

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK BİNA HAREKETİNİN GPS İLE İZLENMESİ

Müh. Pınar ULUIŞIK

**F.B.E. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Halil ERKAYA

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. DEFORMASYONUN TANIMI VE KONUSU	3
2.1 Deformasyonun Sınıflandırılması	5
2.2 Mühendislik Yapılarının Kontrolü	5
2.3 Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları	7
2.4 Deformasyon Modelleri	8
2.4.1 Statik Model	8
2.4.2 Kinematik Model	8
2.4.3 Dinamik Model	8
2.5 Yapılardaki Deformasyonun Tanımlanması	9
2.5.1 Geometrik Tanımlama	9
2.5.2 Zamansal Tanımlama	9
2.6 Yapılarda Meydana Gelen Deformasyonun Nedenleri	10
3. BİR YAPININ PROJELENDİRİLMESİNDE DİKKATE ALINAN ÖLÇÜTLER	12
3.1 Sabit Yük (Zati Ağırlık)	12
3.2 Yapı Malzemelerinin Yapı Ömrü Üzerindeki Etkileri	12
3.3 Hareketli Yük	13
3.4 Zemin Özelliklerinin Yapı Üzerindeki Etkileri	14
3.5 Rüzgar Yüğü	15
3.6 Rüzgar Basıncı	15
3.7 Deprem Yüğü	16
3.8 Sıcaklık Değişiminin Yüksek Yapı Üzerindeki Etkisi	17
4. DEFORMASYON ÖLÇMELERİNDE KULLANILAN ALETLER VE ÖLÇME YÖNTEMLERİ	20
4.1 Ölçme Yönteminin Belirlenmesinde Dikkat Edilecek Esaslar	20
4.2 Deformasyon Ölçmelerinde Kullanılan Yöntemler	21
4.3 Uydu Tekniğı Olarak Gps	22
4.3.1 İzleme Sistemi Olarak Gps'nin Tercih Edilme Nedenleri	23
4.3.2 Gps Ölçme Büyüklükleri	24
4.3.2.1 Kod Ölçmeleri	25
4.3.2.2 Taşıyıcı Faz Ölçmeleri	26
4.3.3 Gps İle Konum Belirleme Yöntemleri	27
4.3.3.1 Mutlak Konum Belirleme	28

4.3.3.2	Bağıl (Rölatif) Konum Belirleme	29
4.3.3.2.1	Statik Ölçme Yöntemi	31
4.3.3.2.2	Hızlı Statik Ölçme Yöntemi	31
4.3.3.2.3	Tekrarlı Ölçme Yöntemi.....	32
4.3.3.2.4	Dur-Git Ölçme Yöntemi.....	33
4.3.3.2.5	Kinematik Ölçme Yöntemi.....	345
4.3.3.2.6	Diferansiyel GPS (DGPS)	35
4.3.3.2.7	RTK (Real-Time Kinematic, Gerçek-Zamanlı Kinematik) GPS	36
4.3.4	Statik Ölçme Yöntemi İle Kinematik Ölçme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	38
4.3.5	Gps Ölçüm ve Hesaplarını Etkileyen Hata Kaynakları ve Giderilme Yöntemleri...	39
4.3.5.1	Uydu Hataları	39
4.3.5.1.1	Uydu Yörünge (Efemeris) Sapmaları	39
4.3.5.1.2	Saat Hataları	40
4.3.5.1.3	Uydu Geometrisinden Kaynaklanan Hatalar	41
4.3.5.2	Sinyal Yayılma Hataları	42
4.3.5.2.1	İyonosfer Etkisi	42
4.3.5.2.2	Troposferik Gecikme	43
4.3.5.2.3	Multipath (Sinyal Yansıması, Çok Yolluluk).....	44
4.3.5.2.4	Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği ve Faz Kesiklikleri.....	44
4.3.5.3	Alıcı Hataları	45
4.3.5.3.1	Anten Faz Merkezi Kayıklığı	45
5.	ZAMAN SERİSİ	47
5.1	Stokastik Bileşen (Düzensiz-Rassal Zaman Serisi Kalıpları).....	49
5.2	Trend Bileşeni	49
5.3	Periyodik Bileşen.....	49
5.3.1	Hızlı Fourier Dönüşümü Algoritması (FFT Algoritması)	50
6.	UYGULAMA	52
6.1	Noktaların Tesis Edilmesi	52
6.2	GPS Ölçümleri Değerlendirme ve Analiz Sonuçları	55
7.	SONUÇ VE YORUMLAR	65
	KAYNAKLAR.....	67
	ÖZGEÇMİŞ.....	70

SİMGE LİSTESİ

A_j, B_j	Periyodik hareketin katsayıları
A_{ij}, B_{ij}	Y_i fonksiyonu periyodik hareket katsayıları
b	Baz uzunluğu
c	Işık hızı
C	Yüzeyin normaliyle rüzgarın yaptığı açıya bağlı katsayı
C_t	Taşıyıcı sistemle ilgili katsayı
$^{\circ}C$	Santigrat derece
D	Deprem analizi doğrultusundaki yapı derinliği
D	Kaba kenar (pseudorange)
db	Baz uzunluğu hatası
dtr	Alıcı saat hatası
dts	Uydu saat hatası
e	mbar olarak su buharının kısmi basıncı
E	Öz-gerilme katsayısı
f	Sinyalin frekansı
h	Ortometrik yükseklik
H	Elipsoidal yükseklik
H	Yapının yüksekliği
H_N	Yapı yüksekliği
i	1, 2, ..., n
j	1, 2, ..., m (periyot sayısı)
K	Yapı tipi kat sayısı
n	Ölçü Sayısı
N	Kat adedi
N	Geoit yüksekliği
N_A^j	Faz başlangıç bilinmeyen
P	mbar olarak atmosfer basıncı
P	Rüzgar basıncı
P_i	Bir noktanın konumu
R	Koordinatların fonksiyonu olarak uydu ile alıcı arasındaki mesafe
R	Yapı davranış katsayısı
R_j	Periyodik hareketin genliği
S_n^2	Örneklem varyansı
St	Periyodik Bileşen
t	Zaman
T	Yapı titreşim periyodu
T	Kelvin olarak sıcaklık
T_B	Yük
T_{1A}	Doğal titreşim periyodu
Tt	Trend Bileşeni
u	Hata
V	Rüzgar hızı
$\bar{Y}$	Ortalama Değer
Y_t	Zaman serisi
Z	Uydunun zenit açısı

Z_t	Stokastik Bileşen
α	Yapı yüksekliği
$\bar{X}$	Örneklem ortalaması
X_B, Y_B, Z_B	Referans noktasının bilinen koordinatları
$X_{GPS}, Y_{GPS}, Z_{GPS}$	Referans noktasının GPS kod ölçüsünden hesaplanan koordinatları
X, Y, Z	Gezici alıcı için hesaplanan koordinatlar
$X'_{GPS}, Y'_{GPS}, Z'_{GPS}$	Gezici alıcının GPS kod ölçüsünden hesaplanan koordinatları
$X_1, \dots, X_n$	İstatistiksel olarak birbirlerinden bağımsız rastsal değişkenler
σ	Öz-gerilme
q	Rüzgar basıncının yapı üzerindeki dinamik etkisi
τ_{Trop}	Troposfer zaman gecikmesi
$(X, Y, Z)_s$	Uydu kartezyen koordinatları
$(X, Y, Z)_r$	Alıcı kartezyen koordinatları
Δl	Isı farkının yol açtığı uzama
Δt	Isı farkı
ΔT	Sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen zaman
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Koordinatlara getirilen düzeltme değerleri
ρ_A^j	A noktasından J uydusuna olan geometrik doğrultu
Φ_A	Alıcı saat hatası
Φ_A^j	A noktasından J uydusuna t zamanında yapılan faz ölçümü
Φ^j	Uydu saat hatası

KISALTMA LİSTESİ

DIN	Alman Normları Enstitüsü
DGPS	Diferansiyel Global Positioning System
DOP	Dilution of Precision
ED-50	European datum 1950
FFT	Fast Fourier Transformation
GIS	Geographical information systems
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
ISTA	İstanbul IGS İstasyon Noktası
LIS	Land information systems
LADGPS	Local area differential Global Positioning System
PDOP	Position Dilution of Precision
ppm	Parts per million
PPS	Hassas Konum Belirleme
PRN	Pseudo Random Noise
RTK-GPS	Real Time Kinematik Global Positioning System
SA	Seçimli Doğruluk Erişimi
SPS	Standart Konum Belirleme
TDOP	Time Dilution of Precision
TEC	Toplam Elektron Yoğunluğu
UBC	Amerikan Deprem Şartnamesi
VDOP	Vertical Dilution of Precision
WADGPS	Word area differential Global Positioning System
WGS-84	World Geodetic System 1984

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil.2.1 Kule şeklindeki bir objedeki kayma, eğilme ve bükülme hareketleri	15
Şekil 2.2 Baraj kazası	17
Şekil 2.3 Yapının durumu ve çalışma emniyeti (E. Gülal).....	17
Şekil 2.4 Hareket akışının yorumlanması.....	20
Şekil 3.1 Yapı ömrü boyunca yapıya etkiyen TB hareketli yükler ve TB sabit yükler.....	24
Şekil 4.1 Elipsoit ve ortometrik yükseklik ilişkisi.....	35
Şekil 4.2 Uydu ve alıcı kodlarının karşılaştırılması	36
Şekil 4.3 Uydu-alıcı sinyal faz farkı	37
Şekil.4.4 Mutlak konum belirleme	39
Şekil 4.5 Bağıl konum belirleme	40
Şekil 4.6 Statik ölçü yöntemi.....	42
Şekil 4.7 Hızlı statik ölçme yöntemi	43
Şekil 4.8 Travers ve merkezsiz baz yöntemleri	44
Şekil 4.9 Dur-Git ölçme yöntemi	44
Şekil 4.10 Kinematik ölçme yöntemi	45
Şekil 4.11 Diferansiyel GPS	46
Şekil 4.12 GPS ve ivmeölçer verilerinden elde edilen çapraz-spektrum, uyuşum ve yatay faz açısı.....	48
Şekil 4.13 Tekli, ikili ve üçlü fark alma teknikleri.....	52
Şekil 4.14 Kötü-İyi uydu geometrisi	53
Şekil 6.1 Model olarak alınan yapı merkezine ait bina ve çevresi	63
Şekil 6.2 Gözlem ağı	64
Şekil 6.3 Binanın üstünde nokta tesisi ve GPS nin kurulması.....	65
Şekil 6.4 Fransız Lape Hastanesindeki 3 nolu nokta.....	65
Şekil 6.5 GPS gözlemleri (ham veriler) zaman grafiği	67
Şekil 6.6 3 nolu noktanın eksenler doğrultusundaki değişimlerine ait zaman serileri	68
Şekil 6.7 Yumuşatılmış (smoothing) GPS gözlemleri – zaman grafiği	70
Şekil 6.8 Ham veriler ile filtrelenmiş veriler arasındaki fark	71
Şekil 6.9 FFT ile elde edilen frekans.....	72

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Deformasyon çeşitleri	14
Çizelge 2.2 Deformasyonun sınıflandırılması	16
Çizelge 2.3 Değerlendirme modelleri (Gülal, 2004)	19
Çizelge 3.1 Yüksekliği (H) metre olan bir yapı üzerindeki rüzgar etkisinin (q'nun) değişik seviyelerdeki değerleri.....	26
Çizelge 4.1 Ölçü yönteminin belirlenmesinde önemli olan etkenler (Erdoğan, 1998)	31
Çizelge 4.2 Deformasyon ölçmelerinde jeodezik yöntemler (Erkaya, 1987).....	32
Çizelge 4.3 Uydu sayısı ve ölçü süresi ilişkisi	43
Çizelge 4.4 Statik ölçme yöntemi ile kinematik ölçme yöntemlerinin karşılaştırılması	50
Çizelge 6.1 Alçak frekans-genlik değerleri	73

ÖNSÖZ

Son zamanlarda yurt dışında çok fazla ilgilenilen ülkemizde ise üzerinde fazla çalışılmamış olan Yüksek Bina Hareketinin GPS ile izlenmesi konusunda tez yöneticiliğini üstlenerek yüksek lisans tez çalışmamın konusunu şekillendiren her türlü yardımı benden esirgemeyen, konuyla ilgili bilgisi ve önerileriyle beni aydınlatan hocam Sayın Doç.Dr.Halil ERKAYA'ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Konu ile ilgili bilgi, deneyim ve kaynaklarını benimle paylaşan tezimin başından sonuna kadar her safhasında benden yardımlarını esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmalarına devam eden Sayın Arş.Gör. Hediye ERDOĞAN, Arş.Gör.N.Onur AYKUT, Arş.Gör.Taylan ÖCALAN, Arş.Gör.Burak AKPINAR Arş.Gör. Fatih POYRAZ'a içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışmalarımız için Şişli Plaza şantiyesinin kapılarını bize açarak, bilimsel çalışmalara destek verdikleri için Yapı Merkezi Holding başkanı İnş.Yük.Müh.Başar ARIOĞLU ile Şişli Plaza Proje Müdürü Aygören GÜNALP nezdinde ölçmeler sırasında bizlere destek olan Yapı Merkezi'nin tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimi almaya beni teşvik eden aileme ve çalışmalarımda yanımda olarak bana her türlü desteği veren sevdiklerime sonsuz teşekkürler.

İstanbul, 2006

Müh. Pınar ULUIŞIK

ÖZET

Büyük emek ve maliyet gerektiren, yüksek ve büyük mühendislik yapılarının projelendirilmesi ve projenin uygulanması kadar önemli olan bir konu da bu yapıların işletme evresindeki kontrolünün sağlanmasıdır. Bu tür yapılar sürekli dış ve iç kuvvetlerin etkisi altında farklı davranışlar gösterirler. Bu nedenle, yapının davranışının projede öngörülen verilerle ne kadar uyumlu olduğunun denetlenmesi ve yapı güvenilirliği için, yapının kontrolü ve dinamik hareketinin izlenmesi gerekir.

Gelecekteki büyük felaketler düşünüldüğünde, pratik olarak, hassas ve güvenilir aletler kullanılarak yüksek binaların açısal hareketlerinin, yer değiştirme miktarlarının ve titreşimlerinin analiz edilmesi, binanın gerçek durumunun ve performansının ortaya çıkarılması büyük faydalar sağlar.

İstanbul'un yüksek yapılarından biri olan ve Şişli'de bulunan Yapı Merkezi'ne ait 42 katlı Şişli Plaza'da, yapı hareketlerinin izlenmesine dair bir uygulama yapılmıştır. Bu çalışmada, GPS ölçmeleri, bu ölçülerin değerlendirilmesi ve modellenmesi ile ulaşılan sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek bina, bina salınımı, GPS, zaman serisi, trend bileşeni, periyodik bileşen, FFT.

ABSTRACT

Controlling in operating process is important as much as designing and applying of high and large engineering structures which needs extra cost and labour. These structures shows different behaviours when they exposed to internal and external loads. Because of this for inspection and structure reliability it must be observed and controlled the dynamic behaviour of structure that it is harmonious with project datas.

When considering the big disasters in the future, using the reliable tools, it can be analysed that circular and vibration behaviours and also revealed the real situation and performance of structure.

In addition to these studies, an application was realized for observing the structure behaviours in Şişli Plaza which has got 42 flats and is one of the highest building in Istanbul.

In this study, GPS Measurements, modeling, evaluation of this measurements and results are examined.

Keywords: High building, vibration of building, GPS, time series, trend component, periodical component, FFT.

1. GİRİŞ

Mühendislik Ölçmeleri içerisinde giderek önem kazanan konulardan bir tanesi de deformasyon ölçmeleridir. Deformasyon ölçmelerinde Jeodezik ve Jeodezik olmayan birçok yöntem kullanılarak belirlenen gerek köprü, baraj, tünel ve yüksek binalar gibi mühendislik yapılarındaki hareket, gerekse yer kabuğu hareketleri uzun yıllar boyunca mühendislerin üzerinde durduğu bir sorun olmuştur.

Yüksek binaların GPS ile izlenmesi konusunda yurt dışında yapılan çalışmalar incelenmiştir. 2000 yılında 280 m. yüksekliğinde 66 katlı Republic Plaza ‘nın (Singapur) hareketi RTK GPS yöntemiyle izlenmiştir. Rüzgar hızının 10 m/sn olduğu bir günde, 20 dakika boyunca ikisi bina çatısında, biri bina yakınında ve zeminde olmak üzere 3 noktada veri kaydedilmiştir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde yapının 3 eksen doğrultusundaki bağıl hareketi toplam 1.5-2 cm arasında değişmektedir. Hareketin genliği ise 4 mm civarındadır. Bir diğer çalışma ise Malezya’da 245 m yüksekliğinde 65 katlı Komtar Building üzerinde yapılmıştır. 2000 yılının Ekim ayı ve 2001 yılının Şubat ayında olmak üzere iki periyot şeklinde gözlem yapılmıştır. Farklı bir yöntem izlenerek bina yakınlarında 2 sabit nokta, 6 tane de bina üzerinde kontrol noktası seçilerek GPS ile statik ölçüm yapılmıştır. Birinci ve ikinci periyodik ölçme sonuçları karşılaştırıldığında bina üzerindeki noktaların ortalama hareketi yatayda 6 cm düşeyde ise 4 cm civarındadır.

Son zamanlarda özellikle büyük şehirlerde gökdelen dediğimiz yüksek binaların sayısının artması ve deprem ülkesi olmamız gerçeği bu tür mühendislik yapılarının dinamik deformasyon hareketlerinin izlenmesinin ve diğer ilgili disiplinlerle birlikte sonucun irdelenmesinin ne kadar faydalı olduğunu göstermektedir. Olabilecek büyük felaketler düşünüldüğünde yapılardaki bu deformasyon ve deplasmanların izlenmesinde direkt sonuca götürecek, hassas yöntemlere ve aletlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alanda ise GPS teknolojisi büyük olanaklar sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında deformasyonun tanımı ve konusu ile yapılarda deformasyona neden olan iç ve dış kuvvetler araştırılmıştır. Son yıllarda klasik jeodezik aletler ve jeodezik olmayan aletler (ivmeölçer gibi) yerine kullanılan GPS’nin yüksek yapılardaki hareketin izlenmesi konusundaki yeterliliği sorgulanmıştır. Bu amaçla Yapı Merkezi tarafından inşa edilen Şişli Plaza’daki 42 katlı B blok model olarak seçilmiştir. İkisi bina üzerinde, biri ISTA olmak üzere 5 noktalı bir ağ oluşturulmuş ve bu noktalardaki GPS ölçmeleri zaman serisine açılarak

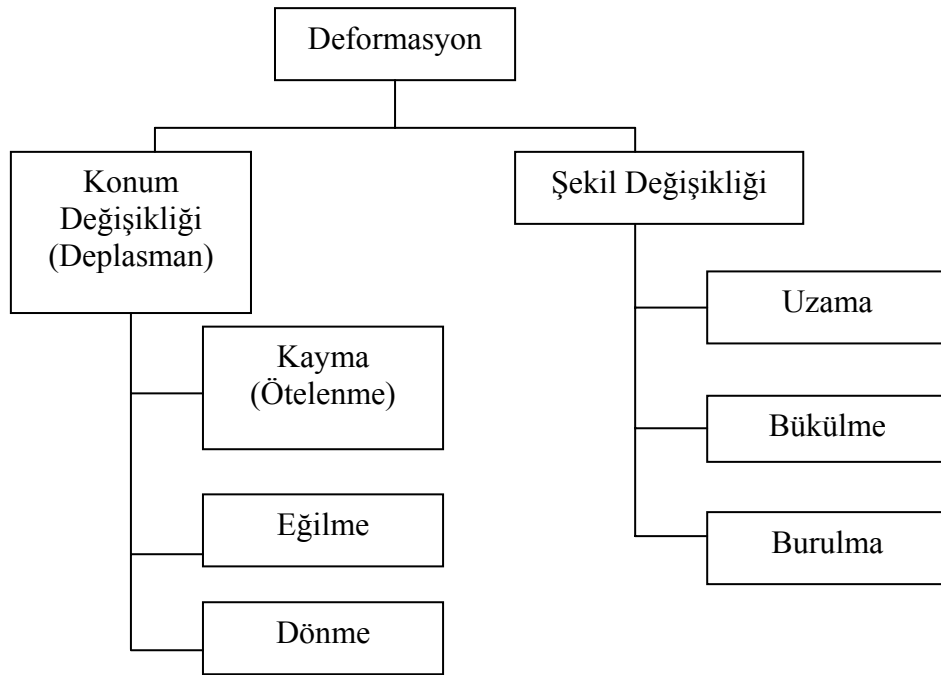
değerlendirilmiştir. Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ile analiz edilen zaman serisindeki hareketin frekansı ve genliği bulunarak grafiklerle gösterilmiştir.

2. DEFORMASYONUN TANIMI VE KONUSU

Büyük yapılar ile bunların yakın çevreleri geçici ya da kalıcı özellikteki değişik faktörlerin etkisi altında kalırlar. Bu etkilerden dolayı yapı ve çevresinde zamanla şekil değişimleri oluşur. Oluşan bu şekil değişimine genel bir ifade ile “Deformasyon” denir.

Değişimlerin belirlenmesi amacıyla yapılan ölçümlere deformasyon ölçmeleri, bu ölçülerin yer, zaman ve büyüklük parametrelerine bağlı olarak değişimlerinin belirlenip, yorumlanması işlemine de “Deformasyon Ölçülerinin Analizi” denir.

Çizelge 2.1 Deformasyon çeşitleri



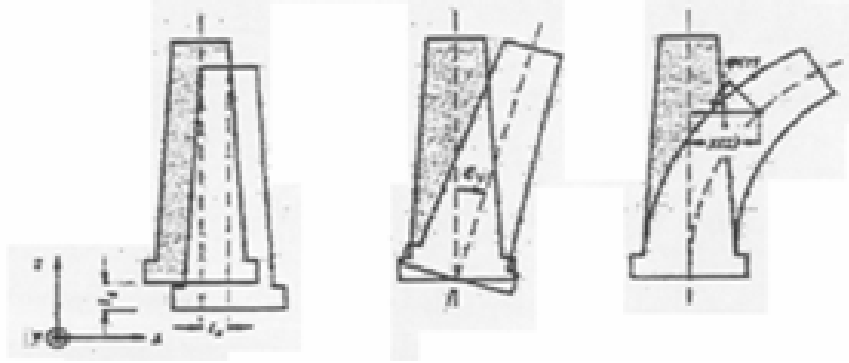
Deformasyonun tam olarak belirlenmesi için, objelerin zamana bağlı olarak sürekli gözlenmesi gerekir. Tek bir gözlem ile deformasyon miktarı belirlenemez. Ölçümler değişik zamanlarda veya özel koşulların meydana geldiği durumlarda yapılmalıdır (Erdoğan, 1998).

Konum değişikliği (deplasman) ise bölge ya da obje üzerinde seçilen karakteristik bir P_i noktasının t_1 ve t_2 gibi farklı zamanlarda yapılan ölçme sonucunda konumunun $P_i(t_1)$ ve $P_i(t_2)$ olarak belirlenmesidir.

Bir objenin konum değişimi kayma (ötelenme), eğilme ve dönmeden oluşmaktadır. Kayma bir objenin belirli bir doğrultuda hareketini ifade etmektedir. Düşey yöndeki kaymaya örnek olarak binadaki oturma ve çökmeler verilebilir. Dönme; döndürme momenti kuvvetinin

etkisiyle cisimde meydana gelen dönel harekettir. Eğilme; objenin veya yapının ekseninin olması gereken durumdan bir açı yaparak ayrılması veya sapmasıdır.

Bir objenin iç geometrisindeki değişimler şekil değişikliği olarak tanımlanır. Şekil değişikliğinde obje noktaları arasındaki geometrik ilişki değişmektedir. Objelerin uzaması çekme kuvveti altındaki objenin boyundaki uzama veya basınç kuvveti altında objenin boyundaki kısalmadır. Burulma ise objenin konstrüksiyon eksenini boyunca dönmesidir (Gülal, 2004).

