

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PERİYODİK TOPLANMIŞ TUSAGA-AKTİF ÖLÇÜLERİNİN DEFORMASYON
İZLEMEDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda Nur TURAN

**HAZİRAN 2012
GÜMÜŞHANE**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PERİYODİK TOPLANMIŞ TUSAGA-AKTİF ÖLÇÜLERİNİN DEFORMASYON
İZLEMEDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEDA NUR TURAN

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Harita Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.06.2012

Tezin Sözlü Savunma Tarihi :20.06.2012

HAZİRAN 2012

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Temel BAYRAK danışmanlığında **Seda Nur TURAN** tarafından hazırlanan **“PERİYODİK TOPLANMIŞ TUSAGA-AKTİF ÖLÇÜLERİNİN DEFORMASYON İZLEMEDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi **Harita Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan :.....

Doç. Dr. Temel BAYRAK

Danışman :.....

Doç. Dr. Temel BAYRAK

Üye :.....

Yrd. Doç. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU

Üye :.....

Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK

ONAY

Bu tez// tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PERİYODİK TOPLANMIŞ TUSAGA-AKTİF ÖLÇÜLERİNİN DEFORMASYON
İZLEMEDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Seda Nur TURAN

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Temel BAYRAK
2012, 74 sayfa

Günümüzde mühendislik yapılarının kontrolü, yatay ve düşey yöndeki yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Yapıların kontrolü ve yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesine ilişkin deformasyon analizleri her zaman mühendislik jeodezisinin temel konuları arasında yer almıştır. Objelerin şekil, boyut ve yer değişimleri bu analizler yardımıyla belirlenmekte ve yorumlanmaktadır.

Türkiye’ de adı Ağ-RTK olan TUSAGA-Aktif Türkiye çapında kullanıcılara gerçek zamanlı hassas koordinat sağlar. Bu çalışma periyodik toplanmış gerçek zamanlı TUSAGA-Aktif datalarının deformasyon izlemede kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Bu araştırmanın amacı, günümüzde pek çok alanda kabul görmüş yöntemlerden biri olan TUSAGA-Aktif ile bir noktada periyodik olarak toplanmış TUSAGA-Aktif ölçülerinin deformasyon izlemede kullanılabilirliğini inceleyip daha gerçekçi yorumlama yapabilmektir. Bu amaçla, TUSAGA-Aktif teknolojisi ile Gümüşhane Üniversitesi yerleşkesinde seçilen bir noktada GNSS alıcıları ile 3 ayda bir periyodik olarak 10 epokluk

TUSAGA-Aktif ölçüleri gerçekleştirilmiş, ölçüler dengelenmiş, statik ve kinematik deformasyon analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları karşılaştırılmış ve uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.

Bu metot diğer metotlara göre daha pratik ve ekonomiktir. Deformasyon ölçüm ve analizi yapmak için sadece bir GNSS alıcısı ve bir insana ihtiyaç vardır. Ölçüm zamanı çok kısadır. Ayrıca, uygulama alanında aynı zamanda çok sayıda veri toplanabilir. Diğer taraftan, metodun doğruluğu santimetre (cm) seviyesindedir.

Anahtar kelimeler: TUSAGA-Aktif, Ağ-RTK, Deformasyon, Dengeleme, Statik Analiz, Kinematik Analiz

ABSTRACT
MS THESIS

**INVESTIGATING THE PRACTICABILITY OF PERIODICALLY COLLECTED
TUSAGA-ACTIVE MEASUREMENT IN DEFORMATION MONITORING**

Seda Nur TURAN

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Temel BAYRAK
2012, 74 pages

Controlling of engineering structures and determining horizontal and vertical crustal movements are of great importance today. The deformation analyses of structure control and determining crustal movements have constantly been one of the basic subjects of geodesy. Shape, dimension and displacement of the objects are determined and interpreted through these analyses.

TUSAGA-Active named as Ağ-RTK in Turkey provides real-time precise coordinates for the users all around Turkey. This study investigates the practicability of real-time TUSAGA-Active data collected periodically in deformation monitoring. The aim of this study is to analyze the usefulness of TUSAGA-Active measurements in deformation

monitoring collected periodically in a certain point through TUSAGA-Active method being one of the accepted methods in numerous fields and so make relatively more realistic interpretations. For this purpose, 10-epoch TUSAGA-Active measurements were made every three months periodically in a certain point in Gumushane University campus with GNSS receivers using TUSAGA-Active data. The measurements were adjusted and statical and kinematical deformation analyses were carried out. Then the results were compared and it was observed that they were compatible.

This method is more practical and economical than the others. Only one person and a GNSS receiver are needed in order to make deformation measurements and analyses. Measurements take a very short time. In addition, a large number of data can be collected in the application area in a very short time. However, the accuracy of the method is at the centimeter (cm) level.

Key Words: TUSAGA-Active, Network-RTK, Deformation, Adjustment, Statical Analysis, Kinematical Analysis

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi, gerekse çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Temel BAYRAK' a teşekkürü bir borç bilirim. Arazide yapılan çalışmalarım da bana yardımcı olan Arş. Gör. Fırat ALTINTAŐ' a çok teşekkür ederim. Ayrıca akademik hayatım boyunca bana eğitim vermiş hocalarıma bütün samimiyetimle teşekkür ederim.

Beni bu yaşıma getiren, her zaman yanımda olan, toplumumuza layık bir birey olarak yetiştiren Anneme ve Babama sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Seda Nur TURAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Diferansiyel GNSS.....	2
1.2.1. Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS' in Tanımı.....	4
1.2.1.1. RTK Çalışma Prensibi ve Kullanım Alanları.....	6
1.2.1.2. RTK Ölçme Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	8
1.2.2. Ağ-RTK' nın Tanımı.....	9
1.2.2.1. Ağ-RTK Çalışma Prensibi ve Kullanım Alanları.....	11
1.2.2.2. Ağ-RTK Yönteminin Avantajları.....	14
1.3. GNSS ile Deformasyon İzleme.....	16
1.3.1. TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Deformasyon İzlemede Trend.....	19
1.3.2. TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Deformasyon İzlemede Kullanılabilirliği.....	23
1.4. TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Dengelenmesi.....	24
1.4.1. Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Statik Deformasyon Analizi.....	26
1.4.2. Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Kinematik Deformasyon	

Analizi.....	31
1.4.2.1. Kalman-Filtreleme Tekniğinin Global Testi.....	39
1.4.2.2. Hareket Parametrelerinin Anlamlılık Testi.....	40
1.4.2.3. Kalman-Filtreleme Tekniğinde Başlangıç Periyodunda Yapılacak İşlemler.....	41
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	46
2.1. Ön Çalışmalar.....	46
2.2. TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Yapılması ve Dengelenmesi.....	46
2.3. TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Deformasyon Analizi.....	57
2.3.1. Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Statik Deformasyon Analizi.....	57
2.3.2. Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Kinematik Deformasyon Analizi.....	59
3. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
4. KAYNAKLAR	66

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	DGNSS' in Çalışma Prensibi.....	2
Şekil 1.2.	RTK GNSS' in Çalışma Prensibi.....	6
Şekil 1.3.	Ağ-RTK' nın Çalışma Prensibi.....	12
Şekil.1.3.	Elipsoid ve Ortometrik Yükseklik İlişkisi.....	16
Şekil 1.4.	Statik Deformasyon Analizi İş Akış Şeması.....	29
Şekil 1.5.	Öncül Kestirim (prediksiyon), Filtre, Yumuşatma Aşamaları ve Aralarındaki İlişki.....	31
Şekil 1.6.	KALMAN-Filtreleme Tekniğinin Akış Şeması.....	37
Şekil 2.1.	Arazide bir noktada RTK- rover ile ölçüm.....	45
Şekil 2.2.	Ölçümlerin Topcon Link Programında Gösterimi.....	46
Şekil 2.3.	TextPad' de Oluşturulmuş "RTK1_bilgi_dosyası" Dosyası.....	54
Şekil 2.4.	TextPad' de Oluşturulmuş "RTK1dataOBS" Dosyası.....	54
Şekil 2.5.	TextPad' de Oluşturulmuş "RTK1XYZ" Dosyası.....	54
Şekil 2.6.	MATLAB' de çalıştırılmış dengeleme programı ve 1. periyot dengeli koordinatlar.....	55
Şekil 2.7.	2. periyot dengeli koordinatlar.....	55
Şekil 2.8.	3. periyot dengeli koordinatlar.....	55
Şekil 2.9.	Excel' de 1. ve 2. Periyot Statik Deformasyon Analizi.....	58
Şekil 2.10.	TextPad' de Oluşturulmuş "RTK1_ RTK2_ RTK3_bilgi_dos" Dosyası.....	59
Şekil 2.11.	TextPad' de Oluşturulmuş "RTK1_ RTK2_ RTK3_bazidege" Dosyası.....	59

Şekil 2.12.	MATLAB’ de Kinematik Deformasyon 1. Analiz Sonucu Oluşan “RTK1_RTK2_RTK3_gps_kin_def_out “ Adlı Çıktı Dosyası.....	60
Şekil 2.13.	Kinematik Deformasyon Analizi 2. Adımı için TextPad’ de Oluşturulmuş “RTK1_RTK2_RTK3_bazidege” Dosyası.....	60
Şekil 2.14.	MATLAB’ de Kinematik Deformasyon 1. ve 2. Analiz Sonucu Oluşan “RTK1_RTK2_RTK3_gps_kin_def_out “ Adlı Çıktı Dosyası.....	62

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo.1.1.	Jeodezik Yöntemle Deformasyon İzleme Teknikleri ve Ölçme Donanımları.....	18
Tablo 1.2.	Yaygın İzleme Metotları ve Aletlerin Karşılaştırılması.....	21
Tablo 2.1.	1. Periyot 10 Epok Ölçüler.....	46
Tablo 2.2.	1. Periyot Yaklaşık Değerler.....	47
Tablo 2.3.	1., 2. ve 3. Periyotlara ait Dengelenmiş Koordinatlar.....	53
Tablo 2.4.	Statik Deformasyon Analiz Sonuçları.....	58
Tablo 2.5	Kinematik Modelin (konum+ hız+ ivme) Kalman-filtreleme Yöntemi ile Çözümünün İstatistik Test Sonuçları.....	63
Tablo 2.6	Bir Noktanın Deformasyon Model Sonuçları.....	63

1. GENEL BİLGİLER

1.1. GİRİŞ

Deformasyon izleme çalışmaları konum-zaman ilişkisi, sosyoekonomik kayıplar, çevresel etkiler, zararların azaltılmasıyla ilgili çalışmaları gerektiren karmaşık bir konudur. Bu gereksinimlerin karşılanabilmesi için sonuca hızlı ulaşan deformasyon izleme yöntemlerinin geliştirilmesi bir ihtiyaçtır. Deformasyon izleme çalışmaları tabiatı gereği fazla sayıda personel ve donanım gerektiren, maliyeti yüksek ve karmaşık bir çalışmadır. Bununla birlikte doğal afetlerin zararlarının azaltılması için de gerekli bir çalışmadır. Ülkemizde deformasyon izleme çalışmaları yeterli değeri bulamamıştır. Deformasyon izlemede gerekli personelin azaltılması, daha iyi doğruluk sağlayan az sayıda donanımla çalışma yapılabilmesi, maliyetin düşük olması bu disipline olan talebi arttıracığı kuşku götürmez.

Deformasyon izlemede birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar büyük alanlar için uzaktan algılama yöntemleri, lokal alanlar için sürekli izleme yöntemleri ve periyodik izleme yöntemleri vs. olarak adlandırılabilir. Her yöntemin kendine göre avantajları ve eksiklikleri mevcuttur. Genelde deformasyon izleme yöntemi amaca göre belirlenir.

Bu çalışmanın amacı TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Aktif Ağı) verilerinin deformasyon izlemede kullanılabilirliğinin ortaya koyulmasıdır. İlgili yöntemlerle veri toplamanın kolaylığı, veri toplama zamanının kısalığı, yöntemlerin ulaşabildikleri doğrulukların deformasyon izleme için yeterli olması, deformasyon karakteristiğini ortaya koyacak kadar nokta sayısının arttırılabilmesi esnekliği gibi özellikler bu teknolojiye olan talebi artırmaktadır.

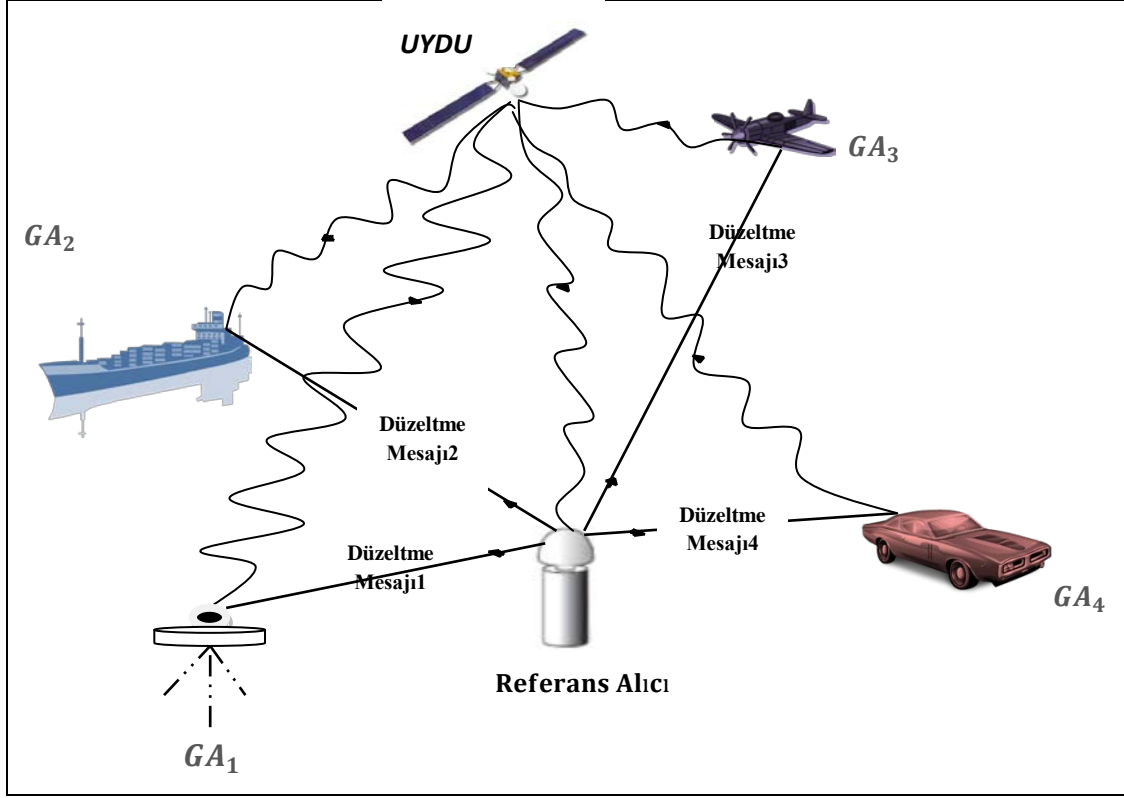
Jeodezik bakış açısıyla üç boyutlu, zamana ve konuma bağlı karmaşık bir problem olan deformasyon izleme çalışmaları için önerilen yöntem deformasyon izlemede kullanılacak yeni ve hızlı bir yöntemdir. Veri toplama sıklığı günlük olabilmektedir. Kullanılacak verilerin doğruluğu deformasyon izleme için yeterlidir. Çalışmada deformasyon izleme için 1 GPS alıcısı yeterli olmaktadır.

Bu çalışmada, arazide TUSAGA-Aktif ile üç periyotta (Kasım 2011 - Şubat 2012 - Mayıs 2012) ölçüler toplanmış ve her bir periyot ayrı ayrı serbest dengelenmiş, statik ve kinematik olarak deformasyon analizleri yapılmış ve analiz sonuçları incelenmiştir. Elde edilen bu veriler, statik deformasyon modeli ve kinematik tek nokta modelinin kalman-

filtreleme yöntemi ile çözümünde kullanılmıştır. Çözüm sonucunda noktaların yer değiştirmeleri, yer değiştirme hızları ve noktalarda anlamlı değişimler olup olmadığı hakkında bilgi veren ivmeleri belirlenmiştir.

1.2. Diferansiyel GNSS

Diferansiyel GNSS, 1980' li yılların sonlarına doğru bilim adamları tarafından, yörünge, iyonosfer ve troposfer hatalarını, SA etkilerini azaltarak ya da en aza indirerek arazide anlık konum belirleyebilmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Kod ve faz esaslı bağıl konumlandırma yöntemi olan Anlık diferansiyel GNSS (Real Time Differential GNSS - DGNSS), aynı uyduları eşzamanlı izleyen iki ya da daha fazla alıcıları çalıştıran bir tekniktir (El-Rabbany, 2002; Varner, 2000). Bu teknikte biri sabit (reference, base) diğeri gezici (rover) olmak üzere en az iki alıcıya gereksinim vardır. Konumu önceden hassas olarak belirlenmiş bir noktaya sabit alıcı kurulur ve gezici alıcının/alıcıların konumu belirlenir. Her iki noktada da en az dört ortak uyduya (ilk açılışta faz esaslıda 5 ortak uydu) eş zamanlı GNSS gözlemi yapılmalıdır. Sabit alıcı gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydualıcı uzaklıklarını hesaplayarak bu değerleri kendi konum bilgileri yardımıyla hesapladığı konum bilgileriyle karşılaştırır ve hesapladığı farklar gözlem hatası olarak yorumlanır (Kahveci ve Yıldız, 2009). DGNSS' in en yaygın formu, referans istasyonlarında uydu navigasyon mesajı ve uydu saat hatalarının birlikte etkilerini belirlemek ve kullanıcısının alıcısına pseudorange düzeltmelerini gerçek zamanlı iletmektir (Grewal vd., 2001). Sabit alıcı hesaplanan düzeltmeleri, konumu belirlenecek noktalardaki gezici alıcı/alıcılar tarafından kaydedilen gözlemlere, uzaklığa bağlı olarak portatif telsizler, yer istasyonları ve uydular vasıtasıyla yayınlar. Gezici GNSS alıcısı/alıcıları bu verileri alır ve kendi konumunu hassas olarak belirler. Bu teknikle arazide gerçek zamanlı konum bilgisi elde etmek mümkündür.



Şekil 1.1. DGNSS' in Çalışma Prensibi

DGNSS, her biri en az bir GNSS alıcısı ile donanımlı bilinen alanlarda bir ya da daha fazla referans istasyonu kullanan GNSS' in konumlama ya da zamanlama performansını geliştirmek için bir metot olup, veri hattı aracılığıyla bilgiyi son kullanıcıya sunan referans istasyonu aşağıdaki verileri içerebilir.

- Ham referans istasyon ölçüleri (örn: pseudorange ve taşıyıcı faz),
- Data bütünlüğü (örn: her bir uydu için gözle görünür belirtileri ya da düzeltmelerin sağlanmış doğruluğunun istatistiksel göstergeleri),
- Referans istasyonunun yedek data içeren bölgesi, sağlığı (işleyiş performansı), meteorolojik verisi,
- Son kullanıcı pseudorange ölçülerine düzeltmeleri, GNSS sağlanmış uydu saat ve efemeris data ya da yayın saat ve efemeris bilgisini yerleştirmek için data,

DGNSS, mutlak ve bağıl diferansiyel konumlama olmak üzere iki yolda kategorize edilebilir.

Mutlak diferansiyel konumlama; kullanıcısının konumunun ECEF (Earth-Centered Earth-Fixed Coordinate System - yer merkezli yer sabit koordinat sistemi-) koordinat sisteminde belirleme tekniğidir. Bu DGNSS' in en yaygın amacıdır. Mutlak diferansiyel

konumlama için her referans istasyonu konumu, kullanıcı konumunun istediği aynı ECEF koordinat sisteminde tam olarak bilinmelidir. Hava taşıtları arzu edilen uçuş yolunun belli başlı sınırları dahilinde kaldıkça konumlamanın bu tipini kullanmaktadır. Gemiler de bu konumlama tipini liman kanalları dahilinde kullanmaktadır.

Bağıl diferansiyel konumlama, referans istasyonuna bağlı bir koordinat sistemi ile kullanıcı konumunu belirleme tekniğidir (Hegarty ve Kaplan, 2006). Uygulama alanları; navigasyon, araç takibi, filo yönetimi, GIS veri toplama, hassas tarım, vb olan DGNSS, sistem olarak alıcı ve alıcının o anki konumuna bağlı yansıma ve sinyal gürültüsü gibi hataları elimine edememekte ancak birçok uygulama bu hataların ihmal edilebilir mertebede olacak şekilde hazırlanması nedeniyle etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu tür hataları elimine etmek için taşıyıcı dalga faz ölçüleri ile kod ölçülerini filtreleme gibi yöntemler kullanılmaktadır (URL-1, 2011). Bu teknikte, sisteminin performans ve doğruluğunu düşüren bazı hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu kabul edilmektedir. Başka bir ifadeyle, DGNSS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki korelasyonlu (ortak) sistematik hataların giderilmesi ya da en aza indirilmesi söz konusudur (Kahveci ve Yıldız, 2009).

