ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mühendislik Yapılarının Deformasyon Analizinde
GPS Ölçülerinin Kullanılabilirliği

Ali Fatih YILDIRIM

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Cevat İNAL

2007, 67 Sayfa

Jüri : Yrd.Doç. Dr. Bayram TURGUT

Jüri : Yrd.Doç. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU

Günümüzde, GPS ölçmelerine dayalı konum belirleme sistemleri mühendislik ölçmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik yapılarının ve yerleşim alanlarının doğal ve yapay değişimlerden korunması gerekmektedir. Bu değişimlerin büyük zararlara neden olması önlenmelidir. Mühendislik yapılarının yapım maliyeti yüksektir. Bu yapılar zaman içerisinde farklı kuvvetler altında, deformasyon davranışları göstermektedirler. Bu davranışların sürekli izlenmesi ile meydana gelebilecek olası kazaların önceden belirlenmesi ve zamanında gerekli önlemlerin alınabilmesi sağlanmış olacaktır.
Değişik zamanlarda belirlenmiş noktaları ölçülen binanın datumları çeşitli nedenlerle farklı olabilir. Değerlendirilecek parametrelerin aynı datum da belirlenmiş olması gerekir.S- transformasyonu kullanılarak farklı periyotlar arasında datum birliği sağlanabilir. Ayrıca bu transformasyon kullanılarak hareketli noktalar belirlenebilir.
Bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi binasında tesis edilen 4 obje 4 referans noktasından oluşan 8 noktalı bir GPS ölçü ağında yapılan üç periyot ölçüler Leica Geo Office ve GNSS Solution ticari yazılımlarla dengelenmiş, uyuşumsuz ölçüler ayıklanmış ve deformasyon analizi S dönüşümü ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: GPS Ölçmeleri, Deformasyon Analizi, S Dönüşümü, Mühendislik Yapıları

ABSTRACT

MSc THESIS

Availability Of GPS Measures For Deformation Analysis
Of Engineering Structures

Ali Fatih YILDIRIM

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geodesy and Photogrametry Engineering

Supervisor : Prof .Dr. Cevat İNAL

2007, 67 Page

Jury : Assist. Prof .Dr. Bayram TURGUT

Jury : Assist. Prof .Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU

Nowadays, systems of determination of positions, based on GPS, are widely used in engineering measurements. Engineering structures and settling areas should be protected from natural and unnatural alterations. This structures should be protected from great damages caused by these movement. Engineering structures cost big prices. These structures display some deformational behaviors in time, because of different forces acted on them. By observing these behaviors permanently, essential measures can be provided and some probable accidents can be prevented before they happen.

Datum, measured for determined parts of a building in varied times, can be different because of various reasons. Parameters should be determined from the same data which they belong to. A unity in data among different time periods can be provided by using S-transformation. Besides, dynamic points can also be determined by this transformation.

In this work, three-period measurements with, 4 objects and 4 reference points, totally 8-point located on the Selçuk University Law School by GPS were adjusted by Leica Geo Office and GNSS Solution softwares. Outliers were cleaned out of the measurements. Deformation analysis was made by the help of S-transformation.

Keywords: GPS Measurements, Deformation Analysis, S Transformation, Engineering Structures

TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresince beni yönlendiren bilgi ve önerileriyle bana her konuda destek olan engin tecrübelerinden yararlandığım saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Cevat İNAL' a ve Arş.Gör. hocam Cemal Özer YİĞİT'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmamda bana sabır gösteren, maddi, manevi ,yazılım, donanım desteklerini eksik etmeyen her türlü moral desteği veren tecrübelerinden yararlandığım değerli Harita Mühendisi ağabeylerim Temel Haluk ESİN, Mustafa ÖZBAKIR, Murat ÜSTÜNDAĞ, Mehmet KOCAÖZ, Jeoloji Mühendisi Yusuf KOCAÖZ ve Harita Teknisyeni ağabeyim Mustafa ARICI' ya teşekkür ederim.

Vermiş oldukları manevi destek ve güvenle beni yalnız bırakmayan babam Dr. Ferhat YILDIRIM, annem Ulviye YILDIRIM ve bana teknik bilgisiyle yardımcı olan ve zaman ayıran kardeşlerim Korkut ve Alparslan'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFANO

ÖZET……i
ABSTRACT…..…….……..…….. ii
TEŞEKKÜR…..…….……..……. iii
İÇİNDEKİLER…..…….……..……. iv
ŞEKİL DİZİNİ ……...……..…..…… vi
TABLO DİZİNİ ……....…….……..... vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ……...…..……...……..… viii
1. GİRİŞ 1…...…….…….....…….... 1
2. MÜHENDİSLİK YAPILARINDA DEFORMASYON…….……...….5
2.1. Kalıcı Deformasyonlar……..…… 6
2.1.1 Çökme ……...6
2.1.2. Kayma……... 8
2.1.3. Akmalar…….9
2.1.4. Dönme……...9
2.1.5. Sünme……... 9
2.1.6. Büzülme……..…….11
2.2. Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları…… ……...12
2.2.1. Yerkabuğu Hareketleri ve Heyelanlar…….……...12
2.2.2. Barajlarda Deformasyon Ölçmeleri……...……..….. 13
2.2.3. Madencilik Sektöründe Deformasyon Ölçmeleri …...……...14
2.2.4. Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri.....……...15
2.2.5. Zemin Sıvılaşması……...……. 17
2.2.6. Temel Hasarı……...……...……. 18
2.2.7. Yapılarda Korozyon Hasarı ……...……....……. 19
3. GPS ÖLÇME YÖNTEMLERİ VE GPS YAZILIMLARI….……...…..... 23
3.1. GPS (Global Positioning System) …… 23
3.2. GPS Ölçü Yöntemleri ……..... 29
3.2.1 Mutlak Konum Belirleme……..…...……. 29
3.2.2 Göreli Konum Belirleme ……...…..……. . 29
3.2.2.1 Statik Ölçü Yöntemi ……. 30
3.2.2.2 Hızlı Statik Ölçü Yöntemi ……...…… 31

3.2.2.3 Tekrarlı Ölçü Yöntemi …… 31
3.2.2.4 Dur-Git Ölçü Yöntemi …… 32
3.2.2.5 Kinematik Ölçü Yöntemi ..…… 33
3.3. Dengelemede Kullanılan Ticari GPS Yazılımları…….……35
3.3.1.Leica Geo Office ……..……. 35
3.3.2.GNSS Solutions ...…..……..... 37
4. S DÖNÜŞÜMÜ İLE GPS AĞLARINDA
DEFORMASYON ANALİZİ……..……..…. 39
4.1. S Transformasyon.....……..... 39
4.2. S Transformasyonu ile Deformasyon Analizi ……..... 40
4.2.1 S Transformasyonu Yardımıyla Anlamlı nokta Hareketlerinin
Araştırılması…….……. 42
5. UYGULAMA ……..……..……..... 44
5.1. Gps Ölçülerinin Değerlendirilmesi……....50
5.1.1 Leica Geo Office Yazılımı ……..…….……. 50
5.1.2 Thales GNSS Solutions Yazılımı …….……. 55
5.2. S Dönüşümü ile Hareketli Noktaların Analizi...……....62
6. SONUÇ ve ÖNERİLER……..……..……..…….....64
7. KAYNAKLAR ……..……..……..…..... …….66

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	Deformasyon Sınıflandırılması	6
Şekil 2.2	Yerkabuğundaki Çökme Hareketi	7
Şekil 2.3	Yer Kabuğundaki Kayma Hareketi	8
Şekil 3.1	Üç derecelik bir TM Projeksiyon Ayarları	35
Şekil 3.2	Nokta Hassasiyetleri ve kofaktör matrisleri	36
Şekil 3.3	Datum ve Projeksiyon Parametrelerinin Düzenlenmesi	37
Şekil 3.4	Post- Processing İşlemiyle Proje Şekli	38
Şekil 5.1	Hukuk Fakültesi	44
Şekil 5.2	Pilye Tesisi	44
Şekil 5.3	Hukuk Fakültesindeki GPS noktaları	47
Şekil 5.4	1. Periyot PDOP Değer Görüntüsü	48
Şekil 5.5	2. Periyot PDOP Değer Görüntüsü	48
Şekil 5.6	3. Periyot PDOP Değer Görüntüsü	49
Şekil 5.7	Rinex Dönüştürücü Görüntüsü	49
Şekil 5.8	Rinex Dosya Görüntüsü	50
Şekil 5.9	Ölçü Hassasiyetleri , Kovaryans Matrisleri	51
Şekil 5.10	1. Periyot Ölçümlerinde Kullanılan Uydular	52
Şekil 5.11	2. Periyot Ölçümlerinde Kullanılan Uydular	53
Şekil 5.12	3. Periyot Ölçümlerinde Kullanılan Uydular	54
Şekil 5.13	GNSS Studıo Veri İşleme Görüntüsü	55
Şekil 5.14	Deformasyon Analizinde Kullanılan 1.Periyot Ölçüleri	62
Şekil 5.15	Deformasyon Analizinde Kullanılan 2.Periyot Ölçüleri	63

TABLOLAR DİZİNİ

		Sayfa No
Tablo 3.1	Uydu Sayısı ve Ölçü Süresi İlişkisi	31
Tablo 3.2	DOP Faktörleri	34
Tablo 5.1	Thales Z-Max Alıcısının Teknik Özellikleri	45
Tablo 5.2	Thales Z-Surveyor Alıcısının Teknik Özellikleri	46
Tablo 5.3	1. Periyot Ölçümünde Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları	52
Tablo 5.4	2. Periyot Ölçümünde Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları	53
Tablo 5.5	3. Periyot Ölçümünde Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları	54
Tablo 5.6	1. Periyot Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (GNSS)	56
Tablo 5.7	2. Periyot Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (GNSS)	57
Tablo 5.8	3. Periyot Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (GNSS)	58
Tablo 5.9	1. periyotta LGO ve GNSS ile Ayrı Ayrı Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları Arasındaki Fark	59
Tablo 5.10	2. periyotta LGO ve GNSS ile Ayrı Ayrı Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları Arasındaki Fark	60
Tablo 5.11	3. periyotta LGO ve GNSS ile Ayrı Ayrı Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları Arasındaki Fark	61
Tablo 5.12	Noktalardaki Konum Değişimi	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\underline{x}$: koordinat bilinmeyenleri vektörü

π : Pi sayısı

σ^2 : Varyans

$\underline{A}$: Düzeltme denklemleri katsayılar matrisi

H_o : Sıfır Hipotezi

H_a : Alternatif Hipotez

$\underline{N}$: Normal denklem katsayılar matrisi,

$\underline{N}^+$: Normal denklem katsayılar matrisi Moore – Penrose inversi

$\underline{w}$: Hipotez tarafından verilen sabitler vektörü

$\underline{v}$: Düzeltmeler vektörü

F : Fisher dağılımı operatörü

d : Defekt sayısı

h : Serbestlik derecesi

$\underline{G}$: $\underline{N}$ Matrisinin d(defekt)sayıda öz değerlerine karşılık öz vektörler matrisi

u : Bilinmeyenler sayısı

n : Ölçü sayısı

m : metre

mm : milimetre

$\underline{I}$: Birim matris

m_1^2 : Birinci periyot için birim ağırlıklı ölçünün varyansı

m_2^2 : İkinci periyot için birim ağırlıklı ölçünün varyansı

f_1 : Birinci periyot için fazla ölçü sayısı

f_2 : İkinci periyot için fazla ölçü sayısı

$\underline{E}$: Matris köşegeni üzerinde dağılımı belirleyen nokta koordinatlarına karşılık "1", ötekiler için "0" değerini içeren bir köşegen matristir.

$\underline{Q}_{ii}$: Ölçülere ilişkin kofaktör matris

$\underline{m}_0$: Standart sapma

ς_0 : A Posteriori

$\underline{P}$: Ölçülerin ağırlık matrisi

$\underline{d}$: Koordinat fark vektörü

$\underline{R}$: Düzeltmelerin Karesel formundaki artım miktarı

$\underline{S}$: S - Transformasyonu matrisi

1. GİRİŞ

Deformasyon Ölçmeleri, mühendislik ölçmeleri içinde önemli bir konuma sahiptir. Üzerinde yaşadığımız doğal ortamda ve insan eliyle inşa edilmiş mühendislik yapılarında zamanla ortaya çıkabilecek deformasyonların sonuçları, insan hayatını yakından ilgilendirmektedir. Bu sebeple, mühendislik yapıları ve çevresindeki değişimlerin izlenmesi, belirlenmesi ve yorumlanması son derece önem taşımaktadır. Deformasyon ölçmeleri; yer kabuğunda ve mühendislik yapılarında zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin yapılacak olan ölçümlerle belirlenip yorumlanması, ortaya çıkabilecek ciddi zararların önlenmesinde etkin bir role sahiptir.

Deformasyon ölçmelerinin gelişimine bakıldığında ;

1860 yılında A.B.D. California'da San Andreas fay kuşağında ölçmeler yapılmıştır. Daha sonra bu ölçmelerde 1876 ve 1906 yıllarında yatay açı gözlemleri yinelenmiştir.

1908 yılında Almanya'da Thuringen-Gothear barajında gövdeye kretindeki iki noktanın yatay hareketleri aliyman yöntemi ile izlemiştir.

1921'de İsviçre'de Montelvars Barajında gövdeye yerleştirilen noktaların konumları önden kestirme yöntemi ile belirlenmiştir.

1923 yılında Gleneau, 1924 yılında Rampan, 1928 yılında 50 metre yüksekliğindeki San Francisco barajının çökmesi ve 436 kişinin ölmesinden sonra jeodezik kontrol ağlarının kullanımı büyük ölçüde yaygınlaşmıştır.

1928'de İsviçre'de başka bir baraj deformasyon ölçmeleri yapılmıştır. İsviçre'de yapılan çalışmalarda dengelenmiş sonuçlara göre karşılaştırma ve yorumlama gereği ortaya konmuştur.

1929'da deformasyon ölçme yöntemlerini ve sonuçlarını açıklayan bir kitap yayınlanmıştır.Yine aynı yıllarda Batı Avrupa'da deformasyon ölçmeleri ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu arada ilk kez İtalya'da deformasyon ölçmeleri için noktalar belirlenmiştir.

