7.6	16.8	1.6	(+)	(+)	(-)
Kg23	-0.7	1.2	-0.3	12.0	21.4	1.5	(+)	(+)	(-)
Kg24	0.0	0.2	0.1	1.3	3.8	1.3	(-)	(+)	(-)
Kg25	-0.1	0.1	-0.3	1.9	3.4	3.7	(-)	(+)	(+)
Kg26	-0.1	0.1	-0.2	2.6	4.4	3.3	(+)	(+)	(+)
Kg27	-0.4	0.5	-0.4	20.2	28.7	7.8	(+)	(+)	(+)
Kg28	-0.3	0.3	-0.3	9.8	12.9	4.7	(+)	(+)	(+)
Kg29	-0.3	0.2	0.1	10.9	7.4	1.4	(+)	(+)	(+)
Kg30	-0.5	-0.4	-0.3	10.7	6.1	2.3	(+)	(+)	(+)
Kg31	-0.1	0.2	-0.2	3.5	6.9	4.4	(+)	(+)	(+)
Kg32	-0.1	0.3	-0.2	3.1	11.8	3.3	(+)	(+)	(+)
Kg33	-0.1	0.3	-0.4	5.4	12.0	6.1	(+)	(+)	(+)
Kg34	0.0	0.1	-0.1	1.2	5.0	1.5	(-)	(+)	(-)
Kg35	-0.1	0.252	-0.4	5.5	14.1	9.333	(+)	(+)	(+)



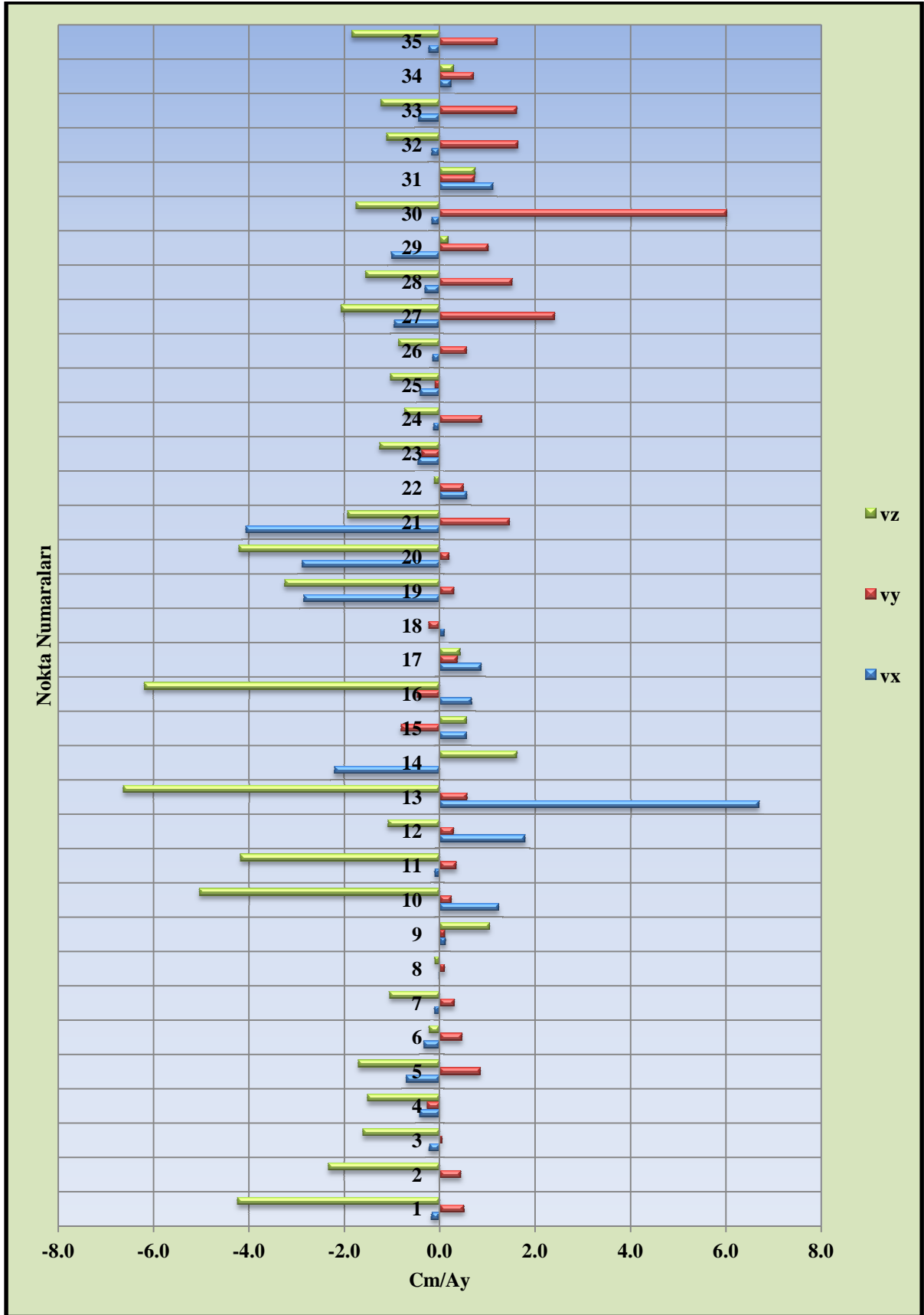
Şekil 4.22. Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların Kinematik modelle belirlenmiş x ve y yönündeki hareketi