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

1.2.1. GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK GNSS' İN TANIMI

Gerçek zamanlı kinematik (RTK) ölçme DGNSS ile aynı çalışma prensibine sahiptir. Fakat kod ölçülerinden farklı olarak faz ölçülerini kullanan yüksek doğruluklu DGNSS' dir. Faz gözlemlerinde temel düşünce taşıyıcı dalganın dalga boylarının sayılmasıdır. Taşıyıcı sinyallerin dalga boyları bilindiği için uydu-alıcı uzaklıkları kolaylıkla hesaplanabilmektedir. İlk ölçü epöğundan itibaren uydu-alıcı tamsayı faz belirsizliği belirlenebilmektedir (Yetkin ve İnal, 2010). Klasik GNSS konfigürasyonuna ek olarak radyo-modem ve RTK kontrol ünitesi vardır. Koordinatlar cm duyarlılığında arazide üretilmektedir. Diferansiyel algoritma ve metot kullanılır. En az iki GNSS alıcısı ve tek bir

referans istasyonu söz konusudur (Güllü vd., 2007). RTK uygulamalarında koordinatları bilinen bir noktada GNSS alıcısı sürekli gözlem yaparken, bir gezici GNSS alıcısı da konum çözümünü gerçekleştirmektedir. Referans alıcı gözlemler esnasında bilinen koordinatlarıyla ölçme anında uydulardan hesapladığı koordinatları karşılaştırarak buradan hesapladığı farkları düzeltme olarak gezici GNSS alıcılarına yayınlamaktadır. Düzeltmeleri alan gezici alıcılar referans alıcıya göre o andaki konumlarını hesaplarlar (Pırtı, 2005). RTK yönteminde faz ölçülerinin kullanılması ile daha yüksek doğruluklara (mm-cm) ulaşılmaktadır. Modern RTK GNSS alıcılarının yatay doğrultudaki doğruluğu birçok üretici tarafından “10 mm + 1 ppm” olarak verilmektedir.

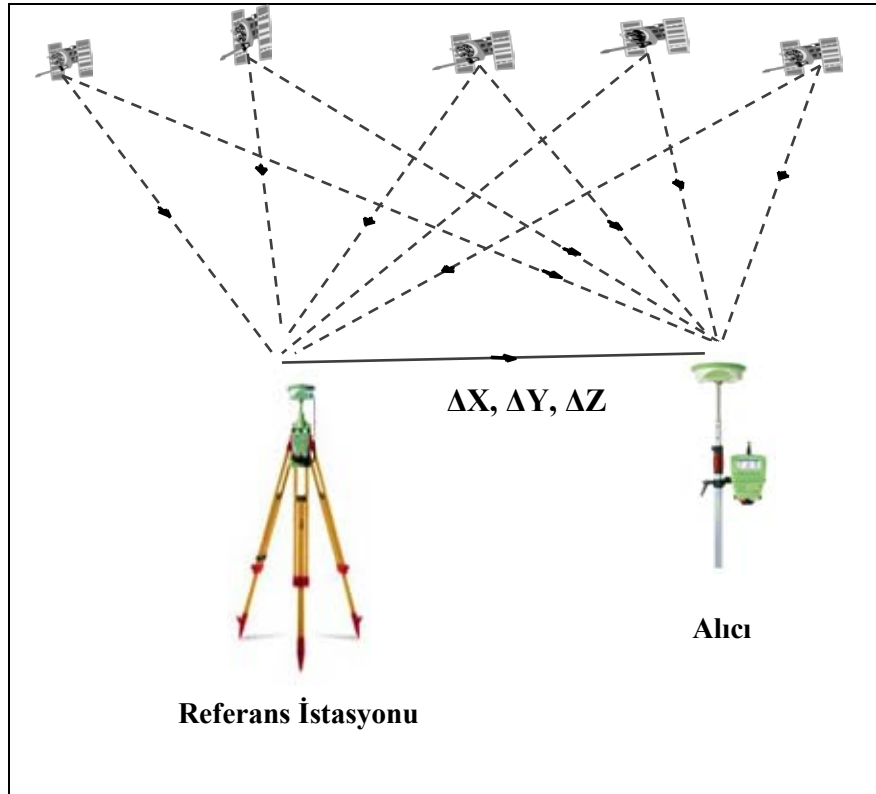
Taşıyıcı dalga faz ölçülerinin kod ölçülerine göre daha hassas olması sebebiyle RTK metodu DGNSS' e nazaran çok daha hassas sonuç verir. RTK ile arazideki bir noktanın koordinatlarını (alımı) 2-3 cm ile belirlemek mümkündür. Bu metot ile koordinatları ister lokal bir sistemde isterse ülke sisteminde verilmiş olsun bir noktanın araziye aplikasyonu yine 2-3 cm' lik bir hassasiyetle yapılabilmektedir (Güllü vd., 2007). Çok uzun zaman ve ön çalışma gerektiren aplikasyon işleri çok kısa bir sürede ve en az yersel sistemden elde edilebilecek duyarlılıkla yapılabilmektedir.

RTK GNSS yönteminde, genelde hem referans ve hem de gezici istasyonda çift frekanslı GNSS alıcıları (L1 ve L2) kullanılmaktadır. Bunun nedeni, referans-alıcı mesafesinin fazla uzak olduğu durumlarda alıcı belirsizliklerini daha hızlı elde etmek içindir (Erdal, 2009). RTK GNSS konumlamasında temel yaklaşım, jeodezik referans sisteminde üç boyutlu koordinatları bilinen noktaya bir alıcının yerleştirilmesi ve ikinci alıcının koordinatlarının referans alıcısına “bağlı” olarak belirlenmesidir (URL-2, 2011).

Bir RTK GNSS uygulamasında başlangıçta referans ve gezici alıcılar ortak en az 5 uyduya gözlem yapmalı ve veri toplanması gerekmektedir. 4 uyduya yapılan gözlem ile de yöntem sonuç verir fakat bu durumda tamsayı faz belirsizliğinin belirlenme süresi uzayacaktır. Buradan da anlaşılacağı gibi uydu sayısının artmasıyla birlikte sistemin hassasiyeti artar ve tamsayı faz belirsizliğinin belirlenme süresi kısalır. En az 5 uyduya bağlanma şartı ağaçlık alanlarda ve yüksek binaların bulunduğu kent merkezlerinde oldukça güçtür. (Uluişik, 2006).

1.2.1.1. RTK ÇALIŞMA PRENSİBİ VE KULLANIM ALANLARI

Ülke genelinde yaklaşık 2000' in üzerinde GNSS alıcısı bulunmaktadır. Bu GNSS kullanıcıları, statik veya RTK tekniklerinden yararlanarak, önce kendi baz istasyonlarını oluşturmakta daha sonra da gezici alıcılarla koordinatlarını hesaplamaktadırlar. Statik ölçülerde, baz uzunluğu ve uyguladıkları yöntemle bağlı olarak, geziciler 15 dakikadan saatlere varan ölçü zamanına gereksinim duymaktadırlar. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğine göre; RTK kullanımı durumunda ise baz istasyonundan en fazla 5 km uzaklığa kadar çözüm sağlanabilmektedir. RTK ölçme yönteminin doğruluğu referans istasyonu ile gezici alıcı arasındaki mesafeye bağlıdır (Deniz vd., 2011). Bunun başlıca nedenlerinden biri, baz uzunluğu arttıkça kullanılan göreceli konumlama modelindeki başta yörünge ve atmosferik (iyonosferik ve troposferik) etkiler olmak üzere diğer fiziksel etkilere ait mekansal korelasyonunun azalmasıdır (Tiryakioğlu, 2010).



Şekil 1.2. RTK GNSS' in Çalışma Prensibi

RTK GNSS tekniği ile cm mertebesinde elde edilen doğruluk, pek çok haritacılık uygulamaları için yeterli olmaktadır. RTK GNSS' in doğruluk, hız, çok amaçlı kullanım ve etkinliğindeki bir çok avantajından dolayı bir çok sektörde kullanımı giderek artmaktadır (Yeşil vd., 2010). Hâlihazır harita yapımında, imar uygulamalarında, kanal ve boru hattı projelerinde, hidrografik ölçümlerde, mühendislik yapılarında davranış belirlemede, araç takibinde, yol projelerinde, kent bilgi sistemi projelerinde, elipsoid yükseklik ve jeoit yüksekliklerinden gelen ortometrik yüksekliklerin deformasyonunda, aplikasyon işlerinde hızlı ve doğru sonuçlar üretmesi nedeniyle sıklıkla kullanılabilir (Gökalp ve Erener, 2003; El-Mowafy, 2004; Tiryakioğlu, 2010). Bunun yanı sıra; noktalara ait ortometrik yüksekliklerin geometrik nivelman tekniği ile belirlendiği durumlarda, GNSS ve nivelman yüksekliklerini kullanarak Jeoit yükseklik farkları ve çekül sapması bileşenleri diğer yöntemlere göre daha hızlı, ekonomik, kolay ve yüksek doğrulukta hesaplanabilir hale gelmiştir. GNSS tekniği ortometrik yüksekliklerin nivelmansız elde edilmesini olanaklı kılar. Bunun için uygun ülke yükseklik datumu tanımına ve presizyonlu bir jeoit modeline gereksinimi vardır (Ceylan, 2010; Erol, 2011).

2005 yılında Zonguldak kent merkezindeki 1956 yılında tamamı perçinli çelik konstrüksiyon olarak inşa edilen Fevkani köprüsünün farklı zamanlardaki trafik yoğunluğuna göre salınım ve titreşimleri RTK-GNSS ile ölçülmüştür (Mekik vd., 2005). Köprüde meydana gelmiş olabilecek deformasyonların belirlenmesi için gerekli periyodik ölçüler yapılarak Görmüş ve Mekik (2010) tarafından aynı köprünün tekrar RTK ölçümleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu ölçüm ve analizler çerçevesinde bakıldığında RTK-GNSS' in başarıyla kullanıldığı birçok alana bir yenisini daha eklendiği düşünölmektedir. RTK-GNSS ölçü yönteminin köprü salınım ve titreşimlerinin belirlenmesinde kullanılabilirliği araştırılmış ve bunun mümkün olduğu sonucuna varılmıştır (Görmüş ve Mekik, 2010).

Bugün RTK sistemleri Coğrafi bilgi sistemleri (GIS) uygulamaları için de oldukça önemlidir. Çoğu ülkelerde acil sistemlerin birkaç tipi gerçek zamanlı alan izlemeye dayalıdır. Bir ambulans kullanılan gerçek zamanlı kontrol sistemleri vasıtasıyla varılacak yere giden en uygun yolu bulabilir. Bugün trafik akışı trafik ışıkları tarafından kontrol edilir. Bazı gelişmiş ülkeler GNSS sistemleriyle entegre edilmiş uzaktan kontrol sistemlerini kullanırlar. Bir ambulans yolda trafik ışığına doğru yaklaştığında ışık otomatik olarak ambulansa yeşil yanar. Diğer bir örnek yer altı uygulamaları için verilebilir. Elektrik, gaz boruları, su kanalları gibi altyapıların çoğu yeraltındadır. Yeni bir

bina inşa edileceği zaman bu altyapıların nerede olduğunu bilmek ve kazı süreci boyunca bu altyapıları kontrol etmek önemlidir. Bunun yanı sıra Türkiye’de altyapı değişikliği ve yeni yollar inşa etmek yaygındır. Eğer bu alanlarda hiçbir bilgi yoksa, yer altı sistemleri kazı boyunca zarar görebilir. Bu nedenle arazinin değeri kaybolmadan, en kısa zamanda kazı noktaları açık bir şekilde araziye aplanmalıdır. Kullanılan RTK sistemleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) için çok önemli hassas mevki koordinatlarını sağlamaktadır (Avcı, 2003).

Kontrol merkezlerinde bulunan sunucular (server) tüm istasyonlardan gelen anlık verilerden yararlanarak atmosferik modelleme yapmakta ve DGNS/RTK düzeltme verileri hesaplamaktadır. Söz konusu düzeltme verileri ise arazide bulunan gezici alıcılara GPRS üzerinden aktarılmaktadır. Bu şekilde tek frekanslı bir GNSS alıcısı DGNS verisini kullanarak metre altı doğrulukta çift frekanslı bir GNSS alıcısı ile RTK verisini kullanarak 1-10 cm doğrulukta konum belirlemektedir. Bununla birlikte; 2008 yılında yapılan bir araştırmada, çift frekanslı GNSS alıcılarına oranla düşük maliyetli tek frekanslı GNSS alıcılarının jeodezik çalışmalar açısından kullanılabilirliği araştırılmıştır. 20 km’ den kısa bazlarda toplanan GNSS verileri, L1 frekans türü kullanarak değerlendirildiğinde hesaplanan koordinatlar arasındaki farkların 2 mm ile 10 mm arasında değiştiği görülmüştür ve 20 km den kısa bazlar için tek frekanslı alıcılar çift frekanslı alıcılar kadar yararlı olarak kullanılabilirdiği kanısına varılmıştır (Baysal, 2008; Yıldırım vd., 2011). RTK ulusal bir ağ olmadan kullanılabilir fakat yerel bir baz istasyonu kullanımı gerekmektedir. Böyle bir yerel çözüm, kullanıcının hassas konumunu belirlemekle birlikte yerel altlık kurulumunu gerektirmektedir (Crudace vd., 2002).

1.2.1.2. RTK ÖLÇME YÖNTEMİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Günümüzde RTK GNSS artık her sektörde kullanılmaya başlamıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır (Kahveci 2009). RTK-GNSS yönteminin diğer GNSS ölçme yöntemlerine göre avantajlarını şu şekilde özetleyebiliriz:

- Sonradan hesap gerektirmez.
- Çalışma bölgesinde ülke koordinat sisteminde bilinen birkaç nokta (3 nokta) olması durumunda diğer noktalar anında ülke koordinat sistemine arazide dönüştürülebilir.

- Tüm noktaların doğru olarak ölçme güvencesi vardır. Klasik kinematik yöntemde sabit istasyonda faz sıçraması olursa veya sinyal kesilmesi oluşursa (ve fark edilmezse) kinematik konum hesabı yapılamaz. RTK GNSS yönteminde bu durum anında fark edildiğinden yeni bir tamsayı belirsizliği çözümüyle gözlemlere devam edilir.
- Koordinatları bilinen noktalara oldukça duyarlı (santimetre düzeyinde) navigasyon ve aplikasyon yapılabilir.
- RTK-GNSS sayesinde GNSS alıcıları çok hızlı olarak ölçümleme gerçekleştirdiğinden görüş isteği olmayan bir Elektronik Takeometre gibi kullanılabilir
- Klasik yersel yöntemde noktalar arası görüş zorunluluğu, devamlı olarak başka poligon noktalarına ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Bu da zaman kaybı anlamına gelmektedir (Mekik ve Arslanoğlu, 2003).
- Kendi referans istasyonunu yönetmek için kullanıcıya ihtiyaç duymaz
- Düşük maliyetli tek frekans alıcıları RTK için kullanılabilir (Li, 2004).

GNSS uygulamaları esnasında sistemin her türlü hava şartlarında ve günün 24 saatinde çalışabilmesi nedeniyle, RTK-GNSS ile gece de çalışma imkanı bulunabilmiştir. Klasik yersel yöntemle gece çalışılması çok büyük zorluklara neden olduğundan bu özelliği ile de RTK-GNSS avantaj sağlamıştır.

RTK-GNSS sisteminin klasik yersel sistemlere göre avantajlarının yanı sıra dezavantajları da görülmüştür. Sistem doğası gereği ağaçlık ve kapalı alanlarda çalışmamaktadır. Bu gibi durumlarda RTK-GNSS ile konumlandırılan noktalar tıpkı bir poligon noktası gibi kullanılarak Elektronik Takeometre ile bütünleme yapılabilir. Böyle bir çözüm bile tek başına yersel sisteme göre daha avantajlıdır (Kalaycı vd., 2003).

1.2.2. AĞ-RTK' NİN TANIMI

Gerçek zamanlı kinematik (RTK) uygulamalarında referans (baz) istasyonu ile gezici alıcı arasındaki mesafe, kısıtlayıcı faktörlerin başında gelen bağımlı hata kaynağıdır. Bu nedenle kaliteli ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için uygulamalarda referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki mesafenin 5 km' yi geçmemesine dikkat edilir. Sabit istasyondan olan uzaklığa bağlı olarak da artan sistematik (özellikle atmosferik) etkiler

konumlama doğruluğuna olumsuz etki etmektedir. Bu sınırlamalardan kaçınmak için birden çok referans istasyonu kurulması düşünülmüş ve elde edilen deneyimlerden yararlanılması sonucunda sabit GNSS ağları kavramı ortaya çıkmıştır. Uluslar arası, ulusal veya bölgesel bazda sürekli gözlem yapan referans ağları kurulması ve Ağ-RTK (Network-RTK, RTN-Net-RTK) metodu ile birkaç cm duyarlı konum belirleme pratik hale gelmiştir. Ağ-RTK ile konum belirlemede cm hassasiyetinde alınacak sonuçlar birçok alanda yeterli olmaktadır. Burada tek bir referans istasyonuna olan bağımlılık ortadan kalkmış, ayrıca çok sayıda referans istasyonuna ait verilerden yararlanarak belirli bir bölgeye ait atmosferik modelleme yapılmasına imkan verilmiştir. Böylece, birden çok referans istasyonu verilerinden yararlanarak düzeltmeler hesaplanmakta ve elde edilen konum doğruluğu büyük oranda referans ve gezen alıcılar arasındaki mesafeden bağımsız hale gelmektedir. Bu modelleme sonucunda ise GNSS ölçülerini etkileyen en önemli hata kaynaklarından olan iyonosfer ve troposfer hataları jeodezik ve mühendislik amaçlı konum belirleme uygulamaları için en düşük seviyeye indirilmiş olmaktadır. Yüksek doğruluk (mm veya cm düzeyinde) gerektiren çalışmalarda Ağ-RTK yeterli olmayabilir. Kişi veya kurumlar hassas konum bileşenlerini elde etmek için IGS hassas efemeris bilgilerinin yayınlanmasını müteakiben referans istasyonlarının gözlem verisi ile kendi verisini, güncel ve gelişmiş bilimsel yazılımlarla post-proses yapmak durumundadır (Kahveci, 2009; Şanlıoğlu ve Maraş, 2011).

Ulusal ve uluslar arası temel GNSS ağlarının ve sıklaştırma ağlarının kurulmasını sağlamak amacıyla sabit referans istasyonları tesis edilmeye başlanmıştır. Bu gelişmelerin sonucunda ise bağımsız referans noktalarından oluşan ve gerektiğinde üzerine kurularak ölçü yapılan pasif jeodezik GNSS ağlarının yerini günümüzde aktif sabit GNSS ağları almıştır (Kahveci, 2009)

“Sürekli Gözlem Yapan GNSS İstasyonları Ağı ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (TUSAGA-Aktif/CORS-TR)” İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) yürütücülüğünde, Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) müşterek müşteri olarak yer aldığı TÜBİTAK destekli Kamu ARGE projesidir. Proje Mayıs 2006 tarihinde başlamış olup, Mayıs 2009 itibariyle tamamlanarak faaliyete geçmiştir. Proje kapsamında KKTC dahil olmak üzere 147 sabit referans istasyonu ve 2 adet kontrol merkezinden oluşan Ağ-RTK yapısında 24 saat hizmet veren bir sistemdir. Projenin başlıca amaçları; GNSS çalışmalarına yönelik olarak sürekli yapılan gözlemleriyle referans noktası olarak hizmet vermek, tüm ülke genelinde milimetre

mertebesinde tektonik plaka hareketleri belirlemek ve izlemek, jeodezik ve jeodinamik amaçlar doğrultusunda hesaplamalar yapmak, yer kabuğu hareketlerine yönelik kinematik modelleme çalışmalarını gerçekleştirmek, anlık ve/veya gerçek zamanda Diferansiyel GNSS (DGNSS) düzeltme verileri üreterek askeri ve sivil kullanıcılar için sürekli ve duyarlı konumlamaya imkan sağlamak ve halihazır haritaları uluslar arası koordinat sistemine dayalı olarak elde edebilmek için ED-50 (European Datum 1950) ve ITRF (International Terrestrial Reference Frame) arasındaki dönüşüm parametrelerinin hassas olarak belirlenmesidir. Sistem yapısı itibari ile şemsiye proje niteliğinde olan bu proje, CBS ve askeri amaçlı uygulama alanlarından navigasyon uygulamalarına, atmosfer araştırmalarına ve hava tahminlerine kadar bir çok kazanımlar sağlamaktadır (Uzel vd., 2011; Ulukavak vd., 2011; Özdemir vd., 2011; Bakıcı vd., 2011; Karagöz, 2011).

TUSAGA-Aktif sisteminin işletilmesi ve düzeltme parametrelerinin hesaplanması kontrol ve analiz merkezlerinde yapılmaktadır. Tüm istasyonlardan toplanan veriler ADSL ve GPRS/EDGE yolu ile veri merkezlerine aktarılmakta ve burada düzeltme parametreleri hesaplanarak tüm kullanıcılara sunulmaktadır. RTK düzeltme verileri RTCM (Radio Technical Commission for Aeronautics) iletişim formatında olup ve GSM, GPRS, NTRIP (Internet Protokolü Üzerinde RTCM Verisinin Ağ Dağıtımı) vasıtalarından biri veya birkaçı yardımıyla gezici alıcılara gönderilmektedir (Yıldırım vd., 2011).