1960 yıllara kadar ana hedef hesapların kolaylaştırılması olmuştur. Matematik ve istatistik bilimindeki gelişmeler ve bilgisayar bilimindeki gelişmeler ölçülerin analizinin yapılmasını sağlamıştır.

1978'de Almanya'nın Bonn şehrinde II. FIG sempozyumunda aynı gözlem verilerinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi için 3 araştırma grubu oluşturulmuştur.

1982'de III. FIG sempozyumunda araştırma grubu sayısı 163'e çıkarılmıştır ve yeni gözlem verileri dağıtılmıştır.

1983'de ise II. FIG sempozyumunda oluşturulan gruplarla yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırılmış ve yeni görüş ve öneriler ortaya konmuştur.

Ülkemizde ise deformasyon ölçmeleri konusu 1960 yılında gündeme gelmiş ilk olarak Kemer Bozdoğan barajında ölçme tesisleri yapılmasına karşılık ölçme ve değerlendirme yapılmamıştır. Sarıyer barajından ise ilk ölçülerde sonra değerlendirme nasıl yapılacağı bilinmediğinden yenileme ölçüsü yapılmamıştır. Keban, Gökçekaya, Oymapınar barajında yapılan ölçmelerde Kuzey Anadolu fay kuşağında yapılan ölçüler de akademik niteliktedirler (İnal, 2000).

Yer kabuğu hareketlerini ve mühendislik yapılarında zamanla oluşabilecek deformasyonları izlemek üzere, bir çok jeodezik yöntem kullanılmaktadır. Jeodezik yöntemlerde, yatay ve düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesi, bu amaç için oluşturulmuş kontrol noktalarında , periyodik olarak yapılan klasik veya GPS ölçülerinin değerlendirilmesine ve analizine dayanır. Jeodezik yöntemlerle yatay yöndeki deformasyon belirlenmesinde hassas poligon yöntemi, aliyman yöntemi, Jeodezik ağ yöntemi kullanılmaktadır. Düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesinde hassas geometrik nivelman , hassas trigonometrik nivelman tekniği ve hidrostatik nivelman yöntemi kullanılmaktadır. Klasik ölçme aletlerinde de ulaşılan teknoloji çok küçük hareketlerin belirlenebilmesini sağlamıştır. Deformasyon ölçmelerinde klasik teknik kullanıldığında doğrultu, kenar, yükseklik ölçüleri yapılmaktadır. Doğrultu ve kenar ölçüleri yüksek hassasiyete sahip klasik jeodezik aletler ve total stationlar kullanılmaktadır. Aliyman yönteminde sabit doğrultudan olan sapmalar doğrudan ve kolaylıkla belirlenir. Hassas poligon yönteminde kenarları ve açıları hassas şekilde ölçülen poligonlar kullanılmaktadır.

Düşey hareketlerin belirlenmesinde genellikle hassas nivelman ya da hassas trigonometrik nivelman tekniği kullanılır. Teknolojideki gelişimle birlikte geometrik nivelman tekniğinde elektronik nivoların kullanılması ölçülerin daha kolay yapılmasını sağlamıştır. Trigonometrik nivelman yönteminde iki nokta arasındaki yükseklik farkı düşey açı ve yatay uzunluk kullanılarak bulunmaktadır. Günümüzde elektronik uzunluk ölçerler kullanılarak kenarlar yüksek doğrulukla ölçülebilmesi hassas trigonometrik nivelman yöntemi ile de düşey konum değişimlerinin daha kolay belirlenmesi mümkün olmaktadır (İnal, 2000).

Teknolojideki hızlı gelişimle uydulara dayalı hassas konum belirleme sistemleri ölçme teknikleri içerisindeki yerini almıştır. Uydulara dayalı hassas konum belirleme sistemlerinde alıcı antenlerinin uydu sinyallerini alabilmesi için açık gökyüzüne sahip olması, uydu sayısının ve ölçü zamanın dikkate alınması gerekmektedir.

1973 yılında A.B.D. başlatılan uydu bazlı konum belirleme çalışmaları halen gelişimini devam ettirmektedir. Avrupa Birliği, Rusya, Hindistan gibi ülkeler kendilerine ait global konum belirleme sistemlerini (GLONASS, GALİLEO) oluşturmaya başlamışlardır. Günümüzde uydu konum belirleme sistemlerinden biri olan Global Positioning System (GPS) ile sabit veya hareketli objelerin konumlarının yüksek doğrulukta belirlenebilmesi mümkündür. GPS ile veri toplama yöntemi, sağladığı avantajlar nedeniyle gerek askeri ve gerekse de sivil alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uydu ölçme tekniğinin gelişimi ve ölçme kolaylığı, bu ölçümlerde çok yüksek doğruluğa ulaşılmasını sağlamıştır. Yatay konum değişimlerinin belirlenmesinde GPS ölçüleri yeterlidir. GPS tekniğinin kullanılmaya başlamasıyla birlikte; noktalar arası görüş zorunluluğu ve noktaların yüksek yerlerde olması gibi zorunluluklar ortadan kalkmıştır. İhtiyaç duyulan ve GPS ölçüsünün yapılmasına olanak veren her yerde nokta tesisi yapılabilmektedir. GPS ölçülerinin yapılışındaki hız ve aletlerin kullanım kolaylığı, nedeniyle ekonomik bir sistemdir.

Ancak tüp geçit, tünel yapımı, madencilik sahasındaki ölçmelerde GPS tekniği kullanılamamaktadır. GPS alıcısının uydu sinyallerini alabilmesi için gökyüzünü görme zorunluluğu vardır. Kapalı ve ağaçlık bölgelerde GPS alıcılarının uydu sinyallerini görmesi zordur. Bununla beraber Radyo-TV vericilerinin, GSM

operatörlerinin vericilerine çok yakın tesis edilen noktalarda GPS ve Real Time ölçülerinde sorunlarla karşılaşıldığı görülmüştür.

Sabit ve obje noktalarındaki hareketlerin incelenmesinde, 1D, 2D, 3D ağlarda kullanılabilirliği, bir datumda diğer datuma kolaylıkla geçiş sağlamasından dolayı S transformasyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. (İnal, 2000)

Bu nedenle, Selçuk Üniversitesi Alaâddin Keykubat Kampüs'ü içerisinde bulunan 4 adet referans noktası ve Hukuk Fakültesinin binası üzerindeki 4 adet obje noktasındaki hareketlerin belirlenmesinde statik yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla statik yöntemle 3 periyot GPS ölçüsü yapılmış ve yapılan ölçüler LGO, GNSS Solution ticari GPS yazılımlarında değerlendirilmiştir. Deformasyon analizi S – transformasyonu ile yapılmıştır.

2. MÜHENDİSLİK YAPILARINDA DEFORMASYON

Makine tesislerinde, yerkabuğunda ,baraj, köprü, gibi mühendislik yapılarında kalıcı ve geçici etkilerle oluşan şekil değişimine **deformasyon** denir. Deformasyonların belirlenmesi amacıyla yapılan ölçmelere **deformasyon ölçmeleri** denir . Bu ölçülerin değerlendirilerek sonuçların yorumlanmasına da "**deformasyon analizi**" denir (İnal,1999).

Deformasyonları fiziksel değişimlere sebebiyet vermeleri bakımından iki gruba ayırmak mümkündür.

1. Cisme etkiyen kuvvetin ortadan kalkması ile şekil değişiminin de ortadan kalktığı eğilme, burulma gibi esnek deformasyonlar diğer bir ifade ile cisme etkiyen kuvvet kaldırıldığında cisim eski halini alıyorsa, bu şekilde oluşan deformasyona elastik deformasyon denir.

2. Cisme etkiyen kuvvetin ortadan kalması sonucunda, nesnenin önceki konumuna dönmediği çökme, yükselme, öteleme, dönme, açılma, kapanma, genişleme, daralma gibi, oluşan deformasyonlar kalıcı deformasyondur. (Demirkesen, Bayata 2002).

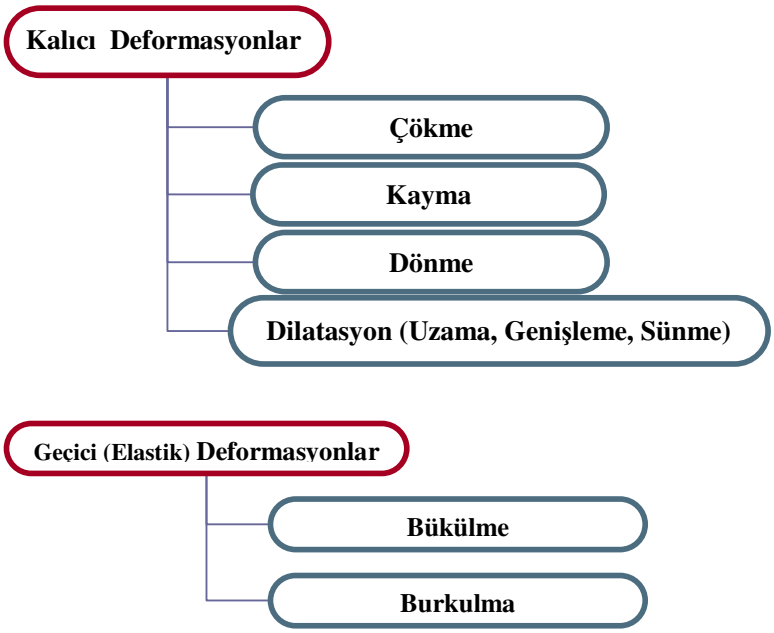
Yapı ve çevresini etkileyen değişik sayıda etken vardır. Bu etkenler,

- Zeminin fiziksel özellikleri,
- Yapının kendi ağırlığı,
- Yakın çevresinde yapılan kazı işlemi,
- Atmosferik ve jeolojik faktörler,
- Bölgedeki yerkabuğu hareketleri,
- Olası proje ve yapım hatalarıdır(Uluışık 2005).

Deformasyonlar kalıcı(Plastik) ve geçici(elastik) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kalıcı deformasyonlar çökme, kayma, dönme, dilatasyon ; Geçici deformasyonlar ise bükülme, burkulma olarak adlandırılır (Şekil 2.1).

Deformasyonlar farklı meslek dallarında değişik sekilerde ortaya çıkabilir.

- İnşaat mühendisliğinde, düşey ve yatay kuvvetlerin etkisiyle yapılarda oluşan değişikliklerin incelenmesinde
- Makine yapılarında makine tesislerinin kontrolünde
- Yer ve kaya mekaniğinde, temel problemlerinde
- Jeolojide ve jeomorfolojide yer kabuğunun hareketlerinin belirlenmesinde (İnal 1999).



Şekil 2.1 Deformasyonların Sınıflandırılması

2.1 Kalıcı Deformasyonlar

2.1.1 Çökme(Düşey Öteleme)

Serbest yüzeyi olmayan tabii zeminin, düşey veya düşeye yakın bir şekilde hareket etmesine çökme denir. Yük ve çeşitli kuvvetler tesiri ile zeminin ve dolayısıyla yapının, aşağıya doğru hareket etmesine de oturma adı verilir. Bu tip durumlarda yatay doğrultuda bir hareket ya çok az olur ya da hiç yoktur. Oturmalarda hareket yavaş yavaş olur.

Oturmalar ve çökmeler; büyük mühendislik yapılarında, yeraltı suları ve içme suyu şebekelerinde etkili olabileceğinden, bu yapılara ilişkin, yatay ve düşey yöndeki

hareketlerin sürekli ölçülmesi gerekmektedir. Maden yataklarında, yer altı zenginliklerinin çıkarılması; etütleri yapılmadan sulama ve içme amaçlı sondaj çalışmalarının yapılması, petrol arama ve çıkarma çalışmaları, metro inşaat çalışmaları, sonucunda yeryüzü üzerinde çöküntüler meydana getirmektedir. Bu çöküntülerin meydana geldiği alanlar üzerindeki yapılarda (mühendislik yapıları, yol köprü, binalar vb.) deformasyonlar oluşmaktadır. Bu çökme olaylarının incelenmesinde genelde jeodezik yöntemlerden yararlanılır(Bayata 2002).

Düşey kuvvetlerin etkisiyle cismin düşey doğrultudaki yer değiştirmesidir. Örneğin baraj gövdesindeki oturduğu zeminin düşey yüklerin toplamını karşılayamıyorsa çökme söz konusudur.



Şekil 2.2 Yerkabuğundaki Çökme Hareketi

Çökmeler;

- **Ani Oturmalar:** Ani oturmalar kumlu zeminde yük uygulanmasıyla birlikte oluşur.
- **Konsolidasyon:** Killi zeminlerde meydana gelir. Başlangıçta oturma büyüktür, zamana bağlı olarak azalır ve durur.
- **Plastik Oturmalar:** Zeminin taşıma gücünün aşılmasıyla oluşur. Çoğu zaman konsolidasyon ile plastik oturmalar birbirinden ayırt edilemez (İnal.1999).

2.1.2 Kayma (Yatay Öteleme)

Bir cismin bir kuvvetin etkisiyle yatay yönde yer değiştirmesine kayma denir. Cisme uygulanan kuvvet sürtünme kuvvetinden büyük olduğu zaman kayma meydana gelir. (İnal.1999).

Yer kaymaları olarak da bilinen heyelanlar, kayalardan, döküntülerden ve topraktan oluşmuş kütlelerin yerçekiminin etkisi altında yerlerinden koparak yamaç boyunca yer değiştirmesi olayıdır. Bir ya da birkaç yüzey boyunca, sürtünme kuvvetinin azalması ile oluşan kütle hareketidir. Kayma sırasında hareket eden malzemeler birbirleriyle etkileşim halindedir. Bunun için bu kütleler belirli ölçüde esas özelliklerine bağlı kalarak, bozulmalara ve parçalanmalara uğrayabilir ve bunun sonucunda akmalara dönüşebilir. Toprak kaymaları, asıl heyelandan daha yüzeyseldir.