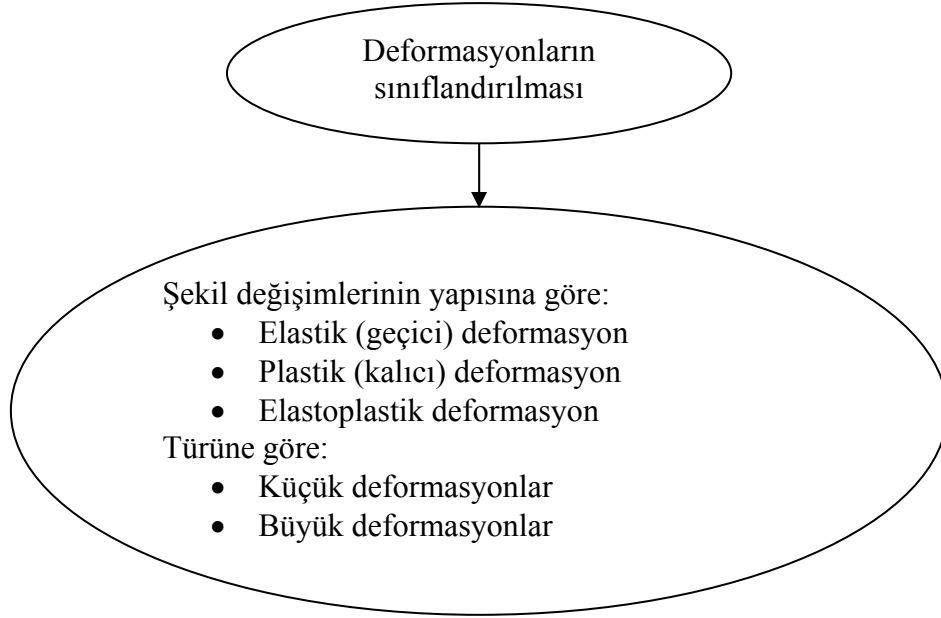


Şekil.2.1 Kule şeklindeki bir objedeki kayma, eğilme ve bükülme hareketleri

2.1 Deformasyonun Sınıflandırılması

Deformasyonları şekil değişimlerinin yapısına ve türüne göre iki ana grupta toplayabiliriz:

Çizelge 2.2 Deformasyonun sınıflandırılması



Elastik deformasyon, objeye etkiyen faktör ortadan kalktığında objenin eski durumuna gelmesidir. Plastik deformasyon da ise, objeye etkiyen faktör ortadan kalksa bile obje tekrar eski haline gelemez. Elastoplastik deformasyon, objeye etkiyen faktörün ortadan kalkması ile objenin eski durumuna dönmeye çalışıp kısmen eski halini almasıdır.

Objede olan deformasyonları türlerine göre incelediğimizde, küçük deformasyonlar; yapı veya bölgede felakete yol açmayacak değişimlerdir. Bu tür deformasyonun ölçü hatalarından ayırt edilmesi oldukça güçtür. Bir süre sonra gözle fark edilecek kadar büyük olan deformasyonlar ise, yapı statikğini tehlikeye sokar.

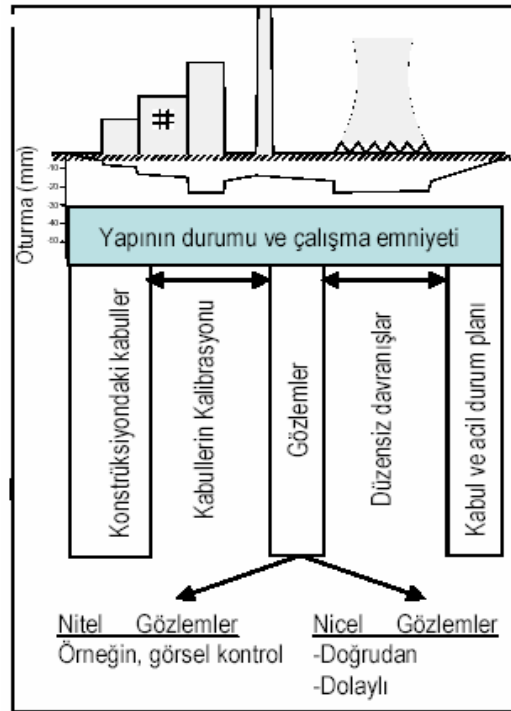
2.2 Mühendislik Yapılarının Kontrolü

Mühendislik yapıları sürekli ya da periyodik olarak jeolojik faktörler, iklimsel sıcaklık değişimleri, rüzgar basıncı, yapının kendi ağırlığı gibi faktörlerin etkisi altında kalırlar. Bu etkiler ise yapı ve çevresinde değişime yani deformasyona neden olurlar. Deformasyonun meydana gelmesi doğaldır ve genelde yapı / bölge için büyük bir tehlike oluşturmamaktadır. Fakat deformasyonun yapının statik yapısı için büyük bir tehlike oluşturduğu durumlar da vardır. Aşağıdaki baraj kazası ile ilgili şekil, deformasyonun neden olabileceği olumsuz sonuçlar için iyi bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 2.2 Baraj kazası

Mühendislik yapılarında meydana gelebilecek olumsuz durumları önceden kestirip gerekli tedbirleri zamanında alabilmek için mühendislik yapıları başta Jeodezik yöntemler olmak üzere diğer kontrol yöntemleri ile sürekli gözlenmelidir.



Şekil 2.3 Yapının durumu ve çalışma emniyeti (E. Güla)

Kısaca “ Mühendislik yapıları niçin kontrol edilmelidir? ” sorusunun yanıtı:

- Kamu güvenliği sorumluluğu,
- Yapının çalışma ve güncel durum emniyeti hakkında bilgi edinme,
- Yapıdaki değişimlerin nitelik ve niceliklerinin saptanması,

- Kuramsal kabullerin ispatlanması ve
- Hesap ve ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesi olarak verilebilir.

Eğer bir obje;

- Statik ve yapısal olarak sınır değerlere ulaşmışsa, deformasyon ve deplasmanlar emniyeti tehdit ediyorsa, örneğin: barajlar, köprüler ve kuleler gibi,
- Jeolojik ve zemin mekaniği olarak uygun olmayan bir zemin üzerinde ise ya da tünel kazı çalışmalarının yapıldığı bir alanda ise,
- Radyo ve televizyon kuleleri ile termik santrallerdeki büyük bacalarda olduğu gibi çalışma güvenliği deformasyonlarla tehdit altında ise bu tür yapılarda periyodik veya sürekli gözlem yapılması gereklidir (G. Hoşbaş, 2005).

2.3 Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları

Deformasyon ölçmelerinin uygulama alanı üç ana başlıktan oluşmaktadır.

- **Mühendislik yapılarının inşasındaki ölçmeler:** Köprü, baraj, demiryolu, gökdelen vb. yapılardaki konum ve / veya geometrik değişikliğin araştırılmasına yönelik ölçmelerdir.
- **Makine ve tesislerinin yapımındaki ölçmeler:** Konu olarak makine ve sanayi tesislerinin kontrol ölçmelerini içerir.
- **Zemin ve kaya mekaniği, mühendislik jeolojisi ölçmeleri:** Yerkabuğu hareketleri, tektonik hareketler, heyelanlar vb. yer hareketlerinin ölçülmesine yönelik çalışmaları içerir.

Genel olarak Jeodezik deformasyon ölçmelerinin amacı, kontrolü yapılacak objenin çevresindeki sabit noktalara göre yatay ve düşey konum değişiklikleri ile geometrik değişiminin zamanın fonksiyonu olarak araştırmaktır. Prensip olarak objenin her bir detay noktasının sürekli gözlenmesi gerekir. Fakat bu pratikte ekonomik bir yöntem değildir ve teknik olarak gerçekleştirilemez. Bu nedenle deformasyon ölçmesi yapılacak obje üzerinde ön çalışma yapılarak, geometrik ve zamansal tanımlama yapmakta fayda vardır.

2.4 Deformasyon Modelleri

Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme planına ve yöntemine göre farklı modeller içinde incelenebilirler. Bunlar statik, kinematik ve dinamik modellerdir (Hoşbaş, 1992).

2.4.1 Statik Model

Deformasyon incelemesine konu olan bölge veya yapının karakteristik noktalarının zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesi statik modelin temelini oluşturmaktadır. Bu modelde sistemin bir kez ölçülmesi sırasında geçen süre içerisinde noktaların sabit kaldığı varsayılmaktadır. Bu anlamda statik modeller Jeodezik yöntemlerin en çok uygulama alanı bulunduğu deformasyon analizi yoludur (Hoşbaş, 1992).

2.4.2 Kinematik Model

Kinematik modelde, obje hareketi objeye etkiyen kuvvetler göz önüne alınmadan, objenin hareketi zamanın fonksiyonu olarak polinomlar ve trigonometrik fonksiyonlarla ifade edilerek hareketin zamansal akışı, hızı ve ivmesi belirlenir (Gülal, 2004).

2.4.3 Dinamik Model

Çok karmaşık olmayan kinematik modeller, yeni ölçme ve bilgisayar tekniklerinin sağladığı olanaklarla desteklendiklerinde deformasyonların Jeodezik yaklaşımla belirlenmesinde uygulama alanlarının genişlemesi sonucunda dinamik model kavramı doğmuştur (Hoşbaş, 1992).

Dinamik modelde objenin hareketi zamana bağımlı olarak objeye etkiyen kuvvetler ile tanımlanır (Gülal, 2004).

Çizelge 2.3 Değerlendirme modelleri (Gülal, 2004)

Deformasyon Modeli Parametre	Kinematik Model	Statik Model	Dinamik Model
Zaman	zamanın fonksiyonu olarak hareket	tam olarak modellenemez	zaman
Kuvvet	modellenemez	kuvvetin fonksiyonu olarak şekil değişikliği	kuvvetin fonksiyonu olarak hareket
Objenin Durumu	hareketli	kuvvet altında dengede	kuvvet altında hareketlidir

2.5 Yapılardaki Deformasyonun Tanımlanması

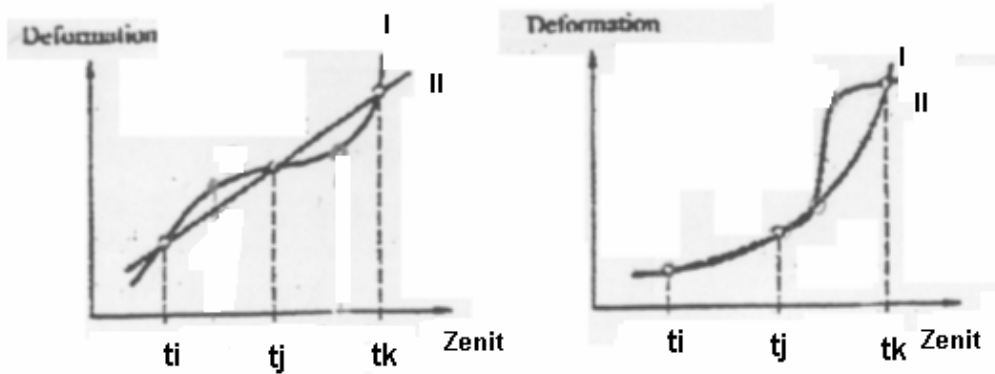
Yapılardaki deformasyon geometrik ve zamansal olmak üzere iki şekilde tanımlanır.

2.5.1 Geometrik Tanımlama

Yapı ya da yapının belirli bir kısmı, üzerinde seçilmiş olan obje noktaları ile betimlenir. Bu noktaların değişimleri, ya birbirlerine göre bağıl olarak ya da dışarıdaki sabit noktalara göre mutlak olarak kontrol edilir. Obye noktalarının sayısı ve konumu hem yapı durumunun kararlaştırılmasının hem de kontrol ölçmelerinin planlanmasını ve akışını önemli ölçüde etkiler. Yapı tekniği açısından, yapının neresinde hangi geometrik değişimlerin beklendiğini gösteren genel bir taslak saptanır. Bu saptama, hem ölçme yönteminin seçimi hem de obje noktalarının işaretlenmesi için gerekli esasları oluşturur (Gülal, 2004).

2.5.2 Zamansal Tanımlama

Zamansal tanımlamadan, ölçülerin ne zaman başlayacağı ve ne zaman sona ereceği ve hangi aralıklar ile tekrarlanacağı anlaşılmaktadır. Ölçülerin hangi aralıklar ile gerçekleştirilmesi gerektiği sorusunun yanıtı büyük ölçüde objenin davranışıyla ilişkilidir. Zamansal tanımlamada objeye etkiyen kuvvetler ve objenin bu etkilere karşı olan tepkimesi, tepkimelerin uzun zaman aralıklarında, periyodik veya sürekli olarak mı elde edileceği sorularının yanıtları aranmalıdır (Gülal, 2004).



Şekil 2.4 Hareket akışının yorumlanması

Yukarıdaki şekil, deformasyonun hareket akışının yorumlanmasında kontrol ölçmelerinin zamanının doğru olarak tespit edilmesinin önemini göstermektedir. Her iki şekilde de görüldüğü üzere, belirlenen t_i , t_j ve t_k zamanlarında yapılan ölçümler sonucu oluşan hareketin

I. veya II. şekildeki gibi olduğu belli değildir. Yorum yapabilmek için ara zamanlarda da kontrol ölçmeleri gereklidir.

2.6 Yapılarda Meydana Gelen Deformasyonun Nedenleri

Yapı ve çevresini etkileyen değişik sayıda etken vardır. Bu etkenler,

- Zeminin fiziksel özellikleri,
- Yapının kendi ağırlığı,
- Hareketli dış yükler,
- Suyun dinamik basıncı,
- Atmosferik ve jeolojik faktörler,
- Bölgedeki yer kabuğu hareketleri,
- Olası proje ve yapım hatalarıdır (Erdoğan, 1998).

Yapılarda deformasyona neden olan kuvvetler iç ve dış kuvvetler şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Dış kuvvetlere örnek olarak köprüdeki trafik yükü, baraj gövdesine etkileyen su basıncı veya yüksek bir kuleye etkileyen rüzgar kuvveti gösterilebilir. İç kuvvetlere ise sıcaklık değişimi, örneğin objenin bir yüzeyinin güneş ışıması altında diğer tarafının gölgede kalması, baraj gövdesindeki betonun su ile teması sonucu oluşan değişimler ve zeminin su emmesi örnekleri verilebilir. (Gülal, 2004)

Yapılarda deformasyonun nedenleri ve oluşumu aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tabandaki değişimler; maden işletmelerinde ya da temel suyu çıkışı sonucunda oluşan çökme , kayma, sürüklenme, sıkışma vb. kitle hareketleri,
- Başka yapı önlemlerinin ya da sarsıntıların (trafik) sonucu olarak yapı çökmeleri nedeniyle yapı temelinde gevşemeler,
- Özellikle nem miktarı değişimleri, sıcaklık farkları (güneş ışınları) , yüklemedeki değişimler (rüzgarın etkisi, yararlı yükler), çürümeler, masif yapılarda betonun sünmesi ya da büzülmesi, yük taşıyıcısının eskimesi vb. nedenlerle objelerin deformasyonudur.

En basit modelde bile deformasyon sürekli. Gerçekte bazı ani değişimler meydana gelebilir. Değişme olayının sona ermesine dek uzun zaman geçebilir. Yükleme ve sarsıntının

türüne göre elastiki deformasyonlar olasıdır. Bunların büyüklüğünü ve durağanlığını belirlemek oldukça zordur. (Erkaya, 1987)

Yapı statikinde en önemli kavramlardan birisi de yapıya etkiyen yüklerdir. Yapı sistemlerinde iç kuvvetlere ve deformasyon meydana getiren sebeplerin tümüne “yük” denir (Ekiz, 1992). Yükler genel olarak etkiye durumlarına ve etkiye biçimlerine göre ikiye ayrılmaktadır.

Etkime durumuna göre yükler:

- Sabit yük (zati ağırlık)
- Hareketli yükler
- Rüzgar ve deprem kuvvetleri
- Sıcaklık değişmesi şeklindedir.

Etkime biçimlerine göre yükler ise noktasal ve yayılı yükler şeklinde iki ana başlıkta toplanmaktadır. Noktasal yük; yapı sistemi üzerinde bir noktada etkiyen yüklerdir. Yayılı yükler ise, belirli bir uzunluk ve belirli bir alan üzerine etkiyen yüklerdir. Sabit yükler, hareketli yükler ve rüzgar yükü yayılı yüklere birer örnektir.

Yapıya etkiyen yükleri, yatay ve düşey yükler şeklinde de ayırabiliriz. Sabit ve hareketli yükler yapıya etkiyen düşey yükler olarak; deprem ve rüzgar kuvvetleri yatay yükler olarak tanımlanır.

3. BİR YAPININ PROJELENDİRİLMESİNDE DİKKATE ALINAN ÖLÇÜTLER

3.1 Sabit Yük (Zati Ağırlık)

Sabit yükler, yapı ömrü boyunca değişmeyen büyüklükler olup, taşıyıcı sisteme etki etmektedir. Taşıyıcı konstrüksiyonun kaplamaları, sıva, izolasyon tabakaları, çatı kaplamaları, kendi ağırlığı vb. sabit yüklerdir.

Uzun açıklıklı köprüler gibi çok büyük sistemlerde kendi ağırlıklarından meydana gelen yükler hareketli yüklerden oldukça fazladır. Bu tür sistemlerde hafif malzeme kullanılmalı ve sistemin şekli ve kullanılacak malzeme, yükü azaltacak şekilde seçilmelidir (Ekiz, 1992).

3.2 Yapı Malzemelerinin Yapı Ömrü Üzerindeki Etkileri

Malzeme, “yapının bünyesine giren veya inşası ve kullanılması için lüzumlu olan her nevi ham, yarı ve tam mamül maddeler” şeklinde tanımlanmaktadır.

Yapı malzemeleri kullanım yer ve amacına göre 3 ana grupta incelenir:

- Taşıyıcı malzemeler: Duvar, kolon, döşeme, temel gibi kısımlarda kullanılan taş, tuğla, çelik, ahşap, beton v.b. malzemelerdir.
- Süsleyici malzemeler: Alçı, ahşap, cilalı taş, boya v.b. malzemeler bu gruba girer.
- Koruyucu malzemeler: Yapıyı dış etkilere ve malzemeye zarar verici etkenlerden koruyan malzemelerdir. (Boya, bitüm, tuğla, taş v.s.)

Şekil değişimine göre malzemeleri 3 ana başlıkta toplayabiliriz:

- Elastik malzemeler: Kauçuk gibi malzemeler bu gruba girmektedir. Yani yük etkisi altında şekil değiştirip, yük kalkınca tamamen eski halini alabilen malzemelerdir.
- Plastik malzemeler: Yük etkisi altında şekil değiştirip, yük kalkınca eski haline dönmeyen malzemelerdir (örneğin kil).
- Elasto-plastik malzemeler: Yapılarda daha çok tercih edilen bu gruba giren malzemelerdir. Elasto-plastik malzemeler, yük etkisi altında şekil değişimine uğrayıp, yük kalktıktan sonra bir kısım kalıcı deformasyona uğrayan malzemelerdir. Çelik bu grup için iyi bir örnektir.

Örneğin; beton zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzemedir. 28 gün suda saklanan bir numune kurumaya bırakıldıktan sonra kısalmaya başlar. Bu olaya “büzülme” denir. Aynı

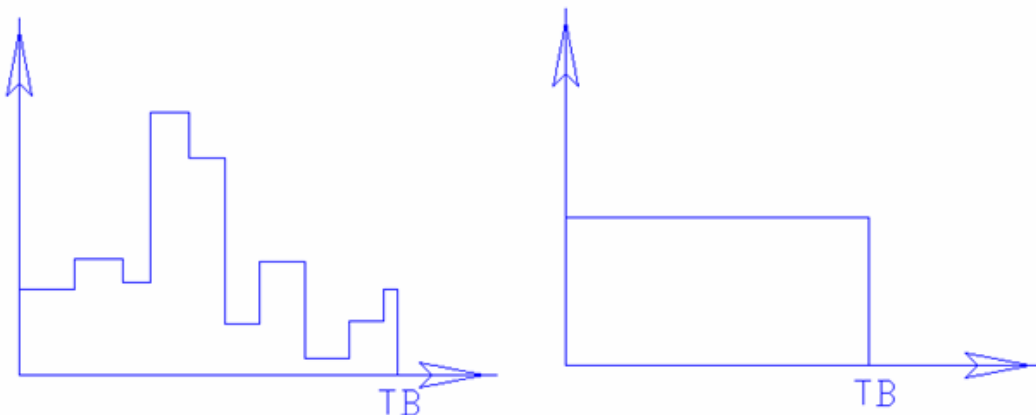
eleman sudan çıkarıldıktan sonra sabit bir eksenel basınç altında tutulursa, ölçülen boy kısalması yüklenmemiş numuneye oranla daha fazla olur. Aradaki fark “sünme” olarak adlandırılan etkidir. Büzülme ve sünme zamanın bir fonksiyonu olarak artar. Ancak artış hızı zamanla azalır. Sünme ve büzülme deformasyonları betonarme yapı elemanlarında önemli gerilme ve deformasyonlar oluşturarak, hasara ve çökmeye neden olabilecekleri gibi, kullanılrlığı da etkileyebilirler. Özellikle nemin düşük olduğu kuru ortamlarda rijit kolonlara oturan büyük açıklıklı kirişler büzülme eğilimi söz konusu kolonlarla engellendiğinde, kirişlerde büyük eksenel çekme kuvvetleri oluşur. Eğilme nedeni ile oluşan normal ve kayma gerilmeleri, büzülmeden dolayı oluşan eksenel çekme gerilmeleri ile birleştiğinde kiriş gövdesinde çok yüksek çekme gerilmeleri meydana gelebileceğinden, kirişte önemli çatlamlar olabilir, bazen de kırılarak çökmeye neden olur (Erdoğan, 1998).

Bütün yükler ve etkiler göz önünde bulundurulduğunda bir yapının ömrünün bağlı olduğu faktörler;

- Stabilité ve mukavemet bakımından yeterli olması (projenin iyi olması),
- Dayanıklı ve iyi malzeme seçilmesi,
- İyi işçilik kullanılması,
- Zamanla gereken bakımın yapılması şeklinde sıralanabilir (Saraylı, 1978).

3.3 Hareketli Yük

Sistem tarafından taşınan faydalı yüküdür. İnsanların değişik tip kullanma amacı ve aktiviteleri nedeni ile bu yük ihtimal teorileri kullanılarak tahmin edilmelidir. Binalarda değişik tip kullanma amaçları için hareketli yük genellikle yük şartnamesinden alınır. Köprülerde hareketli yük, trenlerin ve kamyonların öngörülen ağırlıklarını içerir (Ekiz, 1992).



Şekil 3.1 Yapı ömrü boyunca yapıya etkiyen TB hareketli yükler ve TB sabit yükler

3.4 Zemin Özelliklerinin Yapı Üzerindeki Etkileri

Bilindiği gibi, her yapı kütlesi temellerle zemine oturmaktadır. Dolayısıyla, bütün yapıların temel altı tabakalarını oluşturan zeminlerin; yük altında davranışları, sıkışma-şışme özellikleri, taşıma güçleri, su geçirgenlikleri v.b. mühendislik özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Genellikle zeminler homojen bir yapıya sahip değildir ve temel tabanının, sağlam bir zemine oturtulması gerekir. Aksi halde, temelin yapacağı dengesiz oturmalar binayı olumsuz yönde etkileyecektir. Mesela, zemine sızan veya zemin bünyesinde bulunan su zerrelere donma yaparak temelde istenmeyen hareketlerin doğmasına neden olabilir. Bu nedenle temel taban, zemin yüzeyinden belli bir derinliğe oturtulmalıdır.

Tabii zeminler danelerden meydana gelmektedir. Zeminler dane boyutlarına göre iki ana gruba ayrılmaktadır:

- İri daneli zeminler (çakıllar ve kumlar)
- İnce daneli zeminler (siltler ve killeri)

Doğal zemini oluşturan danelerin yüzeyinde ve aralarındaki boşluklarda genellikle su bulunmaktadır. Bu zemin suyunun miktarı, zemin suyundaki basınç ve suyun zemin içindeki hareketi yani zemin-su ilişkisi yapıları büyük ölçüde etkilemektedir.