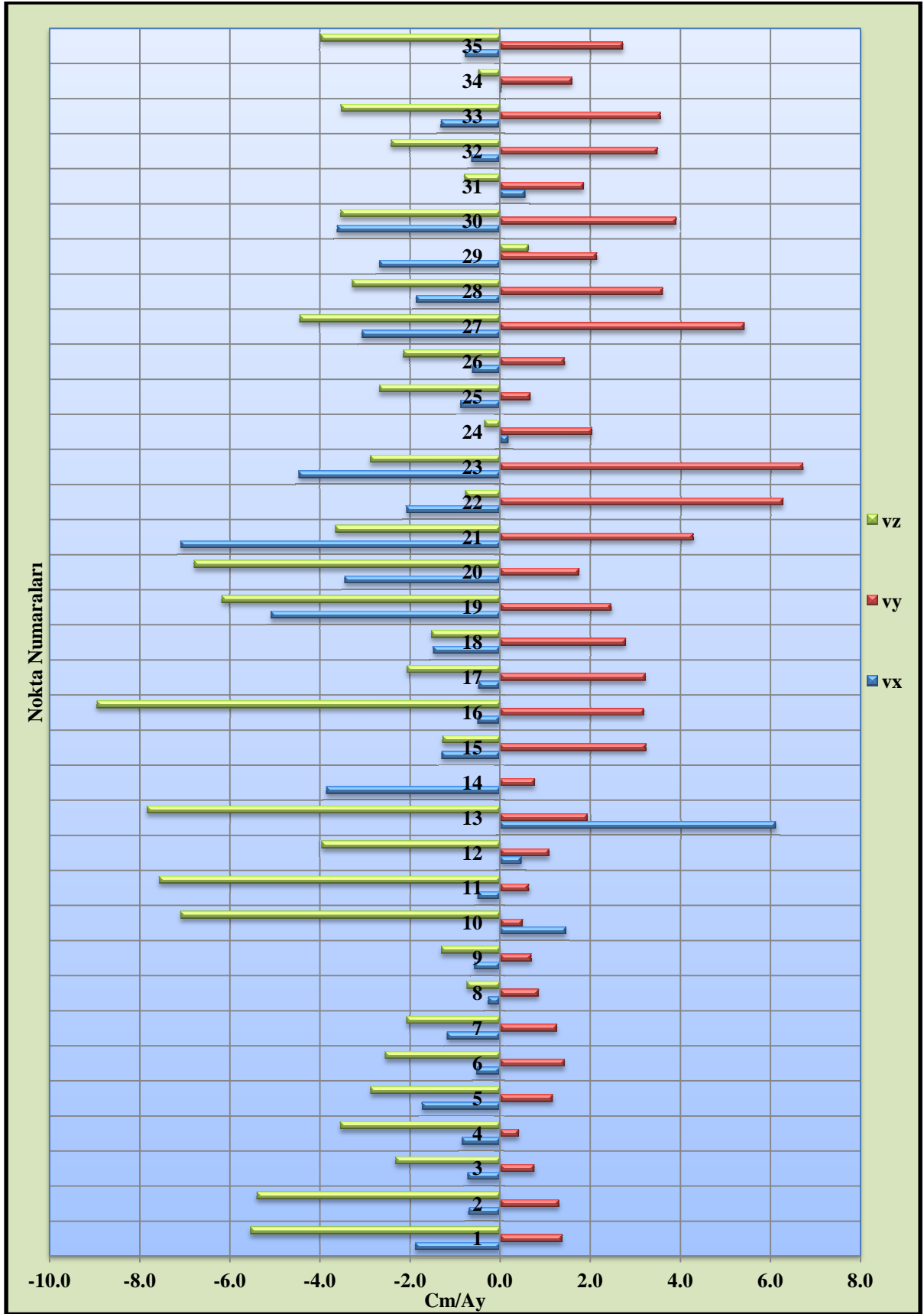
Şekil 4.23. Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların z yönünde ve Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların x yönünde Kinematik modelle belirlenmiş hareketi



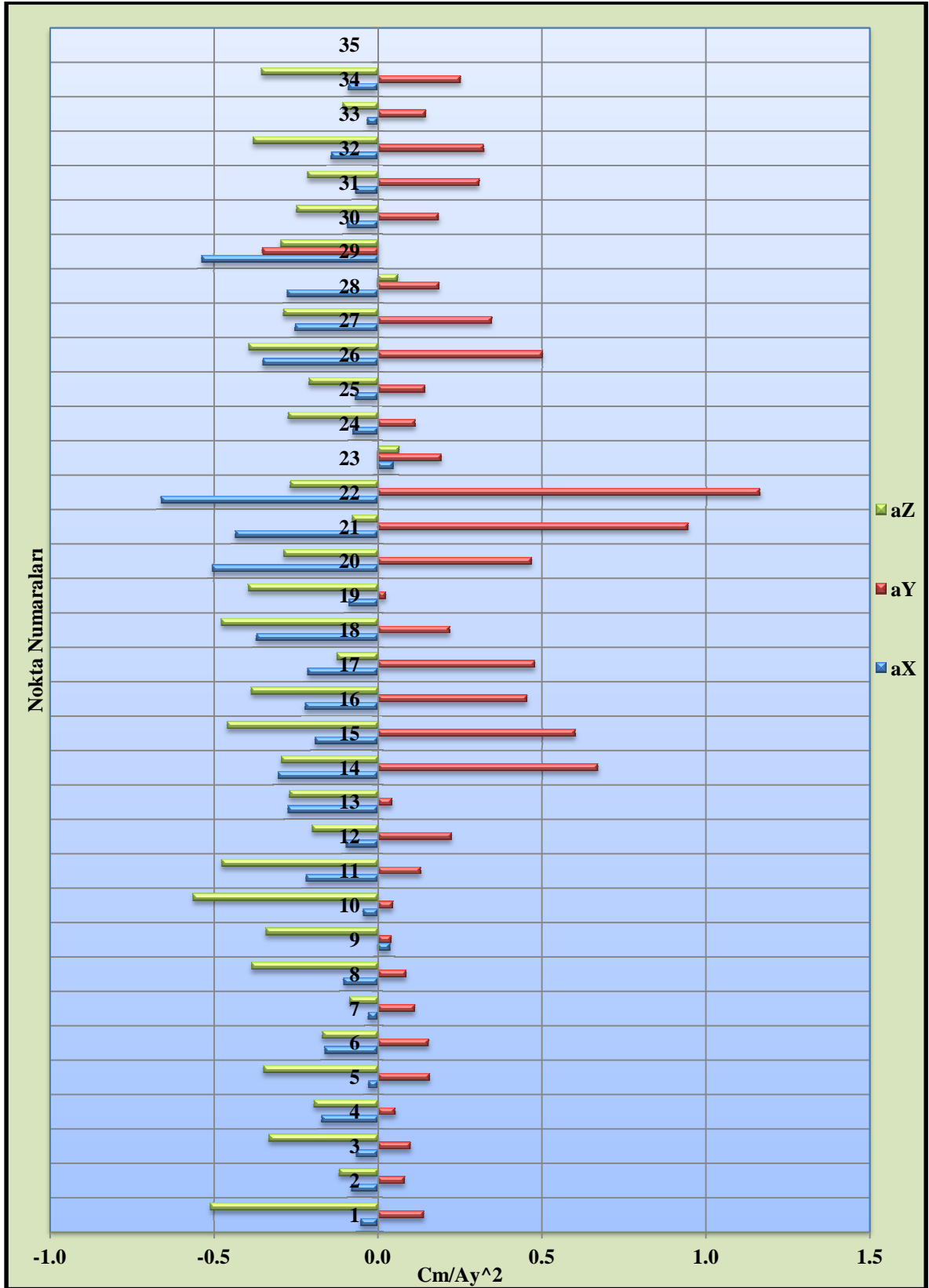
Şekil 4.24. Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların y ve z yönünde Kinematik modelle belirlenmiş hareketi