Bir yamacın alt sınırının (yamaç topuğu) yol, tünel, baraj ve kanal yapımı nedeniyle kazılması ve eğim değişikliğinin oluşması sonucu, yukarıda belirtilen doğal nedenlerde mevcut ise heyelan oluşumu kolaylaşacaktır. Gerek yukarıda belirtilen kazılar nedeniyle, gerekse maden ve taş ocaklarının işletilmesi sırasında, oluşturulan yapay patlamalar ve dolayısıyla sarsıntılar, heyelanın meydana gelmesine yardımcı olurlar. Çünkü bu sarsıntılar tabakalardaki denk duruşun bozulmasını sağlar(Öztürk, 2001).



Şekil 2.3 Yerkabuğundaki Kayma Hareketi (Hong Kong 1972)

2.1.3 Akmalar

Daha çok yamaç dökünüsü, ayrışmış materyal gevşek formasyonlar gibi malzemelerin ıslak veya kuru zemin üzerindeki yer değiştirmesi akma hareketi olarak adlandırılır. Bu tür hareketin esas nedeni, kayma direncini azaltan sudur. Akmalar genellikle şiddetli sağanaklar sırasında veya sonrasında ortaya çıkmaktadır. Kaynak sular, donmuş zeminlerin ani çözülmesi gibi diğer bazı etkenlerde yamaçtaki materyalin harekete geçmesine yani heyelanlara neden olabilmektedir. İnce taneli veya plastik malzemeden oluşan toprak akmalarında artan su miktarına göre, çamur akıntıları oluşmakta, büyük ölçüde can ve mal kayıpları ortaya çıkmaktadır. Kaya akmaları da çeşitli nedenlere bağlı olarak kaya içindeki çatlakların çoğalmasıyla yavaş yavaş ve uygun bir süre içinde gelişir. Kayanın doğal özelliğini kaybetmesiyle de hareket başlar. Akan malzemelerin kuru veya kuruya yakın olması durumunda bile çok şiddetli heyelanlar görülür(Öztürk 2001).

2.1.4 Dönme

Cismin yatay düzlemde düşey eksen etrafındaki hareketine yatay dönme, düşey düzlemde yatay eksen etrafındaki hareketine düşey dönme denir.

2.1.5 Sünme

Beton zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzemedir. 28 gün suda saklanan bir numune kurumaya bırakıldıktan sonra kısalmaya başlar. Bu olaya “büzülme” (rötre) 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. Beton numune veya elemanın deformasyon yapması önlenmediği sürece, betonda gerilme oluşmaz. Betonarmede durum değişiktir. Donatı çeliğinde büzülme veya sünme söz konusu olmadığından, donatı bu deformasyonu engellemeye çalışacak, dolayısıyla hem

betonda hem de donatıda gerilmeler oluşacaktır. Kolayca anlaşılabileceği gibi, donatının simetrik olduğu durumlarda, betonun zamana bağlı deformasyonu nedeni ile donatıda basınç, betonda ise çekme gerilmeleri oluşacaktır. Donatının simetrik yerleştirilmediği durumlarda ise, eksenel deformasyonun yanı sıra eğilme de oluşacaktır. Betonarme elemanın mesnet koşullarıda zamana bağlı deformasyon nedeni ile gerilmeler oluşmasına neden olacaktır.

Sünme ve büzülme deformasyonları, betonarme yapı elemanlarında önemli gerilme ve deformasyonlar oluşturarak hasara ve göçmeye neden olabilecekleri gibi, kullanılırlığı da etkileyebilirler. Bu nedenle, gereken durumda zamana bağlı deformasyon hesaplarında mutlaka dikkate alınmalıdır. Bazı durumlarda zamana bağlı deformasyon zararlı değil, yararlı olabilir(Ersoy, Özcebe 1985).

Mühendislik yapıları, insanların barınma, ulaşım, enerji vb. ihtiyaçlarını karşılamak ve insanoğlunun tabiata karşı direncinin sonucu olarak insanlar tarafından yeryüzü ve yeraltında inşa edilmiş yapılardır. Bunlar; binalar, köprüler, viadükler, kara ve demiryolları, enerji nakil hatları, havalimanları, tüneller, barajlar vb… birçok yapıyı kapsar. Mühendislik yapılarında deformasyon ölçmeleri hem inşaat esnasında hem de inşaat sonunda yapının işletimi sırasında yapılmalıdır (İnal 1999).

Sünme, betonda büzülmeye ek olarak, kalıcı yük altında zaman içinde oluşan deformasyon olarak tanımlanabilir. Sünmenin nedenleri hakkında çeşitli hipotezler olmasına karşın, olay matematiksel bir biçimde ifade edilebilecek kadar açıklığa kavuşamamıştır. Sünmenin büzülmeden bağımsız olup olmadığı hakkında bile birbiriyle çelişen görüşler vardır.

Kalıcı yükler altında betonda oluşan gerilmelerin basınç dayanımının %40'ından az olduğu durumlarda sünmenin gerilme ile orantılı olarak artığı, gerilmenin daha fazla olduğu durumlarda ise bu orantının kaybolduğu ve sünmenin daha hızlı artığı bilinmektedir. Sünme, ancak betonda basınç gerilmeleri oluşturan kalıcı yükler altında meydana gelir. Eğer iki özdeş numuneden birisi yüklenmeden, diğeri kalıcı bir yük altında saklanır ve bu numunelerde bir zaman süresi içinde oluşan birim kısalmalar ölçülürse, sünme deformasyonu yüklenmiş numune deformasyonundan yüklenmemiş numunenin deformasyonu çıkarılarak hesaplanabilir.

Sünme ile ilgili deformasyonun büyüklüğü birçok değişkene bağlıdır. Bunlardan en önemlileri aşağıda sıralanmıştır.

- **Yük uygulanan betonun yüklenme anındaki yaşı*:*** Betonu taze iken yüklenen numunedeki sünme deformasyonu, eski bir betona oranla daha fazla olur.
- **Karışımdaki su/çimento oranı:** Su/çimento oranı artıkça, sünme deformasyonu artar.
- **Ortamın nemi ve ısısı:** Nem artıkça sünme deformasyonu azalır, ısı artıkça da artar.
- **Gerilme düzeyi:** Kalıcı yük uygulandığı anda betonda oluşan gerilmelerin beton basınç dayanımına oranı bir ölçü olarak kullanılabilir. Bu oran 0.4' ten küçükse, sünme- gerilmeyle orantılıdır. Daha yüksek oranlarda sünme deformasyonu gerilmeyle orantılı olmayarak daha hızlı artar.
- **Zaman**: Sünmenin hızı zamanla azalmasına karşın, deformasyon artışı yaklaşık üç yıl devam eder.

2.1.6 Büzülme

Betondaki çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarı, çimento ağırlığının yaklaşık %25'i kadardır. Ancak, işlenebilir bir beton elde etmek için gerekli olan su miktarı %25'in çok üstündedir. Bu nedenle, beton kalıplara yerleştirildikten sonra hidratasyon için gerekmeyen su buharlaşarak betondan ayrılır. Beton buharlaşma nedeni ile su kaybettikçe hacimsel küçülme olur, başka bir deyişle beton büzülerek kısalır. Büzülme buharlaşmaya ve buharlaşmanın hızına bağlı olduğundan, ortamın sıcaklığı, nemi ve elemanın bu ortama açık olan yüzeyinin büyüklüğü büzülmeyi etkiler. Olay fazla suyun buharlaşması ile ilişkili olduğundan, karışımda su/çimento oranı da önemli bir rol oynar. Büzülmenin hızı azalarak uzun süre devam ederse de, büyük bölümü üç ay içinde oluşur. Bu şekilde nemin ne denli önemli olduğu kolayca görülür(Ersoy, Özcebe 1985).

2.2 Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları

2.2.1 Yerkabuğu hareketlerinde deformasyon ölçmeleri

Tabaka tektoniği teorisine göre, yerkabuğu birbirine göre az çok hareket etmekte olan birçok tabakalardan oluşmaktadır. Tüm yeryüzünde meydana gelen depremlerde oluşan enerjinin en büyük kısmı bu tabakaların uç bölgelerine boşalmaktadır. Bu sebepledir ki depremlerin oluşumuna bu tabakaların neden olduğu kanaatine varılmıştır (İnal, 1990).

Yerkabuğu hareketleri iki şekilde göze çarpar. Birincisi deplasman adı verilen yer değiştirme, ikincisi ise yükseklik değişimleridir. Bu değişimler ayrı ayrı incelenebileceği gibi birlikte de incelenebilir. Bu incelemenin yapılabilmesi için amaca uygun şekilde tesis edilmiş bir kontrol ağına gereksinim vardır. Bu aşamada kurulacak ağın dizaynı birinci derecede önemlidir. Ağın yapılacak çalışma için optimal bir ağ olması gerekmektedir (Caspary, 1987).

Yerkabuğu hareketlerini incelemek amacıyla kurulan ağlar, genellikle birbirine göre hareket ettikleri düşünülen plakaların üzerine tesis edilmiş ve fay hattının her iki tarafına dağılmış kontrol noktalarından oluşur. Bu kontrol noktalarının tesisleri zorunlu merkezlendirme donanımlı sağlam pilyelerdir. Bu pilyeler doğrudan doğruya cisim noktaları olurlar. Ayrıca bu ağın çekirdek kısmının çevresinde hareket etmediği varsayılan yerlerde tesis edilecek yönlendirme noktalarının bulunması da yararlı olur.

Heyelanların izlenmesi için, inceleme konusu bölgede jeolojik incelemeler sonucu hareket beklenmeyen yerlerde ve hareket olasılığı yüksek olan yerlerde, zorunlu merkezlendirme yoluyla ölçme yapmaya elverişli pilyeler yapılarak, bu noktalar birbirlerine jeodezik ölçmelerle bağlanmak suretiyle bir jeodezik ağ oluşturulur. Tesis edilen bu noktaların hareket edip etmedikleri, ölçüler belli zaman aralıklarında yinelenerek yatay konumlarının değişip değişmedikleri araştırılır.

Günümüzde heyelanların GPS alıcıları ile sürekli bir izleme ağı kurularak izlendiği uygulamalar da bulunmaktadır. Uydu ölçme tekniğinin gelişimi ve ölçme kolaylığı, bu ölçümlerde çok yüksek doğruluğa ulaşılmasını sağlamıştır. Ayrıca klasik ölçme

aletleri gibi GPS ölçmeleriyle ulaşılan yüksek presizyon çok küçük hareketlerin dahi belirlenebilir hale getirmiştir.

Bundan başka bu ağ noktalarına sürekli gözlem yapmak üzere tesis edilecek GPS alıcıları ile sürekli bir izleme olanağı da vardır. İşte o zaman kinematik bir deformasyon modeli oluşturulur ve deformasyonların büyüklüğünün zamana ve yere göre değişimleri belirlenebilir. Dolayısıyla deformasyonlar hız ve ivme olarak ifade edilir (Akyılmaz 2001).

2.2.2 Barajlarda deformasyon ölçmeleri

Baraj deformasyonlarının belirlenmesi oldukça karmaşık bir işlem yapılmasını gerektirir. Çünkü bu çalışmalarda, baraj inşaatında kullanılan materyalin lineer olmayan davranışlarını, yapı ile bunun altındaki toprak ve kaya yapısı arasındaki etkileşimi, suyun yapı ve temeldeki kaya yatağı üzerindeki yük etkisini, ve de suyun doymuşluğunun etkilerini de göz önüne alınması gerekir. Söz konusu barajın tektonik fayların veya potansiyel sismik etkinliklerin bulunduğu yerlerde olması durumunda ek problemler ortaya çıkabilmektedir. Deformasyon prosesi, örneğin yapı materyalinin lineer olmayan davranışlarının hiperbolik modeli ile sonlu elemanlar' yöntemi kullanılarak modellenebilir. Model parametrelerinin belirsizliğine bağlı olarak özellikle inşaat ve suyun rezervuarlara ilk doldurulması sırasında modelin doğrulanması ve zenginleştirilmesi için barajın ve çevresinin dikkatli olarak izlenmesi gerekir (Szostak ve diğ., 1999).

Barajların güveni uygun tasarımı, inşaat ve işletim sürecindeki gerçek davranışların izlenmesine bağlıdır. Barajların ve çevre kayaların izlenmesi yapının davranışları ve taş yatağı ile arasındaki etkileşim hakkında bilgi elde edilmesini sağlar. Bu izleme aynı zamanda, geoteknik parametrelerin birinci derecede önemli olduğu tasarım parametrelerinin geliştirilmesi ile de daha sonra yapılacak barajlar için daha iyi ve güvenli tasarımlar üretilmesine olanak sağlar (Szostak ve diğ., 1999).

Genel olarak barajlarda yapılacak ölçmeleri dört grupta toplamak mümkündür. Bunlar;

- Gövde dolgu malzemesinin ve temel zemininin durumunu belirlemek için yapılan ölçmeler,
- Gövde içi hareketleri belirlemek için yapılan ölçmeler,
- Dış yükleri belirlemek için yapılan ölçmeler
- Gövdenin tümden hareketlerini belirlemek için yapılan ölçmeler olarak sıralanabilir(Akyılmaz 2001).

2.2.3 Madencilik sektöründeki deformasyon ölçmeleri

Zemine mekanik müdahale suretiyle çoğu zaman yapıların dengesi bozulur. O zaman yeni bir denge oluşuncaya kadar hareketlilik hali meydana gelir. Buna örnek olarak kömür ocaklarında, maden yataklarında ve petrol işletmelerinde meydana gelen yerkabuğu oturmaları gösterilebilir. Tabandaki değişmeler; maden işletmelerinde ya da temel suyu çıkışı sonucunda çökme, kayma, deformasyonlar oluşur. Değişik nedenlerden dolayı yapı temelindeki gevşemeler, özellikle nem miktarı ve sıcaklık değişimleri deformasyona neden olur(İnal 1999).