Zemin yüzeyinde uygulanan yükler zemin tabakaları içinde gerilme artışlarına yol açmaktadır. Bu gerilme artışının zemin tabakalarında şekil değişimi meydana getireceği açıktır. Ortaya çıkan kayma gerilmelerinin zeminin kayma dayanımını (mukavemetini) aşması veya bunların yol açtığı kayma şekil değiştirmelerinin aşırı düzeylere ulaşması durumunda zeminde göçme meydana gelmektedir. Tasarım aşamasında zemine uygulanacak yüklerin göçmeye yol açmayacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Uygulanan yüklerin yol açtığı düşey normal gerilme artışları ise zeminin kayma mukavemetini etkileyeceği gibi aynı zamanda zeminde düşey yönde deformasyonlar meydana gelmesine yol açmaktadır. Yüklenen alandan (örneğin bir bina temeli) etkilenen bölge içinde kalan zemin tabakalarının düşey şekil değiştirmeleri toplamı, zemin yüzünde veya temel altında gözlenen oturmaları meydana getirmektedir. Yapılar altında meydana gelen oturmaları aşırı miktarlara ulaşması ve özellikle yapının değişik noktaları arasında birbirinden farklı değerler alması (farklı oturmalar) durumunda yapıda birçok zararlı etkiler ortaya çıkmaktadır. Aşırı toplam ve farklı oturmalardan dolayı bir çok yapıda çatlaklar, sıva dökülmeleri, doğrama eğilmeleri, vb. zararlar meydana geldiği gibi aşırı durumlarda yapının güvenliği dahi tehlikeye düşebilir (Özaydın, 1999).

3.5 Rüzgar Yüğü

Yüksek yapıların titreşimine neden olan rüzgâr, yapının yüksekliğiyle de bağlantılıdır. Rüzgârın etkisi yalnız rüzgârın estiğı yüzey üzerinde değildir. Tüm yüzeyler rüzgâr basıncının etkisinde kalır. Fakat bu etki rüzgârın geldiğı tarafta daha fazla olduğundan yapının dengesi bozulur. Rüzgâr yalnızca, yapı yüzeylerinin konumunu değiştirmekle kalmaz binanın geometrisini de bozar. Türbülans etkileri özellikle bina köşelerinde ve kenarlarında, çatı saçak ve sırtlarında kendini gösterir. Ayrıca yüksek binalarda, rüzgâr ve deprem kuvvetlerinin etkisini azaltmada kullanılan dış cephe malzemesinin de büyük önemi vardır (Uluişik ve diğ., 2005).

Rüzgar hızının, hissedilmez titreşimli yapıların (örneğin gökdelenlerin) üzerindeki etkisinin ölçümü esnasında rüzgar hızının maksimum değerin belirlenmesi gerekir. Rüzgarın yapılar üzerindeki dinamik etkisi ise, rüzgarın hızına, yapının yüksekliğine, yapının geometrisine ve çevresindeki yapıların konumuna bağlıdır.

Genel olarak rüzgar etkisinin bulunmasında dinamik etki denilen ve

$$q = \frac{V^2}{16} \text{ kgf / m}^2 \quad (3.1)$$

formülü ile elde edilen (q) değeri temel olarak alınacaktır. Bu formülde, V m/sn olarak rüzgar hızını gösterir (Ömür, 1984).

Çizelge 3.1 Yüksekliği (H) metre olan bir yapı üzerindeki rüzgar etkisinin (q'nun) değişik seviyelerdeki değerleri (bu değerler Türkiye için minimum değerlerdir)

H (m.)	0	10	20	50
q (kgf / m ²)	80	90	110	150

3.6 Rüzgar Basıncı

Rüzgar basıncı hareket eden havanın çarptığı, karşılaştığı yüzeyler üzerinde yarattığı basınç olarak tanımlanır. Hareket eden hava yani rüzgarın çarptığı cismin rüzgara bakan tarafında basınç artarken arka yani kuytu tarafında basınç azalır. Rüzgar hızı ve rüzgarın çarptığı alan arttıkça yüzeye yapılan basınçta artacağından bu terim hız basıncı olarak da bilinir.

Rüzgar basıncının yapı üzerindeki etkisi aşağıdaki formülde verilmiştir (Ömür, 1984).

$$P = C * q \quad (3.2)$$

q = yapı üzerindeki dinamik etki

C = katsayı

C katsayısı, yapının geometrik biçimine ve basıncı (veya emmesi) hesaplanacak alanın normaliyile rüzgarın yaptığı açıya bağlıdır. C 'nin (+) değeri basıncı, (-) değeri emmeyi gösterir.

3.7 Deprem Yüğü

Deprem genel olarak, uzun süreli yerkağı hareketinden kaynaklanan, tektonik ani hareketin meydana gelmesi veya jeolojik fay zonlarının kayması şeklinde tanımlanır. Bu yersel hareket zemine hareket, yatay ve düşey yönde ivme, hız kazandırdığı için yapıların temelinden uzaklaşmalarına neden olur. Bu hareket doğadan kaynaklandığı için tam olarak depremin şiddetine uygun bir yapı dizayn etmek çok güçtür. İnsan hayatı söz konusu olduğundan taşıyıcı sistemi birbirinden farklı çok sayıda örnek bina seçilerek bu binalara ait kesin ve yaklaşık periyot formülleri elde edilmiştir. Yaklaşık değerlerin kesin değerlere göre özellikle yüksek yapılarda çok küçük kaldığı görülmüştür. Bu durum binaların depreme karşı tasarımıda ekonomik olmayan, ancak emniyetli yönde sonuçlar elde edilmesine neden olmaktadır.

Bu konuyla ilgili olarak Türk Deprem Yönetmeliğı 1998 'de son gelişmeler ile yeniden düzenlenerek Ocak 1998 'de yürürlüğe girmiştir.

Bu güne kadar bina doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için bir çok ampirik formül verilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir (İncetaş ve diğ.).

- Burada N ve K sırasıyla temel düzeyinden itibaren kat adedi ve yapı tipi kat sayısıdır (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2. Baskı, 1989).

$$T = \frac{0.1 * N}{K} \quad (3.3)$$

- Diğeri bir yaklaşık periyot formülü (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1967).

$$T = \frac{0.09 * H}{\sqrt{D}} \quad (3.4)$$

Bu formülde; H, toplam yapı yüksekliğı ve D, deprem analizi doğrultusundaki yapı derinliğini göstermektedir.

- Sadece kat adedine bağılı olarak yaklaşık periyot hesabı için:

$$T = (0.07 \approx 0.1) * N \quad (3.5)$$

formülü önerilmiştir. Burada N , temel düzeyinden itibaren kat adedidir (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.1975 Baskısı ile Karşılaştırmalı Taslak, 1990).

- Aşağıdaki formülde ise yapı titreşim periyodu, yapı davranış katsayısı R 'ye ve yapının temel düzeyinden itibaren kat adedi N ' ye bağlıdır (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975 Baskısı ile Karşılaştırmalı Taslak, 1990).

$$T = \frac{R * N}{100} \quad (3.6)$$

- Amerikan Deprem Şartnamesi (UBC) 'de yapıların doğal titreşim periyodunun yaklaşık hesabı:

$$T_{1A} = C_t * H_N^{3/4} \quad (3.7)$$

şeklinde verilmiştir. Bu formülde H_N yapı yüksekliğini, C_t taşıyıcı sistemle ilgili katsayıyı göstermektedir. Taşıyıcı sistemi betonarme, betonarme ve perdeden oluşan ya da sadece perdeden veya çerçeveden oluşan yapılar için farklı katsayılar verilmiştir.

Depreme dayanıklı bir yapı için boyutlandırma problemi iki aşamadan oluşur. Öncelikle o bölge için deprem tarihçesinden yola çıkılarak, yörenin jeolojik açıdan ne derece deprem tehlikesi altında olduğu ortaya çıkarılır. Daha sonra ise, temel-yapı sistemi ilişkisi çerçevesinde, depremin yapı üzerindeki etkisi araştırılır. Buradaki sorun, yüksek yapıya öyle bir konstrüksiyon verilmelidir ki, hem rijitliğini korusun, hem de depreme dayanıklı olsun.

3.8 Sıcaklık Değişiminin Yüksek Yapı Üzerindeki Etkisi

Sıcaklık da yapının deformasyona maruz kalmasında etkili olur. Yapının ısısı, değişen meteorolojik durum ile belirlenir. Meteorolojik durumun tam anlamıyla anlaşılması çok zordur. Ancak sıcaklığın, yapı ısısı üzerindeki en önemli etkileri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Yarım günlük sıcaklık,
- Güneş ışınları,
- Rüzgâr hızı,
- Yağış,

- Yapıda kullanılan metalin termal özelliği,
- Diğer hava koşulları.

Burada en etkili olan yarım günlük sıcaklık değişimidir. Bu durum yapının ısısını çok etkiler. Meteoroloji de bile hava durumu belirlenirken rüzgâr ya da diğer etkilerin olmadığı normal bir zaman seçilir. Güneş ışınının etkisi, güneşli günlerde daha fazla soğuk günlerde ise daha azdır. Rüzgâr hızı ise yapı çevresinin sıcaklığının değişmesinde etkilidir. Genel olarak, rüzgâr hızının yüksek olması, yapı ısısının düşmesine neden olacaktır. Yağış ise büyük yapıların ısısının düşmesindeki en önemli etkenlerden biridir. Çünkü yapılarda depolanmış olan ısı enerjisi yağışla birlikte buharlaşacaktır. Termal özellik ise metal yapılarda beton yapılara göre daha etkilidir. Termal özellikten dolayı, metal yapılarda beton yapılara göre daha hızlı bir değişim meydana gelir (Uluişik ve diğ., 2005).

DIN 1045 'e göre eğer kesit boyutları çok değişiyorsa, ısı değişiminin dikkate alınması gerekmektedir. DIN 1045 'in 16.5. bölümünde anlatıldığı şekilde tüm taşıyıcı sistemde eşit miktarda olduğu kabul edilen ısı değişimleri genelde $\pm 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu ısı değişimi en küçük ölçü birimi olan 70 cm'lik bir kesitte $\pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dir veya kabul edilebilir. Taşıyıcı kenar elemanları kısmen veya tamamen binanın kapalı çevresi dışında bulunan yüksek yapılarda bu kuralın dışına çıkılarak böyle binaların kullanım alanlarını kısıtlamamak için ek düşüncelere yer verilmelidir. Klimatize edilen (ısıtılan veya yazın soğutulan) yapı kısımları arasındaki ısı farkı $\pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den fazla olabilmektedir. Yani bunun anlamı ısı değişiminin tüm taşıyıcı sistemde aynı kaldığı kabulü burada artık geçerliliğini koruyamamaktadır. Güneş ışınlarının çeşitli şiddetleri (ışın yoğunluğu) nedeni ile bir yapı elemanında meydana gelebilecek en büyük ısı değişimi bu yapı elemanının krokisine (yani hangi cephelerin daha çok güneş almaya elverişli olduğu); yapı elemanının kalınlığına ve açık havaya maruz kalan kısmının büyüklüğüne bağlıdır (Ömür, 1984).

$\pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik bir ısı değişiminin yüksek bir yapıda nasıl bir deformasyona yol açtığı konusunda şöyle bir örnek verilebilir:

$$\Delta l = \Delta t * \alpha^l = 20 * 10^{-5} * 10000 = \mp 2 \text{ cm.lik}$$

bir boy değişimi söz konusu olacaktır. Bu da 100 m. yüksekliğinde bir yüksek yapının iç ve dış kolonları arasında 2 cm lik bir boy farkının ortaya çıkması demektir.

Yüksek yapıların iç ve dış kolonları arasında ısı değişiminden kaynaklanan boy farkı yukarıda açıklanmıştır. Buna ilaveten yapıların dış kısımlarında bulunan yapı elemanlarının da ısı

değişiminden kaynaklanan kendi kesitleri içinde değişimler meydana gelir. Yani kesitin içinde oluşan gerilmeler (öz-gerilme) bir hayli yüksek mertebeye ulaşır.

Yine örnek olarak $\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşan ısı değişiminde oluşan öz-gerilme hesaplanırsa;

$$\sigma = E \cdot \alpha_t \cdot t = 3,5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-5} \cdot 20 = \pm 70 \text{kp/cm}^2 \text{ değerine ulaşmaktadır.}$$

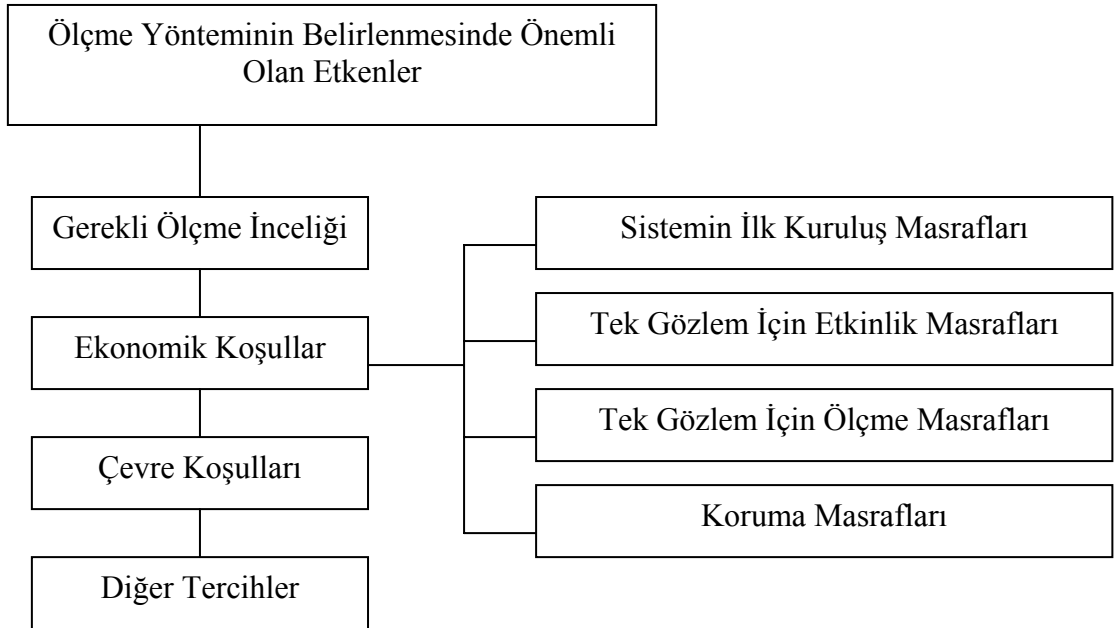
Isı değişiminin yüksek yapı üzerindeki etkisini en aza indirmek için yapıdaki taşıyıcı kenar elemanlar koruyucu bir tabaka ile kaplanmalı ve ısı değişimleri itina ile izlenmelidir.

4. DEFORMASYON ÖLÇMELERİNDE KULLANILAN ALETLER VE ÖLÇME YÖNTEMLERİ

4.1 Ölçme Yönteminin Belirlenmesinde Dikkat Edilecek Esaslar

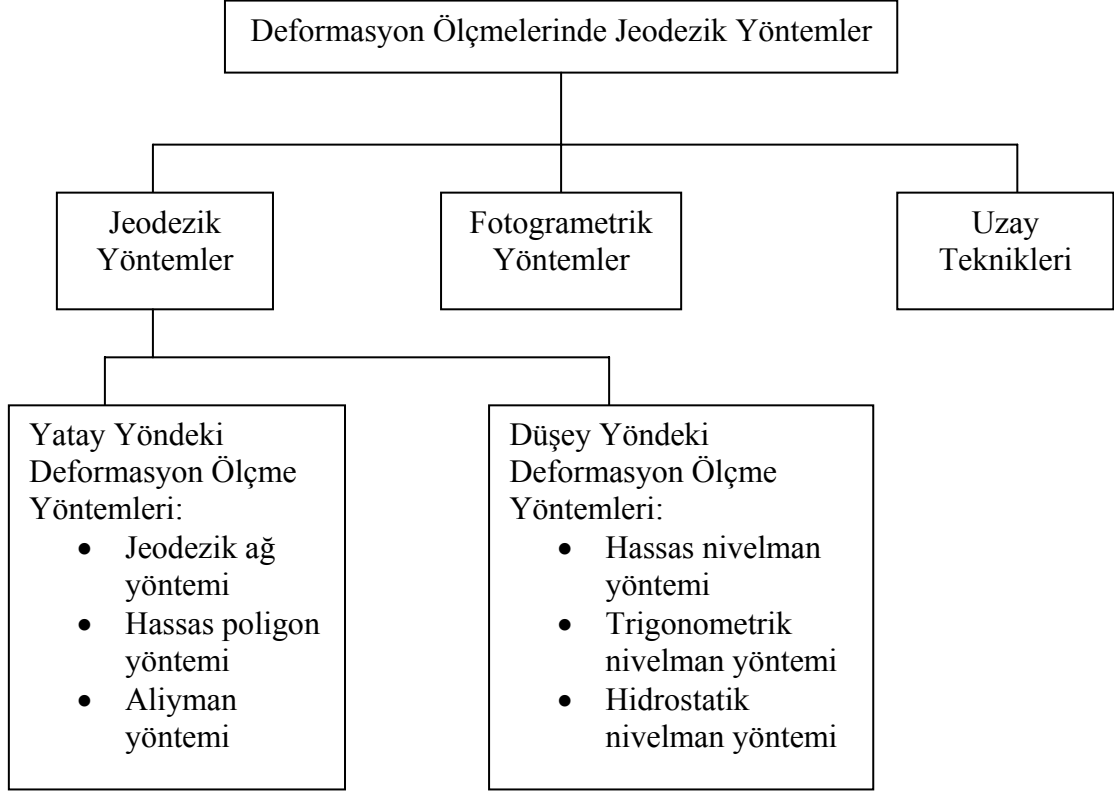
Deformasyon tespitinde araştırılacak objenin büyüklüğüne, yapısına, ilgilenilen ya da umulan hareket bileşenlerine bağlı olarak ve de objenin yanına varılıp varılamayacağı göz önünde bulundurularak bir program hazırlanır. Buna göre ölçme yöntemi o şekilde seçilmelidir ki, istekler yerine gelmeli ve mevcut yan koşullara uygun düşmelidir. Bu bir ölçme tekniği problemidir. Farklı yan koşullara bağlı, olası problemlerin çokluğu nedeniyle kesin kurallara göre işlem yapılamaz. Tersine her özel durumda yeniden düşünülmelidir. Bu düşünceler aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

Çizelge 4.1 Ölçü yönteminin belirlenmesinde önemli olan etkenler (Erdoğan, 1998)



4.2 Deformasyon Ölçmelerinde Kullanılan Yöntemler

Çizelge 4.2 Deformasyon ölçmelerinde jeodezik yöntemler (Erkaya, 1987)



Bir objedeki deformasyon izlenirken, dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir:

- Bir yapının deformasyonu izlenirken genel prosedür, yapının karakteristik noktalarının daha önce kontrol edilmiş bir referans noktasına göre objenin yer değiştirme miktarını belirlemektir. Bu referans noktanın obje üzerinde olmasıyla belirlenen yer değiştirme miktarı mikrometre seviyesindedir. Mutlak deformasyon ise dışarıdaki bir noktaya göre belirlenir. Bu dışarıdaki nokta yapı üzerinde olmadığı gibi yapı ve çevresinin etkisinde olduğu faktörlerden uzak olmalıdır.
- Sürekli deformasyonlar mutlak ölçme yapmayı gerektirir. Genel olarak referans noktalar sağlam bir zemin üzerine monte edilmeli ve sürekli deformasyon gözlemi yapılacaksa kolay ulaşılabilir bir yerde olmasına dikkat edilmelidir.
- Deformasyon izlenirken dikkat edilecek diğer bir husus ise, hareketin hem yatay hem de düşey yönde olabileceğidir ve ölçme yöntemi buna göre seçilmelidir.
- Rutin kontrol ölçmelerinde, daha az bir hareket beklendiğinde, daha ekonomik bir yöntem olması nedeniyle açılı ölçümü veya aliyman yöntemi tercih edilir. Diğer bir

alternatif yöntem ise daha çok yapıdaki çökme hareketini izlemede kullanılan nivelman aletleri ve uzunluk ölçerlerin kullanıldığı metotlardır.

Yıllarca gökdelenlerin dinamik davranışının izlenmesi amacıyla ivmeölçer kullanıldı. Bilindiği üzere bu aletlerin ölçümlerinden bağıl yer değiştirme verisine ulaşmak için çift integral yöntemine ihtiyaç varken, GPS ile direkt konum koordinatlarına ulaşmak mümkündür. Bu geleneksel aletlerin kullanıldığı ölçümlerden elde edilen verilerin yorumlanması için yapılan integral alma işlemi, sinyalden kaynaklanan nedenlerle kolayca hesaplanamaz. Bu nedenle yüksek, yapıların GPS ile izlenmesiyle ilgili yöntemler ve yazılımlar geliştirilmiştir.

Uygulamada GPS aleti kullanıldığı için bundan sonraki bölümde özellikle GPS aleti , ölçme ve değerlendirme yöntemleri üzerinde durulacaktır.

4.3 Uydu Tekniği Olarak: Gps

GPS (Global Pozisyonlama Sistemi) Amerika Birleşik Devletlerine ait uydular kullanılarak dünyanın neresinde olursa olsun, 24 saat oldukça hassas bir şekilde konum ve navigasyon bilgisi sağlayan bir sistemdir. Bu sistemin temelinde 20,200 Km yükseklikteki yörüngede bulunan ve sürekli olarak zaman ve kendi pozisyon bilgisini gönderen 24 adet “NAVSTAR” GPS uydusu vardır. Bir GPS alıcısı en az 3, en çok 12 adet uyduyu izleyerek kendi konumunu, alıcının hareket hızını ve hangi yöne gittiği bilgisini üretir. GPS alıcısı kendi yerini belirleyebilmek için uydudan aldığı sinyalleri üçgenleme yöntemiyle çözer. GPS uyduları dünyaya göre kendi yerlerini bilirler ve alıcılarda kendilerinin bir uyduya olan mesafelerini onlardan aldıkları radyo sinyalinin yolculuk süresinden hesaplarlar. GPS uydularının üzerinde 4 adet atomik saat mevcuttur. Ayrıca her bir uyduda diğer bütün uyduların anlık ve muhtemel bulundukları yerlerin pozisyon bilgilerinin bulunduğu bir database bulunur ve bu database sık sık yeryüzü istasyonlarından gelen bilgilerle güncellenirler (www.undteknoloji.com).

Kısacası GPS;

- Herhangi bir yer ve zamanda
- Her türlü hava koşullarında
- Global bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlılıkta
- Ekonomik olarak

- Anında ve sürekli konum, hız (hareketli objeler için) ve zaman belirlemesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

Klasik Jeodezik ölçme teknikleri ile karşılaştırıldığında GPS'in üstün ve zayıf tarafları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Noktalar arası görüş zorunluluğu ortadan kalkmıştır. GPS alıcı anteninin uydu sinyalinizi izleyebilmesi için gökyüzünü görmesi yeterlidir.
- Nokta yeri seçiminde noktaların en yüksek yerlerde olması gibi zorunluluklar ortadan kalkmıştır. İhtiyaç duyulan ve GPS ölçüsünün yapılmasına olanak veren her yerde nokta tesisi yapılabilmektedir.
- GPS ölçülerinin yapılması büyük oranda hava şartlarından bağımsızdır.
- Gece ve gündüz (24 saat) ölçüm yapılabilmektedir.
- GPS ölçülerinin yapılışındaki hız ve aletlerin kullanım kolaylığı, ölçü hatalarının olmaması (anten yüksekliği ölçümü hariç) nedeniyle ekonomik bir sistemdir.
- Üç boyutlu nokta koordinatları elde edilmektedir.
- Elde edilen Jeodezik doğruluklar en duyarlı klasik Jeodezik tekniklerle elde edilenlerle eşit ya da daha iyidir.

GPS'in zayıf tarafı ise, alıcı anteni mutlaka açık gökyüzünü görmelidir. Başka bir deyişle, GPS sinyalleri radyo sinyalleri gibi kuvvetli olmadığından kapalı yerlerde, çok sık ağaçlıklı bölgelerde ve madenlerde kullanılamamaktadır (Kahveci, Yıldız 2001).