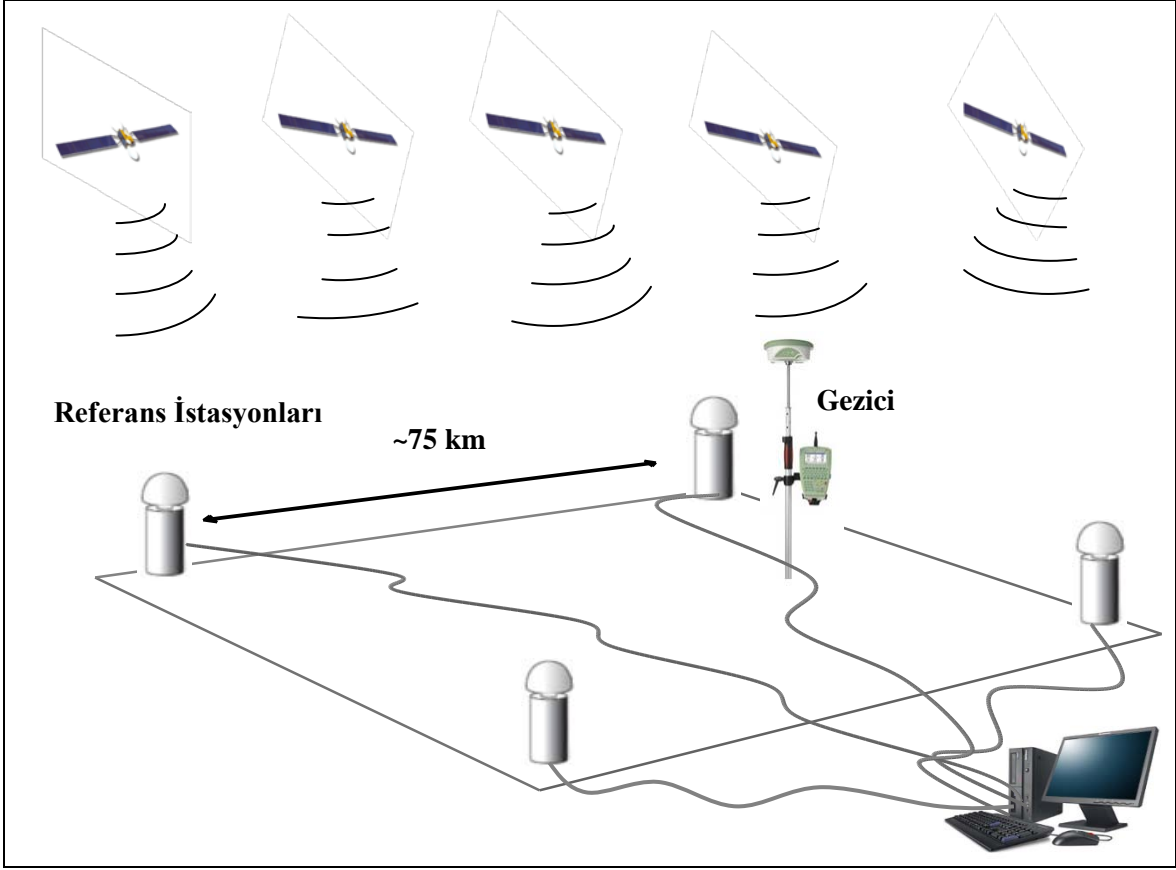
Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Aktif Ağı (TUSAGA-Aktif) ile gözlem sonrası veri değerlendirmesi ile noktasal yatay konum bilgileri 1 cm, elipsoid yükseklikleri 2-3 cm doğruluğunda elde edilebilmektedir. Bu sistem ile kullanıcılara ortometrik yüksekliklerin de eşdeğer bir doğrulukta sunulabilmesi için Türkiye genelinde 2-3 cm doğruluklu bir gravimetrik jeoidin belirlenmesi gerekmektedir (Yıldız, 2012).

1.2.2.1. AĞ-RTK ÇALIŞMA PRENSİBİ VE KULLANIM ALANLARI

Klasik RTK tekniğinde ham ölçüler ve düzeltme bilgileri tek bir referans istasyonu ile tek bir gezen alıcı arasında aktarılmaktadır. Bu şekilde bir ölçü ve hesaplamada fazla ölçü olmayacağı için herhangi bir kontrol de söz konusu değildir. Oysa jeodezik ölçülerde ağ yapısındaki ölçü ve hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Oysaki, ağ yapısındaki ölçülerde çok sayıda noktada tekrarlı gözlemler yapılmaktadır ve daha sonra hatalardan arındırılmış ölçüler ile ağ dengelemesi yapılmakta ve istatistik analizlerle kaba hatalı ölçüler ayıklanmakta, sistematik hatalar daha iyi modellenmekte, bu şekilde hassas ve güvenilir

koordinatlar elde edilmektedir. Jeodezik ağların bu üstünlüğü zaman içerisinde GNSS gözlemlerine de yansıtılmıştır. Taşıyıcı fazları kullanan tekniklerden tek-bazlı RTK-GNSS yöntemi mesafeye bağımlı hatalardan ötürü referans alıcı ile gezici alıcı arasındaki mesafe nedeniyle kısıtlı kullanıma sahip olduğu bilinmektedir. Günümüzde mühendislik uygulamalarında daha uzun süreli gözlemlerle duyarlık, doğruluk ve güvenilirlik elde etme gibi ölçütlerin yanı sıra, kısa sürede kaliteli ve hassas sonuçlar üretmek de, diğer bir ifadeyle “verimlilik” de, çok önemli hale gelmektedir. Yüksek verimlilik değeri olan RTK-GNSS ölçme yöntemleri, çok hızlı tamsayı belirsizliği çözümü (on-the-fly) gerektirmesi nedeniyle, genellikle en fazla 10 km menzile sınırlanmaktadır. Ancak, GNSS referans istasyonlarından oluşan bir ağ kullanımı ile bu mesafeye bağımlılığın üstesinden gelmek amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde günümüzde çeşitli adlar verilmektedir: RTK Ağı, Çoklu Referans İstasyonuyla Konumlama, Geniş Alan Konumlama ve Sanal Referans İstasyonu Tekniği (Bütün ve Baybura, 2010). RTK Ağı; santimetre doğruluk sağlayan, gerçek zamanlı konumlama yapabilen ve taşıyıcı faz gözlemleri kullanan bir yöntem olup, alıcılar arası mesafeyi tek bazlı (tek referans alıcılı) RTK sistemlerinin bir çok katına çıkarmayı başaran bir yöntemdir. Modern RTK yöntemlerinin korunması gereken en önemli özelliği, saniyelerle ölçülebilen çok hızlı tamsayı belirsizliği çözme zamanıdır (Mekik, 2004).

GNSS ile konulamada duyarlığı belirleyen çeşitli faktörler olup, GNSS hata kaynakları olarak; uydu saatlerinden kaynaklanan hatalar, uyduların yörüngesindeki hatalar, iyonosfer hataları, troposfer hataları, yansıma ve anten faz merkezi hataları olarak sıralanmaktadır. Bu hatalardan iyonosfer ve troposfer dışındakiler hesaplanıp modellenilebilmekte ya da tamamen elimine edilebilmektedir. Ancak atmosferin modellenmesi ise daha karmaşık bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradaki yaklaşımın temelinde tüm ülkeyi ağ ilkesi ile kapsayan, koordinatları bilinen sabit GNSS istasyonları ile atmosferi daha etkin bir şekilde modellemek, bu hataları elimine etmek ve böylece gezici alıcıların koordinatlarını duyarlı bir şekilde belirlemek yatmaktadır (Bakıcı vd., 2007). Hassas GNSS konulamadaki son gelişmeler gerçek zamanda sabit referans istasyonlarından veri işlemeye doğru Ağ-RTK yapısını güçlendirmekte ve DGNSS hizmet alanını kıtasal ve global ölçekte genişletmektedir (Kechine vd., 2003).



Şekil 1.3. Ağ-RTK' nin Çalışma Prensipleri (URL-8, 2012).

Günümüzün geçerli sistemi CORS (Continuously Operating Reference Stations-sürekli gözlem referans istasyonu) gelişmiş bir RTK uygulamasıdır. CORS sisteminde, çalışma bölgesini kapsayan koordinatları bilinen referans istasyonlarına yerleştirilen GNSS alıcıları uydulardan aldıkları verileri kontrol merkezine ADSL, leasline veya GPRS/EDGE üzerinden iletmekte, kontrol merkezinde atmosfer modellenerek RTK/DGNSS düzeltmeleri gerçek zamanda hesaplanıp, RTCM formatında GPRS/EDGE üzerinden konumlama için gezici GNSS alıcılarına gönderilmektedir.

CORS sistemlerinde klasik RTK sisteminde kullanılan GNSS alıcılarının bir kontrol merkezi tarafından yönetilmesi ile RTK ölçme sisteminin verimliliği artmaktadır. Klasik RTK ölçme yönteminde gezici alıcı ile referans alıcı arasındaki mesafenin 10 km' yi geçmemesi önerilirken CORS sistemlerinde, CORS sistemlerinin kurulu olduğu bölge içerisinde böyle bir sınırlama bulunmamaktadır. CORS sistemlerinde istasyonlar arasındaki mesafelerde 75 km uzaklığa kadar çözüm sağlanmakla birlikte, bu mesafe 80-90 km' ye kadar da çıkabilmektedir (Telli, 2009).

Ağ-RTK tekniğinin günümüzde en fazla uygulanan şekli sabit GNSS ağları (CORS) olmakla birlikte günümüzde “CORS” ile “Ağ-RTK” tanımlarında da farklılıklar bulunmaktadır. Genel kabul gören en kapsamlı tanımıyla “CORS”, cm doğruluğunda gerçek zamanlı konum belirlenmesine olanak tanıyan, ulusal nitelikte olan ve aynı zamanda ölçme sonrası büro hesaplamalarına (post process) olanak tanıyan arşiv sistemine sahip ağlardır. Oysa Ağ-RTK’ dan, yerel ve özel kuruluşlarca tesis edilen ve işletilen, cm doğruluğunda gerçek zamanlı (RTK) hizmet veren ağlar anlaşılmaktadır. CORS ve Ağ-RTK sistemlerinin ortak yanı ise her ikisinde de yeryüzünde belirli sıklıkta kurulmuş sabit GNSS istasyon verilerinin kullanılmasıdır (Kahveci, 2009).

CORS Ağları 2009 yılından itibaren artan kullanıcı sayısı ile (2011 yılı itibarıyla 2102 kullanıcı) hizmet vermektedir. Bu ağlar, ülke çapında performansları %50 artarak giden 4000 GNSS alıcısının üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve her türlü coğrafi bilgi sistem ve teknolojileri için bir altlık kurulumu avantajı sunmaktadır. Bu ağlar, ülke çapında kadastral ve jeodezik uygulamaları yerel referans noktası gereksinimi olmadan daha hızlı, ekonomik ve hassas bir şekilde gerçekleştirecektir. Türkiye ve çevresinde tektonik hareketler nedeniyle oluşan deformasyon ve depremsellik jeodezik nokta koordinatlarında zamana bağlı değişimler meydana getirmektedir. Bu nedenle, noktaların hızları günlük belirlenecek ve Türkiye, Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı gibi aktif deprem taşıyıcı fayların üzerinde olduğundan dolayı tektonik plaka hareketleri etkili bir şekilde belirlenecektir. TUSAGA-Aktif ile birlikte eş zamanlı olarak ortometrik yükseklikler de elde edilirse bir çok kurum tarafından bu veriler rahatlıkla ve güvenle kullanılabilir (Yıldırım vd., 2011; Aktuğ vd., 2011; Kılıçoğlu, 2011; TKGM, 2011).

1.2.2.2. AĞ-RTK YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI

Yeni uydu konumlama sistemlerinin gelişimi ile, GNSS sistemleri (GPS, GALİLEO, GLONASS, COMPASS vb) geniş çapta askeriyede, ulaşımda, mekansal bilgi biliminde ve kaynak araştırmasında kullanılmaktadır. Sürekli gözlem yapan GNSS istasyonları ağı (CORS), sadece pseudorange gözlemlerine bağlı navigasyon hizmeti değil, ayrıca gerçek zamanlı ve yarı-gerçek zamanlı deformasyon izleme tekniklerini geliştirmek için taşıyıcı faz gözlemlerini de sağlamaktadır. Dünyadaki birçok ülke yurtiçi ve yerel ekonomi gelişimini ilerletmek için kendi CORS sistemlerini kurmuşlardır (örn; Amerika

CORS, Kanada CACS, Almanya SAPOS ve Japonya COSMOS) (Jing-xiang ve Hong, 2009). Kurulu bu sistemlerin birçok avantajı vardır.

- Saniyeler mertebesinde bir süre içerisinde gerçekleşen belirsizlik (ambiguity) çözümü
- Yörünge hatalarını ve iyonosferik gecikmeyi elimine eder,
- Troposferik gecikme, sinyal yansıması ve gözlem gürültüsü (birikme hatası) hatalarını azaltır,
- RTK, “orta uzunluk” olarak ifade edilen mesafelere kadar (90 km’ ye kadar) uygulanabilir,
- RTK için düşük maliyetli tek frekanslı GNSS alıcıları kullanılabilir,
- Arazide ve büroda çalışan eleman sayısını azaltır,
- Düşük maliyetli GNSS alıcılarıyla çok yüksek doğruluklu uygulamalar (örn; deformasyon izleme, jeodezik kontrol ağları) mümkün olabilir,
- Tek anlamlı ve homojen bir koordinat sisteminde ölçü yapılmaktadır,
- Uzaklığa bağlı ölçeklendirme sorunu ortadan kalkmıştır,
- Tüm ağ için oluşturulan atmosferik modelden yararlanılarak, her bir ölçü noktası için gerekli düzeltmeler enterpole ile hesaplanabilmektedir,
- Etkin ve performansı yüksek olup, kaliteli sonuçlar elde edilmektedir,
- Veriler ülke uzay referans datumunda (örn: ITRF, WGS84,...vb), sürekli, gerçek zamanlı ve arşivlenerek sağlanmaktadır,
- Hizmet sunumu söz konusudur,
- Referans istasyonları bir kere kurulmaktadır,
- Modellenen ağda kullanıcılara sağlanan doğruluk seviyesi sabittir.

Bu avantajlar, GNSS ile konumlanmanın doğruluğunu, güvenilirliğini, verimliliğini, hızını ve kullanım alanlarını artırır (Mekik, 2004; Bahşi, 2010). Bunun yanı sıra tüm GNSS tabanlı konumlandırma teknikleri birtakım kısıtlamalar altında çalışmaktadır. Bu sınırlamalar ana hat uzunluğu, ulaşılabilir doğruluk, güvenilebilir gerçeklik, geometrik etkinlik, sinyal durumu, zaman çözümü, enstrümantasyon (alet yerleştirme), işletim modları, maliyet, vb olabilmektedir. GNSS ürün tasarımcılarının en yaygın kullanıcı senaryoları için çok önemli olan bu kısıtlamaları ele alarak, belli bir hedef pazar için

optimize edilmiş sistemleri (donanım, yazılım ve saha işlemlerini içeren) geliştirmelidirler (Rizos vd., 2010).

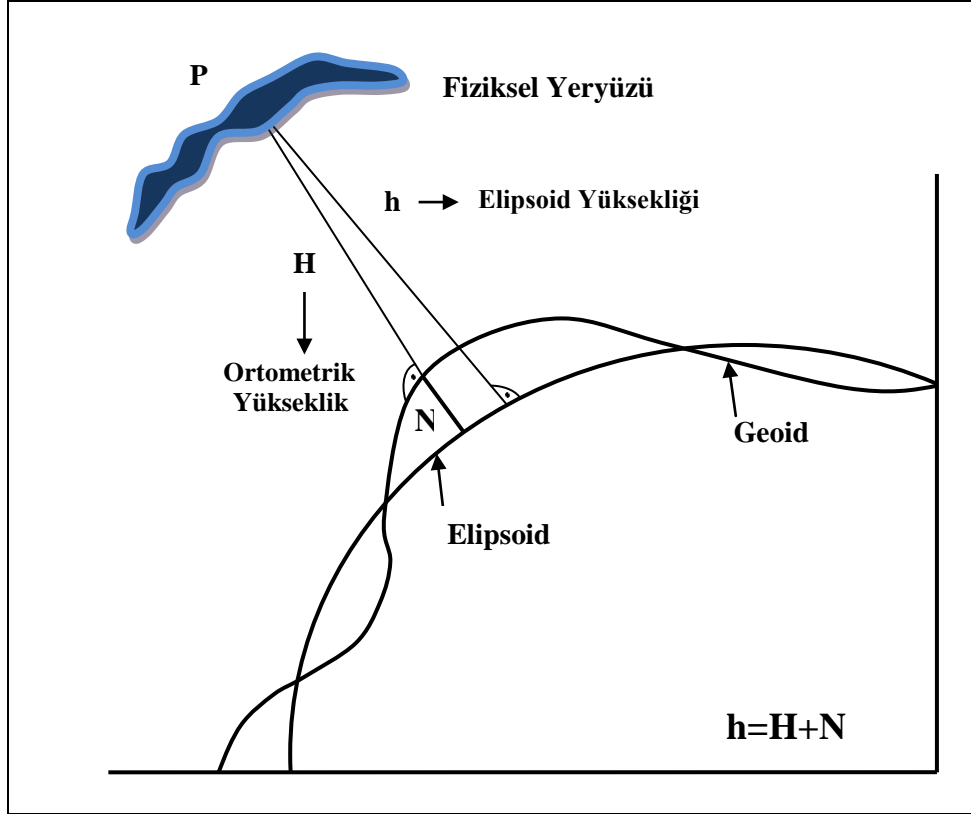
1.3. GNSS ile Deformasyon İzleme

Herhangi bir etkiden dolayı objenin şeklinde, boyutunda ve konumunda meydana gelen değişimler deformasyon olarak adlandırılmaktadır (Bayrak, 2003). Büyük yapıların planlanması sırasında, yapının oturacağı zeminde yapıya zarar verebilecek olası yer kabuğu hareketlerinin saptanması, daha sonra çevrenin yapıya etkileri veya yükleme nedeniyle yapıda meydana gelebilecek geometrik şekil değişmelerinin saptanması veya yapının çevreye etkisiyle çevrede meydana gelebilecek değişimlerin saptanması ya da salt yeryüzü kabuk hareketlerinin belirlenmesi için yapılan jeodezik ölçmelere “*deformasyon ölçmeleri*”, bu ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasına da “*deformasyon analizi*” adı verilmektedir. Deformasyon analizinin amacı da bir bölgedeki tekrarlı ölçümler yardımıyla eşlenik noktaların konumlarındaki değişimleri istatistiksel olarak kanıtlamaktır (Acar, 2009; İlgar, 2011).

Bina, köprü, kule, viyadük, baraj, yüksek yapılar gibi büyük ve önemli mühendislik yapıları deformasyona neden olan dış etkenlerin tesiri altında kalır. Yapılarda oluşan her beklenmeyen hareket (değişim), kullananları olduğu kadar yapının güvenliğini de tehdit etmektedir. Bir yapıya etkileyen dış yüklerin ve buna bağlı olarak oluşan deformasyonların tesbiti çok önemli avantajlar sağlar. Bu bağlamda, GNSS teknolojisi, kabuksal hareketlerinin belirlenmesi, heyelan ve volkanik hareketlerin ölçümünü içeren jeodezik uygulamaların yanı sıra büyük ve önemli mühendislik yapılarının yatay ve düşey deformasyonlarının belirlenmesinde başarıyla kullanılmaktadır (Kalkan, 2009; Pehlivan, 2009; Barnes vd., 2003). Tektonik ve deformasyon amaçlı kurulan GNSS ağlarında genellikle tekrarlı ve eş zamanlı gözlemler yapılmaktadır. Bunun en önemli nedeni elde edilen ölçülerden meydana gelen sapmaların belirlenmesi ve ölçüler arası korelasyonun artırılmasıdır (Tiryakioğlu, 2010).

GNSS ile yapılan taşıyıcı faz farkı yöntemiyle, yatay yöndeki hareketin tespiti çoğu zaman masraflı bir yöntem olmasına rağmen, daha hızlı, daha hassas ve güvenilir bir metod olup bu yöntem yatay deformasyon kestirimi için yeterli kalitededir. GNSS ile yapılan taşıyıcı faz farkı yöntemi ile düşey yöndeki deformasyonun kontrolü yöntem olarak zordur.

Çünkü, GNSS ile ölçülen WGS 84 referans elipsoidinden ortometrik yüksekliğe (h) veya yükseklik farkına geçiş yapmak gerekir.



Şekil.1.3. Elipsoid ve Ortometrik Yükseklik İlişkisi (Yiğit, 2003).

Bu nedenle GNSS ile düşey kontrol ölçümlerinde geoid modellemesi, dönüşüm yazılımları gibi ara işlemlere ihtiyaç duyulur (Uluişik, 2006).

Deformasyon izleme için kullanılan GNSS' in donanım maliyetini azaltmak için yeni bir metod geliştirilmiştir. Her noktanın izlenebilmesi için bir GNSS alıcısının gerekli olduğu yerdeki deformasyon izleme çalışmaları için kullanılan GNSS' in standart metodunun aksine, yeni metod ile bir alıcı ile birden çok noktanın izlenmesine olanak tanınmaktadır. Alıcı, kendisi ile birleştirilmiş her bir antenden datayı sıralı bir şekilde alır. Bu yaklaşımın ayırt edici bir avantajı, bir GNSS alıcısı birden fazla noktayı eş zamanlı izleyebilir. İzlenen her nokta maliyeti ve işgücü kaybı da buna bağlı olarak azalmaktadır.

GNSS çoklu anten sisteminin yapısı;

- GNSS çoklu anten switch' i (GNSS multi-antenna switch (GMS)): Antenler kablolar kullanılarak GMS yoluyla alıcıya bağlanmıştır. Daha uzun mesafeler

için fiber optik kablolar ya da sinyal kaybını azaltmak için kablolar yoluyla sinyal yükselticiler kullanılmaktadır.

- GNSS anteni ve alıcısı: Maksimum 6 tane kullanılabilirliği test edilmiştir, gerekirse bu sayı kolaylıkla artırılabilir
- Data link: Veri bağlantısı
- Veri işleme ve analiz algoritmaları yazılımı: Standart ya da özel algoritma ve yazılım, veriyi işleme ve analiz etmede, koordinatları ve referans noktaları ile ilgili olarak izlenen noktalardaki deformasyonları belirlemede kullanılmaktadır
- Veri akışı ve kontrolünden oluşmaktadır (Chen vd., 2000).

GNSS çoklu anten cihazı (birçok antenle birleştirilmiş bir GNSS alıcısı) ile “He”, “Yang”, “Ding” ve “Chen” tarafından 2004 yılında Xiaolangdi barajı deformasyon izlemede uygulanabilirliği test edilmiştir. Baraj deformasyonlarının ve yüksek riskli yamaçların stabilitesinin izlenmesinde etkin bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Alan test sonuçları, GNSS çoklu anten sistemi için özel aktarım cihazı sisteminin mükemmel performanslara sahip ve Sarı Nehir üzerindeki Xiaolangdi barajı deformasyon izleme için konum doğruluğunun 1-2 mm civarında olduğunu göstermiştir (He vd., 2004).