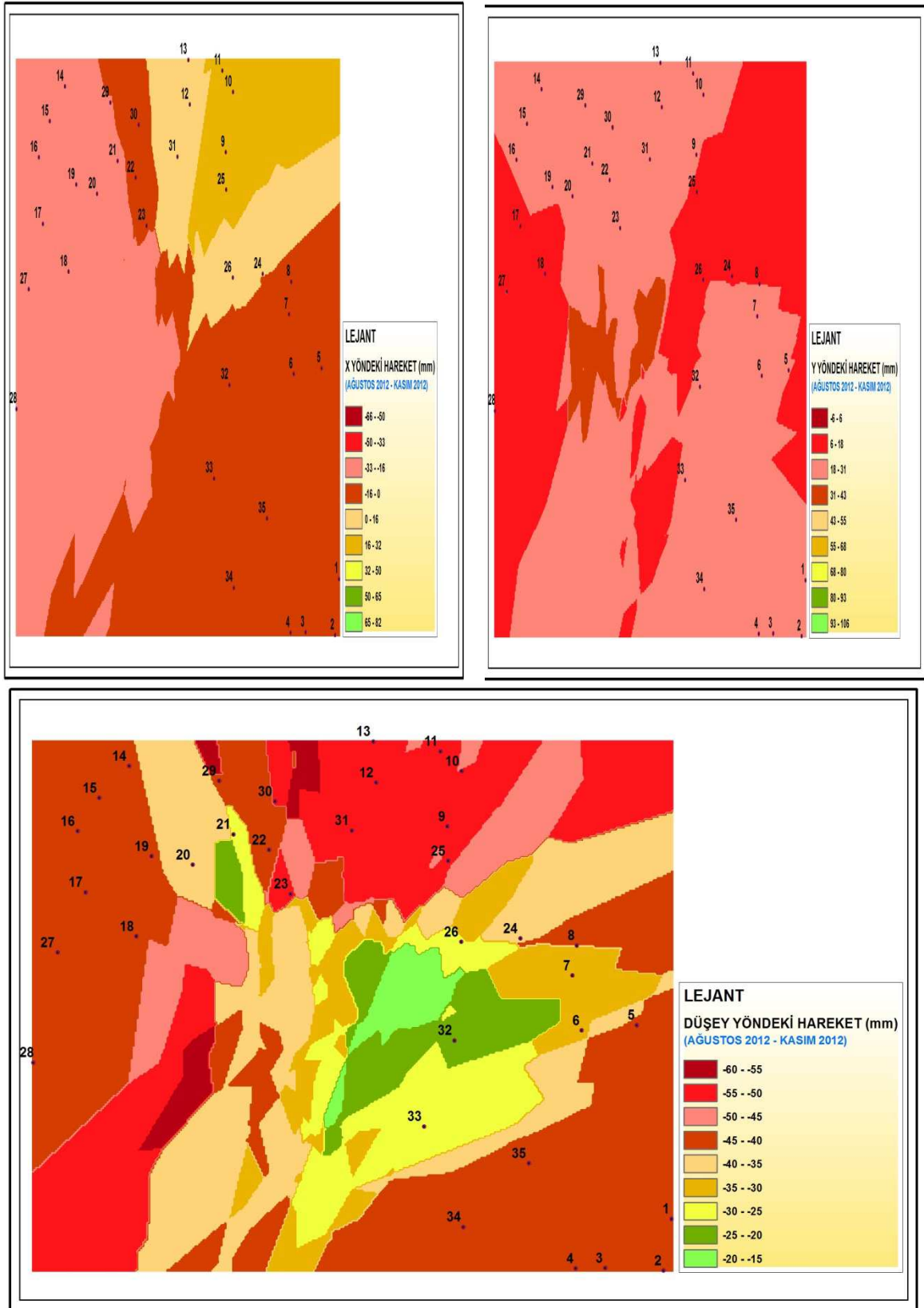
Şekil 4.25. Noktaların Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda Kinematik modelle belirlenmiş x,y,z yönündeki hareket hızları



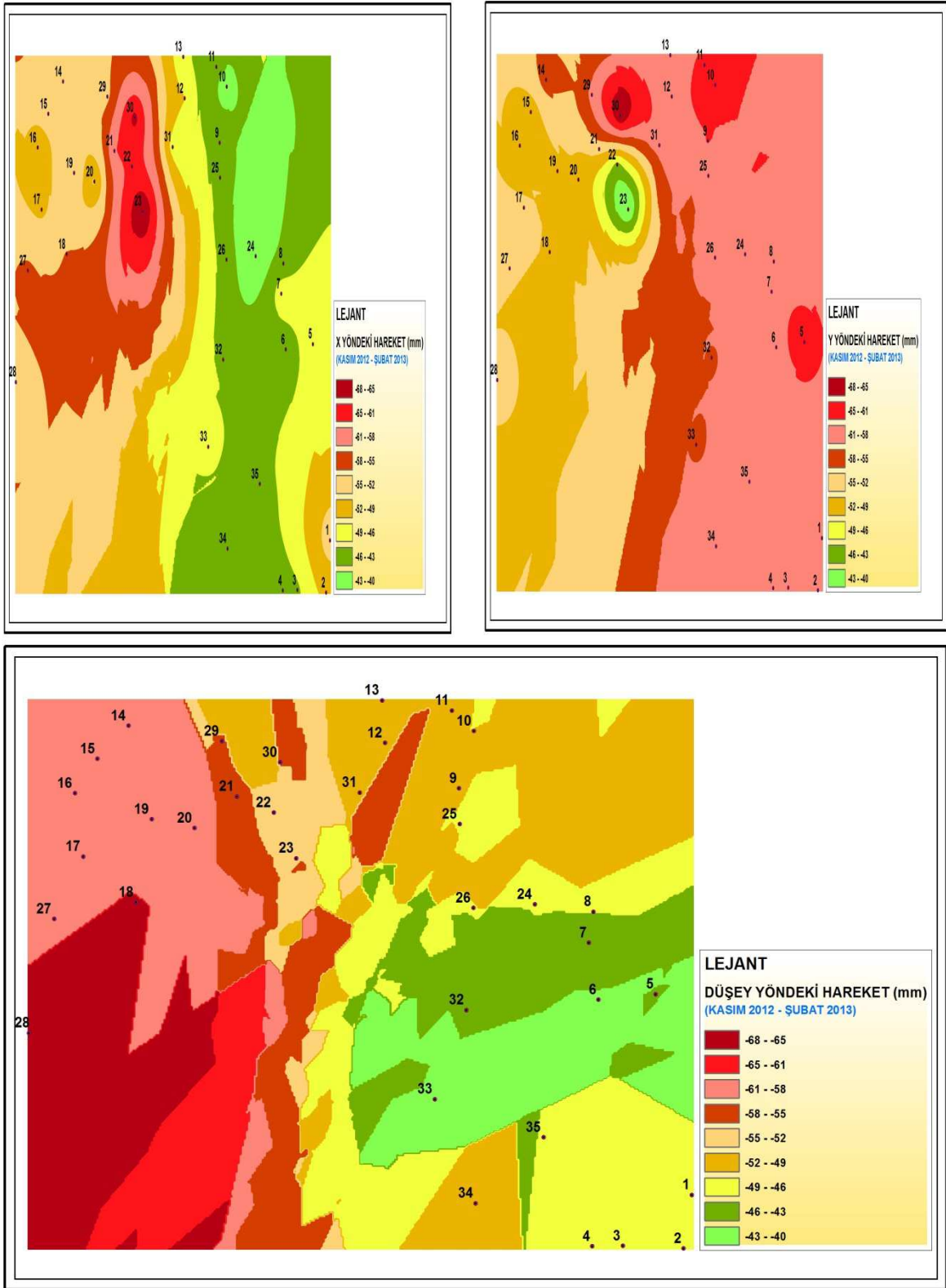
Şekil 4.26. Noktaların Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda x,y,z yönündeki hareket hızları