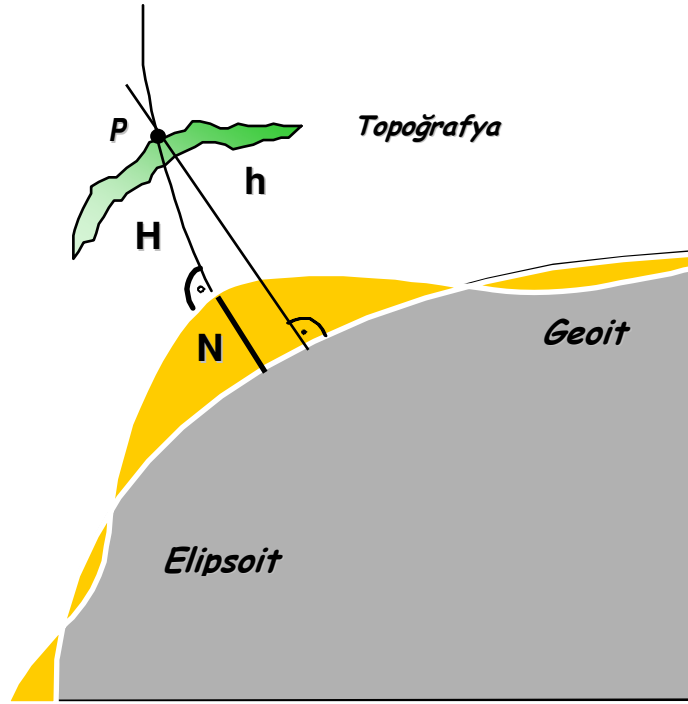
4.3.1 İzleme Sistemi Olarak Gps'nin Tercih Edilme Nedenleri

Yıllardır kullanılan doğruluğu kanıtlanmış olan eğim ölçerler, ivme ölçerler vb. aletlerle, binanın dinamik tepkisinin ölçülmesi oldukça zor ve uzundur. Bu nedenle binaların hareketinin izlenmesinde RTK-GPS yöntemi tercih edilmiştir. Bir izleme sisteminde olması gerekenler aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

- Olabilecek deprem tehlikesi göz önünde bulundurularak izleme sistemi binayla ilgili değerlendirmeyi hızlı yapabilecek özellikte olmalı.
- Binaların hasar durumunun açıklanabilmesi için, izleme sisteminden elde edilen verilerden, özel mühendislik parametrelerine (kayma oranı gibi) ulaşmak kolay ve güvenilir olmalı (Çelebi ve diğ., 2002).

GPS ile yapılan taşıyıcı faz farkı yöntemiyle, yatay yöndeki hareketin tespit edilmesi, çoğu kez masraflı bir yöntem olmasına rağmen, daha hızlı, çok daha doğru ve güvenilir bir metottur. Kontrol işleminin kalitesi düşünüldüğünde ve GPS ölçme ağının büyüklüğü söz konusu ise, bu yöntem pratik sonuçlar sağlamaktadır. GPS ile yatay deformasyon kontrolü yapmak diğer geleneksel aletlere göre çok daha avantajlıdır. Çünkü taşıyıcı faz farkı yönteminde GPS aleti kullanırken ağ içindeki komşu noktaların birbirini görme zorunluluğu yoktur. Kısacası GPS ile yapılan faz farkı yöntemi, yatay deformasyon kestirimi için yeterli kalitededir.

Genel olarak GPS ile yapılan taşıyıcı faz farkı yöntemi ile düşey yöndeki deformasyonun kontrolü yöntem olarak zordur. Çünkü GPS ile ölçülen WGS 84 referans elipsoidinden ortometrik yüksekliğe (h) veya yükseklik farkına geçiş yapmak gerekir.



Şekil 4.1 Elipsoit ve ortometrik yükseklik ilişkisi

Bu nedenden dolayı GPS ile düşey kontrol ölçümlerinde geoit modellemesi, dönüşüm yazılımları gibi ara işlemlere ihtiyaç duyulur. Sonuç olarak GPS faz farkı yöntemiyle düşey yöndeki kontrol sonuçları da kabul edilebilir doğruluktadır.

4.3.2 Gps Ölçme Büyüklükleri

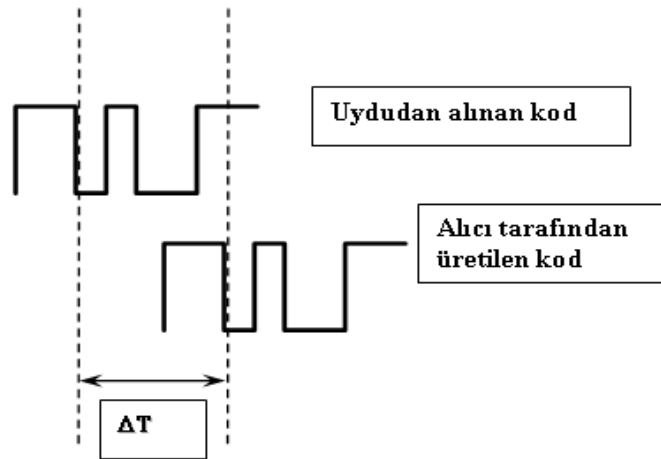
GPS ile gözlenen iki temel büyüklük vardır. Bunlar:

- Kod Pseudorange ve
- Taşıyıcı Dalga Fazı

olarak isimlendirilmektedir.

4.3.2.1 Kod Ölçmeleri

Pseudorange, uydudan yayınlanan sinyalin uydudan çıkış anı ile alıcıya ulaştığı ana kadar arada geçen zamanın ışık hızıyla ölçeklendirilmesiyle elde edilen uydu-alıcı uzaklığıdır. Sinyalin uyduyu terk ettiği andan itibaren alıcıya ulaşana kadar arada geçen zaman, alıcı ve uydu tarafından üretilen PRN kodlarının karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Başka bir deyişle, uydudan yayınlanan PRN kodunun aynısı alıcı saati tarafından da üretilmektedir. Dolayısıyla, alıcı içerisindeki kod izleme lupu alıcı içerisinde üretilen PRN kod ile uydudan yayınlanan PRN kod arasında maksimum korelasyon sağlanana kadar, alıcıda üretilen kodu kaydırır. Bu işlem sonucunda arada geçen zaman bulunmuş olur (Kahveci, 2001).



Şekil 4.2 Uydu ve alıcı kodlarının karşılaştırılması

Saat hatasının olmadığını yani uydu ve alıcı saatlerinin GPS zamanı ile çakışık olduğu ve uydudan alıcıya ulaşan sinyalin atmosferik etkilerinin olmadığı bir ortamda yayıldığı kabul edilirse, sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen zaman kaba kenar (pseudorange) olarak tanımlanır ve

$$D = c \cdot (\Delta T) \quad (4.1)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Uydu ile alıcı arasındaki mesafeyi koordinatların fonksiyonu olarak yazarsak;

$$r = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2} - (dtr - dts)C \quad (4.2)$$

Pseudorange için genel eşitlik ortaya çıkmış olur.

$(X,Y,Z)_s$: uydu kartezyen koordinatları

$(X,Y,Z)_r$: alıcı kartezyen koordinatları

d_{tr} : alıcı saat hatası

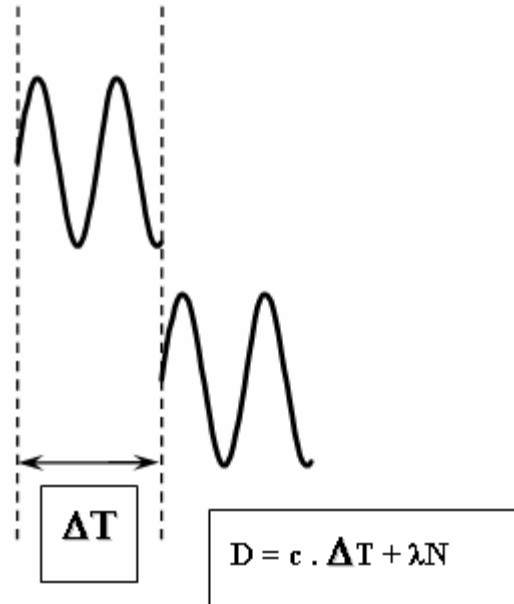
d_{ts} : uydu saat hatası

C : ışık hızı

Ayrıca Pseudorange C/P ve P kodların her ikisi kullanılarak belirlenebilmektedir. Yüksek doğruluk gerektirmeyen, navigasyon amaçlı çalışmalarda bu yöntem tercih edilir.

4.3.2.2 Taşıyıcı Faz Ölçmeleri

Kaba kenar gözlemlerinden farklı olarak , faz gözlemlerinde , taşıyıcı dalganın, C/A ve P kodları yerine, modüle edilmemiş L1 ve L2 kodlarına yapılır. Taşıyıcı dalga fazı da aynı pseudorange gözlemlerinde olduğu gibi elde edilir. Uydudan yayınlanan fazın benzeri alıcı içerisinde de üretilerek bunlar arasında korelasyon sağlanır. Faz ölçüleri, uydudan yayınlanan sinyalin (L1, L2) fazı ile alıcı tarafından üretilen sinyalin fazı arasındaki fark olarak tanımlanır.



Şekil 4.3 Uydu-alıcı sinyal faz farkı

$$\Phi_A^j(t) = -\frac{f}{c} \rho_A^j(t) + N_A^j + \Phi^j(t) - \Phi_A(t) + \text{noise} \quad (4.3)$$

Φ_A^j : A noktasından J uydusuna t zamanında yapılan faz ölçümü

ρ_A^j : A noktasından J uydusuna olan geometrik doğrultu

N_A^j : faz başlangıç bilinmeyi

Φ^j : uydu saat hatası

Φ_A : alıcı saat hatası

f : sinyalin frekansı

c : ışık hızı

Kod ölçüleri hızlı konum belirlemede kullanılırken, Jeodezik amaçlı, yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda ise faz gözlemleri kullanılır. Ayrıca faz gözlemlerinde faz başlangıç belirsizliği söz konusudur. Bunların dışında veri toplama sırasında herhangi bir nedenden dolayı uydudan gelen sinyalin kesilmesi ya da sinyalin zayıf gelmesi halinde faz kesiklikleri (cycle slips) oluşmaktadır.

4.3.3 Gps İle Konum Belirleme Yöntemleri

GPS ile konum belirleme, uzay geriden kestirme işlemiyle, uydu-alıcı arasındaki mesafenin hesaplanması esasına dayanır. Geriden kestirme, konumu bilinmeyen bir noktadan, konumu bilinen noktalara gözlem ve hesapları kapsar. Konumu bilinen noktalar GPS uydularıdır. Bilinmeyenler, bulunan noktanın yer merkezli kartezyen koordinatlarıdır (X, Y, Z). Matematik kuralı olarak bu 3 bilinmeyenin çözümü için 3 ölçü değeri yeterli gibi görünse de, saat hatalarını ortadan kaldırmak için en az 4 tane konumu bilinen uyduya ihtiyaç vardır. GPS 4 boyutlu bir sistemdir (3D + zaman) (www.koeri.boun.edu.tr).

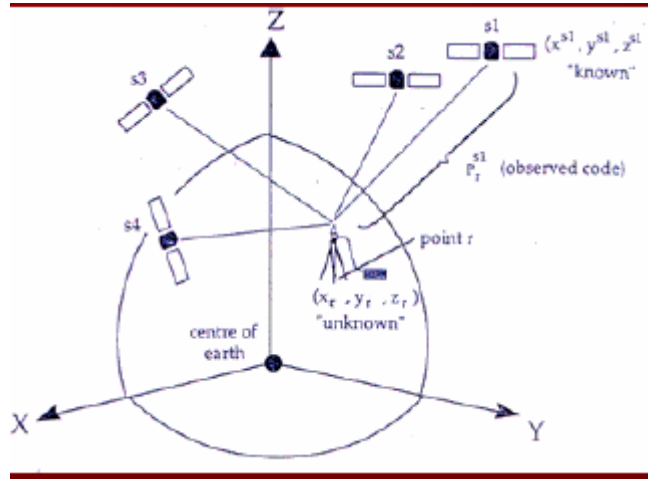
Daha önce de açıklandığı gibi, uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange) sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar arada geçen zamanın ışık hızı ile çarpılması sonucu bulunmaktadır. Uydu konum vektörü ise uydu sinyallerinde (yayın efemerisi vb.) yayınlanır. Daha sonra en az 4 uyduya yapılan eş zamanlı gözlemler ile koordinatı istenen noktanın konum vektörü hesaplanır.

GPS Gözlem Yöntemleri, mutlak ve bağıl olmak üzere ikiye ayrılır. Mutlak yöntemde tek alıcıyla noktaların üç boyutlu koordinatları bulunur. Bağıl yöntemlerde ise en az iki alıcı kullanılarak noktalar arasında koordinat farkları elde edilir.

4.3.3.1 Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı ile en 4 uydudan kod ölçüleri yapılarak üzerine alıcı kurulan noktanın 3 koordinat değerinin (X, Y, Z) belirlenmesi olarak tanımlanır.

Mutlak konum belirlemede, yörünge hatalarının mutlak konum belirleme üzerindeki etkisiyle oluşan uydu koordinatlarındaki hatalar, refraksiyon vb. etkiler nedeniyle ulaşılan nokta koordinatlarındaki hassasiyet Jeodezik uygulamalar için yetersiz olduğundan, bu yöntem genellikle navigasyon amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır.



Şekil.4.4 Mutlak konum belirleme

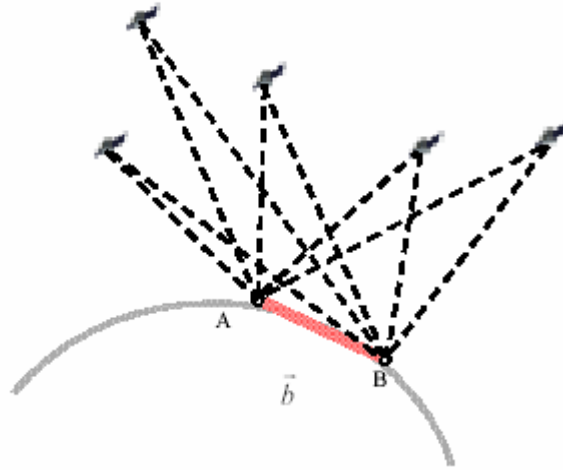
Yöntem, sinyalin uydu çıkışından alıcıya varışına kadar geçen zaman ve ışık hızı çarpılarak hesaplanan uydu-alıcı uzaklıkları ve uyduların bilinen koordinatları ile uzayda geriden kestirme esasına dayanmaktadır. Alıcı koordinatları, kullanılan kod bilgisine (P kod, C/A kod) ve uydu geometrisine bağlı olarak anında ve mutlak anlamda belirlenebilmektedir. Bu yöntem alıcının sabit olması durumunda statik, hareketli olması durumunda ise kinematik konum belirleme olarak tanımlanır (Kahveci ve Yıldız, 2001).

GPS ile yapılan mutlak konum doğruluğu Standart Konum Belirleme (SPS) ve Hassas Konum Belirleme (PPS) şeklinde ikiye ayrılmaktadır. SPS, L1 sinyali üzerine modüle edilmiş C/A kodu ile tüm kullanıcılara açıktır. PPS ise L1 ve L2 sinyalleri üzerine modüle edilmiş P kodu ile kullanımı sağlanmaktadır. Mutlak konum ölçmelerinde standart konum belirleme doğruluğu yatay bileşenler (2D) için 100 m. yükseklik bileşeni için 150 m. ve üç boyutlu konum doğruluğu ise 120 m. dir.

Verilen doğruluk değerleri, seçime bağlı ulaşılabilirlik Selective Availability (SA) etkisi altındaki GPS durumuna dayanmaktadır. Duyarlı navigasyon ve konum belirlemeleri önlemek için yayımlanan sinyaller belirli bir şekilde değiştirilmektedir. Bu değiştirmeye seçime bağlı ulaşılabilirlik (SA) denilmektedir. SA ile GPS'nin 10.23 MHz 'lik temel frekansına kısa ve uzun periyodik hatalar yüklenmekte ve navigasyon bilgilerindeki yörünge ve uydu düzeltme bilgileri yapay olarak değiştirilmektedir (Gülal, 2002).

4.3.3.2 Bağlı (Rölatif) Konum Belirleme

Bağlı konum belirlemede koordinatı bilinen bir nokta referans olarak alınıp diğer noktanın ya da noktaların koordinatlarının belirlenmesi olarak tanımlanır. Bu yöntemde belirlenen büyüklük, koordinatı bilinen ve koordinatı bulunacak noktalar arasındaki baz vektörüdür.



Şekil 4.5 Bağlı konum belirleme

Şekilde; A noktası bilinen nokta olarak kabul edilirse, B noktasının konumu için;

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Eşitliği yazılabilir. Burada, ΔX_{AB} , ΔY_{AB} , ΔZ_{AB} baz vektörünün bileşenleri olup aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Hoffman-Wellenhof vd.).

$$\vec{b}_{AB} = \vec{q}_B - \vec{q}_A = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Buradaki temel düşünce A ve B noktalarında taşıyıcı faz, pseudo-range ve doppler değişimlerinin eş zamanlı olarak toplanması, ortak uydular arasındaki fark alma modellerinin kullanılması ve baz uzunluğuna bağlı olarak atmosfer koşullarının birbirine yakın kabul edilebilmesidir. Yani A ve B noktalarının mutlak konumlarının aynı miktarda hatalı olduğu varsayılır, bu durumda iki nokta arasındaki uzaklık çok az miktarda hatalı olacaktır. Baz uzunluğuna ve istenilen doğruluğa bağlı olarak ölçme süresi, değerlendirme tekniği ve modelleme yöntemleri değişmektedir. Pratikte en çok kullanılan değerlendirme stratejisi ikili fark çözümüdür (Soycan, 1999).

Bağıl konum belirlemede referans noktasına ve koordinatı belirlenecek yeni noktaya kurumlu alıcılarla uydulara eş zamanlı kod ya da faz gözlemleri yapmak mümkündür. Bu yöntem, mutlak konum belirleme yöntemine göre elde edilen doğruluk yönünden daha iyi bir yöntem olduğundan, alıcı tipi, ölçü süresi, gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgilerine de bağlı olarak elde edilen doğruluk; 0.001-100 ppm arasında değişmektedir.

$$\frac{db}{b} = \sqrt{\frac{1}{2b}} \text{ mm / km} \quad (4.6)$$

b: baz uzunluğu

db: baz uzunluğu hatası olarak tanımlanmaktadır (Gülal, 2002).

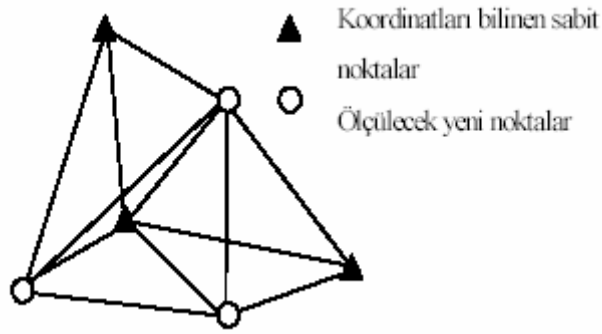
Daha önce de anlatıldığı gibi, kod gözlemleri navigasyon çalışmaları için yeterli doğruluk sağlamaktadır. Faz gözlemleri ise çok daha hassas bir yöntem olup, Jeodezik çalışmalar için çok daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Faz gözlemleri kullanılarak yapılan bağıl konum belirlemede genel olarak yedi farklı yöntem mevcut olup bunlar aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır;

- Statik ölçme yöntemi
- Hızlı (rapid) statik ölçme yöntemi
- Tekrarlı ölçme yöntemi
- Dur-git ölçme yöntemi
- Kinematik ölçme yöntemi

- Diferansiyel GPS yöntemi
- RTK GPS yöntemi

4.3.3.2.1 Statik Ölçme Yöntemi

Statik GPS ölçme yöntemi, yüksek duyarlılık gerektiren çalışmalarda, ölçülecek baz vektörlerinin uzun olması durumunda, sistematik etkilerin dikkate alınması gerektiğinde ve mevcut uydu geometrisinin başka bir ölçme yöntemine olanak tanımadığı durumlarda, minimum iki veya daha fazla alıcı ile eşzamanlı olarak aynı uydulardan alınan verilerin rölatif yaklaşımla değerlendirilmesi suretiyle iki nokta arasındaki baz veya koordinat farkları belirlenir. Rölatif değerlendirme ile uydu ve alıcı saat hatalarını giderebilmek ve atmosferik hataları minimuma indirmek mümkün olmaktadır. Bu ölçü yönteminde, baz vektörü uzunluğuna bağlı olarak oturum süresi 45 dakika ile birkaç saat arasında değişmektedir. Genel olarak bu yöntemin doğruluğu $5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ civarındadır.



Şekil 4.6 Statik ölçü yöntemi

Sonuç olarak statik ölçme yöntemi;

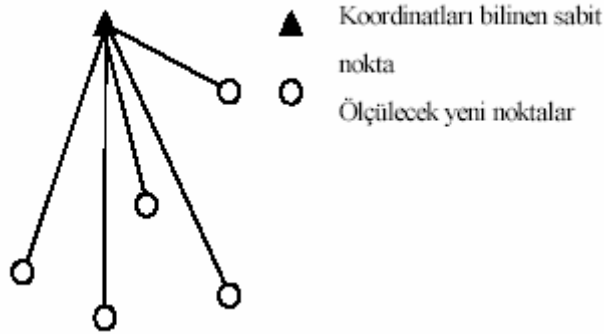
- Çok yüksek doğruluk istendiğinde (yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi, deformasyon ölçmeleri, vb.)
- Uzun bazlar söz konusu olduğunda (plaka hareketlerinin belirlenmesi)
- Mevcut uydu geometrisi başka bir ölçüm tekniğine olanak vermediğinde
- Sistematik etkilerin (iyonosfer, troposfer) dikkate alınması durumunda

milimetre düzeyinde sonuç verebilecek en iyi yöntemdir.

4.3.3.2.2 Hızlı Statik Ölçme Yöntemi

Çift frekanslı alıcılar ile yapılan bu ölçme yönteminde alıcılardan biri koordinatı bilinen bir noktada sürekli sinyal toplarken diğer alıcı yeni noktalarda 5-30 dakika arasında gözlem

yapar. Bu yöntemde her iki L1 ve L2 frekanslarına kod ve taşıyıcı faz ölçüleri kullanılarak tam sayı belirsizliği çözülmektedir (Gülal, 2002).



Şekil 4.7 Hızlı statik ölçme yöntemi

Bu da bir çeşit statik ölçü yöntemi olup, çok daha kısa süreli ölçülerle duyarlı sonuçların alınması nedeniyle ekonomik bakımdan büyük önem taşımaktadır. Hızlı statik yöntemin uygulamasında, konumu belirlenecek yeni noktalar arasında alıcı taşınırken açık olması gerekmemektedir. Bu da pratik açıdan büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemde ölçü süresi noktalar arası uzaklığa ve uydu geometrisine bağlı olup, uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki bazda ölçü süresi azaltılabilir (Çizelge 4.3) Hızlı statik GPS ölçme yöntemi, uydu sayısına ve geometrisine ve ölçü süresine bağlı olarak 20 km'nin altındaki baz vektörleri için, 5-10mm+1ppm civarında doğruluk sağlamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2001).