GNSS çoklu anten sisteminin kablolu oluşundan dolayı kabloların birbirine karışmasında yaşanan güçlükler ve uygulamaların sadece kısıtlı alanlarda yapılabilme imkanı bu sistemin kullanımındaki olumsuz yönlerdir. Antenlerin alıcıya bağlı olması mesafeyi engellemekte ve arazi karakteristiğini temsil edecek nokta sayısı ise anten sayısı ile sınırlı olmaktadır. Bu dezavantajların önüne geçmek için anten alıcı ilişkisi kablo ile değil radyo dalgalarıyla (wireless) ile veri transferi yapılması düşünülmüştür. Wireless ile bütünleştirilmiş GNSS çoklu anten izleme sistemi yapılarak deformasyon izlemede önceki sistemlerde yaşanan zorluklar ortadan kaldırılmış ve iş maliyeti azaltılmıştır. Bu sistem mühendislik yapılarındaki deformasyonlarda ve jeolojik afetlerde kullanılmaktadır (Wang vd., 2009).

Deformasyon izlemede birçok jeodezik yöntem kullanılmaktadır. Jeodezik yöntem, alinyman ölçmelerinden uydu bazlı konum ölçmelerine kadar birçok farklı ölçme tekniğini içinde barındırır. Aşağıda jeodezik yöntemler ve bu yöntemlerde kullanılan alet ve donanımlar verilmiştir (Tablo1.1).

Tablo.1.1. Jeodezik Yöntemle Deformasyon İzleme Teknikleri ve Ölçme Donanımları (Kalkan, 2009).

Jeodezik Yöntemler	Alet ve Donanımlar
• Aliynman Ölçmeleri	• Teodolit, Laser Optik, İnvar Tel vs.
• Uydu Bazlı Konum Ölçmeleri	• GNSS Alıcıları
• Presizyonlu Trigonometrik Nivelman Ölçmeleri	• Hassas Total Station, Teodolit ve Uzaklık Ölçer
• Presizyonlu Geometrik Nivelman Ölçmeleri	• Presizyonlu Nivelman Donanımı
• Laser Scaner Tekniği	• Laser Scaner
• İnterferometrik SAR Görüntü Tekniği	• SAR Uydu Görüntülerinin Değerlendirilmesi

Bugünlerde GNSS sistemi tam işlevseldir. GNSS cihazı kullanımı klasik araçlarına göre daha güvenilir, daha ucuz, daha hızlı ve daha kolaydır (Rawat vd., 2011).

GNSS ile deformasyon izlemede birçok yazılım kullanılmaktadır. Bunlar; Leica GeoMos, Leica GeoMoS HİSpeed, Leica GeoMoS Web, Leica GeoMoS Adjustment, Leica GNSS SpiderNET, Leica Geo Office-LGO, Leica GNSS QC, Leica Cross Check, Trimble Integrity Manager, Trimble 4D Control, Trimble Access, GAMIT, GLOBK, Leica SKI-Pro, TOPCON' un DC3 (Deformation Control) vb. gerçek zamanlı izleme yazılım sistemleri mevcuttur (URL-4, 2012; URL-5, 2012; URL-6, 2012; URL-7, 2012)

1.3.1. TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Deformasyon İzlemede Trend

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).

RTK ile deformasyon izleme çalışmalar üç başlık altında toplanabilir;

- doğal afet izleme (heyelan, volkan, kaya düşmesi, kabuk hareketleri),
- yapı davranışlarını izleme (köprüler, kuleler-yüksek binalar, yapılar, barajlar)
- değişim izleme (açık madenler, yer altı madenleri) (Avcı, 2011).

Bu üç izleme yönteminde deformasyon araştırmaları için ihtiyaç, çevresel koruma, mülk zararı ve kamu güvenliği ile ilişkili kaygılardan dolayı sık sık doğmaktadır. Ayrıca; yapıların değişmez davranışlar altında olduğundan emin olmak, yapılardaki dinamik davranışları daha iyi anlamada yararlanılabilir bilgiyi sunabilmek için yapıların olduğu yerdeki davranışları izleme çok önemli bir işlemdir (Akib vd., 2005; Lepadatu, 2011). Deformasyon izleme uygulamalarına ilk olarak T3 teodolit ile başlanmış ve daha sonraları 1989 yılında bir izleme istasyonu olan Ankara Sabit GPS İstasyonu (ANKR) kurulmuştur (Rutledge vd., 2001; Özdemir vd., 2011). 1900' lü yılların sonlarına doğru deformasyon izleme, deprem ve heyelan gibi doğal olayları anlamak ve bina, köprü, nükleer binalar, barajlar, vb insan yapımı binaların stabilitesini izlemek için GNSS teknolojisi artan bir şekilde kullanılmıştır (İnce ve Şahin, 2000; Avcı, 2011). İlk örneklerinden biri olan, 1995' te Fire kampının 2,5 km yakınlarındaki sabit istasyona bağlı Pacoima Barajı'nın yer değiştirmesini (deformasyon) izlemek için 3 tane sürekli gözlem yapan GNSS alıcısı yerleştirilmiş ve baraj ABD jeolojik araştırma ve Los Angeles' ın ortak çabasıyla 2 yılı aşkın süredir izlenmiştir (GNSS ağları entegre edilmiş Güney Kalifornia altyapı ağlarını kullanarak) (Hudnut ve Behr, 1998). Yine 1997 yılında İngiltere'de 220 m uzunluğunda Humber asma köprüsü ve 1999 yılında Danimarka' da büyük kemer köprü deneyleri olmuştur. Bu deneyimlerin başarısı birkaç büyük köprüde (örn: New Hong-Kong köprüsü, Kai-yuen et al) Real Time Kinematic GNSS (RTK-GNSS) uygulamalarını cesaretlendirmiştir (Nickitopoulou vd., 2003). Çalışmalar sonucunda mühendislik yapılarındaki deformasyonda GNSS kullanımının esnekliği görülmüştür.

Tüm dünyada ve ülkemizde TUSAGA-Aktif, İSKİ-UKBS gibi referans istasyon ağları kurulmaktadır. Uluslararası GNSS Servisi (IGS) global GNSS ağı global referans sisteminin tanımlanmasına katkıda bulunmakta ve hassas istasyon koordinatlarını ve uydu yörünge bilgilerini hesaplamaktadır. Kıtalararası ve ulusal seviyede kurulan GNSS referans istasyonları ağları IGS ağının sıklaştırılması olarak da işlev kazanmakta ve global ve bölgesel jeodinamik araştırmalarda yerini almaktadır (Gülal vd., 2011, Rizos vd., 2011).

Kabuk deformasyonlarının izlenmesinin yanında hassas konumlanmanın önem kazandığı alanlardan bir diğeri de mühendislik yapılarındaki deformasyonların

izlenmesidir. Son 10 yılın üstünde GNSS teknolojisi kullanımı deformasyon izleme çalışmaları için büyük ölçüde artmaktadır ve bugünlerde RTK-GNSS tekniği dünyada geniş ölçüde kullanılmaktadır. Ulusal ve uluslararası referans istasyonları ile ağlarının konumlarının belirlenmesi, yerkabuğu hareketlerinin ve mühendislik yapılarının izlenmesi, hassas konumlanmanın öne çıktığı başlıklar olarak sıralayabiliriz. GNSS ile yüksek doğruluğa ulaşılabilmesi ancak uygun ölçme yönteminin seçilmesi, hata kaynaklarının elimine edilmesi ve ölçülerin uygun modeller ile modellenmesi ile mümkün olmaktadır (Gülal vd., 2011; Rizos vd., 2011).

Mühendislik yapılarını güvenli halde ayakta tutabilmek için, zaman içinde oluşabilecek yapısal değişimlerin değerlendirilebilmesinde birkaç deformasyon izleme sistemi kullanılmaktadır. Bunlar, deformasyon ölçmelerinde günümüze kadar kullanılan doğruluğu kanıtlanmış; ivme ölçerler, eğimölçerler, gerilimölçerler, yakın mesafe fotogrametrisi, hassas nivelman ve total stationlar gibi jeodezik sensör sistemleri olup, yapısal izleme ile ilgilenen birçok profesyonel (mühendisler, araştırmacılar vb) için benzer araç ve metotlardır. Ancak bu işlemler ile yapıların dinamik tepkisinin ölçülmesi zor ve uzun bir işlemdir. Bu sebepten ötürü, yapıların hareketinin izlenmesinde TUSAGA-Aktif yöntemi büyük ölçüde kabul görmüştür (Akib vd., 2005; Uluişik, 2006).

Bugünlerde ise; deformasyon izlemede yaygın olarak kullanılan birçok metot vardır. Bu izleme metotlarının tümü farklı hassasiyet ve uyuma sahiptir. Tablo 1.2' de günümüzde kabul görmüş birkaç yaygın izleme metodu, uygulamada kullanılan aletler ve hassaslık durumları, yönetim analizleri ve karşılaştırılmaları verilmiştir.

Tablo 1.2. Yaygın İzleme Metotları ve Aletlerin Karşılaştırılması (Li ve Wang, 2011).

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 $10+1*10^{-6}$ mm - Düşey hassasiyet $20+1*10^{-6}$ mm	Tüm gün izleme yapabilir, basit işleyiş, yüksek otomasyon, konum hızı hızlıdır, yatay hassasiyeti yüksektir, düşey hassasiyetinin düşük olması dezavantajdır

1.3.2. TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Deformasyon İzlemede Kullanılabilirliği

Deformasyon çalışmaları için GNSS kullanımı hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. Bu teknik doğruluk ve gerçeklik bakımından yüksek üretkenlik elde etmek ve tüm mühendislik yapılarının performansı ve güvenliğini izlemek için uygun maliyetli bir araç olarak nitelendirilmektedir (Akib vd., 2005).

TUSAGA-Aktif 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-Aktif teknik avantajlar ve deformasyon izleme analizi için uygun maliyetli yerbilimi altyapısı sağlar (Zhang vd., 2005; Meng, 2002 ve Kıranlıoğlu, 2006). Bununla birlikte; TUSAGA-Aktif 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).

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 (Ululuşık, 2006).

Bugünlerde GNSS teknolojisindeki en son gelişmelerden dolayı konumlandırma hassasiyeti, navigasyonun (GNSS sisteminin ilk amacı) yanında tatmin edicidir. RTK-GNSS gözlemleri kullanarak yüksek doğrulukla yapısal yer değiştirmeleri ölçmek ve hatta izlenen objenin salınımlarının doğal frekanslarını belirlemek mümkündür. TUSAGA-Aktif yönteminin RTK-GNSS yöntemine göre uygulamadaki kolaylığı (tek kişi ve tek alet, istenilen zamanda ölçüm, kısa zamanda sınırsız nokta ölçümü, vb) Devlet Su İşleri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, vb kamu kurumlarının baraj, heyelan izleme, vb çalışmalarında üstün kolaylıklar sağlamaktadır. Bu nedenle GNSS teknolojisi mühendislik yapıların dinamik değerlendirmesi, toprak hareketlerinin izlenmesi ve deformasyonların belirlenmesi için gelecek vadeden yeni bir teknoloji olarak gözükmektedir (Lepadatu, 2011).

1.4. TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Dengelenmesi

Belirli periyotlarda yapılmış olan ölçülerden elde edilen sonuçları karşılaştırabilmek için her periyodun tek başına değerlendirilmesi gerekmektedir (Kalkan ve Alkan, 2005). Bu nedenle test kurallarına göre, gözlemlerin yaklaşık koordinatları seçilerek aşağıdaki formata uygun şekilde hesaplanan düzeltmeler gözlenen ölçülere getirilir. Böylelikle ölçüler dengelenmiş olur.

X_j^i, Y_j^i, Z_j^i : Gözlemler

$m_{X_j^i}, m_{Y_j^i}, m_{Z_j^i}$: Gözlemlerin karesel ortalama hatası

m_0 : Apriori RMS

$i = 1, 2, \dots, n$

i : Nokta numarası

$j = 1, 2, \dots, m$

j : Epok sayısı

Ölçü + Düzeltme = Bilinmeyenlerin Fonksiyonu şeklinde aşağıdaki gibi yazarız.

$$X_j^i + V_{X_j^i} = \hat{X}_j^i$$

$$Y_j^i + V_{Y_j^i} = \hat{Y}_j^i \quad (1)$$

$$Z_j^i + V_{Z_j^i} = \hat{Z}_j^i$$

$X_j^{i,0}, Y_j^{i,0}, Z_j^{i,0}$: Yaklaşık koordinatlar

$$\hat{X}_j^i = X_j^{i,0} + dX_j^i$$

$$\hat{Y}_j^i = Y_j^{i,0} + dY_j^i \quad (2)$$

$$\hat{Z}_j^i = Z_j^{i,0} + dZ_j^i$$

Yaklaşık koordinatları yukarıda yerine koyarsak,

$$\begin{aligned}
X_j^i + V_{X_j^i} &= X_j^{i,0} + dX_j^i \\
Y_j^i + V_{Y_j^i} &= Y_j^{i,0} + dY_j^i \\
Z_j^i + V_{Z_j^i} &= Z_j^{i,0} + dZ_j^i
\end{aligned} \tag{3}$$

yukarıdaki denklemleri elde ederiz. Bu denklemleri aşağıdaki gibi düzenleriz

$$\begin{aligned}
V_{X_j^i} &= 1 \cdot dX_j^i + 0 \cdot dY_j^i + 0 \cdot dZ_j^i + X_j^{i,0} - X_j^i \\
V_{Y_j^i} &= 0 \cdot dX_j^i + 1 \cdot dY_j^i + 0 \cdot dZ_j^i + Y_j^{i,0} - Y_j^i \\
V_{Z_j^i} &= 0 \cdot dX_j^i + 0 \cdot dY_j^i + 1 \cdot dZ_j^i + Z_j^{i,0} - Z_j^i
\end{aligned} \tag{4}$$

ve aşağıdaki şekildeki gibi matris formatında yazılarak RTK ölçüleri için fonksiyonel model elde edilmiş olur.

$$\begin{bmatrix} V_{X_j^i} \\ V_{Y_j^i} \\ V_{Z_j^i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dX_j^i \\ dY_j^i \\ dZ_j^i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_j^i - X_j^{i,0} \\ Y_j^i - Y_j^{i,0} \\ Z_j^i - Z_j^{i,0} \end{bmatrix} \tag{5}$$

Gözlemlerin varyans-kovaryans ($K_{\ell\ell}$) matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir. Burada ölçüler arasında korelasyon olmadığı varsayılır.

$$K_{\ell\ell} = \begin{bmatrix} m_{X_j^i}^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_{Y_j^i}^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_{Z_j^i}^2 \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$K_{\ell\ell} = m_0^2 \cdot Q_{\ell\ell} \tag{7}$$

$$Q_{\ell\ell} = \frac{K_{\ell\ell}}{m_0^2} \tag{8}$$

P : Gözlemlerin ağırlıkları

$$P = Q_{\ell\ell}^{-1} \quad (9)$$

1.4.1. Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Statik Deformasyon Analizi

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, zamandan ve etkiyen dış yüklerden bağımsız olarak, bir objenin geometrik reaksiyonları ve yükler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi tanımlar. Ölçme periyotları arasındaki koordinatlar arasındaki farklar 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 bulduğumuz değerler kısıtlıdır. Bu değerler, objedeki sadece noktalara ait değişim miktarlarından ibarettir. Statik model deformasyon belirleme amaçlı mühendislik uygulamalarında en çok uygulanan bir deformasyon analizi yoludur (Bayrak ve Yalçınkaya, 2002; Bayrak, 2006; Doğanalp ve Turgut, 2009).

Mühendislik yapılarında deformasyon izleme ile ilgili bir örnek eğri minarenin yapısal davranışlarının izlenmesine yönelik çalışmalar olmuştur. Bu minarenin 2005 yılında jeodezik anlamda yapılmış tek çalışması eğri minarenin izlenmesinde esas olarak kullanılacak pilyenin yeri tespit edilmiş (Bayrak vd., 2005) ve bu pilye yardımıyla yaklaşık 1 yıldır devam eden tekrarlı düşey açı ölçülerinden yararlanarak statik olarak analizi yapılmıştır (Bayrak vd., 2007). Daha sonra ayda bir kez yapılacak şekilde yaklaşık 2 yıldır devam eden gözlemlerle Eğri minarenin mevcut durumunun belirlenmesi için on iki periyotluk düşey açı gözlemleri yapılmıştır (Bayrak vd., 2008). Yapılan statik analizler sonuçlarından minarenin geçen süre içerisinde hareket etmediği görülmektedir.

Aşağıda 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

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

$$\Delta Y_{k+1,k} = Y_{k+1,k} - Y_k \quad (10)$$

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

Denklemlere hata yayılma kuralı uygularsak,

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

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

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

Aşağıdaki denklemleri elde ederiz

$$d\Delta X_{k+1,k} = -1 \cdot dX_k + 0 \cdot dY_k + 0 \cdot dZ_k + 1 \cdot dX_{k+1} + 0 \cdot dY_{k+1} + 0 \cdot dZ_{k+1}$$

$$d\Delta Y_{k+1,k} = 0 \cdot dX_k - 1 \cdot dY_k + 0 \cdot dZ_k + 0 \cdot dX_{k+1} + 1 \cdot dY_{k+1} + 0 \cdot dZ_{k+1}$$

$$d\Delta Z_{k+1,k} = 0 \cdot dX_k + 0 \cdot dY_k - 1 \cdot dZ_k + 0 \cdot dX_{k+1} + 0 \cdot dY_{k+1} + 1 \cdot dZ_{k+1}$$

Denklemleri yukarıdaki gibi düzenleyip aşağıdaki matris eşitliği şeklinde (11) yazabiliriz. Bu eşitlik statik deformasyon analizi için fonksiyonel modeldir.

$$\begin{bmatrix} d\Delta X_{k+1,k} \\ d\Delta Y_{k+1,k} \\ d\Delta Z_{k+1,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dX_k \\ dY_k \\ dZ_k \\ dX_{k+1} \\ dY_{k+1} \\ dZ_{k+1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$K_{XYZ} = \begin{bmatrix} m_{X_k}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{Y_k}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{Z_k}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{X_{k+1}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{Y_{k+1}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{Z_{k+1}}^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

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

$$K_{FF} = A \cdot K_{XYZ} \cdot A^T \quad (14)$$

$$K_{FF} = \begin{bmatrix} m_{\Delta X_{k+1,k}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\Delta Y_{k+1,k}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_{\Delta Z_{k+1,k}}^2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} m_{\Delta X_{k+1,k}}^2 \\ m_{\Delta Y_{k+1,k}}^2 \\ m_{\Delta Z_{k+1,k}}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{X_k}^2 + m_{X_{k+1}}^2 \\ m_{Y_k}^2 + m_{Y_{k+1}}^2 \\ m_{Z_k}^2 + m_{Z_{k+1}}^2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

n : Ölçü sayısı

u : Bilinmeyenlerin sayısı

f = n - u : Serbestlik derecesi

$\alpha = 0.05$

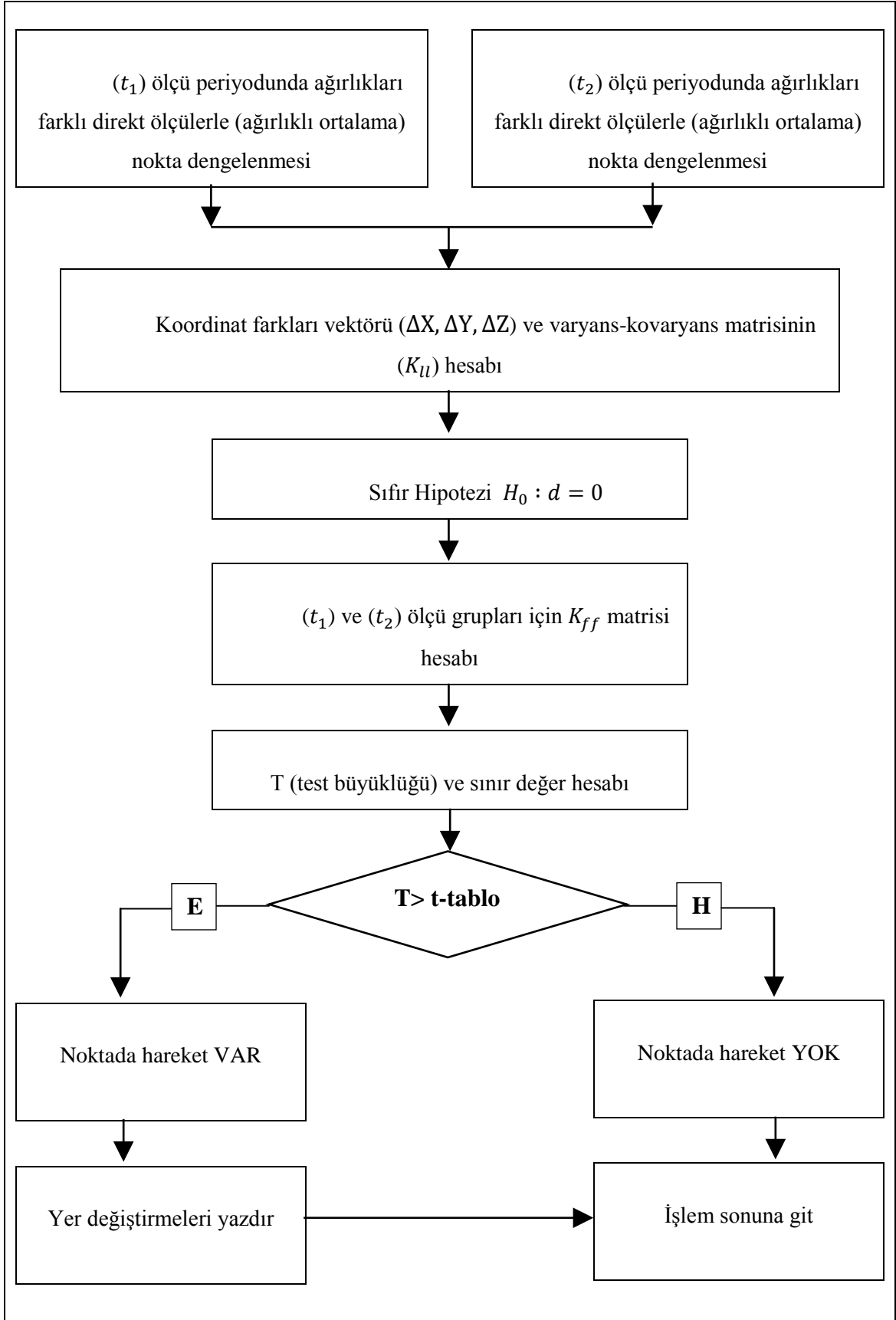
Deformasyon vektörünün anlamlı olup olmadığını belirlemek için test büyüklükleri,

$$\begin{aligned} T_X &= \frac{|\Delta X_{k+1,k}|}{m_{\Delta X_{k+1,k}}} \\ T_Y &= \frac{|\Delta Y_{k+1,k}|}{m_{\Delta Y_{k+1,k}}} \\ T_Z &= \frac{|\Delta Z_{k+1,k}|}{m_{\Delta Z_{k+1,k}}} \end{aligned} \quad (17)$$

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

$$q = t_{f,1-\frac{\alpha}{2}}$$

$T_i > q$ ise noktanın geçen süre içerisinde hareket ettiğine karar verilir (Koch, 1999; Satır, 2007; Bayrak vd., 2005; Bayrak vd., 2007; Bayrak vd., 2008; Bayrak ve Yılmaz, 2007).