Maden ocakları genellikle açık veya yeraltı maden ocakları şeklindedir. Açık maden ocaklarında yapılan deformasyon ölçmeleri, yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi, toprak kaymaları, zemin çökmeleri ve yapıların izlenmesi vb. gibi çalışmalarda da uygulanabilir. Alışılan biçimde, bu izleme jeodezik ağlarda tekrarlanan ölçülerle yapılır. Kontrol noktalarının koordinatlarının presizyonlu olarak elde edilmesini sağlayan yersel ölçme teknikleri ve/veya relatif GPS konum belirleme teknikleri kullanılagelmiştir. Ayrıca basınç ve gerilme ölçer, ekstensometre, inklinometre, yakın resim fotogrametrisi gibi özel aletler gerektiren diğer metodlar da mevcuttur. 1990'lardan itibaren ayrıca presizyonlu diferansiyel GPS (RTK) ve telemetri teknikleri de real time deformasyon izlemeleri için uygulanmaktadır. Fakat analiz teknikleri jeodezik ağ yöntemlerine benzer ve hareketsiz referans ağı gerektirir. Bu referans ağı genellikle, deformasyon alanının dışında yer alan hareketsiz sabit

istasyonların konumları ile tanımlanır ve bu noktaların stabiliteleri kontrol edilmelidir (Kontny, 1999).

GPS ile deformasyon izlemesinde standart yaklaşım, periyodik olarak tekrarlanan GPS ölçümlerinin doğrudan doğruya karşılaştırılmasıdır. Klasik deformasyon analizinde, bir GPS ağı her periyot için ayrı ayrı dengelenir ve deplasman vektörleri bu ardışık periyotların dengeleme sonuçlarından hesaplanır. Fakat her bir dengeleme, datum parametrelerinin de birlikte belirlendiği serbest ağ ya da minimum şartlı dengeleme şeklinde yapılır. Hareketsiz olan noktalar her bir dengeleme sonuçlarının ortak bir koordinat sistemine dönüştürülmesinde kullanılır. Bu özellikle klasik jeodezik ölçülerin (doğrultu, kenar, nivelman) de deformasyon izleme sistemine katıldığı zaman önemlidir (Kontny, 1999).

2.2.4 Mühendislik yapılarındaki deformasyon ölçmeleri

Deprem hareketi ile oluşan zemin sıvılaşması, büyük kütleler halinde şev akmalarına sebep olabilir. Tamamen sıvılaşmış zemin ve böyle bir tabaka üstündeki zemin blokları onlarca kilometrelik mesafede saatte onlarca kilometre hızla akar. Bu tür akmaya, özelikle gevşek, suya doymuş kum ve siltli, nispeten dik şevlerde ve yamaçlarda rastlanır. Yataya yakın zemin tabakalarının sıvılaşmasında, eğime doğru akış meydana gelir. Akan zeminin yapısı bozulurken, mevcut temellerde ve köprü ayaklarında önemi hasarlar oluşur ve ortaya çıkan relatif yer değiştirme dolayısıyla köprü tahliyelerinde hasar ve boru hatlarında burkulmalar meydana gelir. Bir yapıyı taşıyan zemin sıvılaşıp taşıma gücünü kaybederse, yapıda hasara yol açan, önemli ölçüde oturma ve dönme meydana gelebilir.

Eğer binanın ağırlığı büyük değilse taşıma gücünün zayıflaması büyük oturmalar ortaya çıkarmaz. Ancak, depremin bitiminden sonra zeminde boşluk suyunun zamanla oluşacak drenajı hasar doğurabilecek oturmalara sebep olabilir. Depremden sonra zemin yüzünde, altta kum tabakasında basınçla sıkışmış suyun ve ince kumun kaynaması sıvılaşmaya işaret eden ve çok rastlanan bir gözlemdir. İstinat duvarının arkasındaki zemin sıvılaştığı zaman yatay zemin basıncı önemli derecede artarak,

duvarın kaymasına, dönmesine veya kesitlerinde güç tükenmesine sebep olabilir(Celep, Kumbasar 2004).

Büyük mühendislik yapılarında özellikle köprü ve barajlarda yerel jeolojik yapıdan, binanın özelliğinden ve yapı üzerindeki dinamik kuvvetlerden dolayı belli değişimler olacaktır. Bu değişimlerin beklenen değerler dışında olup olmadığı izlenmelidir. Bu izleme deformasyon ölçmeleri çerçevesinde düşünülür. Bu çalışmalarda; lokal fiziksel ölçme yöntemlerinin yanı sıra kurulacak uygun bir jeodezik kontrol ağıyla da desteklenmektedir. Bu hareketlerin yapının genel dinamik karakteri içerisinde kalıp kalmadığı deformasyon analizi yöntemleriyle belirlenir(Akpınar 2001).

Köprü, baraj ve daha büyük yapıların sürekli olarak izlenmesi inşaat, yapı ve deprem mühendisliği açısından halk güvenliğini içeren değerli bilgiler sağlar. Sürekli izleme sistemleri, mümkün olduğunca eş zamanlı, presizyonlu sapma bilgilerini zaman bazında kayıt edebilmelidir. Klasik yersel ölçme teknikleri veri toplanması için Ölçmecilerin bulunmasına dolayısıyla insan gücüne dayanır. Diğer taraftan, GPS alıcıları ve robust telemetri, GPS uydularından gelen sinyalleri sürekli olarak kaydeder ve gerektiğinde ölçmecinin çok az bir müdahalesini gerektirir (Lennartz-Johansen, 1999).

Deformasyonların tam olarak belirlenebilmesi için objenin zamana bağlı olarak sürekli gözlenmesi gerekir. Bir tek ölçüden yararlanarak deformasyonlar hakkında yorum yapmak olanaksızdır. Farklı ölçmeler ya değişik zamanlarda ya da özel durumlarda yapılır. Örneğin bir yapının çökme ölçmeleri belirli aralıklarla yapıldığı halde barajlardaki ölçmeler su seviyesinin maksimum yada minumum olduğu dönemlerde yapılır. Deformasyon ölçmelerinin yineleme aralığı deformasyon hızına bağlıdır. Hız düşük ise ölçme aralığı da fazladır. Hız fazla ise ölçme aralığı azalır. Her iki durumda da ölçülerin güvenirliliği ve kanıt çok önemlidir. Bu nedenle gerekli olan ölçü doğruluğu belirlenir(İnal 1999).

Ölçme yöntemi seçilirken deformasyonu belirlenecek objenin yanına ulaşımın olup olmadığı, üzerinden geçilip geçilemediği ya da sadece gözlenebilir olup olmadığı ve ölçme programının ne kadarlık süreyi kapsadığı belirlenmelidir. Deformasyon ölçmeleri genellikle uzun zaman aralığında şekilleri yavaş değişen objeleri içerir(İnal 1999).

Zemin sıvılaşması potansiyeli olan bir bölgede yapılacak yapıda alınabilecek tedbirlerin başında muhtemel küçük zemin hareketinden doğabilecek etkilerin karşılanması gelir. Temel türünün ve derinliğinin seçiminde, yer hareketinin yapıyı olumsuz olarak zorlamasının azaltılması esas alınmalıdır. Plak temel seçerek (rijit) yük ve kuvvet etkisi altında şekil değiştirmeyen temel oluşturulması ve kazık ve kuyu temel sistemi ile sıvılaşma potansiyeli bulunan tabakanın altına inilmesi tavsiye edilebilir. Sıvılaşma potansiyeline sahip tabakanın kaldırılması ve değiştirilmesi, enjeksiyonla veya sıkıştırılarak sıkı duruma getirilmesi ve yeraltı su seviyesinin düşürülmesi alınacak diğer tedbirler olarak sıralanabilir(Celep, Kumbasar 2004).

2.2.5 Zemin sıvılaşması

Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesi altındaki tabakaların geçici olarak mukavemetlerini kaybederek, katı yerine viskoz sıvı gibi davranmalarıdır. Özellikle, kil bulunmayan kum ve şilt ve bazen çakıl tabakaları sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Deprem sırasında, dalgaların özellikle kayma dalgalarının suya doymuş taneli tabakalardan geçerken, tane yerleşim düzenini değiştirir ve gevşek olarak bulunan tanelerin göçerek yerleşmesine ve sıkışmasına sebep olur. Bu yerleşme sırasında taneler arasında su yol bulup, kaçamazsa boşluk suyu basıncı yükselir. Eğer bu basınç üstte bulunan tabakaların ağırlığına yakın bir seviyeye ulaşırsa, taneli tabaka geçici olarak sıvı gibi davranarak sıvılaşma olayını ortaya çıkarır. Zeminin sıvılaşması sonucu, yapı zemine batma veya hafif yapılarda yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi gösterebilir. Sıvılaşarak kayma dayanımı kaybolan zeminde, yön değiştiren küçük kayma gerilmeleri büyük şekil değiştirmelerine sebep olur ve yapılarda zemin göçmesi hasarları meydana getirir. Bir zeminin sıvılaşması esas olarak gevşek bir yerleşime sahip olmasına, taneler arasındaki bağa, kil miktarına ve boşluk suyunun drenajının engellenmesine bağlıdır. Zemin sıvılaşmasında ortaya çıkan büyük yer değiştirme ve şekil değiştirmeler, ayrıca sıvılaşan tabaka kalınlığına, yüzey eğimine ve yükleme durumuna bağlıdır. Genellikle, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerdeki yakın zamana ait olan sıkışmamış kum ve şiltlerin sıvılaşma potansiyeli yüksektir. Bunun yanında akarsuların yığdığı kumlar, boyutlarındaki düzgünlük nedeniyle sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Yeraltı su

seviyesinin yüzeye 10 m den daha yakın olması da sıvılaşma tehlikesini arttırır. Buna karşılık yeraltı su seviyesinin 20 m den daha derinde bulunması durumunda ve sıkı zeminlerde sıvılaşma potansiyeli azdır(Celep, Kumbasar 2004).

Zeminin sıvılaşmasının kendisi hasara sebep olan bir olay değildir. Ancak, bu olayın büyük yer değiştirmelere sebep olması, büyük hasarları doğuran temel göçmelerine sebep olur. Zemin sıvılaşması ile onarımı güç olan temiz ve pis su boruları ile doğalgaz borularında hasar ve kaçaklar ortaya çıkar. Bunun yanında sıvılaşma, şev ve yamaç kaymalarına ve istinat duvarlarında yatay zemin basıncının artmasına sebep olur(Gürpınar 1977).

2.2.6 Temel hasarı

Deprem sırasında akarsu havzalarında ve kıyı bölgesinde sık rastlanan bir olay da zeminin sıvılaşmasıdır. Yer hareketi sonucu yükselen yeraltı su seviyesi, titreşim etkisi ile, ince taneli zemin ve kumu suya doygun duruma getirir. Deprem hareketi süresince zeminde meydana gelen yön değiştiren kayma gerilmeleriyle zemin sıvı gibi akıcı duruma gelir. Özellikle, suya doygun kumun bulunduğu ovalık yerlerde, hemen hemen her önemli depremde zemin sıvılaşması meydana gelir.

Zemin sıvılaşması veya benzeri nedenlerden zeminin taşıma kapasitesinde meydana gelen azalma, binanın bir bütün olarak düşey oturmasına veya otururken dönmesine sebep olabilir. Bu durum, hasar temel zemininde yeterli tedbirlerin alınmadığına veya zemin emniyet gerilmesinin yüksek seçildiğine işaret eder. Bu tür hareketler sonucunda kolonun tekil temelinin veya plak temelinin zımbalamaya zorlandığına işaret eden çatlaklar görülebilir. Temelin bir kısmının dolguda ve bir kısmının da sert yerel bir zeminde bulunması da deprem sırasında binada dönmeye sebep olabilir. Depremde meydana gelen diğer bir hasar da, faya yakın bölgelerdeki yeryüzü kabuğunun kırılması veya açılmasından meydana gelen temel göçmesidir. Bu tür hasarın önlenmesi oldukça zordur. Fay haritalarının yeterli hassaslıkta yapılması ve buralardan uzak durulması alınabilecek tek önlem olarak söylenebilir(Celep, Kumbasar 2004).

2.2.7 Yapılarda korozyon hasarı

Betonarme yapılarda çeşitli nedenlerden donatıda korozyon oluşur ve elemanlarda önemli hasar meydana getirir. Zamanla bu hasar önemli seviyelere ulaşır ve alınacak önlemlerin pahalı olmasına sebep olur. Bu nedenle bu tür hasarın olabildiğince erken belirlenmesi ve önlem alınması önemlidir. Donatıda korozyon esas olarak klorürlerin betona nüfuz etmesi veya beton yüzünde karbonatlaşmanın oluşmasıyla meydana gelir.

Betonun, klorür içeren deniz suyu veya buz çözücü tuzla temas etmesi sonucu, klorür, içeri doğru nüfuz eder. Klorürün ilerlemesi, klorür miktarına, betonun geçirgenliğine ve ortamda mevcut nem miktarına bağlı olur. Donatıya erişen klorürle beraber, oksijenin ve nemin bulunması donatıda korozyonun başlamasına sebep olur. Korozyon sonucu genişlemek isteyen donatı, çevresindeki betonda çatlamaya ve kabuk atmasına sebep olur. Çatlama ve kabuk atması, elemanın yüklü olması durumunda daha da çabuklaşır. Bunun sonucu donatıya; korozyona sebep olan tuz, nem ve oksijen daha kolay ulaşacağı için olay ayrıca hızlanır ve beton yüzünden daha derinde bulunan donatılarda da korozyon başlar. Bunun yanında betonun PH değerinin düşük olması, korozyonun başlamasında etkili olur.

Betonun agregasında bulunan klorür de korozyonun içten başlamasına sebep olur. Klorür, agreganın veya beton karışım suyunun kendi birleşiminde bulunabildiği gibi, deniz kumunun yıkanmadan doğrudan kullanılması durumunda betonun birleşimine girebilir. Klorür, asitle çözülebilir durumda bulunduğu gibi, daha tehlikelisi su ile çözülebilir ve kolayca korozyona sebep olabilecek durumda da bulunabilir. Korozyon işleminde klorür işleme girmez, sadece katalizör olarak etkili olur.