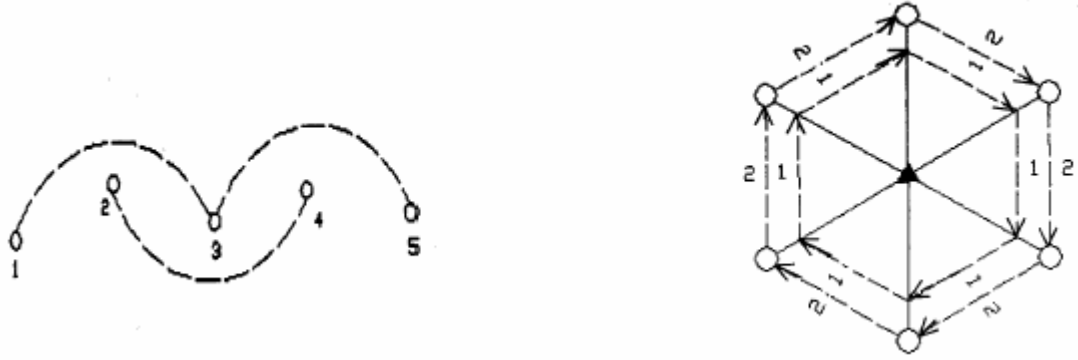
Çizelge 4.3 Uydu sayısı ve ölçü süresi ilişkisi

Uydu Sayısı	Ölçme Süresi
4	>20
5	10-20
6 veya daha fazla	5-10

4.3.3.2.3 Tekrarlı Ölçme Yöntemi

Değişen uydu geometrisinden yararlanarak, ölçülecek noktaların 1-4 saatlik zaman aralığında, birkaç dakikalık süre ile en az iki kez ölçülmesi ile gerçekleştirilen bir GPS ölçme yöntemidir (Eren ve Uzel,1995). Gerek statik gerekse kinematik yöntemin özelliğini gösteren bu metot, özellikle uydu geometrisinin zayıf olduğu durumlarda veya tek frekanslı alıcıların kullanıldığı durumlarda uygun sonuçlar vermektedir. Yöntem merkezsel baz veya travers yöntemi olarak ikiye ayrılabilir. Merkezsel baz yönteminde alıcılardan birisi sabit kalmakta diğer alıcılar ölçülecek noktalarda gezdirilerek, hızlı statik yönteme benzer şekilde referans istasyonu ile ölçülen noktalar arası baz vektörleri elde edilerek çözüm sağlanır. Travers yönteminde ise, sabit alıcı olmayıp her iki alıcıda hareketlidir. Bu yöntemde ölçüler atlamalı olarak yapılmaktadır. Bu şekilde birbirine komşu ardışık baz vektörleri bir dizi boyunca

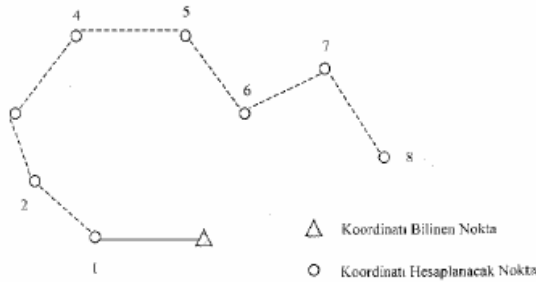
ölçülmektedir. Her iki yöntemde ölçü tekrarı sırasında aynı alıcının aynı noktada bulunması sağlanarak alıcıların homojen olmamasından kaynaklanan birtakım hatalar indirgenebilir. Yöntemin doğruluğu 5-10mm+1ppm civarındadır (Kahveci ve Yıldız, 2001).



Şekil 4.8 Travers ve merkezsiz baz yöntemleri

4.3.3.2.4 Dur-Git Ölçme Yöntemi

Bu yöntemde de bir alıcı sabit bir referans istasyonunda bulunmakta ve diğer alıcı veya alıcılar ise ölçülecek noktaları gezmektedir. Dur-Git ölçüsüne başlarken, ilk noktada birkaç dakikalık statik ölçme yapılarak, faz belirsizliği çözülmekte ve alıcı kapatılmadan aynı uyduları izlerken diğer noktalar birkaç epokluk veri ile ölçülmektedir. Bu arada aletin bir noktadan diğerine giderken izlemeyi devam ettirmesinin nedeni ise ilk noktadaki belirsizlik değerinin diğer noktalara da aynı şekilde taşınması zorunluluğudur. Eğer bu arada izlemeye kesilme olursa ya da uydu sayısının 4'ün altına düşmesi durumunda faz belirsizliğinin yeniden çözülmesi gerekmektedir. Bunun için, ölçmeye başlangıçtan itibaren yeniden başlanır veya bir sonraki noktada daha uzun süre beklenerek faz belirsizliği yeniden belirlenir. Yöntem özellikle bir birine çok yakın noktaların ölçülmesinde uygun sonuçlar vermektedir. Dur-Git yönteminin doğruluğu ise 1-2cm+1ppm civarındadır (Kahveci ve Yıldız, 2001).



Şekil 4.9 Dur-Git ölçme yöntemi

Dur-Git yönteminin kullanım alanları; detay ve açık alanda mühendislik ölçmeleridir.

4.3.3.2.5 Kinematik Ölçme Yöntemi

Dur-Git yönteminde önceden belirlenen noktalarda konum belirleme söz konusu iken, kinematik yöntemde bir güzergah tespit edilmekte ve bu güzergah üzerinde belirli zaman aralıkları ile nokta konumları belirlenmektedir. Burada faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözülmesi yine esastır. Dolayısıyla ikinci alıcı gezdirilmeye başlanmadan önce faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözümü için yine alıcılardan biri konumu bilinen bir noktaya, ikinci alıcı ise herhangi bir noktaya kurulur ve faz belirsizliği çözümü için gerekli veri toplanana kadar ölçüye statik durumda devam edilir. Daha sonra diğer noktalarda önceden belirlenen ölçü aralıkları ile (örn. 1-2 saniye aralıklarla) ölçüye devam edilerek hareket halindeki antenin konumu belirlenmiş olur. Uydu sayısı 4'ün altına düştüğü an faz belirsizliği bilinmeyeninin çözümü aynı Dur-Git yönteminde anlatıldığı gibi yapılmaktadır. Bu yöntem hızlı ve ekonomik bir yöntem olup, 1-2 cm. + 1 ppm civarında doğruluğa sahiptir (Kahveci ve Yıldız, 2001).



Şekil 4.10 Kinematik ölçme yöntemi

Kinematik GPS 'nin kullanım alanları:

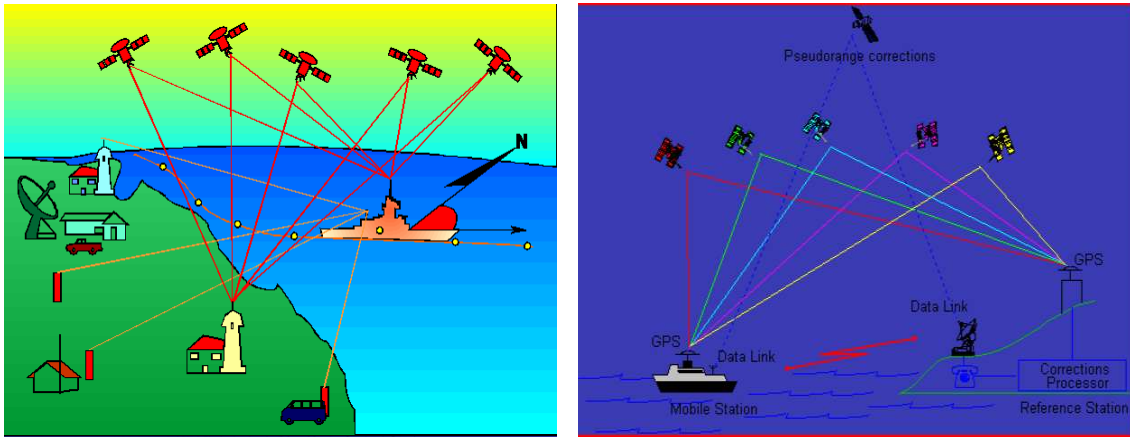
- Karada, havada veya denizde hareket eden araçların izlenmesi ve navigasyonu,
- Uydu altimetresi çalışmaları,
- Hidrografik çalışmalar,
- Karada veya denizde üç boyutlu sismik çalışmalar,
- Denizde gravite çalışmaları,
- Boğazlarda veya açık denizlerde yardımcı sistemlerle birlikte deniz trafiğinin kontrolü,
- Laser batimetresi,
- Fotogrametrik projelerde fotoğraf çekim anında kamera koordinatlarının bulunması,

- Havada laser profil çıkarma çalışmaları,
- Havada gravite çalışmaları,
- Statik yöntemle birlikte 1/10 000 ve daha küçük ölçekli haritaların yapım ve güncelleştirilmesi,
- Açık arazilerde poligon ve detay noktalarına koordinat verilmesi,
- GIS ve LIS veri toplama ve veri güncelleştirilmesi

Şeklinde özetlenebilir (Kartal, 1998).

4.3.3.2.6 Diferansiyel GPS (DGPS)

GPS ile elde edilen anlık doğruluk bir çok amaç için yeterli olsa da bazı navigasyon uygulamalarında (deniz ve hava araçlarının navigasyonu), araç takibi, filo yönetimi, GIS veri toplama, hassas tarım vb. uygulamalarda daha yüksek doğruluklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür uygulamalarda istenen doğruluğa DGPS gibi bazı özel teknikler kullanılarak erişilebilmektedir. DGPS bilinen bir noktadaki konumlama hatalarının belirlenip, belirli bir alan içerisindeki bazı hata kaynaklarının tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılarak, aynı bölgedeki başka alıcıların konum hesaplarının düzeltilerek doğruluğun artırıldığı bir yöntemdir. Diğer bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ile gezen alıcı arasındaki ortak sistematik hataların giderilmesi ya da en aza indirilmesi söz konusudur.



Şekil 4.11 Diferansiyel GPS

DGPS'nin temel prensibi; koordinatları bilinen bir referans istasyonunda bulunan GPS alıcısının elde ettiği kaba mesafe ve koordinatlar ile bu noktanın daha önceden bilinen konumu karşılaştırılarak aradaki farkın düzeltme değeri olarak diğer kullanıcılara radyo sinyalleri ile iletilmesi ilkesine dayanır. Kullanıcılar mutlak olarak elde ettikleri konumlarına bu düzeltmeleri ekleyerek konumlarını 3-5m doğrulukla elde edebilirler (Gülal, 2002).

Konum düzeltme yönteminde, referans alıcısının bilinen koordinatları ile GPS gözlemlerinden elde edilen koordinatları arasındaki fark hesaplanarak, kullanıcıların yeni koordinatlarına düzeltme değeri olarak eklenir.

$$\begin{aligned}\Delta X &= X_B - X_{GPS} & X &= X'_{GPS} + \Delta X \\ \Delta Y &= Y_B - Y_{GPS} & Y &= Y'_{GPS} + \Delta Y\end{aligned}\quad (4.7)$$

$$\Delta Z = Z_B - Z_{GPS} \quad Z = Z'_{GPS} + \Delta Z$$

X_B, Y_B, Z_B : Referans noktasının bilinen koordinatları

$X_{GPS}, Y_{GPS}, Z_{GPS}$: Referans noktasının GPS kod ölçüsünden hesaplanan koordinatları

X, Y, Z : Gezici alıcı için hesaplanan koordinatlar

$X'_{GPS}, Y'_{GPS}, Z'_{GPS}$: Gezici alıcının GPS kod ölçüsünden hesaplanan koordinatları

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: Düzeltme değerleri

Diğer bir düzeltme yönteminde ise; uydu ile referans nokta arasında ölçülen kaba kenar (pseudorange) ile referans noktanın önceden bilinen koordinatlarından hesaplanmış uydu-referans nokta arasındaki mesafenin farkı düzeltme değeri olarak diğer alıcılara iletilir.

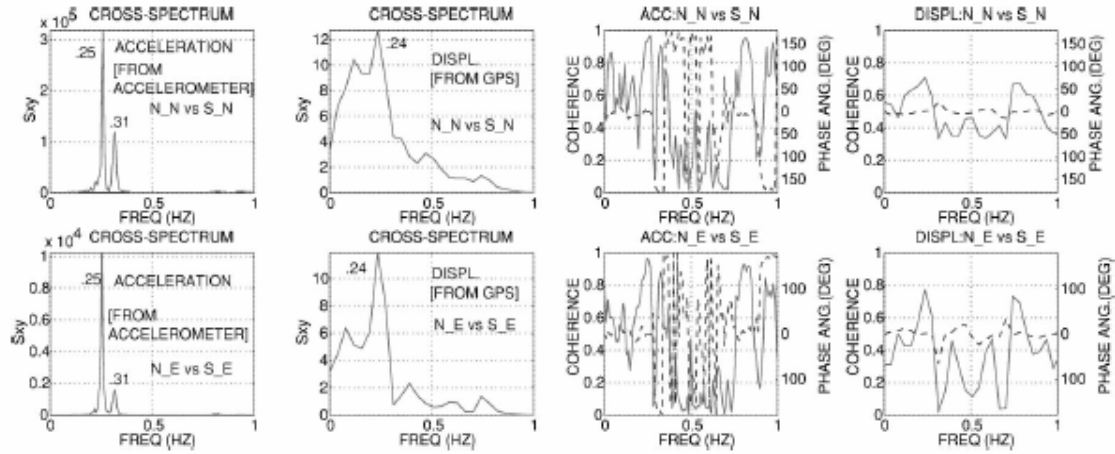
Diferansiyel düzeltmeler için kullanılan veri aktarım (data-link) sistemleri, çevresel etkenler nedeniyle sınırlı bir alan içerisinde kullanılmaktadır. Ayrıca DGPS'te her kullanıcının düzeltmeleri yayınlamak için kendi referans istasyonunu kurması gerekir. Bu sorunları aşmak amacıyla lokal (10-30 km'ye kadar) DGPS yayını yapan sistemler oluşturulmuştur. Bu şekilde tüm kullanıcılar bu veri aktarım sistemleri sayesinde ücretsiz olan bu düzeltmeleri kullanabilmektedirler. Bu lokal sistemlere LADGPS adı verilmektedir. Lokal sistemlerin daha geniş bir alanda (örneğin ülke çapında) uygulanmasını sağlamak amacıyla, düzeltmelerin özel uydular üzerinden yapıldığı sistemler oluşturulmuştur. Bu sistemlere de WADGPS adı verilmektedir (www.koeri.boun.edu.tr).

4.3.3.2.7 RTK (Real-Time Kinematic, Gerçek-Zamanlı Kinematik) GPS

Yeryüzündeki bir noktada olan GPS antenine, GPS uydularından iletilen elektrik dalgasının iletilme zamanının ölçülmesiyle; ölçülen noktanın GPS uydusundan olan uzaklığı belirlenir. Ölçülen noktanın 3 boyutlu konumu (X,Y,Z) ve zamanın belirlenmesi için en az 4 uydu

görmesi gereklidir. GPS ile yapılan ölçümlerde hataya neden olan birçok sebep vardır; PDOP, uydu saati ve yörünge hatası, iyonosferik ve troposferik gecikme, multipath hataları bunlardan bir kısmıdır. Eğer birbirine yakın iki anten aynı uydudan gelen aynı elektrik dalgasını alırsa, hata kaynakları da aynı olur. Bu noktalardan bir tanesinin yani referans istasyonunun konumu biliniyorsa, GPS ölçme hataları belirlenebilir. Referans noktasına ait hata bilgileri anında ve doğru sinyallerle diğer noktaya iletilirse, ölçme konum hatası minimuma düşer. Bu yöntem RTK GPS yöntemi denir. RTK yöntemi özellikle gökdelenlerin hareketinin izlenmesinde büyük olanaklar sağladığından, yurt dışında yapılan çalışmalarda tercih edilen bir metottur.

Aşağıdaki şekilde San Francisco'daki 34 katlı binanın hareketine ilişkin grafikler yer almaktadır. Bu uygulamada RTK GPS ve ivmeölçer kullanılmıştır. 2 GPS ünitesi (daima 3 eksenli) ve 3 eksenli ivmeölçer, bina çatısının köşelerine diyagonal olarak yerleştirilmiştir. Üçüncü GPS ünitesi ve ivmeölçer tek katlı yapının çatısına referans istasyonuna kurularak betonla sağlamlaştırılmıştır. Yapılan veri kaydı ve değerlendirmesi sonucunda GPS ölçümleriyle ivmeölçer ölçümlerinin uyumlu çıkmasıyla; GPS'in bu konudaki yeterliliği kanıtlanmıştır.



Şekil 4.12 GPS ve ivmeölçer verilerinden elde edilen çapraz-spektrum, uyuşum ve yatay faz açısı RTK ölçme yöntemi olarak DGPS yöntemine benzer. Bu yöntemin DGPS 'den en önemli farkı, ölçü büyüklüğü olarak faz farkı yönteminin kullanılmasıdır. Bu nedenden dolayı DGPS yöntemine göre daha hassas sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca standart GPS konfigürasyonuna ek olarak radyo-modem ve RTK kontrol ünitesi vardır. RTK GPS uygulamaları çift frekanslı taşıyıcı faz gözlemlerine dayalı olduğundan, hem referans hem de gezici alıcının çift frekanslı olması zorunludur. Referans alıcı, koordinatları bilinen bir noktaya kurularak, elde edilen faz gözlemlerinden düzeltmeler hesaplanır ve düzeltmeler

radio-modemler vasıtasıyla gezici alıcıya iletilir. Gezici alıcı tarafından bu şekilde elde edilen düzeltmeler, değerlendirilmekte ve tam-sayı bilinmeyenleri çözülerek hassas konumlama yapılabilmektedir. RTK metodunda başlangıçtaki faz belirsizliğini çözmek için en az 5 uyduya gözlem yapılmalıdır. En az 5 uyduya bağlanma şartı ağaçlık alanlarda ve yüksek yapıların bulunduğu şehir merkezlerinde oldukça güçtür. Fakat son yıllarda üretimine başlanan bazı tip alıcıların Rusların GPS'ye alternatif olarak uzaya yerleştirdikleri ve GLONASS (Global Navigation Satellite System) adını verdikleri sisteme ait uydulardan da sinyal alabilmesi ve bu ölçüler GPS ölçüleriyle birlikte kullanabilmesi bu problemin büyük oranda aşılmasına sebep olmuştur. Çünkü bu tip alıcılar RTK metodunda dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da; referans noktasındaki alıcıyla gezici alıcı arasında en fazla 10 km bulunmasıdır. Aksi takdirde, atmosferik etkiler göz önünde bulundurulduğunda, referans alıcısı için hesaplanan taşıyıcı dalga faz gözlemleri düzeltmeleri gezici istasyon için geçerli olmayacaktır. Bu yöntemin diğer statik ölçme yöntemlerine ve DGPS yöntemine göre bir üstün tarafı da uygulama işinde doğruluk açısından diğer geleneksel yersel aletlere yakın sonuç vermesi ve ölçme işleminin çok daha kısa bir zamanda tamamlanmasıdır.

RTK GPS 'in nominal doğruluğu, yatay yer değiştirmede $\pm 1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$, düşey yer değiştirme $\pm 2 \text{ cm} + 2 \text{ ppm}$ ve örnekleme aralığı 10 Hz.'dir.

4.3.4 Statik Ölçme Yöntemi İle Kinematik Ölçme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Statik ve kinematik GPS ölçme yöntemleri arasında kullanım ve duyarlılık bakımından bazı farklar vardır. Statik yöntem bir veya birkaç noktanın konumunu belirlemede kullanılırken, kinematik yöntem hareketli objelerin yer merkezine göre tanımlanmış bir koordinat sisteminde (mutlak) veya diğer bir noktaya göre (görelî) konumunu belirler. Bunun yanı sıra statik yöntemde sonuçların gerçek zamanda elde edilmesine gerek yoktur. Sadece bazı durumlarda toplanan verilerin kalitesini kontrol etmek için bir ön değerlendirme yapılabilir. Ölçü sayısının fazla olması nedeniyle genelde iyi sonuçlar alınmaktadır. Kinematik yöntemde ölçü sayısının az olması nedeniyle statik yöntemle göre, daha kaba sonuçlar alınır. Aynı zamanda bir çok kinematik uygulamada sonuçların gerçek zamanda alınması arzu edilir. İki ölçme yönteminin genel özellikleri çizelge 4.4'de özetlenmiştir (Kartal, 1998).

Çizelge 4.4 Statik ölçme yöntemi ile kinematik ölçme yöntemlerinin karşılaştırılması

Statik GPS	Kinematik GPS
• Bir, iki veya daha fazla sayıda sabit alıcı • Sonuçların gerçek zamanda alınmasına gerek yoktur • Fazla ölçü sayısı, güvenli ve duyarlı sonuçlar	• Konumu belirlenecek obje hareketli • Konum mutlak veya görelî olabilir • Genelde sonuçlar gerçek zamanda istenir • Az ölçü bu nedenle daha az duyarlı sonuçlar • Duyarlılığı artırmak için sisteme ek donanım gerekebilir • Yüksek duyarlılığa ulaşmak için ölçü sonrası değerlendirme zorunludur

4.3.5 Gps Ölçüm ve Hesaplarını Etkileyen Hata Kaynakları ve Giderilme Yöntemleri

GPS uygulamalarında birçok faktör birer hata kaynağı olarak yapılan ölçümleri ve dolayısıyla yapılan hesaplamaları etkilemektedir. Bu hatalar ve sapmalar (bias), jeodezik amaçlı olmayan kullanım alanlarının birçoğu açısından önem taşımayacak kadar küçük değerdedir. Ancak jeodezik çalışmalar gibi daha hassas sonuçlar gerektiren uygulamalarda bu hatalar ve hata kaynakları dikkate alınmak durumundadır. GPS ölçülerine etkileyen başlıca hatalar, uydu, sinyal yayılma ve alıcı kaynaklı hatalardır.

4.3.5.1 Uydu Hataları

4.3.5.1.1 Uydu Yörünge (Efemeris) Sapmaları

Yeryüzündeki belirli GPS kontrol istasyonları, uydu yörüngelerini ve uydu saat düzeltmelerini hesaplar. Amerika'daki ana kontrol istasyonu düzeltilmiş bilgileri uydulara yükler. Navigasyon mesajları içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşürüldüğü ve ya kasıtlı olarak yanlış yayınlanması gibi durumlar söz konusudur. Bu durumdan kaynaklanan hatalar uydu efemeris hatası olarak isimlendirilmektedir ve modellenmesi en zor hatalardan biridir.

ABD'nin savunma politikasının gereği olan ve Seçimli Doğruluk Erişimi (SA) olarak adlandırılan bu etki ile kasıtlı olarak uydu koordinatları ve uydu saatlerinin doğruluğu düşürülmektedir. Fakat bu etkinin kullanılmasına 1 Mayıs 2000 tarihinden itibaren son verilmiştir.

Yukarıda sayılan kasıtlı etkilerin dışında uydu yörünge sapmalarına neden olan çok önemli faktörler vardır. Bilindiği gibi, dünyanın etrafında dönen yapay uydulara etki eden ana kuvvet dünyanın yerçekimidir. Bu uydulara ikinci derecede etki eden bozucu kuvvetler ise şunlardır:

- Ayın, Güneş'in ve diğer gezegenlerin gravitasyonel etkileri
- Atmosferik (troposfer ve iyonosfer) sürüklenme kuvveti
- Güneş'in radyasyon basıncı,
- Manyetik kuvvetler,
- Gel-git, katı dünyanın ve okyanusların deformasyonları nedeniyle meydana gelen dünyanın yerçekimi alanının değişmesidir (Soycan, 1999).

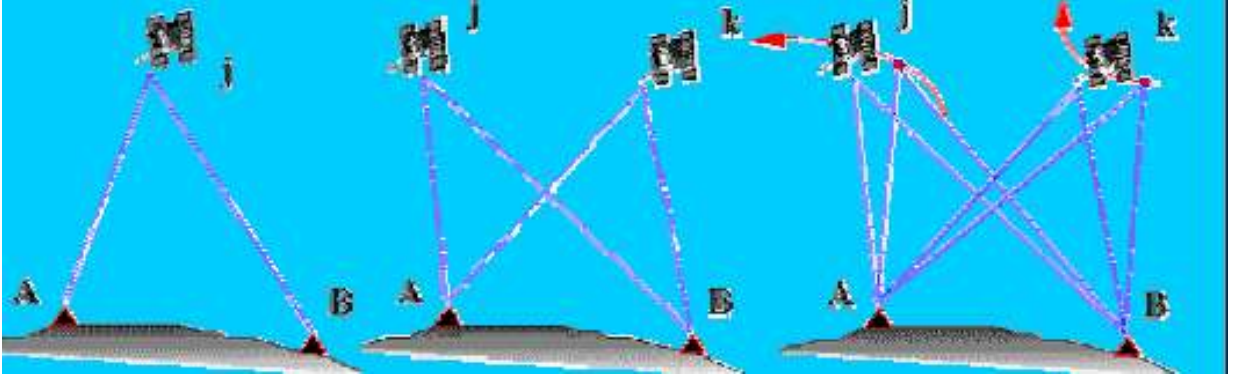
Yörünge hatalarının mutlak konum belirleme üzerindeki etkisi bağıl konum belirlemeye göre daha fazladır. Noktaların birbirinden çok uzak olmaması durumunda yörünge hatalarının büyük bir bölümü fark almayla bağıl koordinatların üretilmesinde elimine edilir (Gülal, 2002).

4.3.5.1.2 Saat Hataları

GPS ölçmelerinde zaman en önemli konulardan biridir. Bilindiği gibi uydu-alıcı arasındaki kaba kenar, sinyalin uydudan çıkış zamanı ile alıcının bu sinyali alması arasındaki bu zaman farkı ile ışık hızının çarpılmasıyla hesaplanır. Uydu-alıcı saatlerinin bazı nedenlerden dolayı GPS zamanına göre iyi senkronize edilememesi, uydu-alıcı arasındaki uzaklığın ana hata kaynağını oluşturmaktadır.