Şekil 1.4. Statik Deformasyon Analizi İş Akış Şeması

1.4.2. Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Kinematik Deformasyon Analizi

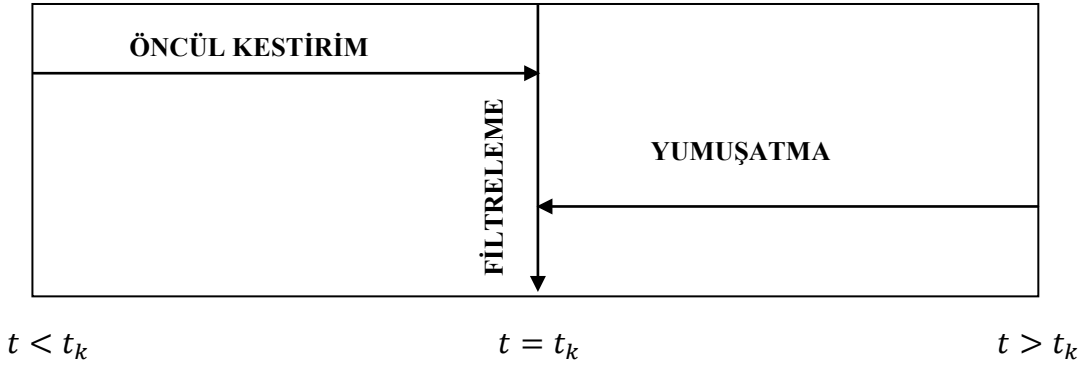
Son yıllarda mühendislik ölçmelerinin amacı, köprüler, barajlar, kuleler ile heyelanlara ve depremlere maruz kalan kütleler gibi objelerin davranışlarını analiz etmek olmuştur. Günümüze kadar ki uygulamalarda deformasyon analizleri genelde statik olarak yapılmıştır. Ancak ölçümlerde zaman parametrelerinin 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).

Kinematik modelin amacı, deformasyona neden olan dış güçleri dikkate almaksızın zamana bağlı fonksiyonlar yardımıyla nokta hareketlerinin uygun bir tanımını bulmaktır. Kinematik modelde konu, üzerinde deformasyon izlenecek bölgenin karakteristik noktalarının hareketleri, bu hareketlerin hızları ve ivmeleridir. Kinematik deformasyon analizinde, jeodezik ağda zamanla hareket eden noktalar, hareketin büyüklüğü, hareket hızları ve ivmeleri zamana bağlı bir fonksiyonla saptanır. Deformasyon alanında düzgün bir hareket olduğu varsayımı altında yer değiştirme vektörü hız ve ivmenin bir fonksiyonudur (Yalçınkaya, 1994; Bayrak ve Yalçınkaya, 2002, 2003; Bayrak, 2003; Doğanalp, 2005).

Bu modelde 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)

Kalman Filtreleme Yöntemi, kinematik ölçülerin analiz ve değerlendirilmesinde geniş alanda kullanılmaktadır (Almagbile et al., 2010). 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.

- Öncül kestirim (prediction, ekstrapolasyon): $t < t_k$ koşuluyla t_k anındaki durum değişkenlerinin, sistemin önceki özelliklerinden faydalanarak hesaplanması aşaması,
- 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,
- 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 1.5. 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 (18) eşitliğine göre oluşturulmakta ve uygulanmaktadır (Yalçınkaya, 2001; Yalçınkaya ve Bayrak, 2005; Acar vd., 2008; Eyo ve Bayrak, ; Yalçınkaya, 2001; Bayrak, 2003).

$$\begin{aligned}
 x_k &= x_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{x}_{k-1} + \frac{1}{2} (t_k - t_{k-1})^2 \ddot{x}_{k-1} \\
 y_k &= y_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{y}_{k-1} + \frac{1}{2} (t_k - t_{k-1})^2 \ddot{y}_{k-1} \\
 z_k &= z_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{z}_{k-1} + \frac{1}{2} (t_k - t_{k-1})^2 \ddot{z}_{k-1}
 \end{aligned} \tag{18}$$

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,

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

göstermektedir. (18) eşitliğinde görüldüğü gibi t_k zamanındaki nokta konumları, t_{k-1} zamanındaki nokta hareket parametrelerinden yararlanarak hesaplanmaktadır. (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 (18) eşitliğindeki denklemlerin zamana göre birinci türevleri alınarak hız denklemleri, ikinci türevleri alınarak ivme denklemleri (19) eşitliğinde görüldüğü gibi oluşturulur. Böylece Kalman-filtrelemede durum vektörü bilinmeyenleri daha az ölçü periyodu verileri ile hesaplanabilir (Yalçınkaya, 1996).

$$\begin{aligned}
x_k &= x_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{x}_{k-1} + \frac{1}{2}(t_k - t_{k-1})^2 \ddot{x}_{k-1} \\
y_k &= y_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{y}_{k-1} + \frac{1}{2}(t_k - t_{k-1})^2 \ddot{y}_{k-1} \\
z_k &= z_{k-1} + (t_k - t_{k-1}) \dot{z}_{k-1} + \frac{1}{2}(t_k - t_{k-1})^2 \ddot{z}_{k-1} \\
\dot{x}_k &= \dot{x}_{k-1} + (t_{k-1} - t_{k-1}) \ddot{x}_{k-1} \\
\dot{y}_k &= \dot{y}_{k-1} + (t_{k-1} - t_{k-1}) \ddot{y}_{k-1} \\
\dot{z}_k &= \dot{z}_{k-1} + (t_{k-1} - t_{k-1}) \ddot{z}_{k-1} \\
\ddot{x}_k &= \ddot{x}_{k-1} \\
\ddot{y}_k &= \ddot{y}_{k-1} \\
\ddot{z}_k &= \ddot{z}_{k-1}
\end{aligned} \tag{19}$$

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

$$\bar{Y}_k = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \vdots \\ x \\ \vdots \\ y \\ \vdots \\ z \\ \vdots \\ x \\ \vdots \\ y \\ \vdots \\ z \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} I & I(t_k - t_{k-1}) & I \frac{(t_k - t_{k-1})^2}{2} \\ 0 & I & I(t_k - t_{k-1}) \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \vdots \\ x \\ \vdots \\ y \\ \vdots \\ z \\ \vdots \\ x \\ \vdots \\ y \\ \vdots \\ z \end{bmatrix}_{k-1} \quad (20)$$

$$\bar{Y}_k = T_{k,k-1} \hat{Y}_{k-1} \quad (21)$$

\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.

(21) 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), (21) denkleminde T matrisinin son sütunundaki terimlerden oluşan S gürültü vektörü (24) olarak düşünülür. Böylece prediksyon denklemi ve kovaryans matrisi aşağıdaki gibi olur (Yalçınkaya, 2001; Bayrak, 2003).

$$\bar{Y}_k = T_{k,k-1} \hat{Y}_{k-1} + S_{k,k-1} w_{k-1} \quad (22)$$

$$Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} = T_{k,k-1} Q_{\hat{Y}\hat{Y},k-1} T_{k,k-1}^T + S_{k,k-1} Q_{ww,k-1} S_{k,k-1}^T \quad (23)$$

$$S_{k,k-1}^T = \begin{bmatrix} I \frac{(t_k - t_{k-1})^2}{2} & I(t_k - t_{k-1}) & I \end{bmatrix} \quad (24)$$

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 türetilir.

$$Q_{ww,k-1} = 4(t_k - t_{k-1})^{-4} Q_{SS,k-1} \quad (25)$$

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

$$l_k + v_{l,k} = A_k \hat{Y}_k = \begin{bmatrix} A_{\text{konum},k} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ \dot{Y} \\ \ddot{Y} \end{bmatrix}_k \quad (26)$$

ile k periyodunun prediksyon denklemi (22) ile birleştirilerek filtre aşamasının fonksiyonel ve stokastik modeli aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} \bar{Y}_k \\ l_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ A_k \end{bmatrix} \hat{Y}_k - \begin{bmatrix} v_{\bar{Y},k} \\ v_{l,k} \end{bmatrix}, \quad Q_k = \begin{bmatrix} Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} & 0 \\ 0 & Q_{ll,k} \end{bmatrix} \quad (27)$$

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

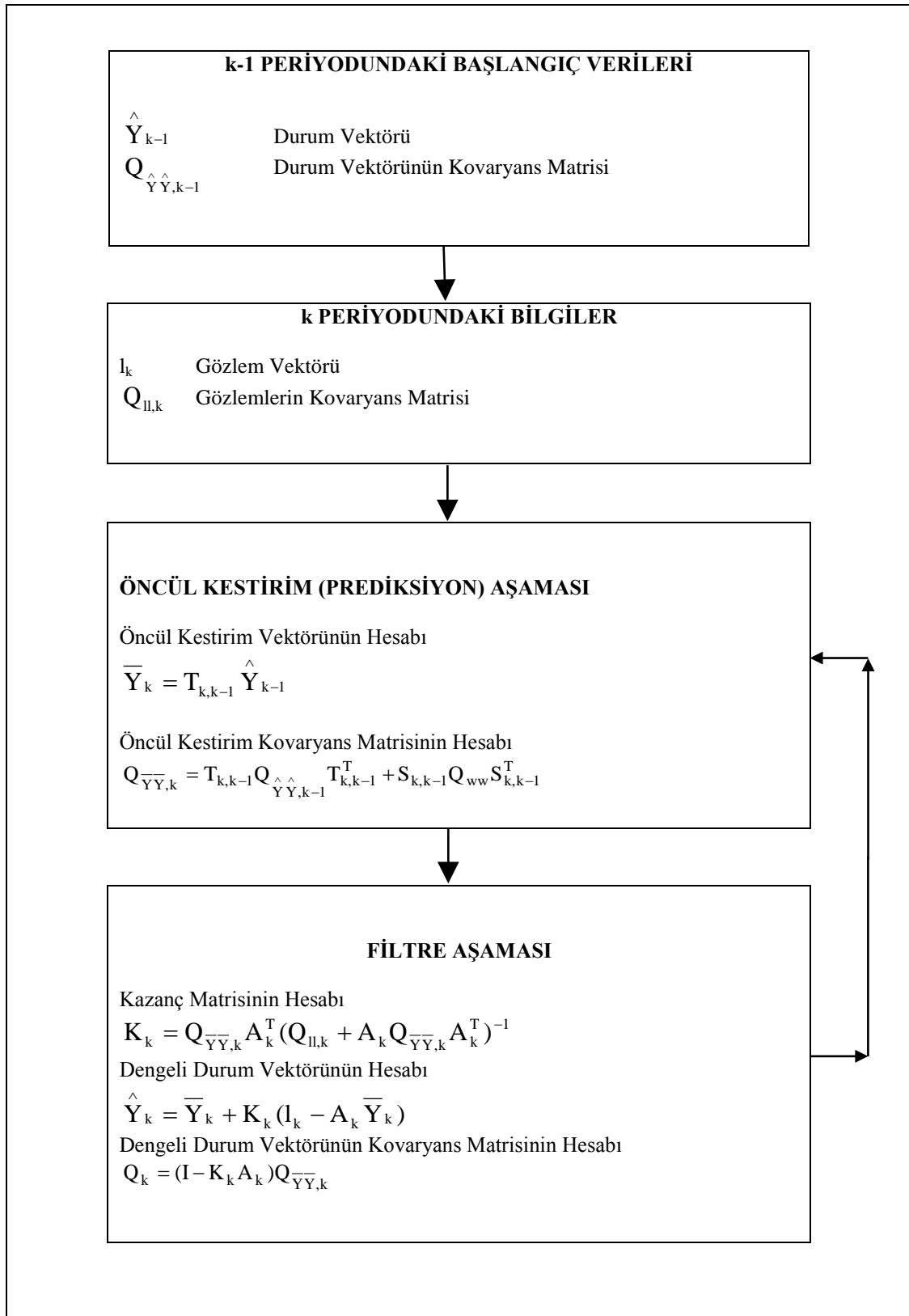
$$K_k = Q_{\bar{Y}\bar{Y},k}^{-1} A_k^T (Q_{ll,k} + A_k Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} A_k^T)^{-1} = Q_{\bar{Y}\bar{Y},k}^{-1} A_k^T D_k^{-1} \quad (28)$$

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

$$\begin{bmatrix} \mathbf{d}_k \\ \hat{\mathbf{Y}}_k \\ \mathbf{v}_{\bar{\mathbf{Y}},k} \\ \mathbf{v}_{\mathbf{l},k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mathbf{A}_k & \mathbf{I} \\ \mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{A}_k & \mathbf{K}_k \\ -\mathbf{K}_k \mathbf{A}_k & \mathbf{K}_k \\ \mathbf{Q}_{\mathbf{l},k} \mathbf{D}_k^{-1} \mathbf{A}_k & -\mathbf{Q}_{\mathbf{l},k} \mathbf{D}_k^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{Y}}_k \\ \mathbf{l}_k \end{bmatrix} \quad (29)$$

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 1.6' da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. KALMAN-Filtreleme Tekniğinin Akış Şeması (Yalçinkaya, 2001)

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).

1.4.2.1. Kalman-Filtreleme Tekniğinin Global Testi

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

$$\hat{Y}_k - \bar{Y}_k = K_k d_k \quad (30)$$

Sıfır hipotezi aşağıdaki biçimde kurulur.

$$H_0: E(d_k) = E(l_k) - A_k E(\bar{Y}_k) = 0 \quad (31)$$

Test büyüklüğü, filtreleme tekniğinin 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.

$$T_G = \frac{s_{0,k}^2}{s_0^2} = \frac{d_k^T D^{-1} d_k}{n_{1,k} s_0^2} \quad (32)$$

$T_G > F_{n_{i,k},f,1-\alpha}$ 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 (33) yararlanarak test büyüklüğü, (34) eşitliğinden hesaplanarak tablo değeriyle karşılaştırılır.

$$v_j^T = \begin{bmatrix} v_{x_j}^{\wedge} & v_{y_j}^{\wedge} & v_{z_j}^{\wedge} & v_{x_j}^{\cdot} & v_{y_j}^{\cdot} & v_{z_j}^{\cdot} & v_{x_j}^{\cdot\cdot} & v_{y_j}^{\cdot\cdot} & v_{z_j}^{\cdot\cdot} \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$\frac{v_j^T Q_{jj}^{-1} v_j}{9 s_0^2} \geq F_{9,f,1-\alpha} \quad (34)$$

(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 kalmayınca kadar devam edilmelidir (Yalçınkaya (Ünver), 1994; Bayrak, 2003).

1.4.2.2. 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.

$$\begin{aligned} T_{x_i} &= \frac{|x_i|}{m_{x_i}} \quad , & T_{y_i} &= \frac{|y_i|}{m_{y_i}} \quad , & T_{z_i} &= \frac{|z_i|}{m_{z_i}} \\ T_{\dot{x}_i} &= \frac{|\dot{x}_i|}{m_{\dot{x}_i}} \quad , & T_{\dot{y}_i} &= \frac{|\dot{y}_i|}{m_{\dot{y}_i}} \quad , & T_{\dot{z}_i} &= \frac{|\dot{z}_i|}{m_{\dot{z}_i}} \\ T_{\ddot{x}_i} &= \frac{|\ddot{x}_i|}{m_{\ddot{x}_i}} \quad , & T_{\ddot{y}_i} &= \frac{|\ddot{y}_i|}{m_{\ddot{y}_i}} \quad , & T_{\ddot{z}_i} &= \frac{|\ddot{z}_i|}{m_{\ddot{z}_i}} \end{aligned} \quad (35)$$

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.

1.4.2.3. 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.

- Sıfır 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.

$$Y_0^T = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ \dots \ x_n \ y_n \ z_n] \quad (36)$$
$$Q_{YY,0} = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} \\ Q_{yx} & Q_{yy} & Q_{yz} \\ Q_{zx} & Q_{zy} & Q_{zz} \end{bmatrix}$$

- Birinci Periyodun (t_1) Değerlendirilmesi

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

$$\hat{Y}_0^T = [x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad . \quad . \quad x_n \quad y_n \quad z_n \quad 0 \quad . \quad . \quad 0] \quad (37)$$

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

$$Q_{\hat{Y}\hat{Y},0} = \begin{bmatrix} Q_{YY,0} & Q_{Y\dot{Y},0} \\ Q_{\dot{Y}Y,0} & Q_{\dot{Y}\dot{Y},0} \end{bmatrix} \quad (38)$$

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

$$Q_{\dot{Y}Y} = Q_{Y\dot{Y}} = 0 \quad (39)$$

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

$$H_{\max} = \dot{Y}_0 - \dot{Y}_{\max} \quad (40)$$

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

biçiminde oluşturulur. Kalman-filtrelemenin işlem adımlarına göre hesaplama yapılarak durum vektörü ve kovaryans matrisi

$$\hat{\mathbf{Y}}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{Y} \\ \dot{\mathbf{Y}} \\ \ddot{\mathbf{Y}} \end{bmatrix}_2, \quad \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{Y}}_2} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{\mathbf{Y}\mathbf{Y}} & \mathbf{Q}_{\mathbf{Y}\dot{\mathbf{Y}}} & \mathbf{Q}_{\mathbf{Y}\ddot{\mathbf{Y}}} \\ \mathbf{Q}_{\dot{\mathbf{Y}}\mathbf{Y}} & \mathbf{Q}_{\dot{\mathbf{Y}}\dot{\mathbf{Y}}} & \mathbf{Q}_{\dot{\mathbf{Y}}\ddot{\mathbf{Y}}} \\ \mathbf{Q}_{\ddot{\mathbf{Y}}\mathbf{Y}} & \mathbf{Q}_{\ddot{\mathbf{Y}}\dot{\mathbf{Y}}} & \mathbf{Q}_{\ddot{\mathbf{Y}}\ddot{\mathbf{Y}}} \end{bmatrix}_2 \quad (49)$$

eşitliğinden hesaplanabilir (Yalçinkaya, 2001, 1994; Heunecke, 1994; Pelzer, 1988; Huep, 1986).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

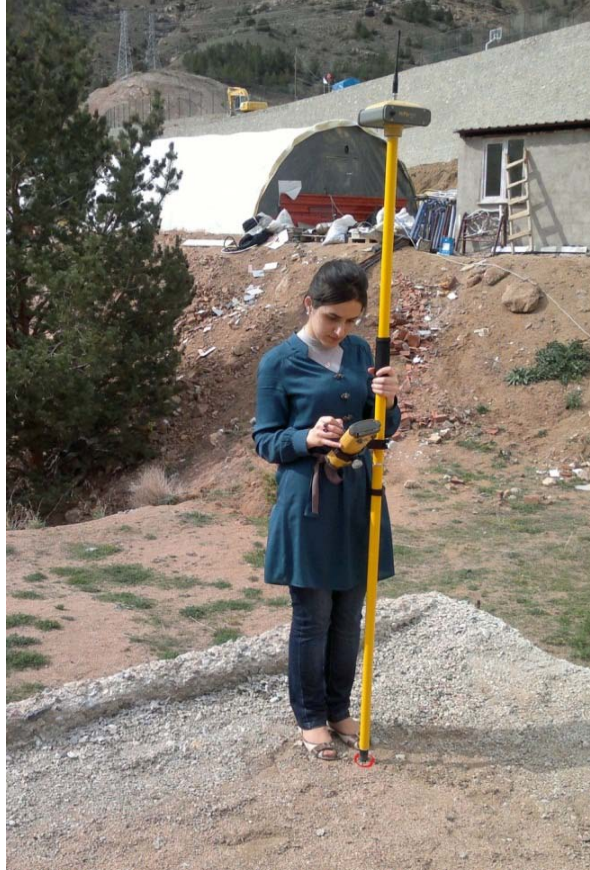
Bu araştırmanın amacı, günümüzde pek çok alanda kabul görmüş yöntemlerden biri olan TUSAGA-Aktif ile bir noktada periyodik olarak toplanmış TUSAGA-Aktif ölçülerinin deformasyon izlemede kullanılabilirliğini inceleyip daha gerçekçi yorumlama yapabilmektir.