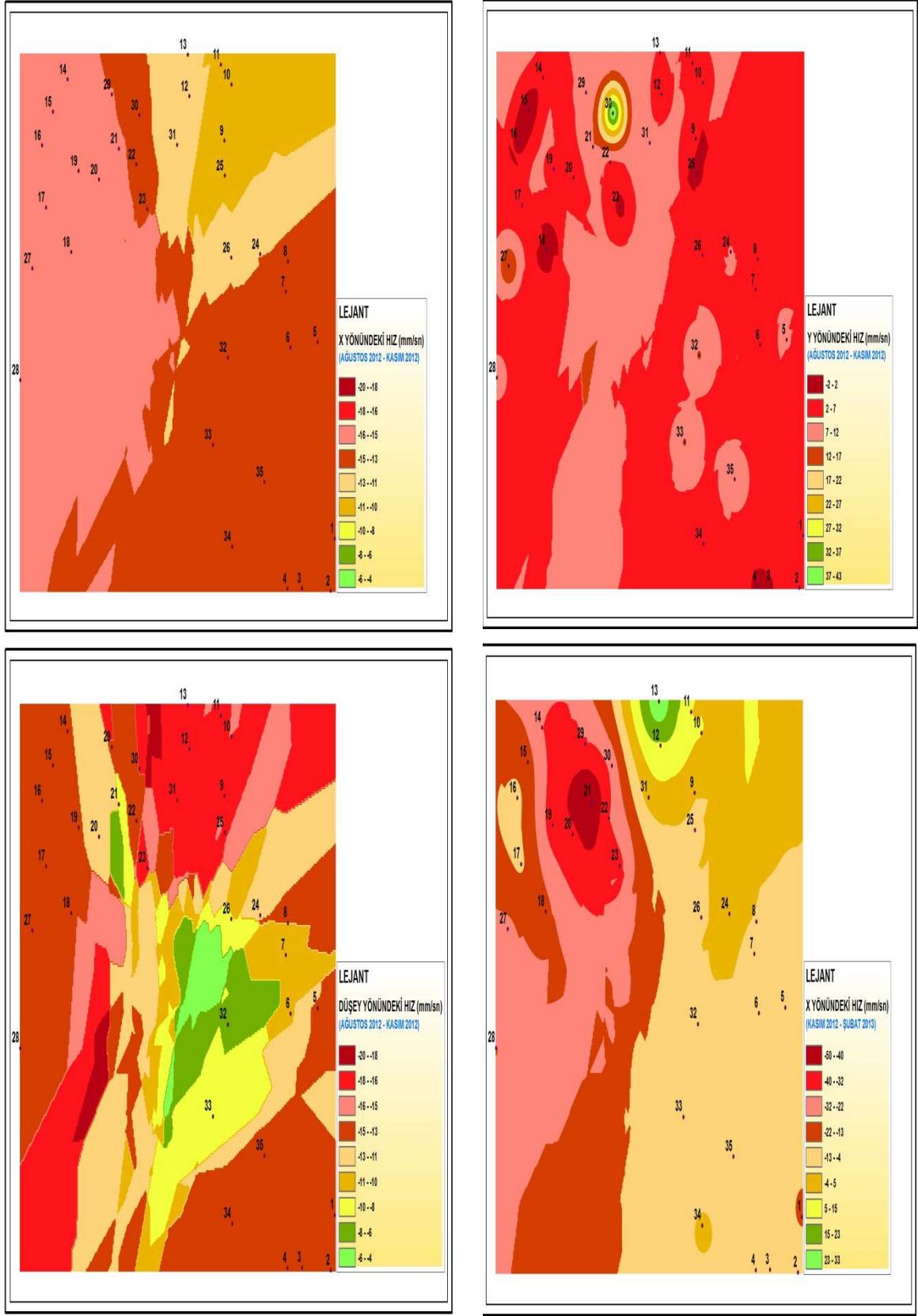
Şekil 4.27. Noktaların Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda x,y,z yönündeki hareket ivmeleri



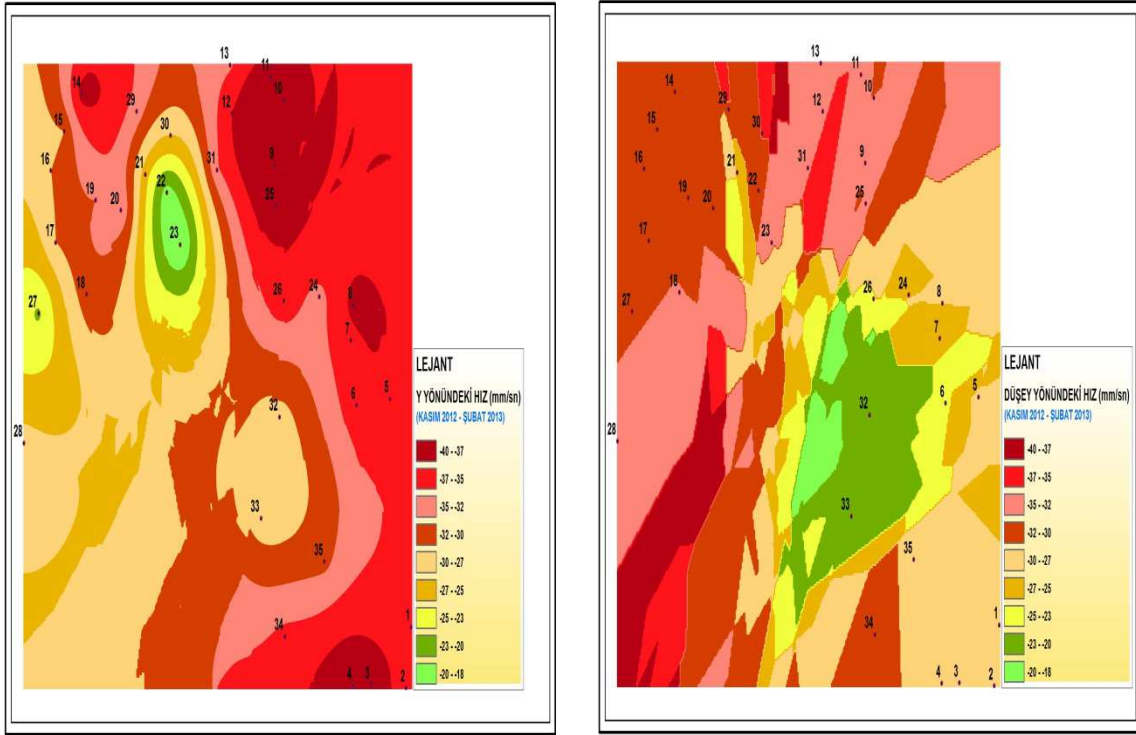
Şekil 4.28. Ağu.2012-Kas.2012 periyodunda noktaların Kinematik modelle belirlenmiş x, y ve z yönündeki yer değiştirmeleri