Uydu saatleri 10^{-13} doğruluklu osilatörlerdir. Bu yüksek doğruluk izafiyet teorisinin etkilerini göz önünde tutmayı gerekli kılmaktadır. Yeryüzü üzerinde sabit olarak duran bir osilatör tam olarak 10.23^{12} MHz'lik bir frekansa sahiptir. Eğer bu osilatör GPS 'in dönme yörüngesine oturtulursa, osilatör frekansında izafiyet teorisinin etkisinden dolayı 450.10^4 'lik bir değişim meydana gelir. Yani frekans yükselir ve uydu saati günde 40 μ s ileri gider. Bu etkiyi dengelemek için uydu saatleri yörüngeye oturtulmadan önce frekansı düşürülerek 10.22999999545 MHz'e ayarlanır. Uydu saatindeki yüksek duyarlılığa ve sürekli olarak yapılan düzeltmelere karşın artık hatalar kalmaktadır. Bu artık hatalar mesafe ölçümünde 0.9 m'lik bir hataya sebep olmaktadır (Gülal, 2002).

Bağıl konum belirlemede taşıyıcı faz farkı ölçülerini alıcı ve uydu saat hatalarından arındırabilmenin yolu ise fark alma tekniklerinin kullanılmasıdır. Kullanılan fark alma teknikleriyle, uydu ve alıcı saat hatalarının yanı sıra, uydu yörünge hataları ile başlangıç faz belirsizlikleri de en aza indirilir.



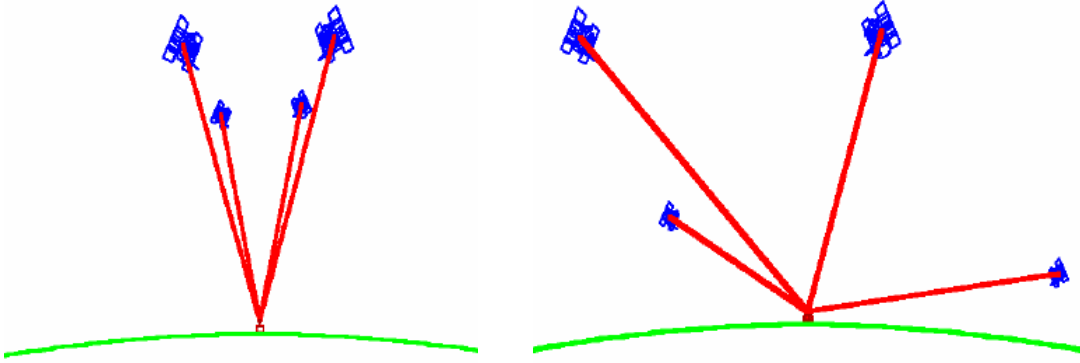
Şekil 4.13 Tekli, ikili ve üçlü fark alma teknikleri

4.3.5.1.3 Uydu Geometrisinden Kaynaklanan Hatalar

Uydu geometrisi DOP (Dilution of Precision) ile tanımlanır. Farklı DOP çeşitleri aşağıdaki gibidir:

- HDOP : yatay konum doğruluğu
- VDOP : düşey konum doğruluğu
- PDOP : 3 boyutlu konum doğruluğu
- TDOP : zaman belirleme doğruluğu

Bu DOP çeşitleri arasından en çok kullanılan ve en önemlisi PDOP değeridir. Arazide ölçme işlemine başlamadan önce, konum doğruluğu için PDOP grafikleri incelenmeli ve PDOP değerinin 3 ve 4 'ün altında olduğu zamanlar tercih edilmelidir. Yani PDOP ne kadar küçükse uydu geometrisi o kadar iyi demektir. En iyi uydu geometrisi, uydunun bir tanesinin alıcının tam üstünde olması, diğer üç uydunun ise birbirinden 120 'şer derece aralıkla durmasıdır.



Şekil 4.14 Kötü-İyi uydu geometrisi

4.3.5.2 Sinyal Yayılma Hataları

4.3.5.2.1 İyonosfer Etkisi

Bilindiği gibi yeryüzünü çevreleyen gaz tabakası atmosferdir ve atmosfer 7 katmandan meydana gelmiştir. Atmosferin 7 katmanı şu şekilde sıralanmaktadır: Troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer, iyonosfer, ekzosfer ve manyetosferdir.

Mezosferin üstünde, yaklaşık 80 km den, 500 km yüksekliğe kadar uzanan iyonosfer katmanının bir adı da Termosferdir. İyonosferde hava çok seyrek olduğundan gaz molekülleri çok seyrek olarak dağılmıştır. Bu moleküllerin sıcaklığı 320 km yükseklikte 700 °C ye ulaşacak kadar yüksektir. Bu katmandaki parçacıklar Güneş'ten gelen ışınların etkisiyle iyonlaşmış, yani elektrik iletkeni haline gelmiştir. İyonlaşmış parçacıkların en yoğun olduğu bu katman, radyo dalgaları için bir yansıtıcı görevi görür.

Uydudan alıcıya gelen sinyal atmosferdeki farklı kırılma katsayıları nedeniyle düz bir yol izleyememektedir. İyonosferdeki sinyalin gecikme nedeni Toplam Elektron Yoğunluğu (TEC) ile ifade edilir. Uydu ile alıcı arasındaki sinyal boyunca m^2 'deki toplam elektron sayısı olarak bilinen TEC aşağıdaki değişkenlerin bir fonksiyonudur:

- Güneş iyon akışı
- Manyetik hareketler
- Güneş lekesi (orta büyüklükteki bir Güneş lekesi yaklaşık Dünya kadardır)
- Mevsim
- Saat (öğlen en yüksek, gece en düşük)
- Alıcının yeri ve bakış doğrultusu

İyonosferdeki gecikme, sinyal yolu boyunca elektron aktivitesine bağlı olup metreküpteki elektron sayısının (TEC) fonksiyonu olarak hesaplanır. Bu fonksiyon, zamana ve enleme bağlı olarak hızlı bir değişim gösterir. İyonosferik gecikmenin giderilmesi için, çift frekanslı (L1, L2) alıcıların kullanılması gerekir. L1 ve L2 arasında %20 'lik frekans farkı olduğundan ve iyonosferden farklı etkileneceğinden, çift frekanslı alıcıların kullanılmasında fayda vardır.

4.3.5.2.2 Troposferik Gecikme

Troposfer, atmosferin yeryüzü ile temas halinde olan en alt katmanıdır. Yeryüzünden itibaren yaklaşık 50 km kalınlığında olduğu kabul edilmektedir. Hava olayları genellikle 3-4 km'lik alt bölümde meydana gelmektedir. Troposfer tabakası iyonosfer tabakası gibi elektrik yüklü olmadığından, troposferdeki gecikmeyi önlemek için çift frekanslı alıcıların kullanılmasının bir faydası yoktur. Aynı zamanda troposferin faz ve kod ölçmelerine olan etkisi aynı derecededir.

Troposfer kuru ve ıslak olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Troposferdeki gecikmenin %90'lık kısmı ise kuru kısımda oluşmaktadır. Yeryüzündeki sıcaklık ve basınç ölçüleriyle kuru kısım %95- %98 duyarlılığında modellenenir. Troposferik gecikme, GPS sinyalinin troposferdeki aldığı yola bağlı olduğundan uydu zenit açısının da bir fonksiyonu olacaktır. Bu sebeple, GPS gözlemlerinde ve değerlendirmelerinde uydu sinyali yükseklik açısının, sinyal yansıması (multipath) ve gözlenen uydu sayısı göz önünde bulundurularak, 15 derece seçilmesinde fayda vardır.

Troposferdeki gecikmenin %10'unu oluşturan ıslak kısım, su buharı dağılımının hassas olarak belirlenememesinden dolayı modellenmesi oldukça güçtür.

Sanstamoinen (1972)'ye göre troposfer zaman gecikmesi aşağıdaki formülle modellenenir.

$$\tau_{Trop} = [0.002277 / (c \cos z)] [p + [(1255 / T) + 0.05] e - \tan^2 z] \quad (4.8)$$

Burada;

Z : Uydunun zenit açısı

P : mbar olarak atmosfer basıncı

T : Kelvin olarak sıcaklık

e : mbar olarak su buharının kısmi basıncı

c : Işık hızını, göstermektedir.

4.3.5.2.3 Multipath (Sinyal Yansıması, Çok Yolluluk)

GPS sinyallerinin alıcıya iki ya da daha fazla yol üzerinden ulaşmasıyla sonuçlanan bir yayılma fenomeni olan multipath etkisi, GPS ile konum belirlemede en önemli hata kaynaklarından biridir. Multipath sinyal modülasyonu ile taşıyıcı fazı bozar ve böylece ulaşılan doğruluğu azaltır. Multipath hataları, doğrudan alıcıya ulaşan sinyallerle su yüzeyi, metalik yüzeyler, binalar vb. objelerden yansıyan sinyallerin birlikte alıcıya ulaşması sonucu ortaya çıkar ve elde edilen sinyalin, yansyarak alıcıya ulaşan sinyaller nedeniyle bozulmasına yol açar. Multipath etkisi, özellikle de büyük yansıtıcı yüzeylerin yakınındaki istasyonlarda yapılan ölçmelerde etkisini hissettirir (Özlüdemir, 2002).

Sinyal yansıması uyduların neden olduğu ve alıcı antenin çevresindeki yüzeylerin neden olduğu yansımalar olarak ikiye ayrılmaktadır. Uyduların neden olduğu etkiler özellikle kısa kenarlı ağlarda (<100-200 km) bazın her iki ucundaki anten için aynı büyüklüğe sahip olacağından bağıl konum belirleme yöntemi ile büyük ölçüde giderilmektedir. Alıcı antenin çevresinin neden olduğu olası hata kaynakları ise yapılar, araçlar, su yüzeyleri (deniz, göl) ve diğer yansıtıcı yüzeylerdir. Sinyal yansıma etkisinin büyüklüğü dalga boyu ile orantılı olup, bu etkinin neden olduğu hata P kodu için taşıyıcı dalga fazına göre yaklaşık yüz kat daha fazladır. Anten sinyal yansıma etkisi esas olarak antenin kurulu olduğu noktanın çevresindeki yüzeylere bağlıdır (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Multipath etkisini gidermenin en kolay ve etkin yolu, GPS alıcısının çok yakınında yansıtıcı yüzeylerin olmamasına dikkat etmektir. Ayrıca GPS sinyallerinin sağ el kuralına göre, yansıyan dalganın ise sol el kuralına göre polarize olması nedeniyle uygun filtreleme yöntemleri ve yansıyan dalgayı absorbe eden özel anten tipleri (ground planes) kullanılabilir (<http://www.koeri.boun.edu.tr>).

4.3.5.2.4 Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği ve Faz Kesiklikleri

Bilindiği gibi taşıyıcı faz ölçüsü, alıcıda ölçülmüş uydu taşıyıcı sinyal fazı ile alıcı içerisindeki yerel osilatör den elde edilen taşıyıcı faz arasındaki farktır. Taşıyıcı dalga fazı gözlemleri ile kod ölçüleri temelde aynı olmasına karşın aralarındaki en önemli fark, kod gözlemlerinde kodun ‘chip’ uzunluğu ölçülürken faz gözlemlerinde taşıyıcı dalganın dalga boyları (cycles) sayılmaktadır.

Uydudan çıkıp, alıcıya ulaşan sinyal iki ayrı bileşenden oluşur;

1. Ölçülebilen kısım olan taşıyıcı dalganın en son kesirli faz parçası

2. Sayısı belli olmayan N tam sayıdaki dalga boyu sayısı

Ölçü başlangıcında to'dan itibaren ölçülemeyen tam dalga boyu sayısı bilinmediğinden Taşıyıcı Faz Belirsizliği ya da Başlangıç Faz Belirsizliği olarak adlandırılır.

Düzenli ve rasgele hatalar nedeniyle çözümü kolay olmayan taşıyıcı faz belirsizliği, her bir uydu ve alıcı çifti için farklı bir tam sayı değerindedir. L1 ve L2 faz ölçüleri için farklı değerler alan, taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği sinyal kesilmesi olmadığı sürece aynı kalır.

Başlangıç faz bilinmeyi, yukarıda da anlatıldığı gibi alıcı, ilk sinyali aldıktan sonra uydunun görünebilir olduğu, uydu-alıcı arasına her hangi bir engel girmediği sürece bu değer değişmez. Aksi takdirde, sinyal sıçraması (cycle slip, faz kesikliği) oluşur ve sinyalin yeniden gelmesiyle yeni bir N bilinmeyi oluşur. N tam sayı bilinmeyi double-difference gözlemleri oluşturularak çözülür (Kurt, 1997).

Başlangıç Faz Bilinmeyeninin doğru belirlenememesi durumunda ise:

1. Bir epok ölçü ile anlık konum belirleme mümkün olmaz.
2. Tam sayı olması gereken başlangıç faz bilinmeyi belirsizliğinin kestirilecek ek parametre olarak matematik modele eklenmesi, çözümü daha karmaşık hale getirir.

Başlangıç faz belirsizliğinin kestirilebilmesi için ölçülerin faz sıçramalarından temizlenmesi gerekmektedir. Faz sıçramasının belirlenmesi için, yapılan ölçüler arasında alınan Single, Double ve Triple Differenceler ile ölçülere göre gerçek değerler bulunur. Bilinen yaklaşık koordinatlarla (kod ölçüleriyle belirlenmiş olan koordinatlar) ve gerçek değerler arasındaki farklar belirlenerek farklara en yakın bir polinom fonksiyonu hesaplanır. Belirlenen bu fonksiyona uymayan farklar faz sıçraması olarak kabul edilir. Belirlenen faz sıçramaları da göz önüne alınarak düzeltilmiş koordinatlar hesaplanır ve bu düzeltilmiş koordinatlarda da faz sıçramaları aranır. İşlem, olması gereken değer ile gerçek değer arasında farkın belirli bir sınır altında kalıncaya kadar iteratif olarak tekrarlanarak, faz sıçramaları ölçülerden arındırılmış olur (Soycan, 1999).

4.3.5.3 Alıcı Hataları

4.3.5.3.1 Anten Faz Merkezi Kayıklığı

Alıcı anteninde sinyallerin algılandığı nokta, “anten faz merkezi” olarak adlandırılmaktadır. Normalde bu nokta, antenin geometrik (fiziksel) merkezi ile çakışmaz. Noktanın kayıklığı,

uydunun yüksekliğine, azimutuna bağlı olup L1 ve L2 sinyalleri için farklıdır. Anten faz merkezi kayıklığı, biri sabit diğeri zamana bağlı değişim olmak üzere iki ayrı büyüklük olarak incelenebilir. Sabit değişim, alıcı antenini üreten fabrikanın belirlediği miktardan farklı bir kayıklık olabilir ve bu değişim laboratuvar koşullarında test edilip, düzeltilebilir. Zamana bağlı değişim ise, zamanla uydudan gelen sinyallerin etkisiyle, anten faz merkezinde olan değişimdir. Bu tür zamana bağlı anten faz merkezi hatalarından kaçınmak için uygun anten seçimi, aynı anda farklı tip anten kullanılmaması (bağıl konumlamada), antenlerin aynı yöne (genellikle manyetik kuzeye) yönlendirilmesi önerilir.

5. ZAMAN SERİSİ

Zaman serisi verileri, değişkenlerin bir dönemden diğerine ardışık şekilde gözlendiği sayısal değerler hakkında bilgiler verir. Gözlenen verilerin zaman içerisinde ardışık bir biçimde olması gerekli bir koşul değildir. Fakat düzenli zaman aralıklarında dizinin gelişimini takip etmesi doğru analiz açısından önemlidir. Zaman serileri gerek bilimsel amaçlı, gerekse farklı amaçlarla ekonomi, mühendislik, sağlık, eğitim gibi çok farklı alanlarda derlenmekte ve toplanmaktadır (Nargeleçekenler ve diğ., 2005).

Zaman serisi kavramıyla, belirlenen bir örnekleme aralığında ölçülen GPS verilerinin zamana bağlı değişimi anlatılmaktadır.

Bir zaman serisi trend, mevsimsel (periyodik) ve düzensiz (rassal) hareketlerden oluşan bileşenler biçiminde ayrıştırılarak analizleri yapılır. Örneği Y_t gibi bir zaman serisinde doğrusal trend ilişkisi

$$Y_t = \alpha + \beta (Zaman)_t + Hata_t \quad (5.1)$$

Zaman kavramı yerine T sembolünü ve hata kavramı yerine u terimini kullanırsak;

$$Y_t = \alpha + \beta T + u \quad (5.2)$$

biçiminde yazılabilir.

Zaman serisini oluşturan gözlemlerin zaman boyunca seyrini (zaman yolunu) gösteren saçılım diyagramlarının yapısı aynı zamanda kabaca söz konusu serinin özelliğini de ortaya koyar. Yani, serinin zaman boyunca bir trendi, bir rassal yapıyı, bir mevsimsel etkiyi içerip içermediğini yansıtır. Dolayısıyla veri setinin zaman boyunca gösterdiği seyir, serinin nasıl bir matematiksel kalıba sahip olduğu hakkında önemli bilgiler verir.

Bir zaman serisinin gözlenen değerlerinde trend, periyodik (mevsimsel) ve stokastik (düzensiz-rassal hareketler) olmak üzere üç bileşenden oluşan fonksiyonel bir ilişki vardır. Bu nedenle zaman serisi analizlerinde ilk yapılan işlem serinin zaman yolu grafiğinin çizilmesidir. Serinin bir trend bileşenine sahip olup olmadığı incelenir. Yapılan bu tez çalışmasında seride lineer trend olup olmadığı t-dağılımı ile araştırılmıştır.

t dağılımı benzer olasılık dağılımlarının bir topluluğudur. Belirli bir t dağılımı serbestlik derecesi olarak bilinen parametrelere dayanır. Serbestlik derecesi arttıkça, t dağılımı ve standart normal olasılık dağılımı arasındaki fark gittikçe küçülür. Serbestlik derecesi büyük

olan t dağılımının değişkenliği (varyansı) daha küçüktür ve t dağılımının ortalaması sıfırdır (www.beykent.edu.tr).

$X_1, \dots, X_n$ istatistiksel olarak birbirlerinden bağımsız rastsal değişkenler olmak üzere ve beklenen μ ile dağılım σ değerleri ile normal dağılmaktadırlar.

$$\bar{X} = (X_1 + \dots + X_n)/n \quad (5.3)$$

örneklem ortalaması ve

$$S_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2 \quad (5.6)$$

örneklem varyansı olsun. Aşağıdaki ifadenin 0 ortalama ve 1 varyans ile normal dağıldığı bilinmektedir.

$$Z = \frac{\bar{X}_n - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (5.7)$$

İstatistikçi Gosset bununla ilişkili bir büyüklüğü inceleyerek aşağıdaki sonuca ulaşmıştır:

$$T = \frac{\bar{X}_n - \mu}{S_n/\sqrt{n}} \quad (5.8)$$

$$P(-t_{f,1-\alpha/2} < t < t_{f,1-\alpha/2}) = 1 - \alpha \quad (5.9)$$

şeklindedir. Uygulamada genellikle $\alpha=0.05$ ya da 0.01 alınır. Yoğunluk fonksiyonunun sağında ve solunda eşit kısımlar halinde ayrılan α olasılığına “yanılma olasılığı” ya da testlerde “anamlılık düzeyi” adı verilir (Demirel, 2003).

Lineer trend araştırmasından sonra periyodik hareketlerin şiddeti ölçülmeye çalışılır. Son olarak da düzensiz hareketler (stokastik bileşen) giderilerek seri temiz bir dizi haline getirilir.

Zaman serisinin gözlenen değerleri;

Zaman Serisi = f (Trend Bileşeni, Periyodik Bileşen, Stokastik Bileşen)

Biçiminde 3 fonksiyonel bileşenden oluşmaktadır.

Buna göre Y_t gibi bir zaman serisinde bütün bileşenlerin toplam modeli

$Y_t = T_t + Y_t + Z_t$ şeklindedir.

5.1 Stokastik Bileşen (Düzensiz-Rassal Zaman Serisi Kalıpları)

Rassal (düzensiz) kalıplar genelde verilerin sabit bir ortalama civarında dalgalandığı kalıplardır. Bu tür seriler ortalamaya göre durağan bir yapıya sahiptirler. Rassal serileri oluşturan verilerin belirli bir sistematik yapıya sahip kalıpları yoktur ve zaman içerisinde nadiren tekrarlanır (Nargeleçekenler ve diğ., 2005).

Zaman serisi analizlerinde ardışık gözlemler bağımlı olduklarında, gelecekte alacakları değerler geçmiş dönemlerdeki gözlemlerinden öngörmek mümkünse, yani olaylar matematiksel ifade ile kesin olarak belirleniyorsa zaman serisi deterministik zaman serisi olarak tanımlanır. Stokastik (olasılıklı) zaman serilerinde, serinin gelecekte alabileceği değerler kısmen geçmiş verilerden tanımlanabilmektedir. Bu tür problemlerin çözümünde stokastik yaklaşımdan yararlanılmaktadır. Doğa olaylarının rasgele karakterli olduğu kabul edilerek olasılık kanunlarına dayalı modeller elde edilmektedir.

5.2 Trend Bileşeni

Zaman serisi değişkenleri artan, azalan veya değişmeyen yapıda bir trend özelliğine sahip olabilir. Bir zaman serisinde trend zaman serisinin uzun dönemli eğilimini gösterir. Bir seride trend değişimleri adeta serinin ortalaması gibidir (Nargeleçekenler ve diğ., 2005).

Zaman serilerinde trend bileşeni bulunduğu tespit edilirse, bu bileşenin seriden ayrıştırılması için En Küçük Kareler Yöntemi ile uydurulan bir doğru veya eğri denklemi elde edilmektedir.

5.3 Periyodik Bileşen

Mevsimsel (periyodik) bileşen ise belirli aralıklarla tekrar eden bir salınım gösterir. Bir zaman serisinde gözlem verileri trendin altında veya üstünde tekrarlı biçimde değer almasıyla periyodik etki ortaya çıkar. Mühendislik yapıları açısından, periyodik etkinin ortaya çıkışına özellikle güneş, rüzgâr ve yağmurun etkileri gibi iklimsel etkiler, yersel hareketler ve gel-git gibi birçok faktör neden olur.

Yapıdaki anlamlı, kayda değer değişimler, günlük gözlemlerden oluşan bir serinin olası periyodik bileşenleri Fourier yaklaşımı ile temsil edilmektedir. Günümüzde uzun zamanlı periyodik değişimlerin frekanslarını belirlemekte kullanılan yaklaşım ise Hızlı Fourier Dönüşümü algoritmalarıdır.

5.3.1 Hızlı Fourier Dönüşümü Algoritması (FFT Algoritması)

Frekans bir olayın belli bir süredeki tekrar sayısıdır. Bu süre 1 saniye olarak alınırsa, bir olayın, örneğin titreşimin 1 saniyedeki titreşim adedidir. Frekans, periyodun (T) tersidir; çünkü, periyot tekrarlanan bir olayın devam etme süresidir.

FFT Dönüşümü bir zaman eğrisini zaman düzleminden frekans düzlemine dönüştürme işlemini, dijital olarak hızlı yapabilme yeteneği olan algoritmaya verilen addır. Bir zaman serisine FFT dönüşümü uygulanabilmesi için serinin kesiksiz olması gerekmektedir.

Fourier analizine spektral analiz de denilmektedir ve sonsuz sayıda değişik frekans, genlik ile fazda sinüsoidallerin toplamından oluşur.

$$f(t) = a_0 + a_1 \sin(w_1 t + \theta_1) + a_2 \sin(w_2 t + \theta_2) + a_3 \sin(w_3 t + \theta_3) + \dots \quad (6.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Görüleceği gibi burada her sinüsoidalle ilgili genlikler, frekanslar ve faz açıları farklıdır. Bir $f(t)$ fonksiyonunu zaman düzleminden $F(\omega)$ frekans düzlemine döndürme işlemine Fourier dönüşümü denir (<http://www.vibratek.com.tr>).

Frekans düzlemi titreşim genliklerinin bir frekans aralığında frekanslara göre dağılımını gösteren grafik anlamında kullanılmaktadır. Titreşim spektrum grafikleri (frekans düzlemi) ise seçilen bir frekans aralığındaki frekanslardaki titreşim genliklerini gösterir.