2.1. Ön Çalışmalar

Uygulama alanı olarak, Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane ili Bağlarbaşı mahallesi Gümüşhane Üniversitesi yerleşkesi seçilmiştir.

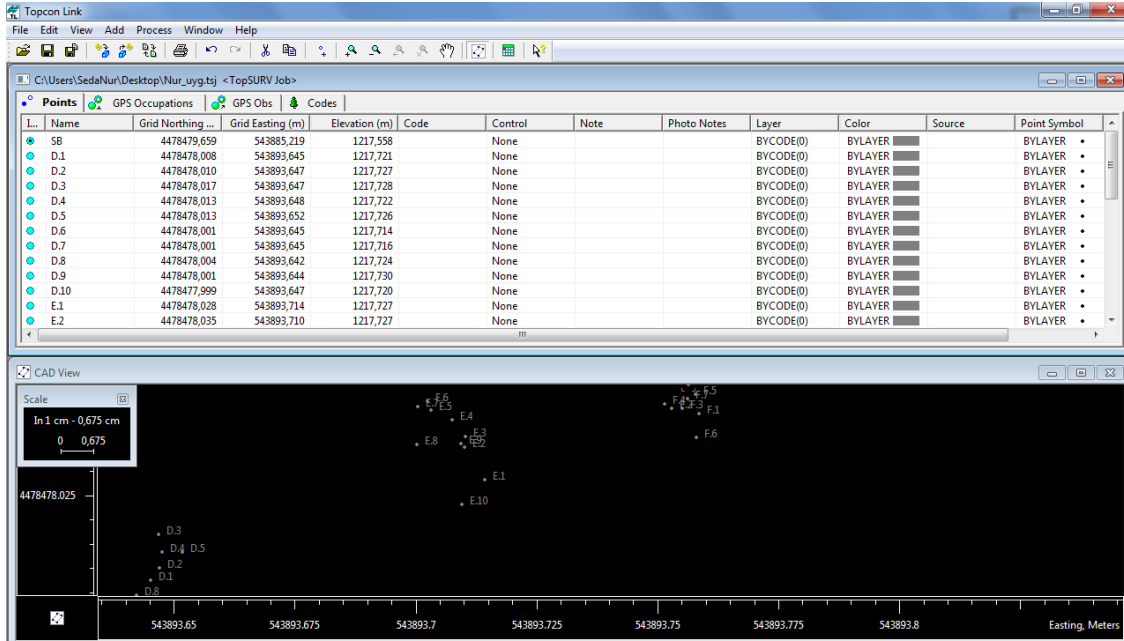
2.2. TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Yapılması ve Dengelenmesi

TUSAGA-Aktif teknolojisi ile Gümüşhane Üniversitesi yerleşkesinde seçilen bir noktada GNSS alıcıları ile 3 ayda bir periyodik olarak 10 epokluk TUSAGA-Aktif ölçüleri gerçekleştirilmiş ve Şekil 2.1' de görüldüğü gibi veri toplanmıştır.



Şekil 2.1. Arazide bir noktada TUSAGA-Aktif ile ölçüm

Koordinatlar Topcon Link V.8.2 programı kullanılarak sayısal ortama aktarılmıştır.



Şekil 2.2. Ölçümlerin Topcon Link Programında Gösterimi

Bir noktada yapılan 10 epok ölçülere RTK dengelemesi aşağıdaki işlem adımları takip edilerek uygulandı.

Tablo 2.1. 1. Periyot 10 Epok Ölçüler

Epok sayısı	1. Periyot					
	X	Y	Z	m _x	m _y	m _z
1	4478478.008	543893.645	1217.721	0.78	0.78	1.0
2	4478478.01	543893.647	1217.727	0.71	0.71	1.0
3	4478478.017	543893.647	1217.728	0.71	0.71	0.9
4	4478478.013	543893.648	1217.722	0.71	0.71	0.9
5	4478478.013	543893.652	1217.726	1.06	1.06	1.3
6	4478478.001	543893.645	1217.714	1.2	1.2	1.5
7	4478478.001	543893.645	1217.716	1.42	1.42	1.7
8	4478478.004	543893.642	1217.724	1.42	1.42	1.7
9	4478478.001	543893.644	1217.73	1.55	1.55	1.9
10	4478477.999	543893.647	1217.72	1.7	1.7	2.

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

Yaklaşık değerler (koordinatların ortalaması) seçildi.

Tablo 2.2. 1. Periyot Yaklaşık Değerler

Nok	$X_1^{1,0}$	$Y_1^{1,0}$	$Z_1^{1,0}$	mo
1	4478478.0067	543893.6462	1217.7228	1.00

Düzeltilme denklemleri oluşturuldu

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

$$\begin{aligned}
Y_2^1 + V_{Y_2^1} &= Y_2^{1,0} + dY_2^1 \\
Z_2^1 + V_{Z_2^1} &= Z_2^{1,0} + dZ_2^1 \\
X_3^1 + V_{X_3^1} &= X_3^{1,0} + dX_3^1 \\
Y_3^1 + V_{Y_3^1} &= Y_3^{1,0} + dY_3^1 \\
Z_3^1 + V_{Z_3^1} &= Z_3^{1,0} + dZ_3^1 \\
X_4^1 + V_{X_4^1} &= X_4^{1,0} + dX_4^1 \\
Y_4^1 + V_{Y_4^1} &= Y_4^{1,0} + dY_4^1 \\
Z_4^1 + V_{Z_4^1} &= Z_4^{1,0} + dZ_4^1 \\
X_5^1 + V_{X_5^1} &= X_5^{1,0} + dX_5^1 \\
Y_5^1 + V_{Y_5^1} &= Y_5^{1,0} + dY_5^1 \\
Z_5^1 + V_{Z_5^1} &= Z_5^{1,0} + dZ_5^1 \\
X_6^1 + V_{X_6^1} &= X_6^{1,0} + dX_6^1 \\
Y_6^1 + V_{Y_6^1} &= Y_6^{1,0} + dY_6^1 \\
Z_6^1 + V_{Z_6^1} &= Z_6^{1,0} + dZ_6^1 \\
X_7^1 + V_{X_7^1} &= X_7^{1,0} + dX_7^1 \\
Y_7^1 + V_{Y_7^1} &= Y_7^{1,0} + dY_7^1 \\
Z_7^1 + V_{Z_7^1} &= Z_7^{1,0} + dZ_7^1 \\
X_8^1 + V_{X_8^1} &= X_8^{1,0} + dX_8^1 \\
Y_8^1 + V_{Y_8^1} &= Y_8^{1,0} + dY_8^1 \\
Z_8^1 + V_{Z_8^1} &= Z_8^{1,0} + dZ_8^1 \\
X_9^1 + V_{X_9^1} &= X_9^{1,0} + dX_9^1 \\
Y_9^1 + V_{Y_9^1} &= Y_9^{1,0} + dY_9^1 \\
Z_9^1 + V_{Z_9^1} &= Z_9^{1,0} + dZ_9^1 \\
X_{10}^1 + V_{X_{10}^1} &= X_{10}^{1,0} + dX_{10}^1 \\
Y_{10}^1 + V_{Y_{10}^1} &= Y_{10}^{1,0} + dY_{10}^1 \\
Z_{10}^1 + V_{Z_{10}^1} &= Z_{10}^{1,0} + dZ_{10}^1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{X_1^1} &= 1 \cdot dX_1^1 + 0 \cdot dY_1^1 + 0 \cdot dZ_1^1 + 4478478.008 - 4478478.0067 \\
V_{Y_1^1} &= 0 \cdot dX_1^1 + 1 \cdot dY_1^1 + 0 \cdot dZ_1^1 + 543893.645 - 543893.6462 \\
V_{Z_1^1} &= 0 \cdot dX_1^1 + 0 \cdot dY_1^1 + 1 \cdot dZ_1^1 + 1217.721 - 1217.7228 \\
V_{X_1^1} &= 1 \cdot dX_1^1 + 0 \cdot dY_1^1 + 0 \cdot dZ_1^1 + 4478478.01 - 4478478.0067 \\
V_{Y_1^1} &= 0 \cdot dX_1^1 + 1 \cdot dY_1^1 + 0 \cdot dZ_1^1 + 543893.647 - 543893.6462 \\
V_{Z_1^1} &= 0 \cdot dX_1^1 + 0 \cdot dY_1^1 + 1 \cdot dZ_1^1 + 1217.727 - 1217.7228 \\
V_{X_3^1} &= 1 \cdot dX_3^1 + 0 \cdot dY_3^1 + 0 \cdot dZ_3^1 + 4478478.017 - 4478478.0067 \\
V_{Y_3^1} &= 0 \cdot dX_3^1 + 1 \cdot dY_3^1 + 0 \cdot dZ_3^1 + 543893.647 - 543893.6462 \\
V_{Z_3^1} &= 0 \cdot dX_3^1 + 0 \cdot dY_3^1 + 1 \cdot dZ_3^1 + 1217.728 - 1217.7228 \\
V_{X_4^1} &= 1 \cdot dX_4^1 + 0 \cdot dY_4^1 + 0 \cdot dZ_4^1 + 4478478.013 - 4478478.0067 \\
V_{Y_4^1} &= 0 \cdot dX_4^1 + 1 \cdot dY_4^1 + 0 \cdot dZ_4^1 + 543893.648 - 543893.6462 \\
V_{Z_4^1} &= 0 \cdot dX_4^1 + 0 \cdot dY_4^1 + 1 \cdot dZ_4^1 + 1217.722 - 1217.7228 \\
V_{X_5^1} &= 1 \cdot dX_5^1 + 0 \cdot dY_5^1 + 0 \cdot dZ_5^1 + 4478478.013 - 4478478.0067 \\
V_{Y_5^1} &= 0 \cdot dX_5^1 + 1 \cdot dY_5^1 + 0 \cdot dZ_5^1 + 543893.652 - 543893.6462 \\
V_{Z_5^1} &= 0 \cdot dX_5^1 + 0 \cdot dY_5^1 + 1 \cdot dZ_5^1 + 1217.726 - 1217.7228 \\
V_{X_6^1} &= 1 \cdot dX_6^1 + 0 \cdot dY_6^1 + 0 \cdot dZ_6^1 + 4478478.001 - 4478478.0067 \\
V_{Y_6^1} &= 0 \cdot dX_6^1 + 1 \cdot dY_6^1 + 0 \cdot dZ_6^1 + 543893.645 - 543893.6462 \\
V_{Z_6^1} &= 0 \cdot dX_6^1 + 0 \cdot dY_6^1 + 1 \cdot dZ_6^1 + 1217.714 - 1217.7228 \\
V_{X_7^1} &= 1 \cdot dX_7^1 + 0 \cdot dY_7^1 + 0 \cdot dZ_7^1 + 4478478.001 - 4478478.0067 \\
V_{Y_7^1} &= 0 \cdot dX_7^1 + 1 \cdot dY_7^1 + 0 \cdot dZ_7^1 + 543893.645 - 543893.6462 \\
V_{Z_7^1} &= 0 \cdot dX_7^1 + 0 \cdot dY_7^1 + 1 \cdot dZ_7^1 + 1217.716 - 1217.7228 \\
V_{X_8^1} &= 1 \cdot dX_8^1 + 0 \cdot dY_8^1 + 0 \cdot dZ_8^1 + 4478478.004 - 4478478.0067 \\
V_{Y_8^1} &= 0 \cdot dX_8^1 + 1 \cdot dY_8^1 + 0 \cdot dZ_8^1 + 543893.642 - 543893.6462 \\
V_{Z_8^1} &= 0 \cdot dX_8^1 + 0 \cdot dY_8^1 + 1 \cdot dZ_8^1 + 1217.724 - 1217.7228 \\
V_{X_9^1} &= 1 \cdot dX_9^1 + 0 \cdot dY_9^1 + 0 \cdot dZ_9^1 + 4478478.001 - 4478478.0067 \\
V_{Y_9^1} &= 0 \cdot dX_9^1 + 1 \cdot dY_9^1 + 0 \cdot dZ_9^1 + 543893.644 - 543893.6462 \\
V_{Z_9^1} &= 0 \cdot dX_9^1 + 0 \cdot dY_9^1 + 1 \cdot dZ_9^1 + 1217.73 - 1217.7228 \\
V_{X_{10}^1} &= 1 \cdot dX_{10}^1 + 0 \cdot dY_{10}^1 + 0 \cdot dZ_{10}^1 + 4478477.999 - 4478478.0067
\end{aligned}$$

$$X = N^{-1}n = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_{X_1^1} \\ V_{Y_1^1} \\ V_{Z_1^1} \\ V_{X_2^1} \\ V_{Y_2^1} \\ V_{Z_2^1} \\ V_{X_3^1} \\ V_{Y_3^1} \\ V_{Z_3^1} \\ V_{X_4^1} \\ V_{Y_4^1} \\ V_{Z_4^1} \\ V_{X_5^1} \\ V_{Y_5^1} \\ V_{Z_5^1} \\ V_{X_6^1} \\ V_{Y_6^1} \\ V_{Z_6^1} \\ V_{X_7^1} \\ V_{Y_7^1} \\ V_{Z_7^1} \\ V_{X_8^1} \\ V_{Y_8^1} \\ V_{Z_8^1} \\ V_{X_9^1} \\ V_{Y_9^1} \\ V_{Z_9^1} \\ V_{X_{10}^1} \\ V_{Y_{10}^1} \\ V_{Z_{10}^1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.13 \\ -0.12 \\ -0.18 \\ 0.33 \\ 0.08 \\ 0.42 \\ 1.03 \\ 0.08 \\ 0.52 \\ 0.63 \\ 0.18 \\ -0.08 \\ 0.63 \\ 0.58 \\ 0.32 \\ -0.57 \\ -0.12 \\ -0.88 \\ -0.57 \\ -0.12 \\ -0.68 \\ -0.27 \\ -0.42 \\ 0.12 \\ -0.57 \\ -0.22 \\ 0.72 \\ -0.77 \\ 0.08 \\ -0.28 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_{X_1^1} \\ V_{Y_1^1} \\ V_{Z_1^1} \\ V_{X_2^1} \\ V_{Y_2^1} \\ V_{Z_2^1} \\ V_{X_3^1} \\ V_{Y_3^1} \\ V_{Z_3^1} \\ V_{X_4^1} \\ V_{Y_4^1} \\ V_{Z_4^1} \\ V_{X_5^1} \\ V_{Y_5^1} \\ V_{Z_5^1} \\ V_{X_6^1} \\ V_{Y_6^1} \\ V_{Z_6^1} \\ V_{X_7^1} \\ V_{Y_7^1} \\ V_{Z_7^1} \\ V_{X_8^1} \\ V_{Y_8^1} \\ V_{Z_8^1} \\ V_{X_9^1} \\ V_{Y_9^1} \\ V_{Z_9^1} \\ V_{X_{10}^1} \\ V_{Y_{10}^1} \\ V_{Z_{10}^1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.18 \\ 0.17 \\ 0.26 \\ 0.0 \\ 0.0 \\ -0.3 \\ -0.7 \\ 0.0 \\ -0.4 \\ -0.3 \\ -0.1 \\ 0.2 \\ -0.3 \\ -0.5 \\ -0.2 \\ 0.9 \\ 0.2 \\ 1.0 \\ 0.9 \\ 0.2 \\ 0.8 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.0 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ -0.6 \\ 1.1 \\ 0.0 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$

Dengelenmiş koordinatlar hesaplandı.

$$X_k = 4478478.010$$

$$Y_k = 543893.647$$

$$Z_k = 1217.724$$

$$\text{Ölçü Sayısı} \quad n = 30$$

$$\text{Bilinmeyen Sayısı} \quad u = 3$$

$$\text{Serbestlik Derecesi} \quad f = n - u = 27$$

$$A^T p v = 0$$

$$v^T p v = 4.94$$

$$-\ell^T p v = 4.94$$

Birim ölçünün ortalama hatası

$$m_0 = \sqrt{\frac{v_{TPV}^T}{f}} = 0.43 \text{ cm}$$

Dengelenmiş koordinatların karesel ortalama hataları hesaplandı.

$$m_{X_k} = 0.13$$

$$m_{Y_k} = 0.13$$

$$m_{Z_k} = 0.17$$

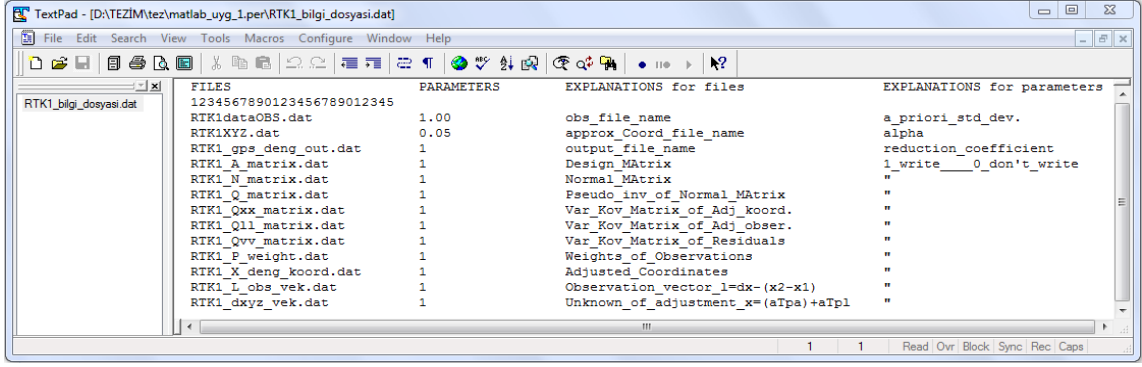
Aynı noktada yapılan 2. ve 3. periyotlardaki koordinatlara ait düzeltmeler aynı yöntemle hesaplanarak dengeli koordinatlar elde edildi.

Tablo 2.3. 1., 2. ve 3. Periyotlara ait Dengelenmiş Koordinatlar

Dengelenmiş Koordinatlar						
Periyot	X	Y	Z	m_x	m_y	m_z
1	4478478.010	543893.647	1217.724	0.13	0.13	0.17
2	4478478.036	543893.708	1217.724	0.18	0.18	0.22
3	4478478.044	543893.755	1217.617	0.10	0.10	0.14

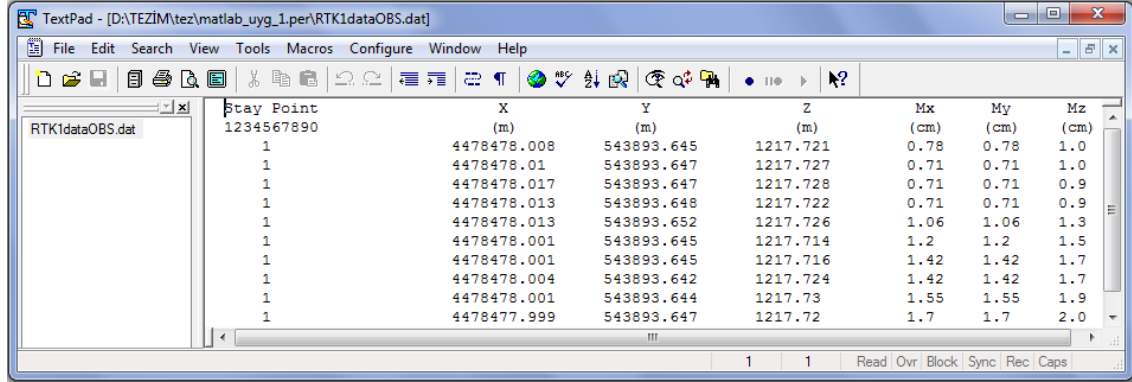
RTK ölçülerinin dengelenmesi, kinematik deformasyon analizlerinin yapılması için MATLAB' da programlar yazılmıştır. Bu dengeleme programında bir noktaya ait yapılmış 10 epok ölçüler dengelenmiş, deformasyon analizleri yapılmıştır. İlk olarak MATLAB' da 3 periyottaki 10 epok ölçülerin dengelenmesi yapılmıştır.

Öncelikle MATLAB programının çalışmasında etkin rol oynayacak, girdi ve çıktı dosyalarının oluşturulabildiği "RTK1_bilgi_dosyası" adlı (.dat) uzantılı dosya oluşturuldu.



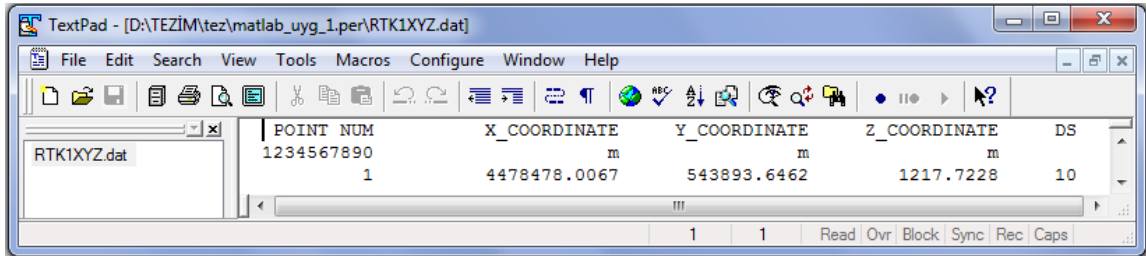
Şekil 2.3. TextPad’ de Oluşturulmuş “RTK1_bilgi_dosyasi” Dosyası

1.peryotta 10 epok ölçüler (X,Y,Z) ve ölçülerin karesel ortalama hataları (M_x, M_y, M_z), “RTK1dataOBS” dosyasına kaydedildi.