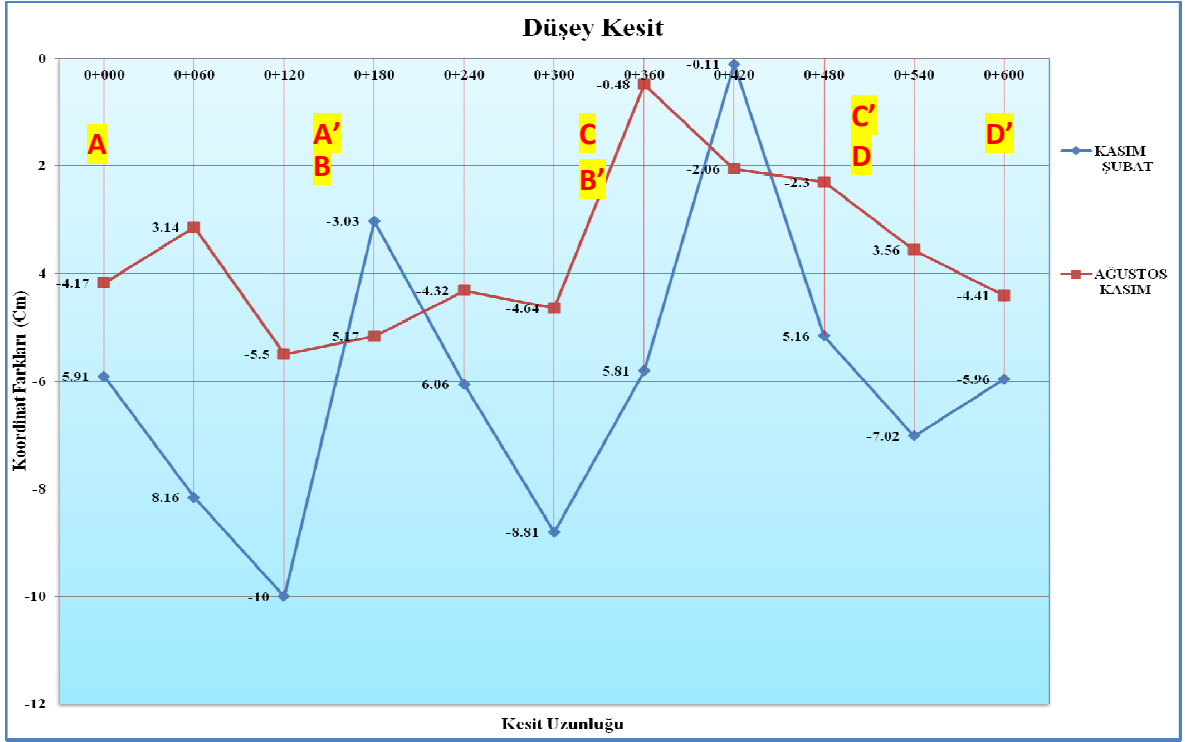


Şekil 4.29. Kas.2012-Şub.2013 periyodunda noktaların Kinematik modelle belirlenmiş x, y ve z yönündeki yer değiştirmeleri

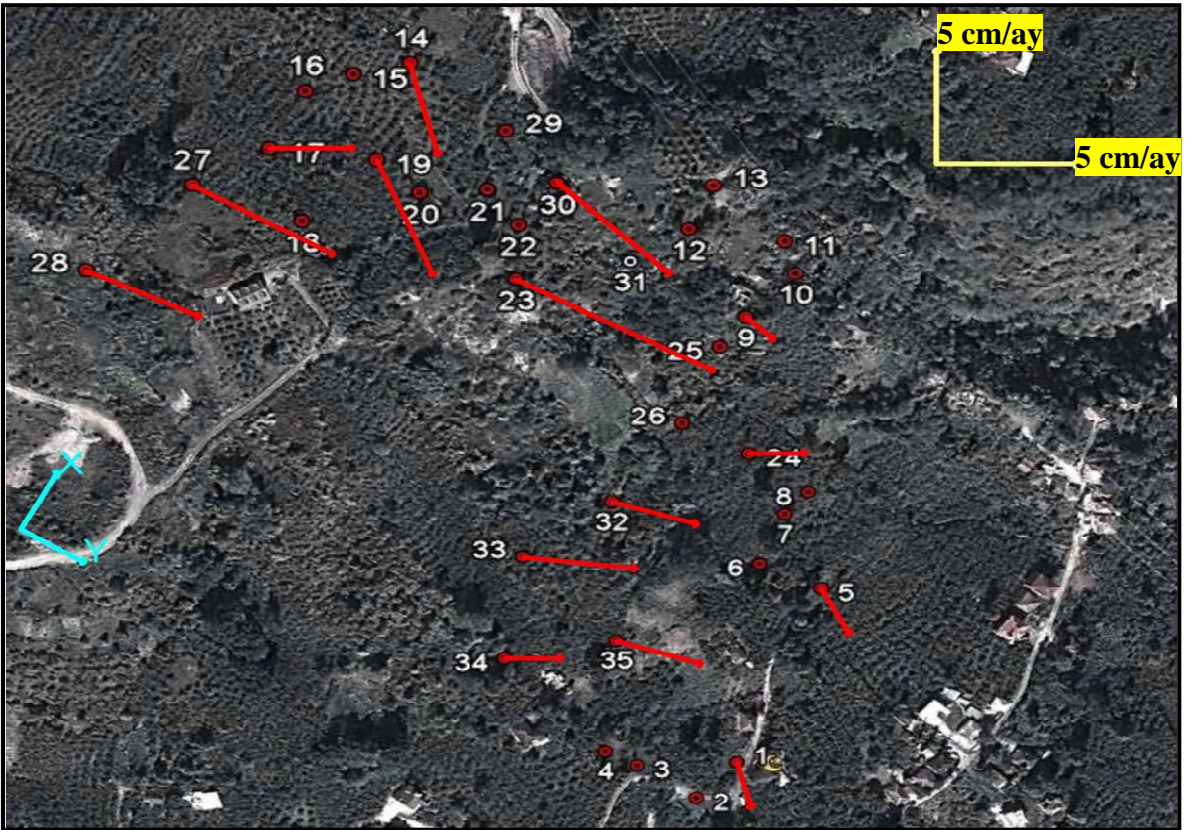


Şekil 4.30. Ağu.2012-Kas.2012-Şub.2013 periyodlarında noktaların Kinematik modelle belirlenmiş x, y ve z yönündeki hareket hızları