Periyodik salınımlar düzgün sinüs ve kosinüs dalgalarının toplamı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir:

$$Y_i = \bar{Y} + \sum_{j=1}^m \left[A_{ij} \sin\left(2\pi \frac{j}{n} i\right) + B_{ij} \cos\left(2\pi \frac{j}{n} i\right) \right] + h_i \quad (6.2)$$

$\bar{Y}$: Ortalama Değer

n : Ölçü Sayısı

A_{ij}, B_{ij} : Y_i fonksiyonu periyodik hareket katsayıları

i : 1, 2, ..., n

j : 1, 2, ..., m (periyot sayısı)

Yukarıdaki denklem zaman serilerindeki periyodik bileşenin Fourier açılımına göre analitik formunu göstermektedir. Hareketin genliği;

$$R_j = \sqrt{A_j^2 + B_j^2} \quad (6.3)$$

dir. Denklemden A_j ve B_j 'ler ($j=1,2,3,\dots,m$), $2m$ tane bilinmeyene karşı gelmektedir. Bu bilinmeyenlerin verilerden elde edilmesi için En Küçük Kareler metodu uygulanarak periyodik hareketlerin katsayıları elde edilmektedir (Erdoğan ve diğ., 2005).

Dengeleme sonucu elde edilen katsayılar serbestlik derecesi f için t -dağılımının güven sınır değerleri $t_{f,1-\alpha/2}$ ($\alpha=0.05$) göre belirlenen yanılma olasılığında anlamlı olup olmadıkları test etmek gerekir. Bu şekilde zaman serisi içindeki periyodik bileşenler daha doğru bir biçimde giderilmiş olur.

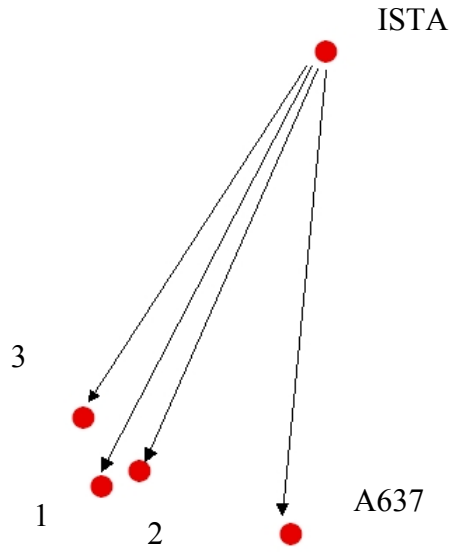
6. UYGULAMA

6.1 Noktaların Tesis Edilmesi

Son zamanlarda yapılarda depremin etkisini önceden kestirmek ve mümkün olduğunca en az zararla kurtulmak için bilimsel topluluklar ve mühendisler bazı özel yapılara GPS üniteleri yerleştirerek binanın verdiği tepkiyi ölçmüşlerdir. Bu amaçla yapılan uygulamalar sonucunda yayınlanan makaleler incelendiğinde, ikisi bina çatısında biri binanın çok yakınında ve zeminde olacak şekilde en az üç noktalı ağ oluşturulduğu görülmüştür. Güncel ve ilgi çekici olan bu konuda yurt dışında yapılan çalışmalara benzer bir uygulama yapmak amacıyla ilk olarak bir kontrol ağı tasarlanmıştır.

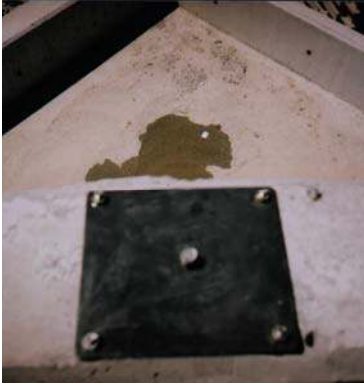


Şekil 6.1 Model olarak alınan yapı merkezine ait bina ve çevresi



Şekil 6.2 Gözlem ağı

Model olarak seçilen binanın (Şişli Plaza) hareketlerinin izlenmesi amacıyla, bina üzerinde elips şeklindeki terasın duvarına, elipsin yaklaşık büyük ekseninin uçlarına gelecek şekilde 2 adet (1 ve 2 numaralı noktalar), binanın yakınında zeminde Fransız Lape Hastanesinin bahçesine de 3 numaralı nokta tesis edilmiştir. Yapı Merkezi binasına yakın ve zeminde tesis edilen 3 nolu noktanın koordinatlarındaki değişim ile bina üzerindeki noktaların koordinatlarındaki değişimlerin karşılaştırılması suretiyle; bina hareketleri konusunda daha sağlıklı bir değerlendirme yapılması amaçlanmıştır. GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere Yıldız Teknik Üniversitesi, Yıldız Kampüsünde A Blok üzerinde bir nokta (A637) daha alınmıştır. Ayrıca İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampüsünde bulunan ISTA noktası da ağa dahil edilmiştir. ISTA noktasındaki ölçü değerleri internetten indirilerek çalışmada değerlendirilmiştir. Bu şekilde toplam 5 noktalı bir ağ oluşturulmuştur (Şekil 6.2). Binanın üstündeki iki nokta, terastaki perde beton şeklindeki duvarın üzerine özel olarak yaptırılan metal plakalarla çelik dübel kullanılarak zorunlu merkezlendirme olarak tesis edilmiştir. Şekil 6.3 de, a) tesis edilmiş nokta, b) nokta üzerine yerleştirilen üçgen altlık, c) üçgen altlık üzerine yerleştirilen GPS alıcısı görülmektedir. Binanın yakınında yerdeki 3 numaralı nokta ise tabureye benzeyen ve üzerinde zorunlu merkezlendirme düzeneği olan özel bir altlıkla (Şekil 6.4), zemindeki su deposu betonu üzerine yine çelik dübellerle yerleştirilmiştir. YTÜ A blok üzerindeki A637 numaralı nokta ise, üzerine GPS'nin doğrudan yerleştirilebileceği bir vida şeklinde daha önceden tesis edilmiş bir noktadır (Uluişik ve diğ.,2005).



a)

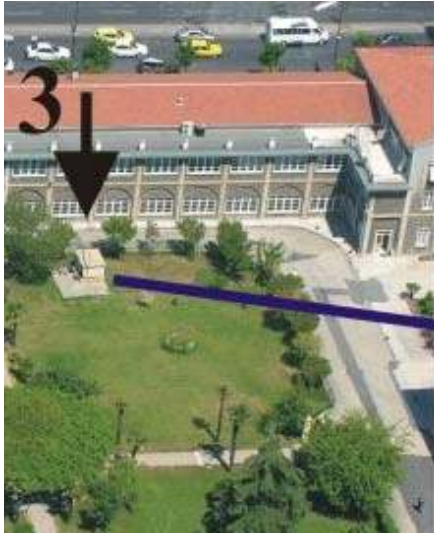


b)



c)

Şekil 6.3 Binanın üstünde nokta tesisi ve GPS nin kurulması



Şekil 6.4 Fransız Lape Hastanesindeki 3 nolu nokta

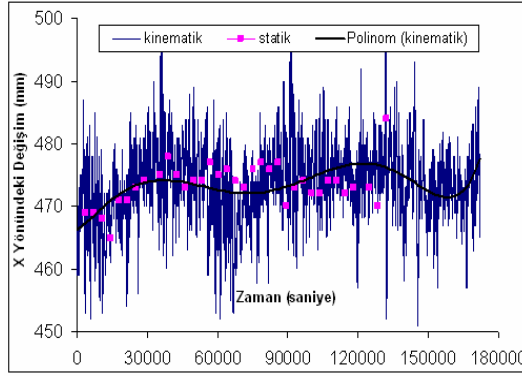
6.2 GPS Ölçümleri Değerlendirme ve Analiz Sonuçları

18 Mayıs 2005 günü saat 11.00 de veri toplama işlemine başlanmıştır. Bina üstündeki 1 ve 2 nolu noktalara Ashtech Z-Surveyor, Yıldız Teknik Üniversitesindeki A637 ve Fransız Lape Hastanesi Bahçesindeki 3 nolu noktada Ashtech Z-Max. alıcıları ile statik ölçüm yapılmıştır. A637 ve 3 nolu noktadaki aletler yaklaşık 10 saat veri kaydetmiştir. Bina üstündeki 1 ve 2 nolu noktalarda 20 Mayıs 2005 günü saat 10:00 da GPS ölçümlerine son verilmiştir. Bataryalar boşalınca dek, yaklaşık olarak 1 nolu noktada 35 saat, 2 nolu noktada ise 49 saat veri toplanmıştır. Ağa dahil edilen ISTA noktasındaki ölçüm günlerine ilişkin veriler internetten indirilmiştir. GPS ile ölçülerin kaydedilme aralığı, ISTA noktası ile uyumlu olması ve mümkün olduğunca çok veri kaydedebilmek amacıyla tüm noktalarda 30 saniye olarak alınmıştır. Kullanılan GPS alıcılarının yataydaki baz ölçme duyarlılığı statik yöntem için 5mm+1 ppm, kinematik yöntem için 1-2 cm +1 ppm olarak verilmektedir.

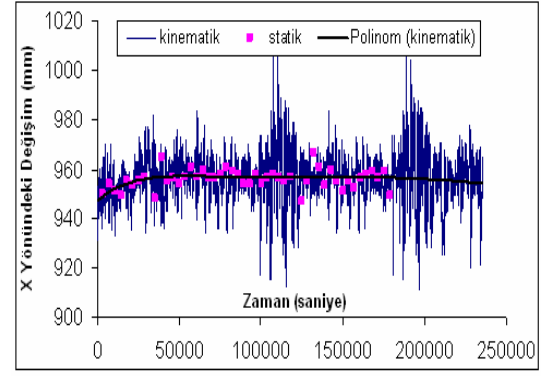
Ölçümlerin yapıldığı gün hava az bulutlu olup, 1 ve 2 nolu noktalarda gölgede ölçülen hava sıcaklığı, 18.05.2005 günü saat 10.50 de 19°C, saat 16.30 da ise 21°C ve nem oranı %64 dür. 20.5.2005 günü saat 10.45 de ölçülen sıcaklık 21°C, nem oranı %70 dir (Uluişik ve diğ.,2005).

Kayıt edilen verileri değerlendirmek öncelikle ISTA sabit nokta olarak kabul edilip, 1, 2, 3 (hastane) ve A637 (YTÜ) nolu noktalar kinematik olarak 30 saniye aralıklarla epok epok değerlendirilmiştir. Daha sonra ise A637 nolu nokta sabit alınıp 1, 2, 3 nolu noktalar aynı şekilde kinematik olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonrası PDOP değerlerinin 5'in üzerinde olduğu, uydu sayısının 5 in altında olduğu epoklar ve tamsayı bilinmeyeninin uygun çözülemediği, faz sıçramalarının tespit edildiği epoklar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Sonuçların karşılaştırılması amacıyla tüm noktalar günlük ve de saatlik ISTA sabit GPS noktasına dayalı olarak statik olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlara ait zaman serileri oluşturularak grafik olarak gösterilmiştir. Ayrıca eksenler doğrultusundaki değişimlerin yaklaşık eğilimlerini verebilmek için eğilim çizgileri (trend) geçirilmiştir (Şekil 6.5).

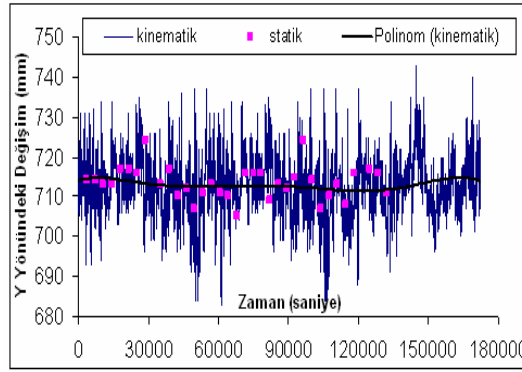
Elde edilen verileri değerlendirmek için Ashtech Solution 2.6 yazılımı kullanılmıştır. Koordinat sistemi olarak yerel tanımlanmış grid koordinat sistemi, datum olarak ise ED-50 seçilmiştir. Grafiklerde tanımlanan X, Y, Z eksenleri yerel tanımlanmış koordinat sistemini ifade etmektedir. X ve Y yatay düzlem koordinatlarını, Z ise yükseklik (elipsoidal yükseklik) bileşenini ifade etmektedir.



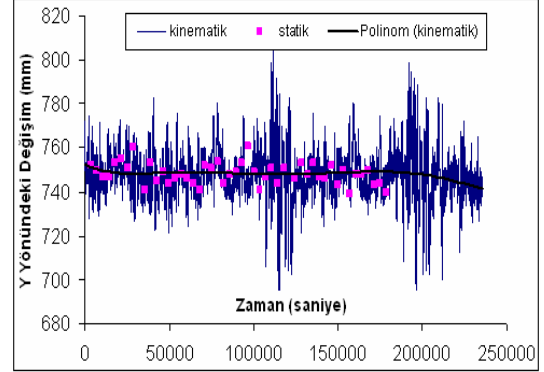
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı x yönündeki hareket değişimi



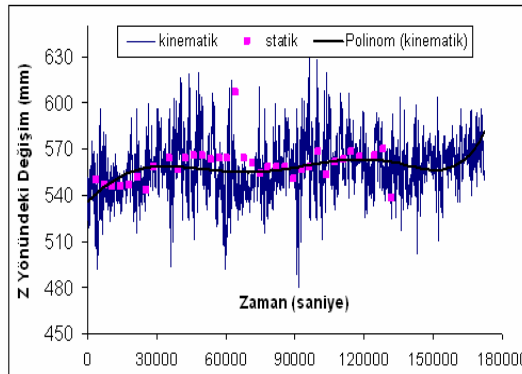
2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı x yönündeki hareket değişimi



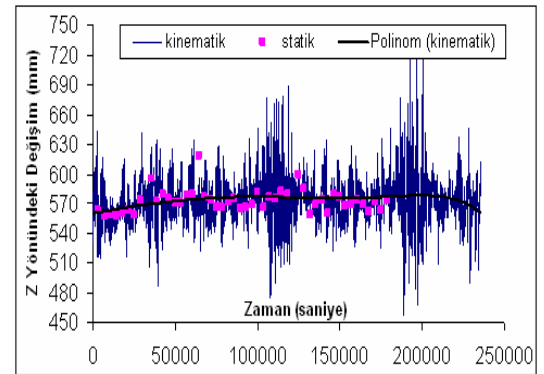
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı y yönündeki hareket değişimi



2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı y yönündeki hareket değişimi



1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı z yönündeki hareket değişimi

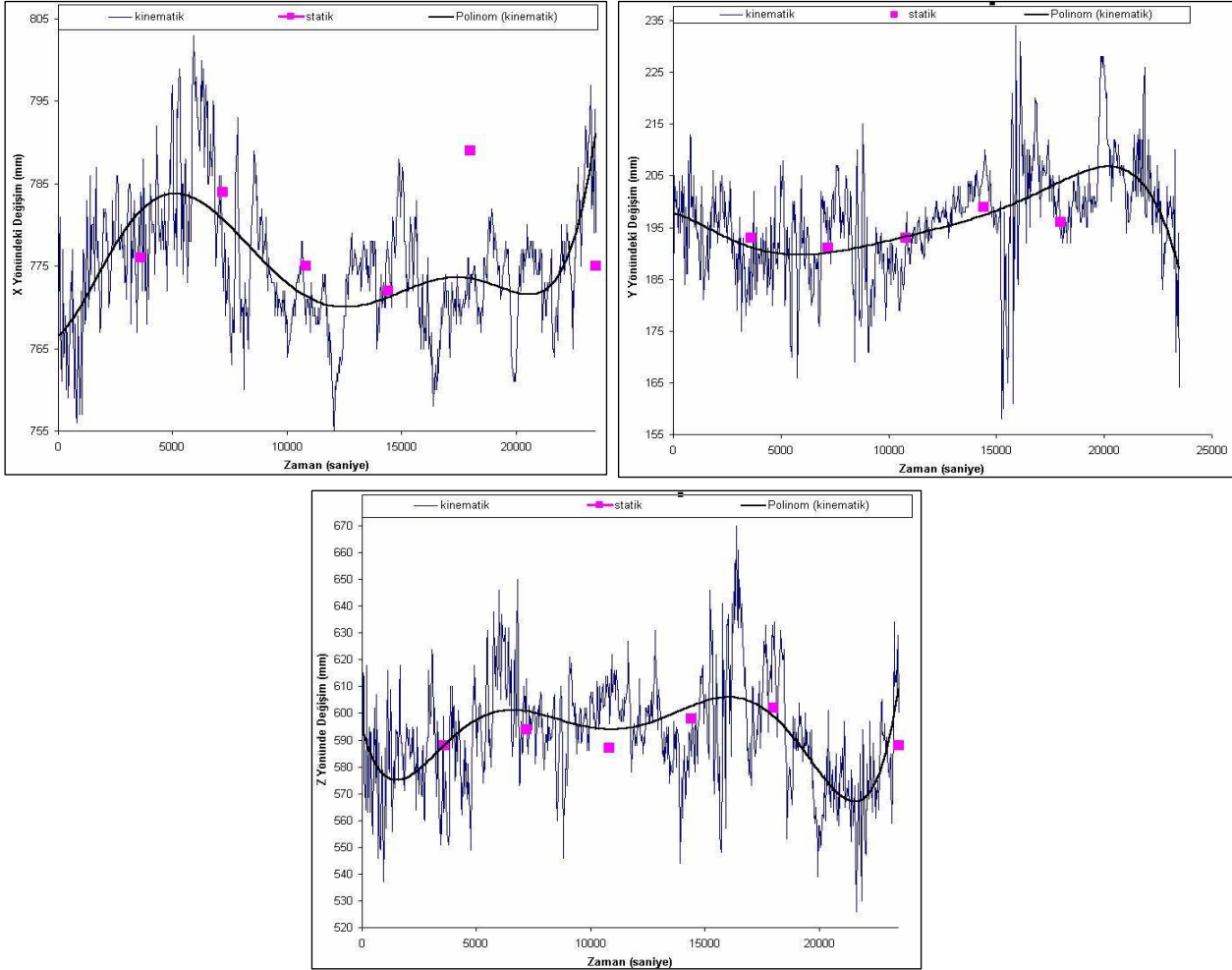


2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı z yönündeki hareket değişimi

Şekil 6.5 GPS gözlemleri (ham veriler) zaman grafiği

Şekil 7.6'daki grafiklerde 3 nolu noktanın koordinatlarının statik değerlendirme sonucu görülmektedir. Grafik incelendiğinde, saat 15.00 – 16.00 arası x, y, z serilerinde olağan dışı bir hareket vardır. Bu hareketin sebebi, hastanede bahçe sulamak için çalıştırılan su motorudur. 3 nolu nokta, su deposunun üstünde olduğundan, normal şartlarda hissedilemeyen titreşim, GPS ile kaydedilebilmiştir (Uluışık ve diğ.,2005).

GPS verilerinin yukarıdaki grafiklerde olduğu gibi zaman serisine açılması hareketin (salınımın) yorumlanması açısından çok yararlıdır. Atmosferik gecikme, multipath, GPS alıcısı ve benzeri nedenlerden dolayı GPS sinyallerinde noise bulunmaktadır. Söz konusu olan kontrol ölçmesi olduğundan değerlendirmenin daha sağlıklı olması ve uzun zamanlı periyodik



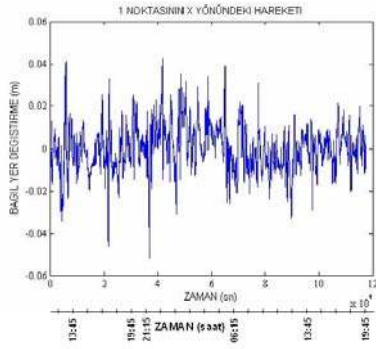
Şekil 6.6 3 nolu noktanın eksenler doğrultusundaki değişimlerine ait zaman serileri

hareketin frekansının bulunması için verilerin modellenmesine karar verilmiştir.

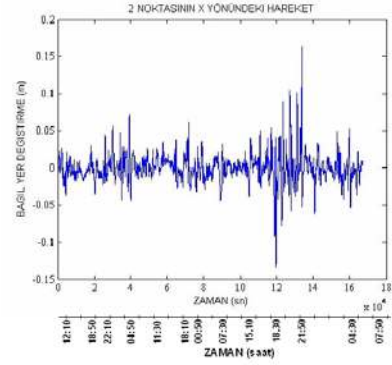
Öncelikle zaman serisinde trend bileşeni olup olmadığı t-dağılımı testinden yararlanarak araştırılmıştır. % 5 yanılsama olasılığı ile seride t-dağılımı sonucu $t=1.0439 < 1.96$ (1 ve 2 noktaları için 3 eksen doğrultusunda) çıktığı için lineer trend olmadığı anlaşılmış.

Seride lineer trend yoktur fakat; periyodik hareketin eğiminin de çok küçük olduğu çizilen zaman serisi grafiklerinden görülmüştür. İkinci olarak, yumuşatma (Smoothing) yapılarak verilerdeki noise (kirlenme) kısmen giderilmiştir. Yumuşatma işleminin yapılmasındaki asıl amaç uzun zamanlı periyodik hareketin bulunarak zaman serisine Hızlı Fourier Dönüşümü

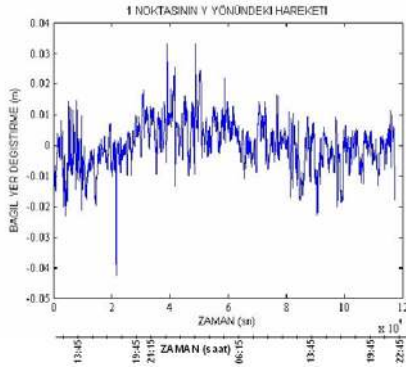
uygulanmasıdır. Büyük mühendislik yapılarındaki hareket genelde uzun süreli periyodik harekettir. Bu uygulamadaki ölçme süresi ise yaklaşık 2 gün olduğundan seride tamamlanamamış periyodik hareket gözlenmiştir. Periyodik hareketi tamamlamak için yumuşatma yaptıktan sonra verilere pencereleme (hamming) uygulanmıştır. Daha sonra ise serideki periyodik bileşenler Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılarak genlik spektrumları elde edilmiştir. En küçük kareler yöntemi uygulanarak elde edilen periyodik hareketin katsayıları serbestlik derecesi f için t-dağılımının güven sınır değerleri $t_{f,1-\alpha/2}$ göre belirlenen %5 yanılsama olasılığında anlamlı olup olmadıkları test edilmiştir. Anlamlı olan katsayılarla (genlik) göre çizilen grafikler aşağıdaki şekilde (Şekil 6.7) gösterilmiştir.