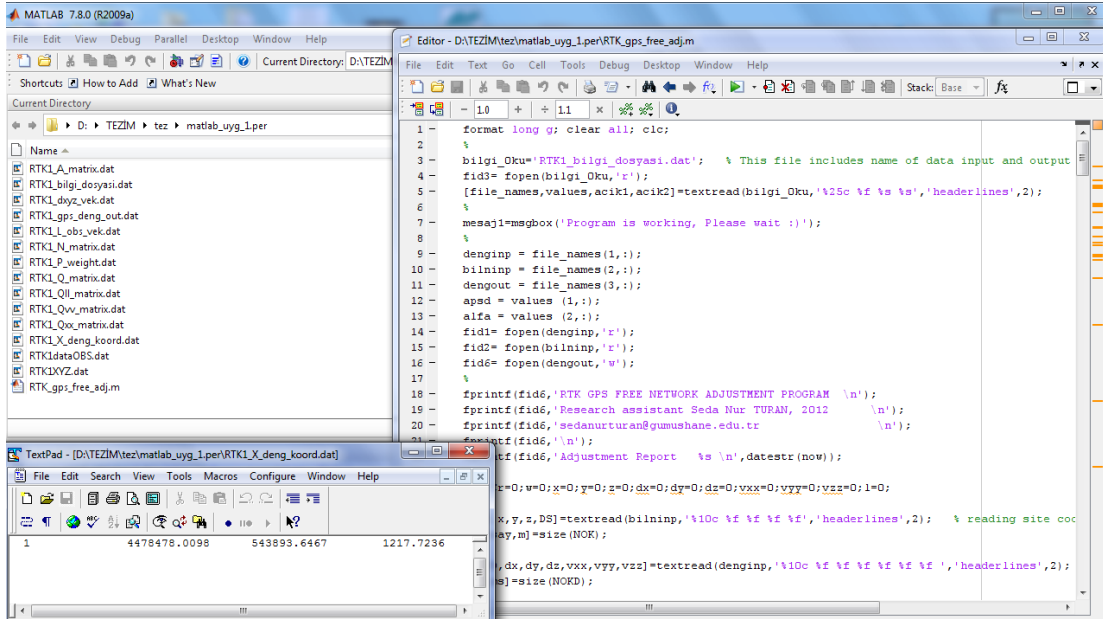
Şekil 2.4. TextPad’ de Oluşturulmuş “RTK1dataOBS” Dosyası

Yaklaşık koordinatlar da aynı formatta “RTK1XYZ” adlı dosyaya kaydedildi.



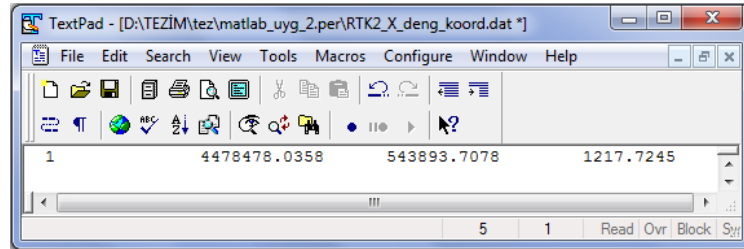
Şekil 2.5. TextPad’ de Oluşturulmuş “RTK1XYZ” Dosyası

MATLAB programı çalıştırıldı ve “RTK1_X_deng_koord” adlı dosyada dengeli koordinatlar elde edildi.

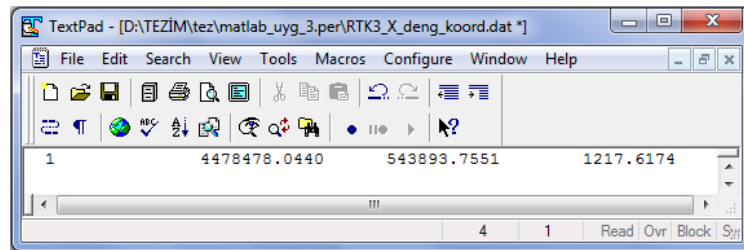


Şekil 2.6. MATLAB’ de Çalıştırılmış Dengeleme Programı ve 1. Periyot Dengeli Koordinatlar

MATLAB’ da 2. ve 3. periyotlarda 10 epok ölçüler için aynı işlemler tekrarlanarak dengeli koordinatlar elde edildi.



Şekil 2.7. 2. Periyot Dengeli Koordinatlar



Şekil 2.8. 3. Periyot Dengeli Koordinatlar

2.3. TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Deformasyon Analizi

2.3.1. Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçüleri ile Statik Deformasyon Analizi

Periyotlardaki düzeltilmiş ölçüler kullanılarak statik deformasyon analizleri yapılmış ve noktada hareket olup olmadığı tespit edilmiştir.

Kasım 2011 - Şubat 2012 Periyotları Statik Deformasyon Analizi

Fonksiyonel modeller oluşturuldu.

$$\Delta X_{2,1} = X_{2,1} - X_1$$

$$\Delta Y_{2,1} = Y_{2,1} - Y_1$$

$$\Delta Z_{2,1} = Z_{2,1} - Z_1$$

Hata yayılma kuralı

$$d\Delta X_{2,1} = \frac{\partial \Delta X_{2,1}}{\partial X_1} \cdot dX_1 + \frac{\partial \Delta X_{2,1}}{\partial X_2} \cdot dX_2$$

$$d\Delta Y_{2,1} = \frac{\partial \Delta Y_{2,1}}{\partial Y_1} \cdot dY_1 + \frac{\partial \Delta Y_{2,1}}{\partial Y_2} \cdot dY_2$$

$$d\Delta Z_{2,1} = \frac{\partial \Delta Z_{2,1}}{\partial Z_1} \cdot dZ_1 + \frac{\partial \Delta Z_{2,1}}{\partial Z_2} \cdot dZ_2$$

$$d\Delta X_{2,1} = -1 \cdot dX_1 + 0 \cdot dY_1 + 0 \cdot dZ_1 + 1 \cdot dX_2 + 0 \cdot dY_2 + 0 \cdot dZ_2$$

$$d\Delta Y_{2,1} = 0 \cdot dX_1 - 1 \cdot dY_1 + 0 \cdot dZ_1 + 0 \cdot dX_2 + 1 \cdot dY_2 + 0 \cdot dZ_2$$

$$d\Delta Z_{2,1} = 0 \cdot dX_1 + 0 \cdot dY_1 - 1 \cdot dZ_1 + 0 \cdot dX_2 + 0 \cdot dY_2 + 1 \cdot dZ_2$$

Fonksiyonel model oluşturuldu.

$$\begin{bmatrix} d\Delta X_{2,1} \\ d\Delta Y_{2,1} \\ d\Delta Z_{2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} dX_1 \\ dY_1 \\ dZ_1 \\ dX_2 \\ dY_2 \\ dZ_2 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{XYZ} = \begin{bmatrix} 0.02 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.03 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.03 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.03 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.05 \end{bmatrix}$$

Varyans- kovaryans matrisi oluşturuldu.

$$K_{FF} = A * K_{XYZ} * A^T$$

$$K_{FF} = \begin{bmatrix} 0.05 & 0 & 0 \\ 0 & 0.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0.07 \end{bmatrix}$$

$$m_{\Delta X_{2,1}}^2 = 0.05 \quad m_{\Delta X_{2,1}} = 0.22 \quad \Delta X_{2,1} = 2.60$$

$$m_{\Delta Y_{2,1}}^2 = 0.05 \quad m_{\Delta Y_{2,1}} = 0.22 \quad \Delta Y_{2,1} = 6.11$$

$$m_{\Delta Z_{2,1}}^2 = 0.07 \quad m_{\Delta Z_{2,1}} = 0.27 \quad \Delta Z_{2,1} = 0.09$$

$$n = 30$$

$$u = 3$$

$$f = n - u = 27$$

$$\alpha = 0.05$$

$$q = t_{f,1-\frac{\alpha}{2}} = t_{27,0.975} = 2.052$$

$$T_X = 11.915 \quad T_X > q \text{ deformasyon var}$$

$$T_Y = 27.986 \quad T_Y > q \text{ deformasyon var}$$

$$T_Z = 0.326 \quad T_Z < q \text{ deformasyon yok}$$

Kasım 2011 - Şubat 2012 periyotları ve Kasım 2011 - Mayıs 2012 periyotları arasında yapılan statik deformasyon analizi sonucunda noktada deformasyon tespit edilmiştir. Yapılan bu hesaplamalardan sonra Kalman filtreleme yöntemi için gerekli olan

bilgiler elde edilmiş olmakta ve bu bilgiler yardımıyla Kalman filtreleme yöntemi için gerekli olan Excel ve Matlab veri dosyaları hazırlanıp deformasyon işlemine geçilmiştir.

Tablo 2.4. Statik Deformasyon Analiz Sonuçları

Periyot	d_x	d_y	d_z
1-2	2,6	6,11	0,09
1-3	3,42	10,84	-10,62

2.3.1. Periyodik Toplanmış TUSAGA Aktif Ölçüleri ile Kinematik Deformasyon Analizi

Kalman-filtreleme yöntemi ile önceki periyotta bilinen hareket parametrelerinden ekstrapolasyon yoluyla sonraki periyottaki hareket parametreleri hesaplanmıştır. Öncelikle Excel’ de programlanmış olan statik deformasyon analizinin 1. ve 2. periyot arasında statik analizi yapılmış yer değiştirmeler (Ağdaki maksimum X, Y, Z hareketi) elde edilmiştir.

Displacements			
	d_x	d_y	d_z
2.per - 1.per	2,6	6,1	0,1

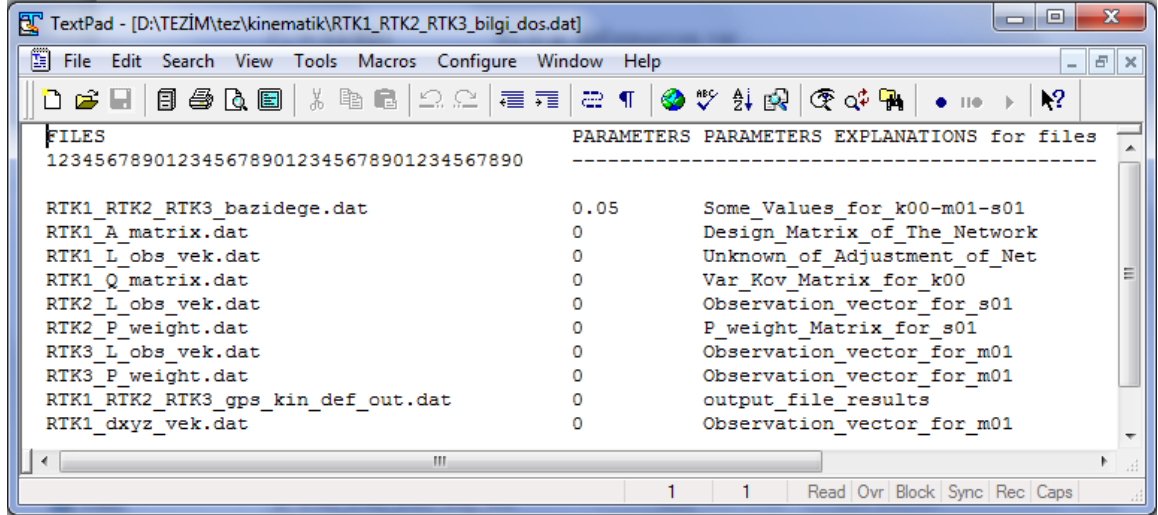
OBSERVATIONS						
Point	X (m)	Y (m)	Z (m)	Mx (cm)	My (cm)	Mz (cm)
1.Period	4478478,010	543893,6	1217,724	0,13	0,13	0,17
2.Period	4478478,036	543893,708	1217,724	0,18	0,18	0,22

KIF			
0,05	0	0	
0	0,05	0	
0	0	0,07	

Displacements			
	d_x	d_y	d_z
2.per - 1.per	2,6	6,1	0,1

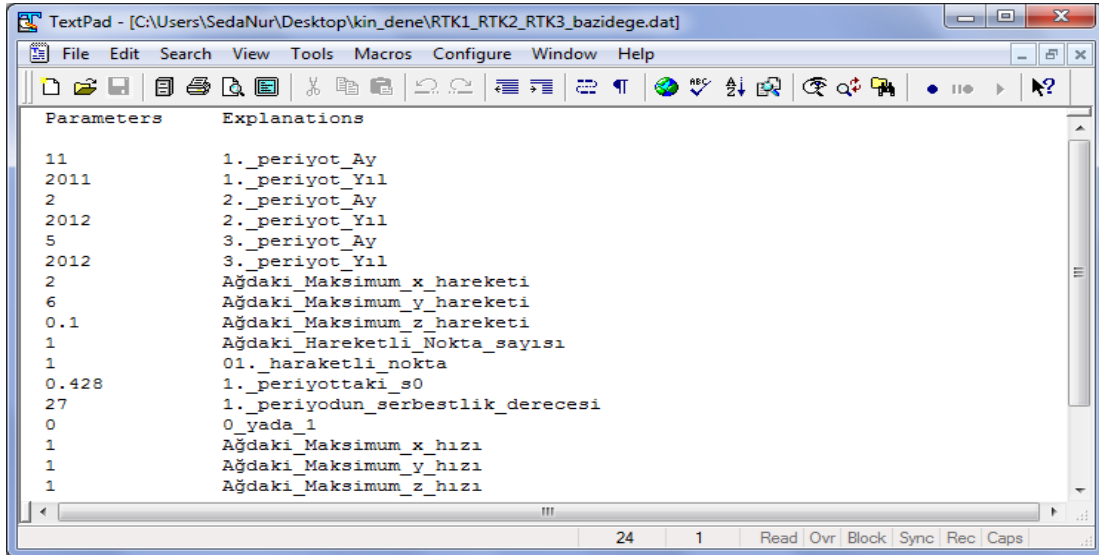
Şekil 2.9. Excel’ de 1. ve 2. Periyot Statik Deformasyon Analizi

X, Y, Z koordinatlarının ağdaki maksimum hızlarını bulmak için öncelikle; MATLAB programının çalışmasında etkin rol oynayacak, girdi ve çıktı dosyalarının oluşturulabildiği “RTK1_RTK2_RTK3_bilgi_dos” adlı (.dat) uzantılı dosya oluşturuldu.



Şekil 2.10. TextPad’ de Oluşturulmuş “RTK1_RTK2_RTK3_bilgi_dos” Dosyası

Ölçüm yapılan ay ve yıllar, statik deformasyon analizinden (1. ve 2. periyotlar arasında) elde edilen parametreleri (X, Y ve Z koordinatlarının ağıdaki maksimum hareket parametreleri, 1. periyottaki s_0 , 1. periyodun serbestlik derecesi) içeren “RTK1_RTK2_RTK3_bazidege” dosyası oluşturuldu.



Şekil 2.11. TextPad’ de Oluşturulmuş “RTK1_RTK2_RTK3_bazidege” Dosyası

Kinematik deformasyon analizi için 1., 2. ve 3. periyotlardaki gerekli dosyalar alınarak program çalıştırılmış ve analiz sonucunda ağıdaki maksimum X, Y, Z hızları elde edilmiştir.

```

TextPad - [C:\Users\SedaNur\Desktop\kin_dene\RTK1_RTK2_RTK3_gps_kin_def_out.dat]
File Edit Search View Tools Macros Configure Window Help
-----
1          2.86    6.15    0.12

Coordinate Significant test for periods 11.2011-2.2012

[+] there is a significant movement
[-] there is NOT a significant movement

Points      tx          ty          tz          t-test
-----
1          15.16 [+]   32.36 [+]   0.60 [-]    2.04

Velocity Unknowns for periods 11.2011-2.2012

Points      vx          vy          vz          cm/3month
-----
1          0.94      2.05      0.03

Velocity Significant test for periods 11.2011-2.2012

```

Şekil 2.12. MATLAB’ de Kinematik Deformasyon 1. Analiz Sonucu Oluşan “RTK1_RTK2_RTK3_gps_kin_def_out “ Adlı Çıktı Dosyası

Ağdaki maksimum X, Y ve Z koordinat hızları “RTK1_RTK2_RTK3_bazidege” dosyasına girildi.

```

TextPad - [D:\TEZİM\tez\kinematik\RTK1_RTK2_RTK3_bazidege.dat]
File Edit Search View Tools Macros Configure Window Help
Parameters      Explanations
11              1._periyot_Ay
2011            1._periyot_Yil
2              2._periyot_Ay
2012            2._periyot_Yil
5              3._periyot_Ay
2012            3._periyot_Yil
2              Ağdaki_Maksimum_x_hareketi
6              Ağdaki_Maksimum_y_hareketi
0.1            Ağdaki_Maksimum_z_hareketi
1              Ağdaki_Hareketli_Nokta_sayısı
1              01._haraketli_nokta
0.428          1._periyottaki_s0
27            1._periyodun_serbestlik_derecesi
1              0_yada_1
1              Ağdaki_Maksimum_x_hızı
2              Ağdaki_Maksimum_y_hızı
0.1            Ağdaki_Maksimum_z_hızı

```

Şekil 2.13. Kinematik Deformasyon Analizi 2. Adımı için TextPad’ de Oluşturulmuş “RTK1_RTK2_RTK3_bazidege” Dosyası

Program yeniden çalıştırılarak nokta koordinatlarına ait ivmeler de elde edildi.

```
TextPad - [D:\TEZİM\tez\kinematik\RTK1_RTK2_RTK3_gps_kin_def_out.dat]
File Edit Search View Tools Macros Configure Window Help
Velocity Significant test for periods 11.2011-2.2012-5.2012
[+] there is a significant velocity
[-] there is NOT a significant velocity

Points      tvx      tvy      tvz      t-test
-----
1           3.46 [+]  9.97 [+]  8.87 [+]  2.04

Acceleration Unknowns for periods 11.2011-2.2012-5.2012
Points      ax      ay      az      cm2/6month
-----
1           0.05   0.26   -0.23

Acceleration Significant test for periods 11.2011-2.2012-5.2012
[+] there is a significant acceleration
[-] there is NOT a significant acceleration

1 1 Read Ovr Block Sync Rec Caps
```

Şekil 2.14. MATLAB’ de Kinematik Deformasyon 1. ve 2. Analiz Sonucu Oluşan “RTK1_RTK2_RTK3_gps_kin_def_out“ Adlı Çıktı Dosyası

Her ölçü periyot gruplarının global testleri yapılmış ve istatistik sonuçlar tabloda verilmiştir. Bu tabloda gösterilen s_0 , öncül karesel ortalama hatayı; m_0 , soncul karesel ortalama hatayı; T , öncül ve soncul karesel hatalardan hesaplanmış test büyüklüğünü ve q_f ise F- tablo sınır değerini göstermektedir. Öncelikle, test değerleri (T), F- tablo sınır değeri (q_f) ile karşılaştırılarak hesaplanan ortalama hata (m_g) ve s_0 yardımıyla belirlenen test büyüklüğü (T_g), F- tablo değeri (q_g) ile karşılaştırılarak modelin genişletilip genişletilmeyeceğine karar verilmiş ve Tablo 2.4.’ ün karar sütununda da gösterilmiştir. Bu sütunda görüldüğü gibi her ölçü periyot grupları için en uygun deformasyon modelinin “konum+ hız+ ivme” modeli olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 2.5. Kinematik Modelin (konum+ hız+ ivme) Kalman-Filtreleme Yöntemi ile Çözümünün İstatistik Test Sonuçları

Periyot	Lineer Model (Konum+ Hız)		Periyot	Karesel Model (Konum+ Hız+ İvme)		KARAR (En Uygun Model)
	Global Test	Geniş. Mod. Testi		Global Test	Geniş. Mod. Testi	
	s_0 m_0 T q_f	s_0 m_0 T_g q_g		s_0 m_0 T q_f	s_0 m_0 T_g q_g	
Kasım 2011 Şubat 2012	0.428	0.522	Kasım 2011 Şubat 2012 Mayıs 2012	0.522	1.310	KONUM+ HIZ+ İVME
	0.522	8.273		1.310	3.880	
	1.487	251.24		6.303	8.767	
	2.133	3.589		2.074	3.589	

RTK-GNSS tekniği ile bir noktada periyodik ölçüler (Kasım 2011, Şubat 2012, Mayıs 2012) yapıldı. Her periyot birbirinden bağımsız dengelendi. Statik ve kinematik analizler yapıldı. Kinematik modelin çözümünde Kalman-filtre tekniği kullanıldı. Bir noktaya ait deformasyon model sonuçları Tablo 2.5. de verilmiştir.

Tablo 2.6. Bir Noktanın Deformasyon Model Sonuçları

Nokta numarası: 1	Birim	Parametre	Statik		Kinematik	
			1.per-2.per	1.per-3.per	1. adım	2. adım
Konum	cm	x	2,6	3,4	2,90	3,73
		y	6,1	10,8	6,16	10,89
		z	0,1	-10,6	0,12	-9,86
Hız	cm/ay	V_x			0,94	1,22
		V_y			2,05	3,62
		V_z			0,03	-2,07
İvme	cm/ay ²	a_x				0,05
		a_y				0,26
		a_z				-0,23
En uygun model →			Konum		Konum+ Hız+ İvme	

Tablodan görüldüğü gibi statik model sadece konum parametrelerini belirleyebilmektedir. Kinematik model ise; konum, hız ve ivme parametrelerini belirleyebilmektedir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

TUSAGA-Aktif teknolojisi deformasyon izlemede kullanılabilir yeni ve hızlı bir yöntemdir. Veri toplama sıklığı istenirse günlük olabilmektedir. Kullanılacak verilerin doğruluğu deformasyon izleme için yeterlidir. Bu teknoloji gerektirdiği donanım ve personel sayısının düşüklüğü ile ayrı bir özgünlüğe sahiptir.

Bu çalışmada veriler TUSAGA-Aktif ile toplanmıştır. Veri toplama aralığı 3 aylık periyotlarda yapılmıştır. Toplanan veriler nokta koordinatlarıdır (X, Y, Z, m_x, m_y, m_z). Bu veriler EKK ile serbest dengelenmiş ve deformasyon analizi için gerekli periyodik dengeli koordinatlar ve onlara karşılık gelen varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler, statik deformasyon modeli ve kinematik tek nokta modelinin kalman-filtreleme yöntemi ile çözümünde kullanılmıştır. Çözüm sonucunda noktaların yer değiştirmeleri, yer değiştirme hızları ve noktalarda anlamlı değişimler olup olmadığı hakkında bilgi veren ivmeleri belirlenmiştir.