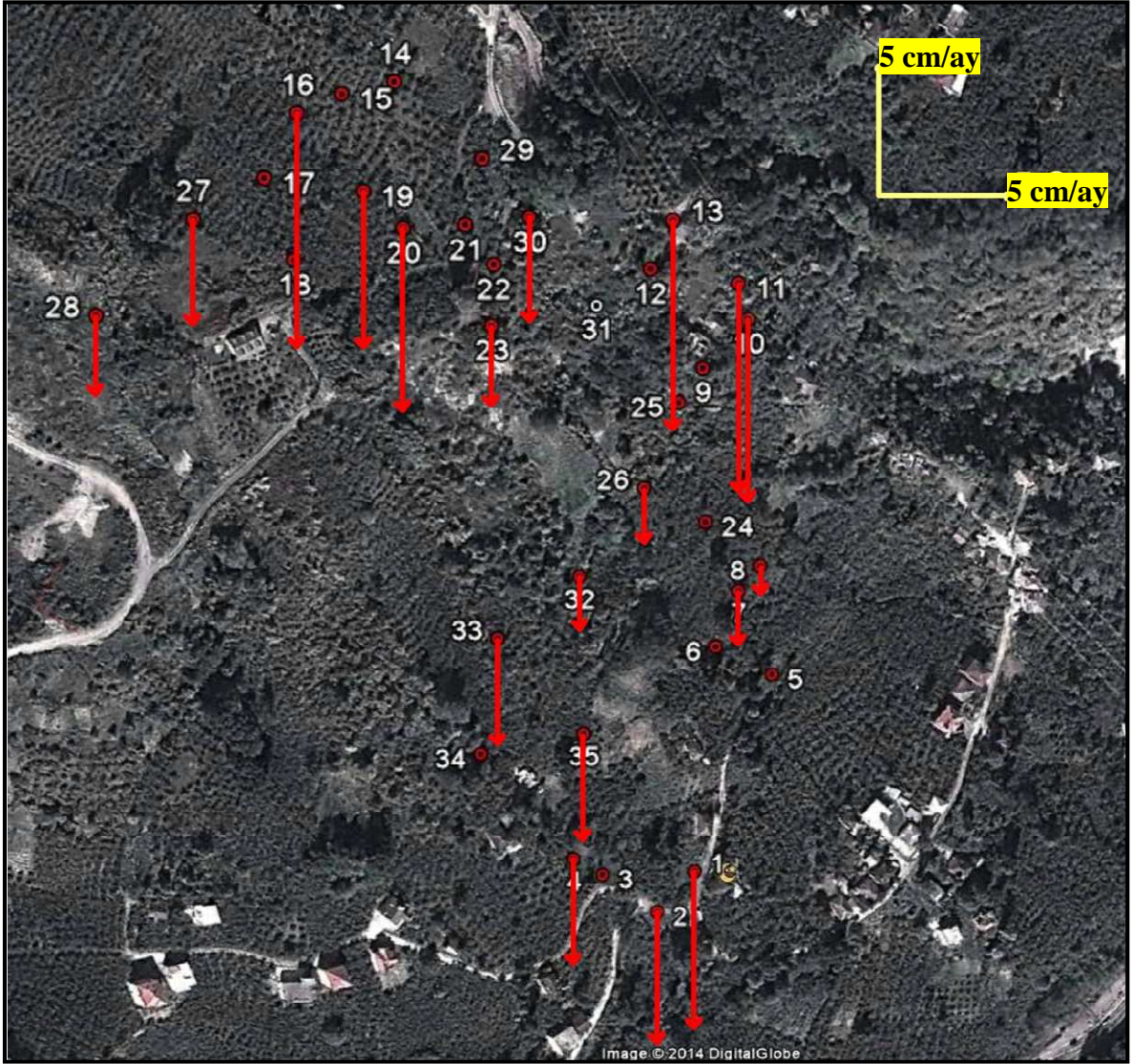


Şekil 4.33. Noktaların Ağu.2012-Kas.2012, Kas.2012-Şub.2013 periyodların da kesitlere göre düşey değişimleri



Şekil 4.34. Bazı Noktalara ait Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda Kinematik modelle belirlenmiş Yatay Hız haritası

Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 gözükmekte olan Noktalara ait hız vektörleri, Kinematik Tek Nokta Modeliyle elde edilen hareket parametreleri sonucunda Cad ortamında ölçekli olarak çizilmiştir.



Şekil 4.35. Bazı Noktala ait Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda Kinematik modelle belirlenmiş Düşey Hız haritası

5. SONUÇLAR

Bu çalışma doğrultusunda Trabzon Kutlugün (Hacımehmet) heyelan bölgesinde jeolojik ve jeodezik çalışmalar yapılmıştır. Jeodezik çalışmalarda heyelan bölgesine 35 adet deformasyon noktası tesis edilmiştir. Jeodezik deformasyon noktaları, heyelan hareketlerinin karakteristiklerini, yönlerini, büyüklüklerini ortaya çıkarılabilecek ve araziyi iyi temsil edebilecek yerlerde, Heyelanın baş, orta ve topuk kısımlarında tesis edilmiştir. Böylece eğim boyunca hareket eden heyelanın baş, orta ve topuk kısımlarında tesis edilmiş olan jeodezik deformasyon noktalarıyla heyelan mekanizması hakkında daha uygun hareket yorumlaması yapılabilmektedir.

Deformasyon noktalarında veriler Cors alıcısı ile toplanmıştır. Veri toplama aralığı 3 aylık periyotlarda, ölçüler ise Ağu.2012-Kas.2012-Şub.2013 dönemlerinde yapılmıştır. Toplanan verilerden dengeli koordinatlar oluşturulmuş ve onlara karşılık gelen varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler, statik deformasyon modeli ve kinematik tek nokta modelinde kullanılmıştır. Kinematik tek nokta modeliyle elde edilen sonuçlar statik model sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur. Böylece bu modelle, noktaların hareketlerinin yanı sıra hareketin hız ve ivmeleri zamana bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Çalışmada, hareket parametrelerinin hesaplanmasında Kalman-Filtreleme tekniği uygulanmıştır. Böylece düzgün ve düzgün olmayan hareketler az sayıda ölçü periyodu kullanılarak belirlenebilmektedir. Kalman-Filtreleme yönteminin kullanıldığı uygulamada hareket parametreleri adım adım hesaplanmıştır. Böylece ara sonuçlar elde edilebilmiş ve bu sonuçlar istatistik testlerle denetlenebilmektedir. Ara sonuçlar yardımıyla noktalardaki hareketin seyrinin izlenebilmesi ve yorumlanabilmesi de sağlanmıştır. Çözüm sonucunda noktaların yer değiştirmeleri, yer değiştirme hızları, ivmeleri, hız vektörleri belirlenmiş ve bu değerlerde anlamlı değişimler olup olmadığı ortaya konmuştur.

Yapılan analizler sonucunda noktalara ait yatay, düşey konum değişimleri ve hareket parametreleri hesaplanmış bunlara ait grafikler çizilmiş ve ArgGis Kriging Enterpolasyon yöntemi ile de noktalara ait yer değiştirme haritaları ve noktaların hızlarına ait haritalar oluşturulmuştur. Böylece heyelan hareketleri uygun olarak yorumlanabilmektedir.

Çalışma alanında statik model sonucunda saptanan yatay hareketin tüm noktalarda genel manada heyelanın taç kısmından topuk kısmına doğru yani azalan eğim yönünde olduğu saptanmıştır. Düşey yönde ise hem statik model hem de kinematik model ile

deformasyon analizinde noktalarda çökme olduğu gözükmetedir. Noktaların, kinematik model ile deformasyon analizi sonucunda yatay hareketine bakacak olursak tüm yönlerde heyelanın taç kısmından topuk kısmına doğru azalan biçimde ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Şekiller ayrıntılı olarak incelendiğinde heyelan bölgesinde bulunan noktaların her birine etkiyen yüklere karşı benzer geometrik reaksiyonlar verdiği gözükmekte olup; genel manada hem yatay hem de düşey hız vektörlerine bakınca yönlerin benzer, büyüklüklerin ise etkiyen dış kuvvetlere göre farklılık gösterdiği gözükmetedir. Ağu.2012-Kas.2012 periyoduna bakınca en yüksek deformasyona uğrayan noktalar; y ekseninde 30, x ekseninde 13, düşeyde 13 nolu noktalardır. Ağu.2012-Şub.2013 periyodunda en yüksek deformasyona uğrayan noktalar ise y ekseninde 23, x ekseninde 21, düşeyde 16 dır.