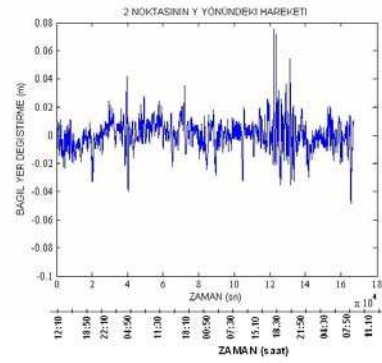
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı x yönündeki hareket değişimi



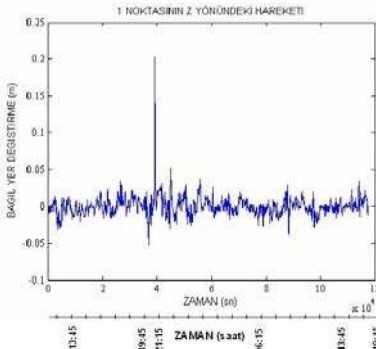
2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı x yönündeki hareket değişimi



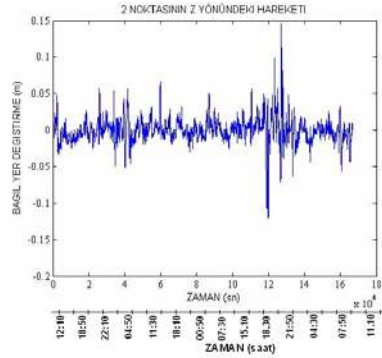
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı y yönündeki hareket değişimi



2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı y yönündeki hareket değişimi



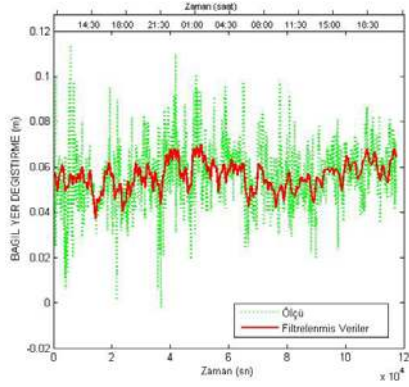
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı z yönündeki hareket değişimi



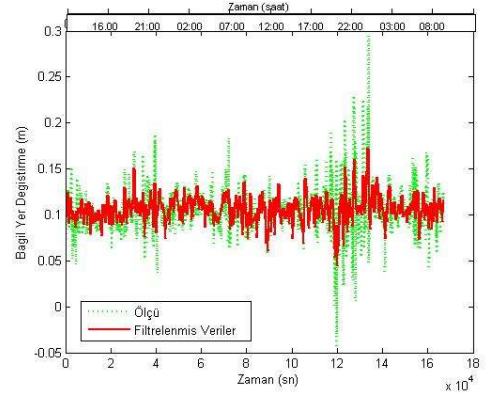
2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı z yönündeki hareket değişimi

Şekil 6.7 Yumuşatılmış (smoothing) GPS gözlemleri – zaman grafiği

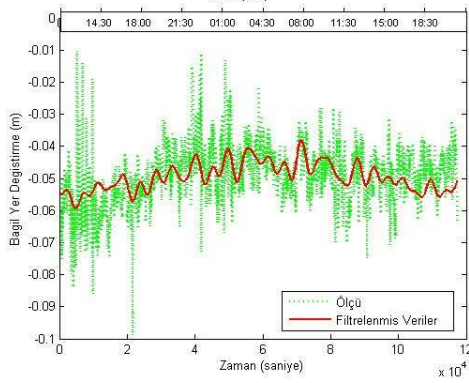
Şekil 6.8 GPS gözlemleri ile noise elimine edilerek modellenmiş veriler arasındaki farkı göstermektedir.



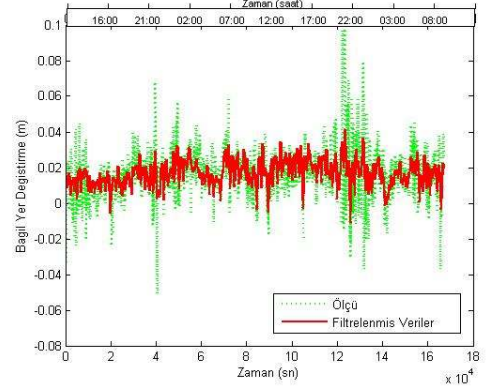
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı x yönündeki hareket değişimi



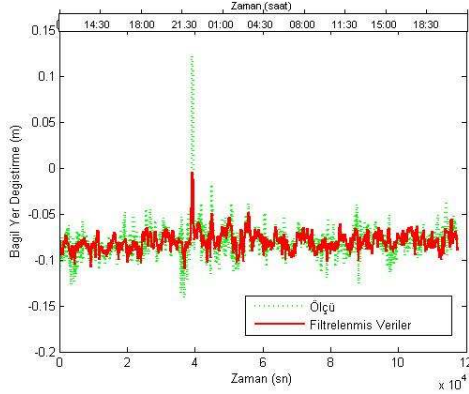
2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı x yönündeki hareket değişimi



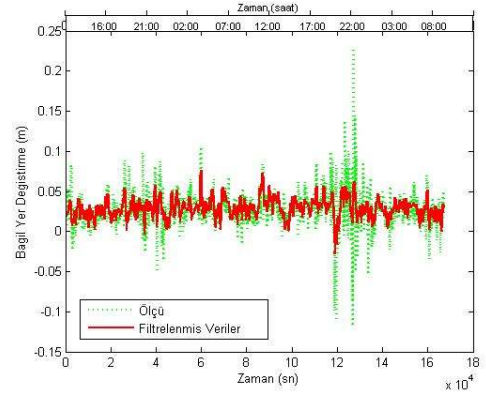
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı y yönündeki hareket değişimi



2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı y yönündeki hareket değişimi

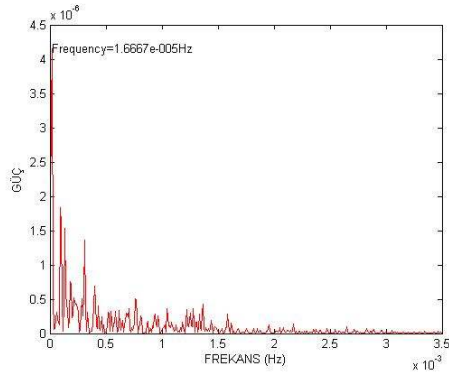


1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı z yönündeki hareket değişimi

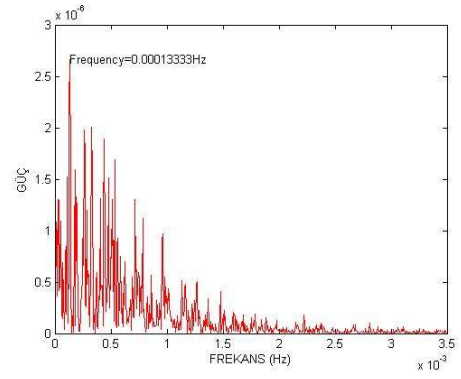


2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı z yönündeki hareket değişimi

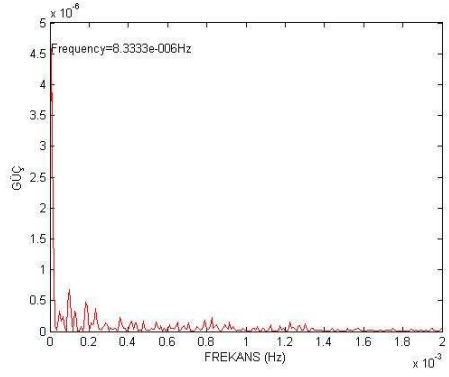
Şekil 6.8 ham veriler ile filtrelenmiş veriler arasındaki fark



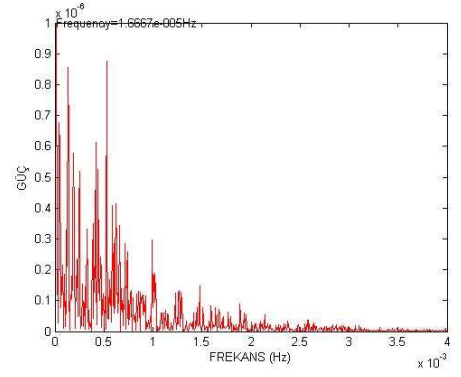
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı x yönündeki hareketinin frekansı



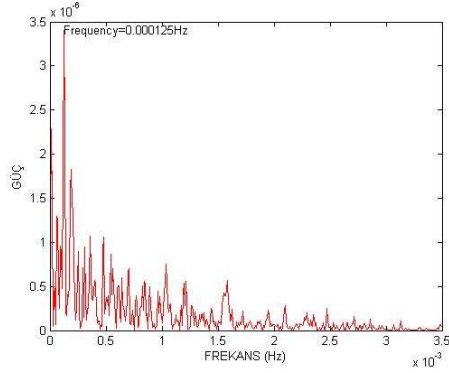
2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı x yönündeki hareketinin frekansı



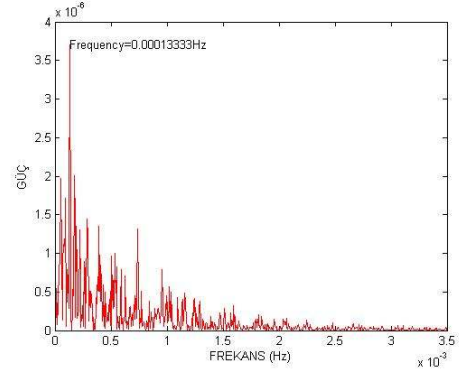
1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı y yönündeki hareketinin frekansı



2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı y yönündeki hareketinin frekansı



1 nolu noktanın ISTA'ya bağlı z yönündeki hareketinin frekansı



2 nolu noktanın ISTA'ya bağlı z yönündeki hareketinin frekansı

Şekil 6.9 FFT ile elde edilen frekans

Şekil 6.9. da görüldüğü üzere 1 ve 2 nolu noktanın kendi eksenleri doğrultusundaki hareketin frekansı uyumludur. 2 nolu noktada ise 1 nolu noktaya göre daha büyük frekanslı hareketler görülmektedir. İki nokta arasındaki bu frekans farkının nedenini, ölçme yapıldığı sırada 2 nolu noktanın yanında vinç kurulu olması düşünülmüştür. Vinç gökyüzü görüşünü önemli ölçüde etkilediği için 2 nolu noktaya ait verilerde daha fazla noise olması kaçınılmazdır.

Çizelge 6.1 Alçak frekans-genlik değerleri

1 noktasının X yönündeki titreşiminin alçak frekansı-genliği	
Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)
0.0000166700	5.412
0.0000916700	3.460
0.0001000000	2.248
0.0001333000	2.821
0.0001917000	1.794
0.0003083000	2.667
0.0004000000	1.780
0.0007583000	1.770
0.0007667000	0.990

1 noktasının Y yönündeki titreşiminin alçak frekansı-genliği	
Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)
0.000008333	4.835
0.000050000	1.460
0.000066670	0.812
0.000100000	1.247
0.000125000	1.018
0.000133300	1.457
0.000183300	1.385
0.000191700	1.366
0.000233300	1.416
0.000008333	4.835

1 noktasının Z yönündeki titreşiminin alçak frekansı-genliği					
Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)	Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)	Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)
0.000008333	1.915	0.000483300	2.066	0.001033000	1.568
0.000016670	4.145	0.000500000	1.263	0.001042000	1.770
0.000066670	2.225	0.000533300	1.194	0.001075000	1.003
0.000091670	3.009	0.000550000	0.851	0.001175000	1.402
0.000108300	1.199	0.000541700	1.849	0.001192000	1.413
0.000116700	1.949	0.000558300	2.041	0.001217000	1.834
0.000125000	3.323	0.000566700	1.033	0.001225000	0.657
0.000133300	2.786	0.000575000	1.109	0.001258000	1.456
0.000158300	2.151	0.000616700	1.370	0.001275000	1.216
0.000183300	2.886	0.000641700	1.304	0.001450000	1.102
0.000171700	0.910	0.000650000	1.572	0.001558000	1.256
0.000200000	1.831	0.000691700	0.947	0.001583000	1.609
0.000208300	2.590	0.000708300	2.234	0.001625000	0.933
0.000216700	1.293	0.000758300	1.409	0.001725000	1.015
0.000250000	2.144	0.000766700	1.273	0.001950000	1.130
0.000291700	1.908	0.000816700	1.120	0.002092000	0.906
0.000308300	2.790	0.000825000	1.697	0.002292000	0.933
0.000350000	1.904	0.000850000	1.318	0.002350000	1.064
0.000358300	2.408	0.000891700	1.161	0.002475000	1.342
0.000366700	0.640	0.000966700	1.977		
0.000375000	1.577	0.001017000	1.344		
0.000408300	1.267	0.001025000	1.177		

2 noktasının X yönündeki titreşiminin alçak frekansı-genliği			
Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)	Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)
0.00001111	4.084	0.00047220	2.780
0.00002222	1.178	0.00047780	2.395
0.00002778	3.081	0.00048330	2.136
0.00003333	1.612	0.00049440	2.107
0.00003889	2.705	0.00050000	2.797
0.00005000	2.883	0.00050560	2.964
0.00005556	2.314	0.00051110	2.822
0.00007222	2.002	0.00052220	2.860
0.00007778	0.733	0.00053330	3.696
0.00008889	0.906	0.00055120	0.963
0.00009444	2.529	0.00056110	1.919
0.00010560	3.372	0.00058330	2.026
0.00012780	2.399	0.00061670	2.486
0.00013330	2.357	0.00062780	2.569
0.00013820	2.006	0.00068890	1.774
0.00017220	1.807	0.00071670	2.691
0.00017780	2.770	0.00072220	1.529
0.00018890	3.956	0.00075000	1.679
0.00019440	2.586	0.00076110	2.295
0.00020000	2.653	0.00078330	2.664
0.00024440	0.877	0.00082780	0.951
0.00025000	3.283	0.00086110	2.132
0.00026110	2.779	0.00095560	2.041
0.00026670	2.640	0.00096670	2.550
0.00031670	1.917	0.00098890	2.547
0.00032220	2.012	0.00101100	2.110
0.00032780	3.056	0.00113300	1.680
0.00033330	2.817	0.00116100	1.066
0.00036670	1.746	0.00116700	1.397
0.00037220	1.085	0.00122200	1.455
0.00040560	2.593	0.00124400	1.307
0.00041110	2.634	0.00126700	1.637
0.00043890	3.387	0.00127200	1.685
0.00044440	2.189	0.00136700	2.024
0.00045000	1.420	0.00147800	2.217

2 noktasının Y yönündeki titreşiminin alçak frekansı-genliği			
Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)	Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)
0.000005556	3.099	0.000461100	0.891
0.000016670	2.217	0.000472200	1.306
0.000038890	1.834	0.000522200	0.556
0.000044440	1.002	0.000527800	2.088
0.000050000	2.327	0.000533300	0.770
0.000077780	1.246	0.000583300	1.031
0.000116700	1.448	0.000588900	1.273
0.000122200	1.719	0.000605600	2.068
0.000127800	1.338	0.000622200	2.032
0.000133300	1.845	0.000627800	1.774
0.000138900	1.632	0.000655600	1.320
0.000183300	0.779	0.000661100	1.066
0.000188900	1.364	0.000716700	1.498
0.000194400	1.063	0.000738900	1.188
0.000200000	1.446	0.000988900	0.886
0.000227800	1.363	0.000994400	1.283
0.000244400	0.934	0.001017000	1.207
0.000250000	1.726	0.001028000	1.013
0.000327800	1.639	0.001228000	1.065
0.000388900	1.108	0.001267000	0.870
0.000416700	1.837	0.001289000	0.790
0.000433300	0.934	0.001294000	0.494
0.000438900	1.595	0.001478000	1.167

2 noktasının Z yönündeki titreşiminin alçak frekansı-genliği			
Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)	Alçak Frekans (Hz)	Genlik (mm)
0.00000556	3.602	0.00037220	2.171
0.00003333	3.150	0.00038330	1.477
0.00004444	3.208	0.00038890	2.584
0.00005000	1.967	0.00039440	1.852
0.00005556	2.495	0.00041110	2.042
0.00006111	1.593	0.00043330	2.670
0.00007778	2.189	0.00050000	2.111
0.00008333	3.249	0.00051110	2.440
0.00008889	1.525	0.00053330	3.340
0.00009444	3.390	0.00055000	2.525
0.00011110	2.088	0.00058890	2.112
0.00012780	1.970	0.00062780	2.467
0.00013330	4.706	0.00071670	2.385
0.00013890	1.632	0.00073890	2.462
0.00017220	3.799	0.00077220	2.197
0.00017780	1.830	0.00083890	1.824
0.00017780	3.223	0.00095560	2.316
0.00018890	1.533	0.00099440	1.724
0.00019440	2.527	0.00102200	1.812
0.00022220	1.047	0.00103900	1.966
0.00022780	2.689	0.00109400	1.767
0.00025000	2.760	0.00113900	1.642
0.00026110	2.774	0.00116100	1.435
0.00028330	3.227	0.00123900	1.401
0.00029440	2.273	0.00129400	1.573
0.00031670	1.728	0.00147200	0.928

7. SONUÇ VE YORUMLAR

Bu çalışma kapsamında 30 sn.de bir toplanan veriler Ashtech Solution 2.6 yazılımında değerlendirilmiştir. A637 ve 3 nolu noktalardan elde edilen verilerin multipath ve faz sıçraması ve uydu geometrisinden kaynaklanan etkiler içermesi ve stabil olmaması nedeniyle bina üzerindeki noktaların hareketi yalnız ISTA'ya dayalı olarak değerlendirilmiş ve yorumlanmaya çalışılmıştır.

Eldeki veriler zaman serisine açıldığında, Bina üzerindeki 1 ve 2 nolu noktalarla zemindeki 3 nolu noktanın koordinat bileşenlerinin kaymaları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Bina üzerindeki noktalarda daha farklı bir hareket beklenirken bu sonuca ulaşamamıştır. Bunun nedeni Şekil 6.1. de görüldüğü üzere, ölçüm sırasında binanın dış cephe duvarlarının yapılmamış olmasından kaynaklanabilir. Rüzgarı tutacak bir yüzeyin olmaması yani rüzgar etkisine karşı tepki verecek yüzeyin olmaması, yapıda büyük genlikli hareketin olmasını engellemiş olabilir. Daha kesin bir yargıya varabilmek için bu tür çalışmalarda ölçümlerin özellikle dış cephe duvarları tamamlandıktan sonra da sürdürülmesi ve yapıya etkileyen kuvvetlerin etkilerinin de dikkate alındığı bir modelin geliştirilmesi gerekmektedir. Uygulama sonucunda elde edilen verilerin zaman serisi analizinde öncelikle lineer trend olmadığı t-dağılımı testi ile bulunmuştur. Daha sonra serilerdeki periyodik bileşenlerde Hızlı Fourier Dönüşümü sonucu temel frekanstan (alçak frekans), hesaplanmıştır. Binadaki titreşimin genliği alçak frekanstan bulunmuştur. Yapıdaki titreşimin maksimum genliği 5 mm. civarındadır. 1 ve 2 nolu noktaların kendi eksenleri (x, y, z) doğrultusundaki hareketlerinin uyumlu olduğu görülmüştür.

Şekil 6.8 de görüldüğü üzere modellenerek noise elimine edilmiş olan veriler ile ölçü arasındaki farkın büyük olmasının nedeni GPS hata kaynaklarındandır. Model olarak seçilen binanın çevresi dikkate alındığında, yapılaşmanın çok olduğu bir yer olması ve şantiye ortamında çeşitli alet ve vincin kullanılması verilerde noise denilen hatanın fazla olmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, yüksek binaların hareketini izleme konusunda GPS ölçümlerinin ivme ölçer, eğim ölçer, robotik totalstation vb. diğer ölçme sistemleri ile entegre edilmesinde fayda vardır.

Yapılan bu tez çalışması giriş bölümünde anlatılan uygulamalarla karşılaştırıldığında sonuç yakın çıkmıştır. Şekil 6.8'den de görüldüğü üzere toplam bağıl koordinat değişimi yatay ve düşeyde 5 cm civarında olup hareketin maksimum genliği ise 5 mm civarındadır.

Yapılan bu çalışma sonucunda çeşitli dış ve iç kuvvetler sonucunda yüksek binalarda olan titreşimin GPS ile ölçülüp, analiz edilebileceği görülmüştür. Elde edilen veri ve tecrübeler sonucunda objeye daha yakın ve gerek yeryüzü gerekse gökyüzü geometrisi uygun olacak şekilde, minimum iki veya daha fazla GPS alıcısının referans nokta olarak kullanılarak Multi-reference kinematik yöntemin benimsenmesi uygun olacağı düşünülmüştür. Ayrıca, rüzgâr şiddeti, nemlilik, basınç, sıcaklık ve güneş ışınlarının etkileri gibi parametrelerin sürekli ölçülmesi gerek GPS verilerinin değerlendirilmesi gerekse yapının hareketlerinin yorumlanabilmesi açısından çok daha yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Arslan, N., (1997), “GPS ve Atmosferik Modeller”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arsoy, S.,(1999), “Thermal Bridge Displacements”, Virginia Transportation Research Council.
- Brownjohn, J., (2000), “GPS and Building Monitoring Case Study: Republic Plaza Building”, School of Civil and Structural Engineering Nanyang Technological University, Singapore.
- BÜ KRDAE, “Global Konum Belirleme Sistemi Gps”, Jeodezi Anabilim Dalı, <http://www.koeri.boun.edu.tr>.
- Celebi, M., Eeri, M., Sanli, A., (2002), “GPS in Pioneering Dynamic Monitoring of Long-Period Structures”, Earthquake Spectra, Volume 18, Earthquake Engineering Research Institute.
- Çelik, R., N., “GPS Tekniği”, Basılmamış Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul. <http://atlas.cc.itu.edu.tr>.
- Demirel, H., (2003), Dengeleme Hesabı, YTÜ, İstanbul.
- Department Of The Army U.S. Army Corps of Engineers, (1994), “Deformation Monitoring And Control Surveying”, Washington.
- Ekiz, İ., (1992, Mayıs), Yapı Statığı 1, Basılmış Ders Notu, Y.T.Ü, İstanbul.
- Erdoğan, H., (1998), “Yapı Çevresinde Deformasyon Ölçmeleri ve Bir Model Üzerinde Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü, İstanbul.
- Erdoğan, H., Gülal, E., Akpınar, B., Ata, E., Poyraz, F., 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, (2005), İ.T.Ü. , İstanbul.
- Erkaya, H. (1987), “Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Model üzerinde Uygulanması”, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gülal, E., (2002), “GPS Tekniği”, Basılmamış Ders Notları, Y.T.Ü, İstanbul.
- Gülal, E., (2002), “Mühendislik Yapılarının Jeodezik Kontrolü”, GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Şanlıurfa.
- Gülal, E., (2003), “Mühendislik Jeodezisinde Sistem Analizi”, Basılmamış Lisansüstü Ders Notları, Y.T.Ü, İstanbul.
- Hoşbaş, R. G, (2005), “Deformasyon Ölçmeleri”, Basılmamış Lisans Ders Notları, Y.T.Ü, İstanbul.

İnal, C., Yiğit, C. Ö., Şanlıoğlu, İ., 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, (2005), İ.T.Ü., İstanbul.

Kahveci, M., Yıldız, F., (2001), Global Konum Belirleme Sistemi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Kartal, F., (1998), “Havada Kinematik GPS ve Bir Uygulama”, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Martin, V., (2002), “Review Of The Gps Deformation Monitoring Studies”, Kivetty and Romuvaara sites, Olkiluoto.

Mekik, Ç., Görmüş, K.S., Kutoğlu, H., 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, (2005), İ.T.Ü. , İstanbul.

Ochshorn, J., (2006), “Structural Elements”, Department of Architecture, Cornell University, Ithaca, NY, 14853.

O'Connor, C. ve Shaw, P. A., (2001), Bridge Loads An International Perspective, The University of Queensland, Australia.

Ogaja, C., Rizos, C., (2002), Jinling Wang School of Geomatic Engineering The University of New South Wales Sydney NSW 2052 Australia.

Ogaja, C., Rizos, C., Han, S., (2003), “Is Gps Good Enough For Monitoring The Dynamics Of High-Rise Buildings”, The University of New South Wales Sydney, Australia.

Ömür, F., (1984), Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Y.T.Ü, İstanbul.

Özaydın, K., (1999), Zemin Mekaniği, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Y.T.Ü., İstanbul.

Saraylı, M. A., (1978),Yapı Malzemeleri Bilimi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İ.D.M.M., İstanbul.

Soycan, M., (1999), “GPS Tekniği ve Matematiksel Modellerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Soycan M., Soycan, A., (2002), “Poligon Noktalarının Gps İle Ölçülmesi Üzerine Bir İnceleme”, Sunulmuş Poster, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.

Sevüktekin, M., Nargeleçekenler, M., (2005), Zaman Serileri Analizi, Ankara.

Uluişik, P., Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., Soycan, M., Akpınar, B., Aykut, N.O., Poyraz, F., 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, (2005), İ.T.Ü. , İstanbul.

Wan, A., Othman, W.A., Z.& Najib H., (2004), “Monitoring High-Rise Building Deformation Using Global Positioning System”, Geoinformation Science University Technology Malaysia, Skudai Malaysia.

İNTERNET KAYNAKLARI

<http://ozgur.beykent.edu.tr>

<http://earth.google.com>

<http://www.meteor.gov.tr>

<http://www.sopac.ucsd.edu>

<http://www.undteknoloji.com>

<http://www.vibratek.com.tr>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	22.03.1980	
Doğum yeri	Bakırköy / İstanbul	
Lise	1994-1998	Avcılar Lisesi
Lisans	1 998-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003- Devam Ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı
Çalıştığı kurumlar	2005-2005	Netsoft Bilgisayar Sistemleri Tic. Ltd. Şti.
	2005- Devam Ediyor	İstanbul Büyükşehir Belediyesi Emlak Müdürlüğü Teknik Büro Şefliği