Betonun karbonatlaşması, atmosferde bulunan asitli gazların ve çimento hidratasyonunda oluşan birleşiklerin reaksiyonu sonucu meydana gelir. Normal havada % 0.03 gibi oldukça düşük oranda karbondioksit gazı (CO_2) bulunur. Bu oran endüstriyel ortamlarda daha yüksektir. Karbondioksit betonun boşluklarında içeri girerek, boşluk suyunda çözülmüş olan kalsiyum hidroksitle oluşturduğu reaksiyonla betonun PH seviyesini düşürür.

Karbonatlaşan betonun yüzeyi sertleşir ve betonun donatıyı koruması azalır. Nüfuz eden oksijen ve nem sonucu donatıda korozyon başlar. İyi betonda karbonatlaşma işlemi çok yavaştır. Ayrıca, olayın oluşması için, nem seviyesinin nem ile kuruluk arasında periyodik değişmesi gerekir. Betonun sürekli su içinde kalması karbonatlaşmaya sebep olmaz. Betonarme elemanda derz bulunması veya gerilme sonucu oluşan çatlaklar korozyonun hızlanmasına sebep olur.

Korozyonun başlaması ve ilerlemesinde, betonarme elemanın bulunduğu ortamdaki nem ve oksijen etkili olur. Alınacak önlemler yanında ortamın kuru tutulması da önemlidir. Bunun yanında yeni yapılarda seçilecek beton kalitesinin dayanım ilkeleri yanında geçirgenlik özellikleri de göz önünde bulundurularak seçilmesi gerekir. Korozyonun ileri durumlarında, donatı kesiti küçülebilir ve elemanının taşıyıcılık güvenliği zayıflayabilir. Bu durumda kolonlarda mantolarıma işlemi bir çözüm olabilir. Eğer bu korozyon örneğin binanın bodrum katında çok yaygınsa, bu katta çevre perdesi yapılması da tavsiye edilebilir (Celep, Kumbasar 2004).

Bir yapıda aranan en önemli özellik, yapının öngörülen yüklerin olası en elverişsiz etkime durumunda göçmeden ayakta kalabilmesi ve kullanım (servis) yükleri altında yapı elemanlarında aşırı deformasyon, çatlama ve titreşim oluşmamasıdır. Betonarme yapıların tasarım ve yapımında yalnız göçmeye karşı güvenliğin sağlanması yeterli değildir. Güvenlik kavramı içinde yapının ve yapı elemanlarının kullanım yükleri altında, kullanımı olumsuz yönde etkileyecek davranışlarının önlenmesi de vardır. İzin verilebilecek en büyük deformasyon, çatlak genişliği ve titreşim, söz konusu yapının işlevine ve duvar, asma tavan gibi taşıyıcı olmayan elemanların var olup olmamasına göre değişir. Örneğin, bir bölme duvar taşıyan kiriş için izin verilen yer değiştirme (senim), duvar taşımayan kirişe oranla daha azdır, çünkü söz konusu yer değiştirme, bölme duvarın çatlamasına neden olabilir. Çatlak genişliği de yapı veya yapı elemanının işlevine göre değişir. Normal bir konuttaki kiriş için izin verilen çatlak genişliğini, bir su deposu için geçerli saymak son derece yanlış olur. Su deposunda geçirimsizliği sağlamak en önemli amaçlardan biri olduğundan çatlak genişliği, konuttaki kirişe oranla çok daha düşük düzeyde tutulmalıdır.

Betonarme gibi davranışı son derece karmaşık olan bir malzemeden oluşan yapıların güvenliği, yalnızca hesap yöntemlerine bağlı kalınarak sağlanamaz. Sağlam bir davranış bilgisine dayanmayan hesap, sanal bir güvenliği sağlamaktan öteye

gidemez. Unutulmaması gereken başka bir gerçek de, yapı güvenliğinin salt tasarım aşamasında gerçekleştirilemeyeceğidir. Tasarım ne denli kusursuz olursa olsun, özensiz ve denetimsiz gerçekleştirilen bir yapı, öngörülen güvenliği sağlayamayacaktır.

Yapıya etkiyen yük etkilerinin sabit olmayıp zaman içinde büyük değişim gösterdiği, 20. yüzyılın başından beri biliniyordu. Ancak, yük türlerinin çok büyük bir çoğunluğu için yeterli istatistiksel veri olmadığından, yük yönetmeliklerinde geçmiş deneyim ve sınırlı gözlemlere dayanan, genellikle fazla güvenli yönde değerler verilmiştir. Son 40 yılda yüklerin daha gerçekçi olarak saptanmasına yönelik araştırmalar, birçok yük türü için yeterli istatistiksel veri toplanmasını sağlamıştır. Bu araştırmalar sonunda yapılara etkiyen yükler için tek bir değer önermenin olanaksız olduğu, bunların ancak istatistiksel bir dağılımla ifade edilebileceği anlaşılmıştır. Bu istatistiksel dağılımlardan elde edilen ortalama değerlerin, genellikle bugün yönetmeliklerde öngörülen yük değerlerinden çok daha küçük olduğu gözlenmiştir. Ancak, uzun bir gözlem süresi sonunda elde edilen değerlerden bazılarının da, öngörülen yönetmelik yüklerini aştığı görülmüştür.

Bugün birçok yük türleri için elimizde istatistiksel değerlendirmeler için yeterli sayılacak veriler olmasına karşın, bazı yük türleri için yeterli veri yoktur ve yakın bir gelecekte de olması beklenmemektedir. Yeterli veri olmayan yükler için, deprem etkisi örnek olarak gösterilebilir. Yeterli veri birikimi deprem sayısına bağlı olduğundan, istenilen düzeye ulaşmak uzun yıllar alacaktır.

Gerçek dayanımın ve yük etkilerinin hesaplananlardan değişik olması, aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır:

- Yapı malzemelerinin dayanımları, hesaplarda öngörülen değerlerden değişik olabilir. İyi bir denetim altında bile beton basınç dayanımının istenenden yüzde 10 ila yüzde 20, çelik akma dayanımının ise yönetmeliklerde öngörülen değerden yüzde 5 - 10 oranında değişik olması doğaldır.

- Betonarme yapı elemanlarının boyutları, tasarımda öngörülenden değişik olabilir (300 mm olması öngörülen bir boyut, gerçekte 290 mm olabilir). Ülkemizde imal edilen betonarme donatı çubuklarının çapı da (dolayısıyla alanı) değişiklikler göstermektedir. Örneğin, $\phi 16$ olarak alınan bir çubuğun gerçek çapı, 15.8 veya 16.2

mm çıkabilmektedir.

- Yapı malzemesinin dayanımı zamanla değişmektedir; beton dayanımının zamanla artması, sünmeden dolayı azalması gibi. Ayrıca, yorulma ve korozyon gibi etkenler de malzemeyi zayıflatabilmektedir.
- Betonarme yapı elemanlarında, hesaba katılmayan veya büzülme gibi kesin hesaplanamayan gerilmeler mevcuttur.
- Mesnet koşullarını doğru olarak belirlemek olanaksızdır.
- Hesap yöntemlerindeki yaklaşıklıklar da yapının gerçek yük etkilerinin kesin hesabını olanaksız kılmaktadır. Çatlayan bir elemandaki rijitlik değişimi ve mesnet koşulları ile ilgili varsayımlar da yaklaşıklık getirmektedir.
- Hesap sırasında yapılan maddi hatalar da yapı dayanımını etkiler. Her mühendis maddi hata yapabilir. Ancak deneyimli bir mühendis, dayanımı önemli oranda etkileyecek büyük hatalar yapmaz. Böyle bir hata yapmış olsa bile, hata olduğunu sezinler ve gereken düzeltmeyi yapar.
- Yapı dayanımını etkileyen bütün faktörler bilinmemektedir. Bilinmeyen faktörlerin varlığı, hesaplanan dayanımın yaklaşık olmasına neden olur(Ersoy, Özcebe 1985).

3. GPS ÖLÇME YÖNTEMLERİ VE GPS YAZILIMLARI

3.1 GPS (Global Positioning System)

Transit sisteminin gelişmiş bir biçimi olan **"NAVSTAR/GPS"** (**Nav**igation **S**atellite **T**iming **A**nd **R**anging/**G**lobal **P**ositioning **S**ystem) ABD Savunma Dairesi (Department of Defence) tarafından geliştirilen, elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının, uydu sinyalleri yardımıyla:

- Herhangi bir yer ve zamanda
- Her türlü hava koşullarında
- Global bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlıkta
- Ekonomik olarak
- Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

Sistemle ilgili çalışmalar 1973 yılında ABD Deniz Kuvvetlerinin "TIMATION" programı ile Hava Kuvvetlerinin "621B" projesini birleştirilmesi ile başlatılmış ve Los Angeles Hava Üssünde kurulmuş olan Ortak Program Bölümünün **(JPO, J**oint **P**rogram **O**ffice) sorumluluğuna verilmiştir.

GPS'in kullanım alanları çok genel olarak iki ana başlık altında toplanabilir:

3.1.1 Askeri kullanım alanları;

- Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu
- Arama-Kurtarma
- Hedef bulma
- Füze güdümü
- INS sistemlerinin desteği
- Uçakların, görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı

3.1.2 Sivil Kullanım Alanları;

- Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu
- Jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçmeler
- Kadastral ölçmeler
- Kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar
- Yerel ve global deformasyon ölçmeleri
- Araç takip sistemleri
- Uçakların, görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı
- Aktif kontrol ağları
- CBS veri tabanlarının geliştirilmesi
- Turizm, tarım, ormancılık, spor
- Asayiş
- Hidrografik ölçmeler

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 sinyalini izleyebilmesi için gökyüzünü görmesi yeterlidir.
- Nokta yeri seçiminde noktaların en yüksek yerlerde olması gibi zorunluluklar ortadan kalkmıştır. Gereksinim duyulan ve GPS ölçüsünün yapılmasına olanak veren her yerde nokta tesisi yapılabilmektedir.
- GPS ölçülerinin yapılması büyük oranda hava şartlarından bağımsızdır.
- Gece ve gündüz sürekli (24 saat) ölçüm yapılabilmektedir.
- GPS ölçülerinin yapılışındaki hız ve aletlerin kullanım kolaylığı, ölçücü hatalarının olmaması (anten yüksekliği ölçümü hariç) nedenleriyle ekonomik bir sistemdir.
- Üç boyutlu nokta koordinatları elde edilmektedir.
- Elde edilen jeodezik doğruluklar en duyarlı klasik jeodezik tekniklerle elde edilenlerle eşit yada 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.

Almanak verileri efemeris ve saat parametrelerinin belirli bir kısmını kapsamaktadır. Amacı, GPS alıcısının ölçüye başlamak için ilk açılması anında süratli bir şekilde uydulara kilitlenebilmesi için gerekli olan, doğruluğu oldukça düşük uydu koordinatlarını sağlamaktır. Ayrıca ölçü planlamalarında uydu görünürlük grafiklerinin çizilmesinde de kullanılmaktadır. Almanak verileri her uydu tarafından yayınlanmakta ve içerisinde tüm uydulara ait yaklaşık konum bilgileri bulunmaktadır. Almanak verileri Navigasyon Mesajının bir bölümü olarak yayınlanmaktadır.

Almanak parametrelerinin tamamı, Navigasyon Mesajının iki ve üç no.lu alt bölümlerinde yayınlanan bilgilerin yalnızca bir kısmı olup doğruluğu çok düşüktür. Almanak verileri de Kontrol Bölümü tarafından en az 6 günde bir güncelleştirilmekle birlikte (eğer uydularda bir değişme yada bozulma olmazsa) uzun bir süre için geçerli olmaktadır. Mevcut GPS uyduları için bu süre 180 gündür.

GPS ölçülerinde kullanılan en önemli donanım alıcı (receiver) ve anten sistemidir. Kullanıcının sahip olduğu alıcı-anten sistemi özellikleri ve kapasiteleri ölçü planlamasından, ölçülerin arazi sonrası değerlendirme işlemlerine kadar tüm aşamaları doğrudan etkilemektedir.

GPS alıcısı temel işlev olarak uydu sinyalini kaydeder, kaydedilen sinyali işleme tabi tutar (signal processing), anlık (real-time) uygulamalar için koordinat dönüşümleri yapar, gerektiğinde navigasyon için gerekli bilgileri hesaplar.

GPS alıcı anteninin temel görevi uydulardan yayınlanan sinyalleri, çevresindeki objelerden yansıyan sinyalleri (multipath) ayıklayarak almaktır. Bazı özel tasarımlı antenler bu özelliklere ilave olarak uydulardan gelen sinyallere diğer kaynaklardan karışan (interface signals) sinyalleri de ayıklama özelliğine sahiptir. Alıcı antenleri esas olarak uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgalar içerisindeki enerjiyi alıcı içerisindeki elektronik devrelerde işlenebilecek elektrik akınına dönüştürmektedir. Başka bir ifadeyle, GPS alıcısı anteni uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgaları belirler ve bu dalgalar içerisindeki enerjiyi elektrik akımına dönüştürür, güçlendirir (amplify) ve alıcı elektrik devrelerine gönderir.

Antenlerin şekli ve boyutu çok önemli olup, bu özellikler kısmen de olsa istenmeyen zayıf sinyallerin alıcıya ulaştırılmasında rol oynarlar. Günümüzde kullanım amacına uygun olarak antenler alıcı ile aynı donanım içerisinde bütünleşik (built-in) veya ayrık yapıdadırlar. Ayrık yapıdaki antenler alıcılara bir kablo vasıtasıyla bağlanmaktadır. Kablo uzunlukları 2-60 m arasında değişmekle birlikte veri kaybının önlenmesi amacıyla olabildiğince kısa anten kabloları tercih edilmelidir. Jeodezik amaçlı antenler genellikle Ll ve L2 sinyallerinin her ikisini de alacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu tip antenler sinyal yansıma etkisinden 'ground plane' veya iç içe halkalardan oluşan 'choke ring' eklemeleri ile korunmaktadır.

Kullanım amacına uygun olarak antenler yalnızca Ll frekansında (tek frekanslı) veya L1, L2 frekanslarının her ikisinde de (çift frekanslı) çalışabilir. Diğer taraftan GPS uydu 'sinyalleri **RHCP** (**R**ight **H**and **C**ircularly **P**olarized) özellikli olduğundan GPS alıcı antenleri de RHCP özellikli olmalıdır. Bununla birlikte sinyal yansıma etkilerini en aza indirmeyi amaçlayan **LHCP** (**L**eft **H**and **C**ircularly **P**olarized) özellikli antenler de üretilmektedir.