Şekiller irdelenince Kas.2012-Şub.2013 periyodundaki hareketin Ağu.2012-Kas.2012 periyodundan fazla olduğu gözükmetedir. Şekil 4.34 incelendiğinde yatay yöndeki hız vektörlerinin doğrudan y eksenini boyunca hareket ettiği mevcut yolunda bu eksen doğrultusunda olduğu gözükmetedir. Taç bölgesindeki noktalara ait hız vektörlerinin büyük olmasının sebebi deformasyonu tetikleyen mevcut yüzey ve yer altı sularının bu bölgede toplanması ve çalışma alanındaki en yüksek eğimin de görüldüğü alan olması.

Şekil 4.35 incelendiğinde düşey yöndeki hız vektörleri (-) yönde olduğu gözükmekte olup buda heyelanın davranışının çökme biçiminde olduğunu tanımlamaktadır. Arazideki eğim yönü x ekseninde (-), y ekseninde (+) yönündedir. Şekil 4.26 incelendiğinde heyelan hareketinin tamda arazinin eğim yönünde olduğunu kanıtlamaktadır.

Heyelanın topuk bölgesinden Trabzon-Erzurum Karayolu geçmekte olup, heyelanın olası zararlarını önlemek amacıyla Karayolları 10. Bölge Müdürlüğüne jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapılmış bunların sonucunda yol platformu güvenliğinin sağlanması için bir dizi tedbirler alınmıştır, bu kapsamda ilgili bölge ile alakalı bir heyelan raporu oluşturulmuş rapor sonucunda; heyelanlı kütle, üzerinde mevcut beslenme havzasının yanı sıra kuzeyinde mevcut Bozukoğlu Deresi'nin taşıdığı sular ile yoğun bir biçimde beslenmekte olduğu tespit edilmiştir. Bayrak tarafından 2003 yılında oluşturulan doktora tezi çalışmalarının sonuç ve öneriler kısmında da Hacımehmet heyelanını tetikleyen en önemli dış etkenin yeraltı suları ve yüzey suları olduğunu belirtmiştir (Bayrak, 2003). Bu sebeplerden ötürü yüzey sularının heyelanı tetiklemeden deşarjını sağlayacak sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Mevcut yolun heyelanın topuk bölgesinde sandık yarma ile oluşturulduğu gözükmemekte olup bu durumun heyelanı tetikleyici bir unsur olduğu bilinmektedir. Mevcut heyelanın Trabzon-Erzurum karayolunu doğrudan tehdit etmesi sebebiyle yolun yapım çalışmaları sırasında heyelanın olası zararlarını önlemek amacıyla kalıcı çözümler geliştirilmiştir. Bu çözümler kapsamında projeler üretilip imalatların yapımına başlanmıştır (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).



Şekil 5.1. Karayolları 10. Bölge müdürlüğünce heyelan bölgesinde yapılan çalışmalar



Şekil 5.2. Karayolları 10. Bölge müdürlüğünce heyelan bölgesinde yapılan çalışmalar

Heyelan araştırması yapılacak bölgede, mutlaka jeolojik çalışmalar yapılarak deformasyona neden olan heyelanın tipinin, heyelanı tetikleyen dış kuvvetlerin ve heyelan sınırlarının güncel durumlarının belirlenmesinin gerekli olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın, deformasyon araştırması için tesis edilecek ve heyelan hareketlerinin karakteristiklerini, yönlerini ve büyüklüklerini ortaya koyabilecek deformasyon noktalarının yerlerinin saptanmasında da çok önemli olduğu görülmüştür.

TUSAGA-Aktif sistemi ile deformasyon izleme günümüze kadar sıklıkla kullanılan bir yöntem değildir. Bu çalışmayla TUSAGA-Aktif sisteminin küçük çaplı, lokal heyelanlarda; zaman ve maliyet açısından kullanılabilirliği ortaya konmuştur. Deformasyon izleme sürekli veri toplamayı gerektiren maliyetli bir çalışmadır, TUSAGA-Aktif sistemi ise gerek donanım gerek insan gücü açısından maliyeti düşük ayrıca tesis edilen noktalara ait verilerin kısa sürede toplanmasını sağlayan ve istenilen doğruluğu gerçekleştiren sistemdir. Bu sebeplerden ötürü bu sistemin gelecek süreçlerde deformasyon izleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akçalı, E., 2011, Heyelan – Yağış İlişkisinin Modellenmesi ve Analizi; Trabzon İli Örneği, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 177s.
- Acar, M., 2009. Heyelanların İzlenmesinde Esnek Hesaplama Yöntemleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 162s
- Avcı, Ö., 2011, Sabit GNSS İstasyonları Ağlarının Deformasyon Analizinde Kullanımı Köprü Sağlığı İzlemede Sistemi Örnekleri, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul
- Baltacı, H., 2010, Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelan Yağış İlişkisinin İncelenmesi ve Minimum Eşik Değerlerinin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 73s.
- Baybura, T., Yılmaz, İ., Güllü, M., Erdoğan, S. ve Tiryakioğlu, İ., 2007. Afyonkarahisar Merkezindeki Dört Farklı Döneme Ait Camilerin RTK ile Kible Doğrultu Hassasiyetlerinin Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 45-49.
- Bayrak T., Yalçınkaya M., 2002. GPS ile izlenen jeodezik deformasyon ağlarında kinematik hareketlerin ve hareket yüzeylerinin belirlenmesi, Tujk tektonik ve jeodezik ağlar çalıştay, İznik.
- Bayrak, T. ve Yalçınkaya, M., 2002. GPS Ağlarında Deformasyonların Statik ve Kinematik Modellerle Belirlenmesi için Geliştirilmiş bir Deformasyon Yazılım Paketi, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya, 116-126.
- Bayrak, T., 2003. Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 195s.
- Bayrak, T. ve Yalçınkaya, M., 2003. Dynamic Model for Monitoring Landslides with Emphasis on Underground Water in Trabzon Province, Northeastern Turkey, *Journal of Surveying Engineering*, 115-124.
- Bayrak, T., Yılmaz, H.M. ve Yakar, M., 2007. Eğri Minare'nin Deformasyonunun Nedenlerinin Araştırılması ve Jeodezik ve Fotogrametrik Yöntemlerle İzlenmesi, 11. Türkiye harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Bozan, A., 2012, Coğrafi Bilgi Sistemlerine Altlık Oluşturan Gps Verilerinin Farklı Yerlerde ve Zamanlarda Yapılan Ölçülerin Hassasiyetinin ve Doğruğunun İrdelenmesi Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Yollarının Saptanması Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 84s.