Bu çalışmadaki periyodik toplanmış TUSAGA-Aktif verileri ile deformasyon izleme çalışmalarına ulusal ve uluslararası literatürde rastlanmamıştır. Bu tür verilerle uluslararası literatürde genelde sürekli izlemelerde yararlanılmıştır. Sürekli veri toplama işi maliyetlidir. Kullanılan donanım ve bakım maliyeti çok fazladır. Bu uygulamada istenilen her hangi bir zamanda nokta sayısı kısıtlaması olmaksızın en kısa sürede veriler toplanabilmektedir.

Bu teknoloji mevcut donanımları kullandırması, personel ihtiyacını minimum tutmasıyla ve sağladığı doğruluk değeriyle deformasyon izlemede idealdir. Bu tür bir çalışmanın benzerini DSİ Kurumu baraj izleme çalışmalarında kullanmaktadır. Ancak sonuçta sadece koordinat karşılaştırması yapmaktadır. Bu bir analiz değildir. Verilerin dengelenmesi ve deformasyon analizi bu kurum tarafından yapılmamaktadır. Bu çalışma ile DSİ nin kaya ve toprak dolgu barajlarını kontrol etmesine yardımcı olacaktır.

Deformasyon izleme çalışmaları RTK-GNSS teknolojisi ile de yapılabilmektedir. Her iyi yöntemde de ölçmelerin yapılabilmesi için bir kişilik personel yeterlidir. Ancak RTK ölçüleri için 2 GPS alıcısı, TUSAGA-Aktif ölçüleri için 1 GPS alıcısı yeterlidir. TUSAGA-Aktif yönteminin uygulamadaki kolaylığı (tek kişi ve tek alet, istenilen zamanda ölçüm, kısa zamanda sınırsız nokta ölçümü, vb) Devlet Su İşleri, Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü, vb kamu kurumlarının baraj, heyelan izleme, vb çalışmalarında üstün

kolaylıklar sağlamaktadır. Deformasyon izlemede TUSAGA-Aktif verileri yeterli doğruluğu sağlamaktadır. Yöntem ölçü zamanını çok fazla kısaltmaktadır ve ölçü toplama sıklığını arttırmayı teşvik etmektedir. Yöntemde veri toplama zamanının kısa olması arazide gerekli nokta sayısını kısıtlamamaktadır ve nokta sayısını arttırmayı teşvik etmektedir. Bu nedenle GNSS teknolojisi mühendislik yapıların dinamik değerlendirmesi, toprak hareketlerinin izlenmesi ve deformasyonların belirlenmesi için gelecek vadeden yeni bir teknoloji olarak gözükmektedir

TUSAGA-Aktif teknolojisi ile deformasyon izleme özellikle heyelanlarla ilgili olan Çevre ve Şehircilik İl müdürlüklerini ilgilendirmektedir. Çevre ve Şehircilik İl müdürlükleri heyelan kayıtlarını tutar ve gerekli gördüğü durumlarda bölgeyi afet bölgesi ilan ederler. Ancak arazide yaptıkları çalışmalar sadece gözlemlere dayalıdır ve verilen kararlar genelde gözlemlere dayanır. İlgili alanda heyelanı izlemeyi pek düşünmezler. TUSAGA-Aktif ile heyelan izleme bu bağlamda Çevre ve Şehircilik İl müdürlüklerine karar vermede daha doğru bilgiler sağlayacaktır.

Bu yöntem bir diğer kurum olan DSİ il müdürlüklerine de katkı sağlamaya yöneliktir. DSİ yeni yaptığı kaya veya toprak dolgu barajları genelde periyodik olarak yapılmış RTK ölçüleri ile izlemektedir. Bu tür barajlar projelendirilirken yüksekliğinin 100 de 1 i ya da 100 de ikisi kadar çökmeleri beklenir. Bu nedenle DSİ yetkilileri bu tür barajları RTK ile izlemekle yetinirler. Ancak sadece koordinat farklarını karşılaştırarak deformasyon var olup olmadığına karar vermektedirler. Yapılan bu işlem normalde deformasyon analizi değildir. TUSAGA-Aktif teknolojisi ile deformasyon izleme, DSİ' nin daha doğru işlemler yapmasına katkı sağlayacaktır.

Bu yöntemin şu aşamada başka bir örneği yoktur. Proje sonuçları bilimsel çalışmalara farklı bir yön verecektir. Proje sonuçlarından ve üretilecek deformasyon analiz yönteminden lokal heyelan çalışan veya ± 2 cm doğruluğun yeterli olduğu çalışmaları yapan herkes faydalanabilecektir. Bu teknoloji ekonomiye bir yük getirmeyecektir. Aksine kurumlardaki mevcut donanımların verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

4. KAYNAKLAR

- Avcı, Ö., 2007, The Design and Use of Continuous Gns Reference Networks, Yüksek Mühendislik Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akib, W. A. A. W., Shu, K. K. ve Bayrak, T., 2005. Tall Structures Deformation Monitoring Using RTK-GPS (Case study: Menara Sarawak Enterprise, Johore), International Symposium & Exhibition on Geoinformation 2005 Geospatial Solutions for Managing the Borderless World,
- Acar, M., 2009. Heyelanların İzlenmesinde Esnek Hesaplama Yöntemleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 162s
- Aktuğ, B., Sezer, S., Özdemir, S., Lenk, O. ve Kılıçoğlu, A., 2011. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı Güncel Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması(Computation of the Actual Coordinates and Velocities of Turkish National Fundamental GPS Network), harita dergisi, 145, 2011, 1-14
- Avcı, Ö., 2011. Sabit GNSS İstasyonları Ağlarının Deformasyon Analizinde Kullanımı Köprü Sağlığı İzlemede Sistemi Örnekleri, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul
- Almagbile, A., Wang, J. ve Ding, W., 2010. Evaluating the Performances of Adaptive Kalman Filter Methods in GPS/INS Integration, Journal of Global Positioning Systems, 9, 33-44.
- Bütün, Ö.F. ve Baybura, T., 2010. Tusaga Aktif(CORS-TR) İstasyonlarından Elde Edilen Nokta Koordinat Doğruluğunun İncelenmesi, 5. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Zonguldak, 83-95.
- 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. 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.
- Barnes, J., Rizos, C., Wang, J., Meng, X., Cosser, E., Dodson, A.H. and Roberts, G.W., 2003. The Monitoring of Bridge Movements Using GPS and Pseudolites, 11 th FIG Symposium on Deformation Measurement, Greece,
- Bahşi, M.N., 2010. İnternet ve GSM Teknolojileri Kullanılarak Tek Sabit Referans İstasyonlu RTK GPS Tekniğinin Açık Alanlarda Uygulanabilirliğinin İncelenmesi,

Yüksek Mühendislik Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 75.

- Bakıcı, S., Yıldırım, Ö ve Salgın, Ö., 2011. CORS-TR in Turkey, FIG Working Week, Morocco, s.1-9
- 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., 2006. Yamula Barajında Deformasyon Analizi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, 1-12.
- 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.
- 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., 2003. A Kinematic Program For Deformation Monitoring, 11 th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece.
- Baysal, V.E., 2008. Jeodezik Uygulamalarda Tek Frekanslı GPS Alıcılarının Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Mühendislik Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chen, Y., Ding, X., Huang, D. and Zhu, J., 2000. A multi-antenna GPS system for local area deformation monitoring, Earth Planet Space, China, 52, 873-876.
- Cruddace, P., Wilson, I., Greaves, M., Euler, H-J., Keenan, R. and Wuebbena, G., 2002. The Long Road to Establishing A National Network RTK Solution, FIG XXII International Congress, Washington, USA, 1-13.
- 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.
- Chui CK., Chen G., 1998. Kalman Filtering With Real-Time Applications, Springer: Third Edition.

- Doğanalp, S. ve Turgut, B., 2009. Statik ve Kinematik Modelde Deformasyon Analizi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Konya, 24, 31-44.
- Deniz, R., Çelik, R.N., Kutoğlu, H., Özlüdemir, M.F., Demir, C. ve Kınık, İ., 2011. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.
- Delaney, D. and Ward, T., 2004. A Java Tool for Exploring State Estimation using the Kalman Filter, In: ISSC 2004, Belfast.
- 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., 2005. Kinematik Modelde Kalman Filtreleme Yöntemi ile Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğan, U., 2002. 17 Ağustos 1999 İzmit Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğan, U., 2002. 17 Ağustos 1999 İzmit Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- El-Mowafy, A., 2004. Surveying with GPS for Construction Works Using the National RTK Reference Network and Precise Geoid Models, 1 st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering Nottingham, United Kingdom, 1-14
- Erdal, B., 2009. RTK GPS Yönteminin Konumlama Hassasiyeti ve RTK GPS' e Etki Eden Hata Faktörleri, Yüksek Mühendislik Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 70.
- Erol, B., 2011. Büyük Ölçekli Harita Üretim Yönetmeliği esaslarına göre Yükseklik Belirleme Uygulamaları ve Sorunları, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- El-Rabbany, A., 2002. Introduction to GPS, Boston, MA 02062.
- Gülal E., 1999. Kalman Filtreleme Tekniğinin Deformasyon Analizine Uygulanması, YTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü Araştırma Makalesi, İstanbul, 11-19.

- Güllal, E., Aykut, N.O., Akpınar, B. ve Uygur, S.Ö., 2011. GNSS Antenlerinin Faz Merkezi ve Değişiminin Araştırılması, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi.
- Grewal, M.S., Weill, L.R. ve Andrews, A.P., Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration, New York.
- Görmüş, K.S. ve Mekik, Ç., 2010. Kinematik GPS ile Köprü Salınımlarının Belirlenmesi, 5. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Zonguldak, 525-535.
- Gökalp, E. ve Güngör, O., 2001. RTK (Real Time Kinematic) GPS' in İmar Uygulamalarında Kullanılması, Harita Kadastro Mühendisliği Dergisi, 87, 38-47.
- He, X., Yang, G., Ding, X. and Chen, Y., 2004. Application and Evaluation of a GPS Multi-Antenna System for Dam Deformation Monitoring, Earth Planet Space, China, 56, 1035-1039
- Hudnut, K.W. and Behr, J.A., 1998. Continuous GPS Monitoring of Structural Deformation at Pacoima Dam, California, Seismological Research Letters, America, 4, 299-308.
- İnce, C.D. ve Şahin, M., 2000. Real-time Deformation Monitoring with GPS and Kalman Filter, Earth Planets Space, İstanbul, Türkiye, 837-840.
- İnce, CD., Şahin M., 2000. Real – Time Deformation Monitoring with GPS and Kalman Filter, Earth Planets Space; 52, 837–840.
- İlgar, A., 2011. Marmara Bölgesi'nde Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Bağlı Gravite ve GPS Ölçüleri ile Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jing-xiang, G. ve Hong, H., 2009. Advanced GNSS Technology of Mining Deformation Monitoring, Procedia Earth and Planetary Science, China, 1081-1088.
- Kalaycı, İ., Ceylan, A. ve Çorumluoğlu, Ö., 2003, GPS Serbest İstasyon Tekniği (GPSSİT) ile Detay Alım Yöntemleri ve Uygulama Sonuçları, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştay, Konya
- Kalman, RE., 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Journal of Basic Engineering; Vol. 82D: 35–45.
- Kalman, RE., Bucy RS., 1961. New Results in Linear Filtering and Prediction Theory, Journal of Basic Engineering, 83, 95–108.
- Koch, K.R., 1999. Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models, Springer- Verlag, Berlin.

- Kılıçoğlu, A., 2011. GNSS ile Ölçme Tekniğinin Kadastro ve İmar Çalışmalarında Kullanılması, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- Kalkan, Y. ve Alkan R.M., 2005. Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 64-74.
- Kalkan, Y., 2009. Atatürk Barajında Deformasyon İzleme Çalışmaları ve Düşey Deformasyonlar, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Kıranlıoğlu, Y., 2006. GPS Yöntemi ile Deformasyonların Tespitinde Gerinimlerin Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Gebze İleri Teknoloji Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Kaplan, E.D. and Hegarty, C.J., 2005. Understanding Gps: Principles And Applications, Boston/London.
- 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., 2010. GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 102, 3-9.
- Kahveci, M., 2009. Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS(CORS) Ağları ve Düşündürdükleri, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 100, 13-20.
- Kechine, M.O., Tiberius, C.C.J.M. and van der Marel, H., 2003. Network Differential GPS: Kinematic Positioning with NASA's Internet-based Global Differential GPS, Journal of Global Positioning Systems, 139-143.
- Karagöz, H., 2011. Sabit GNSS Teknolojilerindeki Son Gelişmeler, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- Lepadatu, A., 2011. GNSS Technology For Structural Health Monitoring, Aralık.
- Li, X., 2004. The Advantage of an Integrated RTK-GPS System in Monitoring Structural Deformation, Journal of Global Positioning Systems, 191-199.
- Li, W. ve Wang, C., 2011. GPS in the Tailings Dam Deformation Monitoring, Procedia Engineering, 26, 1648-1657.
- 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., Görmüş, K.S. ve Kutoğlu, H., 2005. Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) GPS ile Köprü Salınım ve Titreşimlerin Belirlenmesi, İTÜ-İstanbul, 161-176
- Meng, X., 2002. Real-Time Deformation Monitoring of Bridge Using GPS/Accelerometers, Doktora Tezi, The University of Nottingham, Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy, Nottingham.
- Mekik, Ç., 2004. Gerçek Zamanlı Kinematik Gps Ağı (Network-RTK) İle Konumlama, TUJK 2004 Çalıştayı, Zonguldak, 203-208.
- Nickitopoulou, A., Protopsalti, K., Kontogianni, V., Triantafillidis, P. and Stiros, S., 2003. Experimental Assessment of the Accuracy of RTK-GPS for Monitoring Movements/ Oscillations of Flexible Engineering Structures, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Greece.
- Özdemir, S., Cingöz, A., Aktuğ, B., Kurt, M., Erkan, Y. ve Peker, S., 2011. Türkiye'de Sabit GNSS İstasyonlarının CBS Uygulamaları için Anlamı ve Güncel Analizleri, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Antalya.
- Özdemir, S., Aktuğ, B., Kurt, M., Lenk, O., Erkan, Y. ve Peker, S., 2011. Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) ve Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif), Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
- 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.
- Pehlivan, H., Aydın, Ö. ve Poyraz, F., 2009. RTK GPS ve Yardımcı Sensör Ölçmeleri ile Yüksek Yapı Davranışlarının Analizi, 12. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Pehlivan, H., 2009. Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Yöntemiyle Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 180.
- Pırtı, A., 2005. Yol Aplikasyonunda RTK GPS Tekniğinin Kullanılması ve Doğruluk Yönünden İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 116.
- Pelzer H., 1986. Application of Kalman- and Wiener-Filtering on the Determination of Vertical Movements, The Symposium on Height Determination

- on Recent Vertical Crustal Movements in Western Europa, Hannover, Determination of Heights and Height Changes; 539–555.
- Rutledge, D., Gnipp, Jack. ve Kramer, J., 2001. Advances in REAL-TIME GPS Deformation Monitoring For Landslide, Volcanoes and Structures, The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, California, USA, 110-120.
 - Rizos, C., Cranenbroeck, J. ve Lu, V., 2010. Advances in GNSS-RTK for Structural Deformation Monitoring in Regions of High Ionospheric Activity, FIG Congress Sydney, Australia, 1-13.
 - Rizos, C., Cranenbroeck, J. ve Lu, V., 2010. Advances in GNSS-RTK for Structural Deformation Monitoring in Regions of High Ionospheric Activity, FIG Congress, Australia, 13.
 - Rawat, M.S., Joshi, V., Rawat, B.S. ve Kumar, K., 2011. Landslide Movement Monitoring Using GPS Technology: A Case Study of Bakthang Landslide, Gangtok, East Sikkim, India, Journal of Development and Agricultural Economics Vol, India, 194-200.
 - Satır, B., 2007. Tünel Deformasyonlarının Jeodezik, Geoteknik ve Sonlu Eleman Yöntemleri ile Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
 - Shahar L. ve Even-Tzur G., 2009. Dynamic Analysis of Crustal Movements along the Dead-Sea Rift. Observing our Changing Earth edited by Michael G. Sideris, International Association of Geodesy Symposia, Springer, 133:581-591.
 - Şanlıoğlu, İ. ve Maraş, S.S., 2011. Web-Tabanlı GNSS Veri İşleme Uygulamaları, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.
 - Tanır, E., 2000. Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Mühendislik Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
 - Telli, A.K., Pırtı, A. ve Hoşbaş, R.G., 2009. Yeni Nesil Ölçme Sistemi ve Evrik GNSS, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 101, 28-30.
 - Tiryakioğlu, İ., Dereli, M.A., Erdoğan, S. ve Gülal, E., 2010. Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 32-38.
 - Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü Harita Dairesi Başkanlığı, 2011. TUSAGA-Aktif Projesi, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2011 Yılı Bilimsel Toplantısı, İstanbul.

- Tiryakioğlu, İ., 2010. Tusaga Aktif, Cors-TR(Continuously Operating Reference Stations) Sistemi ve IGS Ürünlerinin Kullanımı, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Uluişik, 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.
- Ulukavak, M., Yalçinkaya, M. ve Tanır, E., 2011. Tusaga-Aktif (CORS-TR) Ağ Noktalarının Tektonik Araştırmalarda Kullanılması Üzerine Bir Çalışma: Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Varner, C.C., 2000. DGPS Carrier Phase Networks and Partial Derivative Algorithms, Dissertation, The University of Calgary, Department of Geomatics Engineering, Canada.
- Yıldırım, Ö., 2011. Bakıcı, S. ve Mekik, Ç., Tusaga-Aktif Sisteminin Tapu ve Kadastro Genel müdürlüğüne Katkıları, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Yıldırım, Ö., Bakıcı, S., Cingöz, A., Erkan, Y., Gülal, E. ve Dindar, A.A., 2007. Tusaga-Aktif (CORS-TR) Projesi ve Ülkemize Katkıları, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Trabzon.
- Yiğit, C.Ö., 2003. Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Mühendislik Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 148.
- Yetkin, M. ve İnal, C., 2010. GNSS Taşıyıcı Faz Ölçmelerinde Belirsizlik Çözümü için LAMBDA Yöntemi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 103, 15-24.
- Yıldırım, Ö., Salgın, Ö. ve Bakıcı, S., 2011. The Turkish CORS Network (TUSGA-Aktif), FIG Working Week, Marrakech, Morocco.
- Yeşil, A., Zengin, H., Özkan, U.Y. ve Sağlam, S., 2010. GIS, GPS and Remote Sensing Applications in Forest Management Planning of the Urban Forests of İstanbul Municipality, International Journal of Arts and Sciences, 9, 227-239.
- Yıldız, H., 2012. Yükseklik Modernizasyonu Yaklaşımı: Türkiye İçin Bir İnceleme (Height Modernization Approach: An Evaluation For Turkey), Harita Dergisi, 147, 1-12.

- 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.
- Yalçınkaya M., 2001. Üç Boyutlu Ağlarda Kalman Filtreleme Tekniğinin Uygulanması MATLAB ve FORTRAN Programlama Dilleriyle Çözümü, KTÜ Araştırma Raporları; Trabzon.
- Yalçınkaya (Ünver), 1994. Düşey Yöndeki Yer kabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yalçınkaya, M. ve Bayrak, T., 2003. A Dynamic Analysis Method Regarding Groundwater Level Changes as Causative Force for Landslides, 11th FIG Symposium on deformation Measurements, Santorini, Greece.
- Welsch, W.M. ve Heunecke, O., 2001. Models and Terminology for the Analysis of Geodetic Monitoring Observations, Official Report of the Ad- Hoc Committee of FIG Working Group 6.1, FIG Publications.
- Wang, L., Zhang Q., Ding X., Dai W., Yang W., Zhang, X., 2009. GPS Multi-antenna Monitoring System Based on Wireless Communication Network and Its Application, Journal of Earth Sciences and Environment, 3, Springer.
- Zhang, K., Hu, Y., Liu, G., Wu, F. ve Deakin, R., 2005. Deformation Monitoring and Analysis Using Victorian Regional CORS Data, Journal of Global Positioning Systems, 129-138.
- URL-1, [www.koeri.boun.edu.tr/jeodezi/dosyalar/files/GPS_BUKRDAE_GED](http://www.koeri.boun.edu.tr/jeodezi/dosyalar/files/GPS_BUKRDAE_GED.pdf), pdf. 12 Aralık 2011
- URL-2, www.scribd.com/doc/34871876/GPS-KULLANIM-ALANLARI. 15 Aralık 2011
- URL-3, www.maineboundary.com/About/Equipment.php. 25 Aralık 2011
- URL-4, www.paksoytekni.com.tr. 15 Mart 2012
- URL-5, www.leica.com.tr. 16 Mart 2012
- URL-6, www.sistemas.com.tr. 16 Mart 2012
- URL-7, www.graftek.com.tr/monitoring.htm. 12 Nisan 2012
- URL-8, <http://smartnet.leica-geosystems.eu/spiderweb/2fNetworkRTK.html>. 3 Ocak 2012

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Trabzon' un Yomra ilçesinde doğdu. İlkokulu Aydınlikevler İlköğretim Okulu' nda, ortaokul öğrenimini Cudibey İlköğretim Okulu' nda ve lise öğrenimini de Trabzon Lisesi' nde tamamladı. 2005 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü' nü 2009 yılında başarı ile bitirdi. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Bölümünde Yüksek lisans öğrenimine başladı. Bir yıl İngilizce öğrenimi gördü. Kamu Ölçmeleri Anabilim dalında 1 yıl ders aşamasından sonra Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Ölçme Tekniği Anabilim dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. Bu ünivesitede Ölçme Tekniği Anabilim dalında yüksek lisans tezini devam ettirmektedir. Halen sözü edilen bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.