Farklı yapılarda anten tipleri mevcut olup bunlardan en çok kullanılan "microstrip" "dipole" ve "helix" modelleridir. Microstrip anteni günümüzde en çok tercih edilen anten modelidir. Bunlar tek ve çift frekanslarda ölçü yapabilmekte, dayanıklı ve basit yapıdadır. Dipole antenler tek frekanslı konfigürasyona sahip anten modelidir. Helix anten tipi microstrip antenler gibi Ll ve L2 frekanslarının her ikisinde de sinyal toplayabilmesine karşılık yüksek profilli bir görünüme sahiptir.

Daha önce de anlatıldığı gibi, alıcı/işlemci birimi anten vasıtasıyla alınan uydu sinyallerini işleme tabi tutar (gelen sinyali RF bölümünde daha düşük frekansa dönüştürür), Navigasyon Mesajı verilerini toplar, konum, hız ve zaman hesabı için gerekli olan "pseudorange" ve "deltarange" ölçülerini gerçekleştirir. Bu işlemleri gerçekleştirebilmek için ise birçok aşama takip eder. Bu aşamalar iki temel bölümde düşünülebilir.

Sinyal Alma Aşaması: İlk aşama olup, alıcı izlenecek (gözlem yapılacak) uyduları burada belirler. Alıcı öncelikli olarak hafızasındaki en son uydu ve nokta konum bilgilerine dayalı olarak herhangi bir uydunun C/A kodunu yakalamaya çalışır. Eğer alıcı hafızasında uydulara ait hiçbir almanak verisi yoksa yada hafızasındaki değerler çok eski zamana aitse, alıcı doğrudan gökyüzünü taramaya (sky search) başlar.

Burada amaç gökyüzündeki herhangi bir uyduya kilitlenerek almanak bilgisini kaydetmek ve bu bilgiyi kullanarak diğer uyduları bulmaktır.

Uydu İzleme Aşaması: Uydu sinyallerinin izlenmesinde korelasyon teknikleri kullanılmaktadır. Taşıyıcı dalga frekansını izleyebilmek için taşıyıcı izleme lupu (carrier tracking loop), C/A ve P kodları izlemek içinse kod izleme lupu (code tracking loop) kullanılmaktadır. Her iki lup eş zamanlı ve iteratif olarak çalışırlar. Her iki lup alınan uydu sinyaline kilitlendiğinde, doğru uydu-alıcı mesafesi (pseudorange) hesabı için Navigasyon Mesajı çözülür. Bunun sonucunda alıcı 4 uyduya kilitlendiğinde, bunlardan alınan Navigasyon Mesajı yardımıyla alıcı antenine ait konum, hız ve zaman hesabı yapar ve anlık uygulamalar için navigasyon uygulaması başlamış olur.

GPS ölçmelerinde gözlenen tüm veriler alıcı markasına bağımlı bınary formatta kaydedilmektedir. Alıcı hafızasına kaydedilen bu veriler daha sonra bilgisayarlara aktarılmaktadır (downloading). GPS alıcısı üreten firmalar genellikle kendi özel veri tabanı sistemlerini oluşturmuş olup, toplanan GPS verilerinin bu veri tabanı sistemine uygun olan kendi özel değerlendirme yazılımlarını kullanarak hesaplanmasını önermektedirler. Ayrıca, binary formattaki veriler bilgisayarlara ASCII formatta aktarılsa bile veri formatı alıcı markasına göre farklılık göstermekte olup, bu hali ile başka yazılım kullanarak doğrudan değerlendirilmesi olanaklı değildir. Bu nedenle, çok noktalı GPS kampanyalarında ölçülerin tek bir yazılımla değerlendirilebilmesi için tüm ölçülerin tek tip alıcı kullanılarak yapılması zorunluluğu doğmaktadır. Diğer taraftan, her değerlendirme yazılımının kendi özel formatı olduğundan farklı alıcılarla toplanmış GPS verilerinin değerlendirilebilmesi için verilerin öncelikle alıcıdan bağımsız formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Böylece GPS verileri hangi alıcı ile toplanırsa toplansın bu veriler alıcıdan bağımsız formata dönüştürülerek farklı yazılımlarla değerlendirme olanağı sağlanmaktadır.

Yukarıda açıklanan düşünceler ışığında, 1989 yılında Las Cruces'de gerçekleştirilen Beşinci Uluslararası Uydularla Konum Belirleme Jeodezi Sempozyumu'nda Alıcıdan Bağımsız Değişim Formatı (RINEX; Receiver INdependent EXchange format) jeodeziciler için uluslararası standart veri değişimi formatı olarak kabul edilmiştir. Böylece, günümüzde sayısız GPS kullanıcısı, farklı alıcılarla yapılmış GPS ölçülerini RINEX formatını girdi kabul eden tek bir yazılımla değerlendirebilmektedir.

RINEX formatı 4 farklı ASCII dosyadan oluşmaktadır:

- Gözlem veri dosyası
- GPS Navigasyon Mesajı dosyası
- Meteorolojik veri dosyası
- GLONASS Navigasyon Mesajı dosyası

Yukarıdaki dosya tiplerinin tamamı başlık ve veri bölümü olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Başlık kısmı dosyanın başında olup dosya ile ilgili genel bilgileri içermektedir. RINEX formatı, gözlenen veri tipinden bağımsız olarak minimum yer kaplayacak şekilde oluşturulmuştur. Temel olarak her bir gözlem ve meteorolojik dosya her bir noktaya ve tek bir oturuma (session) ait verileri içermektedir. Şu anda mevcut olan RINEX2 versiyonu ardışık olarak ölçü yapılmış birden fazla noktaya ilişkin hızlı statik ve kinematik GPS verilerini de içermektedir.

RINEX dosya isimlendirilmesinde aşağıdaki standart yapı kullanılmaktadır.

SSSSdddf.yyt

SSSS : 4 karakterli nokta adı

ddd : Yılın günü (DOY; Day Of Year)

f : Aynı gün içindeki dosya sıra numarası

yy : Yıl

t : Dosya tipi (O: gözlem dosyası, N: GPS navigasyon dosyası, M: meteorolojik veri dosyası, G,: Glonass navigasyon dosyası)

Sonuç olarak RINEX formatı alıcı formatından bağımsız olup, özellikle farklı alıcılarla gerçekleştirilmiş GPS kampanyaları ile toplanmış değişik veri formatlarının alıcıdan bağımsız ortak ve standart bir format haline dönüştürülmesini sağlamaktadır. Bu ise özellikle bilimsel amaçlı çalışmalarda çok sayıda farklı alıcı ile yapılmış eş zamanlı GPS gözlemlerinin tek bir yazılım kullanılarak değerlendirilebilmesi olanağını sağlamaktadır.

3.2 GPS Ölçü Yöntemleri

3.2.1 Mutlak konum belirleme

GPS ile iki ana konum belirleme yöntemi kullanılmakta olup, bunlar mutlak konum belirleme (Absolute / Point Positioning) ve göreli (relative positioning) konum belirlemedir.

Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı ile normal olarak dört yada daha fazla uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerinde alıcı kurulu olan noktanın koordinatları belirlenmektedir.

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.

3.2.2 Göreli konum belirleme

Göreli konum belirlemede koordinatları bilinen bir noktaya göre diğer nokta ya da noktaların koordinatlarının belirlenmesi söz konusudur. Başka bir deyişle, göreli konum belirleme ile iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir.

A noktası koordinatları bilinen bir referans (sabit) noktasını, B ise koordinatları hesaplanacak olan diğer noktayı ifade etmektedir. Böylece, matematiksel olarak B noktasının koordinatları,

$$\underline{X}_B = \underline{X}_A + \underline{b}_{AB}$$

$$\underline{b}_{AB} = \begin{bmatrix} \underline{\Delta X}_{AB} \\ \underline{\Delta Y}_{AB} \\ \underline{\Delta Z}_{AB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix}$$

ile ifade edilmektedir

Göreli konum belirleme için iki ayrı noktada kurulmuş olan iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod yada faz gözlemleri söz konusudur. Göreli konum belirleme ile elde edilen doğruluk mutlak konum belirlemeden çok daha iyi olup, alıcı tipi (P kodlu, P kodsuz), ölçü süresi gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine (yayın ya da duyarlı) bağlı olarak elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir.

Kod gözlemleri ile anında konum belirleme amacı için yeterli doğruluk sağlanmakta ve pratik olarak büyük önem taşımaktadır. Ancak, mühendislik hizmetleri için çok daha duyarlı sonuçlara gereksinim vardır. Bu amaç için faz gözlemleri kullanılmaktadır. Faz gözlemleri kullanılarak yapılan göreli konum belirlemede genel olarak beş farklı yöntem mevcut olup bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Statik Ölçü Yöntemi
- Hızlı (rapid/fast) Statik Ölçü Yöntemi
- Tekrarlı (reoccupation/pseudostatic) Ölçü Yöntemi
- Dur-Git (stop and go) Ölçü Yöntemi
- Kinematik Ölçü Yöntemi

3.2.2.1 Statik ölçü yöntemi

Statik ölçü yöntemi klasik GPS ölçü tekniği olup,

- Çok yüksek doğruluk istendiğinde,
- Uzun bazlar söz konusu olduğunda
- Mevcut uydu geometrisi başka bir ölçüm tekniğine olanak vermediğinde,
- Sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda (örn. İyonosfer, troposfer), en iyi yöntemdir.

Bu ölçü yönteminde iki ya da daha fazla sayıda alıcı ile en az bir saat eş zamanlı ölçü yapılmaktadır.

Yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi gibi bilimsel amaçlı çalışmalarda ve çok uzun bazların söz konusu olduğu (plaka hareketlerinin belirlenmesi) yüksek doğruluk gereken durumlarda ölçü süreleri en az birkaç saat olmak üzere 24 saate kadar

belirlenebilmektedir. Statik yöntemle toplanmış olan ölçüler büroda uygun GPS yazılımları (post-process) ile değerlendirilmektedir.

3.2.2.2 Hızlı statik ölçü yöntemi

Bu da bir çeşit statik ölçü yöntemi olup çok daha kısa süreli ölçülerle duyarlı sonuçların alınması nedeniyle ekonomik bakımından büyük önem taşımaktadır. Genel olarak, alıcılardan birisi referans noktası üzerinde sabit bırakılarak sürekli gözlem yaparken başka alıcı yada alıcılar tüm diğer noktalara çok kısa süreler için kurularak eşzamanlı gözlemler yapılır.

Hızlı statik yöntemin uygulanmasında, konumu belirlenecek olan 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 bağlıdır. Tablo 3.1 görüldüğü gibi, uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki bazda ölçü süresi azaltılabilir.

Tablo 3.1 Uydu sayısı ve ölçü süresi ilişkisi

Uydu Sayısı	**Ölçü Süresi**
4	> 20
5	10-20
6 ve daha fazla	5-10

Hızlı statik ölçü yöntemi, özellikle kısa sürede çok sayıda noktanın doğru ve ekonomik olarak ölçülmesi gerektiği durumlarda en iyi yöntemdir. Bu yöntemde ölçü süreleri çok kısa olduğundan faz belirsizliği çözümleri için özel algoritmalar geliştirilmiştir .

3.2.2.3 Tekrarlı ölçü yöntemi

Bu yöntemin birden fazla adı olup (pseudokinematic, pseudostatic, reoccupation, intermittent static) bu da statik ile kinematik arasında bir yöntem olmasından kaynaklanmaktadır. Kinematik yönteme göre daha az, statik yönteme göre ise daha

fazla sayıda nokta üretilebilmektedir. Bu yöntem, bir yada iki saatlik bir ölçü süresinin başlangıç ve sonunda, değişen uydu geometrisinden yararlanmak için, bir noktanın birkaç dakika süre ile iki defa ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bir noktadan diğerine gidilirken alıcıların uydu izlemeye devam etmesi zorunluluğu yoktur. Ölçü zamanı olarak PDOP değerinin en küçük (uyduların en iyi geometrik dağılımda) olduğu periyotlar seçilmelidir. Tekrarlı yöntemle en iyi sonuçlar değişen uydu geometrisine bağlı olarak kısa baz uzunluklarında (10 km.ye kadar) alınmaktadır. Bu yöntemde her bir nokta en az 10'ar dakikalık süreler ile iki defa ölçülmeli ve bu iki ölçü arasında en az 1 saat fark olmalıdır. İki ölçü en fazla 4 saat içerisinde tekrar edilmelidir. Ölçüler değerlendirilirken bu iki bağımsız ölçü kümesi sanki her noktada tek bir gözlem varmış gibi ele alınmakta ve her iki ölçüde mevcut tüm uydular kullanılmaktadır. Böylece örneğin her bir ölçüde 4 ^{v}er uydu varsa sonuç olarak bir yada iki saat içerisinde 8 uyduluk gözlem yapılmış olmaktadır. Bu yöntem özellikle zayıf uydu geometrisi olduğu durumlarda ya da tek frekanslı alıcılar varsa uygun bir ölçü tekniğidir.

Tekrarlı ölçü yönteminin uygulaması değişik şekillerde olabilmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

3.2.2.4 Dur-git (stop and go) ölçü yöntemi

Bu yöntemde yine bir alıcı konumu bilinen nokta üzerinde sabit ve sürekli olarak izleme yapmaktadır. İkinci alıcı ise önce herhangi bir noktaya kurulur. Bu birinci noktada aynen hızlı statik yöntem kullanılıyormuş gibi bir kaç dakika ölçü yapılır. Bunun nedeni bu noktada faz başlangıç belirsizliklerinin çözülmesi zorunluluğu olmasındandır. Birkaç dakikalık ölçü ile başarılı bir faz belirsizliği çözümü için yeterli veri toplandıktan sonra söz konusu ikinci alıcı uydulara olan izlemeyi devam ettirerek diğer noktalar birkaç epokluk (10-20 sn'lik) ölçülerle gezilir. Burada aletin bir noktadan diğerine giderken izlemeyi devam ettirmesinin nedeni ise ilk noktadaki belirsizlik değerlerinin diğer noktalara da aynı şekilde taşınması zorunluluğudur. Eğer bu arada izlemede kesilme olursa yada uydu sayısı 4'ün altına düşerse bu durumda sonraki noktalarda birkaç epokluk ölçü yapmak yeterli olmayacaktır.