- Ceylan, A., 2010. GPS ve Nivelman Ölçüleri ile Çekül Sapması Bileşenlerinin Hesaplanması ve Konya GPS Test Ağı Örneği, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 103, 9-14.
- Doğanalp, S., 2005, Kinematik Model de Kalman Filtreleme Yöntemi ile Deformasyon İzleme, Yüksek Mühendislik Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 148s.
- Doğanalp, S., Turgut, B. ve İnal, C., 2007. Yükseklik Ağlarında Kalman Filtreleme Yöntemi ile Deformasyon Analizi için Geliştirilen Program, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Doğanalp, S. ve Turgut, B., 2009. Statik ve Kinematik Modelde Deformasyon Analizi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Konya, 24, 31-44.
- Eker, R., 2013, Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü'nün Heyelan Duyarlılık Haritalarının Coğrafi Bilgi sistemleri Yardımı İle Üretilmesi ve Orman Yolları Açısından Değerlendirilmesi Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 169s.
- Elal, D., 2008, Sorgun-Çekerek Karayolunda Kaplankaya ve Kazantaşın Heyelanlarının Mühendislik Jeolejisi Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 100s.
- Erol, B., 2011. Büyük Ölçekli Harita Üretim Yönetmeliği esaslarına göre Yükseklik Belirleme Uygulamaları ve Sorunları, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- Gökalp, E. ve Güngör, O., 2001. RTK (Real Time Kinematic) GPS' in İmar Uygulamalarında Kullanılması, Harita Kadastro Mühendisliği Dergisi, 87, 38-47.
- Gülal E., 1999. Kalman Filtreleme Tekniğinin Deformasyon Analizine Uygulanması, YTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü Araştırma Makalesi, İstanbul, 11-19.
- Gülal, E., Aykut, N.O., Akpınar, B. ve Uygur, S.Ö., 2011. GNSS Antenlerinin Faz Merkezi ve Değişiminin Araştırılması, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi.
- Hastaoğlu, K., 2009, Gps Hızlı Statik Yöntem İle Heyelanların İzlenebilirliğinin Araştırılması; Sivas Koyulhisar Heyelanı Örneği Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 150s.
- İmre, N., 2011, Gürpınar Bölgesindeki Heyelanların Jeoteknik İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 139s.
- Kahveci, M., 2009. "Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları" Gerçek Zamanlı Sabit GNSS, Ankara, 63-77.

- Kahveci, M., 2009. Gerçek Zamanlı Sabit GNSS(CORS) Ağları: Tanımı ve Temel Esaslar, 4. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Trabzon, 341-364.
- Kahveci, M., 2009. Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS(CORS) Ağları ve Düşündürdükleri, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 100, 13-20.
- Kahveci, M., 2010. GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 102, 3-9.
- Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü, 2010, Hacımehmet Heyelan Değerlendirme Raporu, Trabzon
- Kılıçoğlu, A., 2011. GNSS ile Ölçme Tekniğinin Kadastro ve İmar Çalışmalarında Kullanılması, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- Mekik, Ç. ve Arslanoğlu, M., 2003. Gerçek Zamanlı Kinematik Gps Konumlarının Doğruluk Analizi ve Bir Örnek Uygulama, 9.Türkiye harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2003, Ankara, 549-558.
- Mekik, Ç., 2004. Mühendislik Uygulamalarında Tek Bazlı Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) GPS' ten ve GZK Ağından Yararlanma, TUJK 2004 Çalıştayı, Zonguldak.
- Mekik, Ç., 2004. Gerçek Zamanlı Kinematik Gps Ağı (Network-RTK) İle Konumlama, TUJK 2004 Çalıştayı, Zonguldak, 203-208.
- Mercan, H., 2006, Gps Sıklaştırma Ağlarının Değerlendirme Stratejileri Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43s.
- Öz, D., 2009, Avcılar Heyelan Bölgesindeki Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 85s.
- Özdemir, S., Erkan, Y., Aktuğ, B., Kurt, M. ve Lenk, O., 2011. Türkiye'de Sabit GPS İstasyonlarının Tarihi ve Tusaga-Aktif Sistemi, HKMO 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Özenç, R., 2003, Lokal Alan Diferansiyel Gps Hassas Yaklaşımı ve Gözlem Sonrası Hesaplama Yöntemiyle Uygulaması Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 90s.
- Pehlivan, M., 2008, Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilinden Özkürtün Beldesinin Heyelan ve analizi Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 60s.
- Pektaş, F., 2010, Gerçek Zamanlı Ulusal ve Yerel Sabit Gns Ağlarına Dayalı Kinematik Konumlama Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 73s.

- Seydanlıoğlu, A., 2009, Metro Tünellerinde Deformasyon lmeleri 4. Levent – Ayazağa Metro Hattı rneği Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 51s.
- Şahin, E., 2012 Cbs Tabanlı ok Kriterli Karar Analizi Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının retilmesi: Trabzon İli rneği, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen bilimleri Enstitüsü, Gebze, 107s.
- Şanlıoğlu, İ. ve Maraş, S.S., 2011. Web-Tabanlı GNSS Veri İşleme Uygulamaları, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- Taftalı, G., 2010, Sabit Referans Gns Ağlarının Teknik Altyapı ve styapı Kontrolünde Kullanımının İrdelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 70s.
- Tanır, E., 2000. Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Mühendislik Tezi, K.T.. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Tekdal, E., 2007, Deprem Sonrası Meydana Gelen Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 48s.
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M.A., Erdoğan, S. ve Gülal, E., 2010. Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik lu Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Srelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 32-38.
- Turan, S., 2012, Peyodik Toplanmış Tusaga-Aktif llerin Deformasyon İzlemede Kullanabilirliğinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 74s.
- Uluişık, P., 2006. Yüksek Bina Hareketlerinin GPS ile İzlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uzel, T., Eren, K., Gülal, E., Dindar, A.A., Tiryakioğlu, İ. ve Yılmaz, H., 2011. Tusaga Aktif (CORS-TR) Verileri ile Tektonik Plaka Hareketlerinin İzlenmesi, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Yalçın, B., 2007 Yerel Bir Ağda Gps l Sresinin Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 136s.
- Yalçınkaya (nver), 1994. Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Yalçınkaya, M. ve Bayrak, T., 2005. Comparison of Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models for Kutlugün Landslide in Northeastern Turkey, Springer, 34, 91-110.

Yıldırım, A., 2007, Mühendislik Yapılarının Deformasyon Analizinde Gps ölçülerinin Kullanılabilirliği Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 67s.

URL-1, www.hkmo.com.tr, 2007

URL-2, www.hgk.msb.gov.tr, 2011

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 17.11.1987

Doğum yeri TRABZON

Lise 2001-2004 Trabzon Lisesi

Lisans 2007-2011 Karadeniz Teknik Üniversitesi
Gümüşhane Mühendislik Fakültesi
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

2010-2012 Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi
Emlak ve Emlak Yönetimi Bölümü

Yüksek Lisans 2011- Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

2011-2013 Yıldız İnşaat

2013-2014 Yse-Nas İnşaat ortaklığı – Pirahmet Kelkit
Yolu (Gümüşhane) - Etüd Proje Şefi

2014- Karayolları 7. Bölge Müdürlüğü – Kontrol
Mühendisi