Dolayısıyla böyle bir durumda ya geri dönülerek aynı işlemler tekrarlanacak ya da bir sonraki noktadaki kalış süresi uzayacaktır.

Bu yöntem özellikle ölçü noktaları birbirine çok yakınsa iyi sonuçlar vermektedir.

3.2.2.5 Kinematik ölçü yöntemi

Dur-Git ölçü yönteminin daha genel bir şeklidir. Burada amaç tek tek noktaların ölçülmesi olmayıp hareket eden bir antenin gezi yolunun belirlenmesidir. Diğer bir ifadeyle 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 başarılı bir faz belirsizliği çözümü için gerekli veri toplanana kadar ölçüye statik durumda devam edilir. Daha sonra diğer noktalarda önceden belirlenen ölçü aradıkları ile (Örn. 1-2 saniye aralıklarla) ölçüye devam edilerek hareket halindeki antenin konumu belirlenmiş olur. İkinci alıcı hareket halinde iken en az dört uydunun sürekli izlenmesi gerekmektedir. Uydu sayısı 4'ün altına düştüğü an faz belirsizliği bilinmeyenleri yeniden belirlenmelidir. Bu işlem ise Dur-Git yönteminde anlatıldığı gibi yapılmaktadır.

Bu yöntem hızlı ve ekonomik bir ölçü tekniği olup özellikle hareket halinde ve hidrografik amaçlı ölçmelerde uygundur.

Buraya kadar açıklanan yöntemlere bakılınca görülmektedir ki klasik olarak isimlendirilen statik ölçü yöntemi ile saatleri bulan uzun ölçüm süreleri gereklidir. Diğer taraftan günümüzde zaman çok önemli bir faktör haline gelmiş olup, güncel mühendislik uygulamalarında en az ölçü süresi ile maksimum doğruluk elde etme düşüncesi ön plana çıkmıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar uygun uydu geometrisi ve en az 4 uydu ile yalnızca birkaç dakikalık ölçünün faz başlangıç belirsizliklerini çözmeye ve sonuç olarak 20 km.ye kadar olan uzaklıklar için beklenen jeodezik duyarlılıkları elde etmeye yeterli olduğunu göstermektedir. Söz

konusu yöntemler kullanılırken uydu sayısı 4'den az olduğu durumda faz belirsizliği çözümü olanaklı olamayacağından değerlendirme sonucu elde edilecek doğruluk da oldukça düşecektir.

GDOP, uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve alıcı saati bilinmeyenine toplam etkisini,

PDOP, uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlara etkisini,

HDOP, uydu geometrisinin hesaplanan yatay koordinatlara (enlem ve boylam) etkisini,

VDOP, uydu geometrisinin hesaplanan nokta yüksekliğine etkisini,

TDOP, uydu geometrisinin zaman bilgisine etkisini ifade etmektedir.

DOP faktörleri ile ilgili bilgi Tablo 3.2'da verilmektedir.

Tablo 3.2 DOP Faktörleri

Kısa Adı	**Açık Adı**	**Etkilediği Büyüklük**	**Kullanım Alanı**
GDOP	**G**eometric **D**ilution **o**f Precision	Koordinatlar (X,Y,Z) Zaman (t)	Teorik ve bilimsel Çalışmalarda
PDOP	**P**osition **D**ilution **o**f Precision	Koordinatlar (X,Y,Z)	3 boyutlu konumun önemli olduğu uygulamalarda (ör. havacılık)
HDOP	**H**orizontal **D**ilution **o**f **P**recision	Yatay Koordinatlar (X,Y)	Denizcilik ile ilgili uygulamalarda
VDOP	**V**ertical **D**ilution **o**f **P**recision	Yükseklik (Z)	Yükseklik bilgisinin önemli olduğu uygulamalarda (ör.havacılık)
TDOP	**T**ime **D**ilution **o**f **P**recision	Zaman (t)	Zaman transferi uygulamalarında

DOP faktörleri yalnızca navigasyon amaçlı kullanılmayıp, günümüzde bir çok göreli konum belirleme uygulamalarında da kullanılmaktadır.

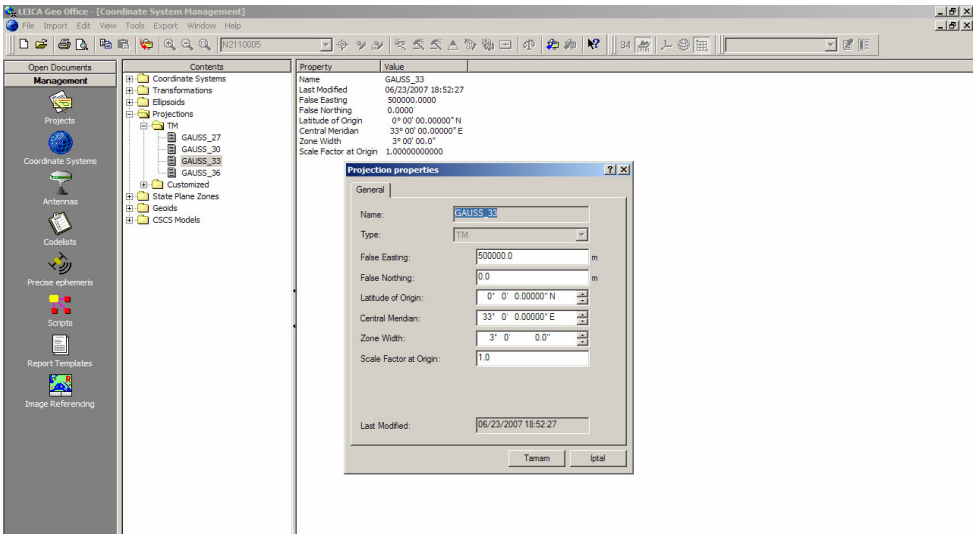
Noktalar arasında oluşturulan baz vektörlerinden yararlanarak oluşturulan kofaktör matrisinden hesaplanan DOP faktörleri Göreli DOP (**RDOP**; **R**elative **D**ilution **o**f **P**recision) olarak ifade edilmektedir.

3.3 Değerlendirmede Kullanılan Ticari GPS Yazılımları

3.3.1. Leica Geo Office

Leica Geo Office ticari yazılımı, Berlin üniversitesinin bilimsel yazılımı olan ve datum parametrelerinin belirlenmesi, sabit GPS istasyonlarının deformasyonun analizi ve hızlarının belirlenmesi, plaka hareketlerinin tespiti ve buna bağlı olarak jeodezik çalışmalara yön verilmesi, ülke jeodezik kontrol ağlarının oluşturulması gibi birçok bilimsel projelerde kullanılan BERNESSE akademik yazılımı hazırlayanların danışmanlığında hazırlanmış olan bir ticari yazılımdır.

Leica Geo Office yeni proje açıldıktan sonra proje özelliklerinden konum ve yükseklik sınır değerleri, kullanıcı saati değerleri düzenlenir. Aynı menüden projenin koordinat sistemin ayarları yapılmaktadır. WGS-84 koordinat sistemi tanımlıdır.Koordinat sistemi oluşturulurken yeni bir projeksiyon oluşturmak gerekmektedir. Bunun içinde projeksiyonlar menüsünden ülkemizde kullanılan 3 derecelik Gauss Krüger Transverse Mercator projeksiyonu içi TM, 6 derecelik Gauss Krüger Universal Transverse Mercator için UTM seçilir.Örneğin oluşturacağımız bir 3 derecelik projeksiyon ayarları (örn :33), türü(TM), sahte sağa (500000), sahte yukarı (0), başlangıç enlemi (0^o), dilim orta meridyeni (33^o), dilim genişliği (3^o), başlangıçtaki ölçek faktörü (1.0) değerleri girilir.Şekil 3.1 de görünmektedir.



Şekil 3.1 : Üç derecelik Bir TM Projeksiyon Ayarları

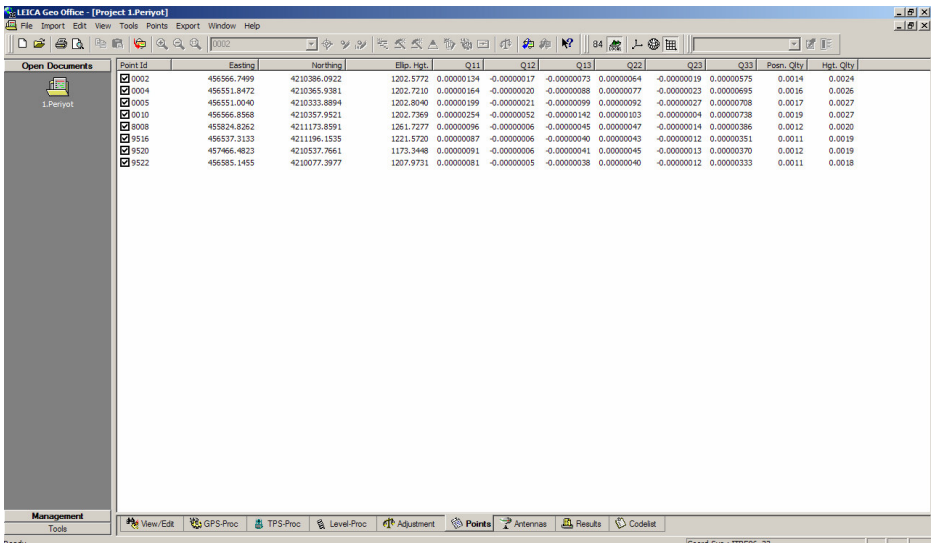
Projeksiyon oluşturulduktan sonra koordinat sistemi oluşturulur.Yeni koordinat sistemi oluşturulurken koordinat sisteminin adı, yerel elipsoidi ve projeksiyonu seçilir.

Datalara ait nokta numarası, anten yüksekliği, ölçü sürelerine ait bilgiler değerlendirildikten sonra Leica alıcı sistemine ait ham dataları, diğer alıcı sistemlere ait rinex datalarını programa aktarılabilmektedir.

Ağın serbest dengelemesi için önce dengeleme parametrelerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Dengeleme parametrelerine bakmak için dengeleme menüsünden yapılandırma penceresinden genel değiştirmeler komutu çalıştırılır. Dengeleme parametreleri kontrol edilir. Serbest dengelemenin yapılacağı koordinat sisteminin WGS-84 olmasına dikkat edilir. Dengeleme parametreleri belirlendikten sonra ağın serbest dengelemesi yapılır.

Ağın dayalı dengelemesi yapılırken koordinat sistemleri menüsü oluşturulmuş olan lokal koordinat sistemine ayarlanması gerekir. Dengeleme menüsünden ilgili noktaya ait bilinen kesin koordinatları düzenlenir. Proje koordinat sisteminin belirlenen lokal koordinat sistemine ayarlanması ve dayanak noktalarına ait koordinat değerlerinin girilmesinden sonra, ağın dayalı dengelemesi yapılır. Dayalı dengelemede yapılırken nokta koordinatları kartezyen koordinatlar seçeneğinde düzenlenir.

Dengeleme sonuçları, lup kapanmaları sayısal ve yazıcı ortamında alınabilir. Sonuç koordinat değerleri grid, kartezyen, coğrafi olarak elde edilir(Salgın,2007).



Şekil 3.2 Nokta Hassasiyetleri ve Kofaktör Matrisleri

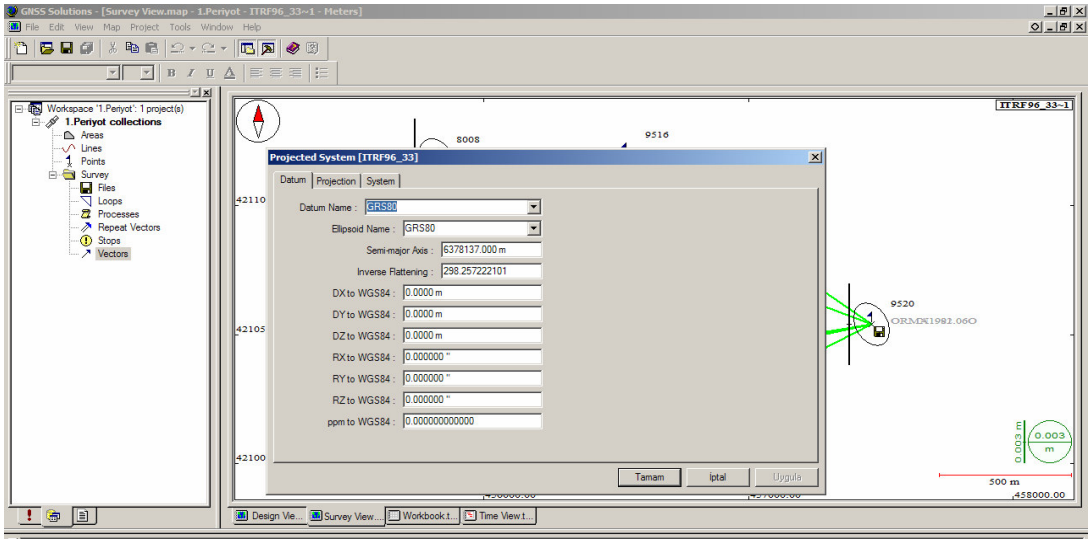
Ayrıca farklı çalışmalar nokta konumlarına ve yüksekliklerine ait hassasiyet değerleri verebilmektedir. Nokta koordinatlarına ait kofaktör matris değerleri de Leica Geo Office programında elde edilebilmektedir.

3.3.2 GNSS Solutions

GNSS Solutions Thales Navigation'nun yeni kuşak ölçü sonrası değerlendirme yazılımıdır. Yüksek performans ve işlem hızı sağlar, az yer kaplar. Yazılım data oluşturma veya derlemede güçlü veri tabanı özelliklerine sahiptir. Dokümanlar tablo, harita veya grafik şeklinde oluşturulup projeye eklenebilmektedir. Yazılım, real-time (RTK) ve statik ver işleme yeteneğine sahiptir.

GNSS Solutions aynı zamanda GIS uyumludur. Çalışma alanı içindeki herhangi bir ESRI formatındaki dosya, yeni bir projeye import edilebilmektedir.Yeni " arka plan harita projesi" ,"Land survey projesi" ile kombine edilerek GIS verisi ile bağlantı sağlanabilmektedir.

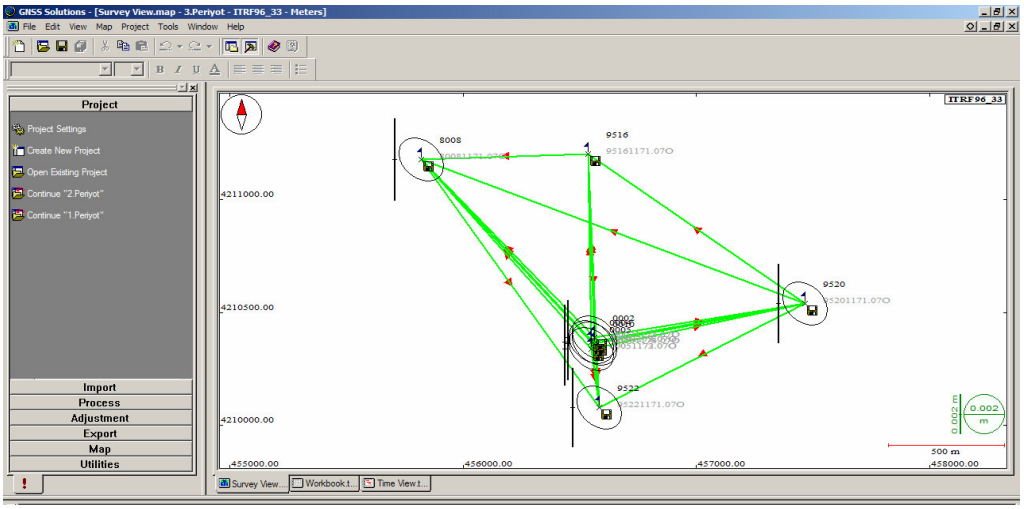
Programda projeyi açarken Thales alıcılarına ölçülerine ait ham dataları alır, diğer alıcılardan rinex çevrilmiş datayı kullanabilmektedir. Datayı aktarırken nokta adları ,yükseklikleri, anten cinsleri üzerinde düzeltmeler yapılabilmektedir. Project Settings kullanılarak lokal koordinat sistemi tanımlanır. Şekil 3.3 deki görüldüğü gibi koordinat sistemi tanımlanırken gerekli datum ve projeksiyon parametreleri seçilir.



Şekil 3.3 Datum ve Projeksiyon Parametrelerinin Düzenlenmesi

Process yapılırken Process options sekmesinden istenilen bazlar işlenebilir. Bazların yöneltmeleri tersine çevrilebilir. Mask butonu kullanılarak uydu sinyallerini zamana bağlı olarak düzenleyebilir. Process all Baselines sekmesi kullanılarak bazlar işlenir.Şekil 3.4 deki görüntü elde edilir. GPS ham veri ürünün işlenmesinin ilk ürünü iki nokta arasındaki vektörün tanımlanmasıdır. Nokta koordinatları işlenmiş vektörüm yan ürünüdür. Bir vektör işlendiği zaman noktanın birinin koordinatları her zaman sabit tutulur. İşlenmiş vektörden bilinmeyen noktanın koordinatları tanımlanır. Çok bazlı noktalar için, görünen koordinat en düşük hatalı bazdan türetilir. Verilerin dengelemesi daha doğru ve güvenilir nokta koordinatları meydana getirir. GNSS Solutions işlenmiş bazların ve hesaplanmış nokta koordinatlarının kalitesini tanımlamaya yardımcı göstergelere sahiptir. Vektör hataları işlenmiş bazın kalite kestirimini verir. Deneyim, farklı baz uzunluklarında beklenen hata düzeyini tanımlamaya yardımcı olur. Genellikle, hatalar alıcının doğruluk özellikleri ile benzer olmalıdır. Ayrıca benzer uzunluktaki vektörlerin hataları da benzer olmalıdır. Bir baz işleminde veri miktarı da baz hataları üzerinde etkilidir. Eğer çok az veri varsa, hata değeri büyür.

Serbest dengelemede Project menüsünden Adjust Network sekmesinde ağın serbest dengelemesi yapılır. Serbest dengeleme de program ağ bağlanırlık testini yapar. Daha sonra Chi-Square testini yapar. Bu testten sonra her baz için Tau testini uygular.Dayalı dengelemede ise kontrol noktalarının değerleri programa edit edilerek dengeleme yapılır.



Şekil 3.4 Post- Processing İşlemiyle Proje Şekli

4. S TRANSFORMASYONU İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Değişik zamanlarda, değişik amaçlar için oluşturulan jeodezik kontrol ağlarının datumları çeşitli nedenlerle farklı olabilmektedir. Oluşturulan ağların deformasyon analizinin yapılabilmesi ve duyarlıklarının karşılaştırılabilmesi için, karşılaştırılacak olan parametrelerin aynı datumda belirlenmiş olması gerekir.

S transformasyonu ile yeni bir dengelemeye gerek kalmadan bir datumda belirlenmiş olan bilinmeyen parametreleri, örneğin nokta koordinatları ve bunların kofaktörler matrisi, başka bir datuma dönüştürülebilmektedir.

S transformasyonu ağ noktalarının tamamının (tüm iz minimum) veya bir kısmının (kısmi iz minimum) küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamının minimum olması (x^Tx=min) koşulunu öngören serbest dengeleme ile aynı anlamdadır.

S transformasyonu, deformasyon ölçülerinin analizinde, duyarlık açısından ağların karşılaştırılmasında, kontrol ağının beklenilen doğruluğu sağlayıp sağlamadığının kontrolünde, koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinin öngörülen ve ölçüt matrisi adı verilen yapay kovaryans matrisi ile karşılaştırılmasında kullanılır (Demirel, 1987).

4.1. S Transformasyonu

S transformasyonu uygulamalarında kullanılan S dönüşüm matrisi,

$$S = I - G\,(B^T G)^{-1}\,B^T \quad (B = E.G) \tag{1}$$

eşitliği ile hesaplanır (Kuang, 1996). (1) eşitliğindeki I birim matristir. G matrisi ise, normal denklem katsayılar matrisi N'in d (defekt) sayıda özdeğere (k=0) karşılık özvektörler matrisidir. Defekt sayısı d=l olan yükseklik ağlarında;

$$G^T = [\,1 \quad 1 \ldots\ldots....1] \tag{2}$$

defekt sayısı d= 4 olan p noktalı bir doğrultu ağında ; x_{io}, y_{i0} (i =1..p) yaklaşık koordinat değerleri olmak üzere G matrisi için;

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0.....1 \\ 0 & 1 & 0 & 1.....0 \\ -y_{10} & x_{10} & -y_{20} & x_{20}.....-y_{po} \\ x_{10} & y_{10} & x_{20} & y_{20}.....y_{po} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{x yönünde öteleme} \\ \text{y yönünde öteleme} \\ \text{dönüklük} \\ \text{ölçek} \end{matrix} \quad (3)$$

yazılabilir. Doğrultu-kenar ağı ya da kenar ağlarında, ağın ölçeği belli olduğu için, G^T matrisindeki son satır ortadan kalkar.

GPS ağları için G matrisi için,

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1.....0 \\ 0 & 1 & 0 & 0.....0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.....1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{x yönünde öteleme} \\ \text{y yönünde öteleme} \\ \text{z yönünde öteleme} \end{matrix} \quad (4)$$

yazılabilir.(1) eşitliğinde datum seçici matris olarak isimlendirilen E matrisi, köşegeni üzerinde dağılımı belirleyen nokta koordinatlarına karşılık "1", ötekiler için "0" değerini içeren bir köşegen matristir. S transformasyonu ile herhangi bir *i* datumundaki dengeleme sonuçlanan *j* datumuna,

$$S_j = I - G\,(B_J^T G)^{-l} B_J^T \quad (5)$$

$$x_j = S_j \,.\, x_i \quad (6)$$

$$Q_{xx}^j = S_j \,.\, Q_{xx}^j \,.\, (S_J^T) \quad (7)$$

eşitlikleriyle dönüştürülür (Demirel, 1987).

4.2. S Transformasyonu İle Deformasyon Analizi

Son 30 yıl içinde jeodezik deformasyon ölçülerinin analizi problemi bir çok şahıs tarafından araştırıldı. Bunlardan başlıcaları, Aeschlimann (1971), Baumann (1972), Kuntz (1977), Milev (1973), Van Mierlo (1975), Niemeier (1975, 1977), Pelzer (1971, 1976), Chen (1983), Chrzanowski-Chen and Secord (1986). Deformasyon ölçülerinin analizinde periyot ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenir. Uyuşumsuz ölçüler ayıklanır. Periyot ölçüleri için uyuşum testi yapılır. Önce Global test

yapılarak ağın bütününde deformasyon olup olmadığı araştırılır. Daha sonrada deformasyonun yerelleştirilmesi işlemi yapılır.

t_1 ve t_2 zamanında gözlenen ağ geometrileri farklı ise (multivaryant ağ) global test, yalnızca eşlenik noktalardan oluşan ağ bölümlerini kapsar. Başka bir deyişle, t_1 ve t_2 zamanında ölçülen ağlar eşlenik noktalara göre konumlandırılır.

t_n zamanında ölçülen bir ağda "*e*" ile tanımlanan eşlenik (datum) noktalan koordinatları ilk sırada, "*b*" ile tanımlanan diğer noktaların koordinatları ve başka bilinmeyenler ikinci sırada olmak üzere herhangi bir *i* datumunda serbest dengeleme ile belirlenmiş olsun. Buna göre, *i* datumuna ilişkin x_i parametreler vektörü ve ağırlık katsayılar matrisi;

$$x_i = \begin{bmatrix} x_e^i \\ x_b^i \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{ee}^i & Q_{eb}^i \\ Q_{be}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} \tag{9}$$

bölümlere ayrılır ve (5), (6), (7) eşitlikleri kullanılarak *i* datumundan ağın eşlenik noktalara göre konumlandırılmasını sağlayan *j* datumuna geçilir. *j* datumunda $(x_e^j)_1$ ve $(x_e^j)_2$ koordinat bilinmeyenleriyle birlikte $(Q_{ee}^j)_1$ ve $(Q_{ee}^j)_2$ ağırlık katsayıları matrisi hesaplanır.

Eşlenik noktaların global testi için,

$$H_o: E(x_e^j)_1 = E(x_e^j)_2 \tag{10}$$

$$d_e = (x_e^j)_2 - (x_e^j)_1 \tag{11}$$

$$(Q_{dd})_e = (Q_{ee}^j)_1 + (Q_{ee}^j)_2 \tag{12}$$

$$R_e = d_e^T (Q_{dd})^+_e . d \tag{13}$$

ve R_e nin serbestlik derecesi $h_e = u_e - d$ olmak üzere test büyüklüğü;

$$F = \frac{R_e}{m^2 . h_e} \tag{14}$$

ile hesaplanır. $F > F_{he,f,1-a}$ çıkarsa ağın eşlenik noktalardan oluşan bölümünde bir deformasyon olduğuna karar verilir. (14) eşitliğindeki m^2;

$$m^2 = \frac{f_1 . m_1^2 + f_2 . m_2^2}{f_1 . f_2} \tag{15}$$

eşitliği ile hesaplanır.

m_1^2 : Birinci periyot için birim ağırlıklı ölçünün varyansı

m_2^2 : İkinci periyot için birim ağırlıklı ölçünün varyansı

f_1 : Birinci periyot için fazla ölçü sayısı

f_2 : İkinci periyot için fazla ölçü sayısı

4.2.1. S transformasyonu yardımıyla anlamlı nokta hareketlerinin araştırılması

Global test sonucunda ağda deformasyon olduğuna karar verilmiş ise hareketli noktaların araştırılmasına geçilir. Eşlenik noktalardan her birinin yer değiştirmiş olabileceği düşünülerek *i* datumunda serbest dengeleme ile belirlenmiş bir periyoda ilişkin (8) parametreler vektörünün eşlenik nokta koordinatlarını içeren x_e^i alt vektörü, hareket ettiği varsayılan bir noktanın koordinatlarını içeren x_h^i ve öteki (sabit kabul edilen) eşlenik nokta koordinatları içeren x_s^i alt vektörlerine ayrılır. Eşlenik olmayan noktalara ilişkin parametreler ve diğer bilinmeyenler x_b^i vektörü içinde toplandığına göre (8) vektörü ve (9) ağırlık katsayıları matrisi,

$$x_i = \begin{bmatrix} x_s^i \\ x_h^i \\ x_b^i \end{bmatrix} \qquad Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{ss}^i & Q_{sh}^i & Q_{sb}^i \\ Q_{hs}^i & Q_{hh}^i & Q_{hb}^i \\ Q_{bs}^i & Q_{bh}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} \tag{16}$$

olur. t_n zamanında ölçülen ağ şimdi, koordinatları x_s içinde toplanan ve sabit kabul edilen noktalara göre konumlandırılmaktadır. Bu datum k ile gösterilirse, (16) ayrımına uygun olarak;

$$G=\begin{bmatrix} G_s \\ G_h \\ G_b \end{bmatrix} \quad ; \quad B_k = E_k \,.\, G = \begin{bmatrix} G_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{17}$$

ile (4) eşitliğinden S_k transformasyon matrisi bulunmalı ve her periyot için;

$$x_k = S_k \,.\, x_i \tag{18}$$

$$(Q^k{}_{ss}) = S_k \,.\, Q^i{}_{xx} \,.\, S^i{}_k \tag{19}$$

transformasyonları yapılmalıdır. Sabit kabul edilen noktaların koordinat farkları d_s ve bunların ağırlık katsayıları matrisi $(Q_{dd})_s$;

$$d_s = (x^k_s)_2 - (x^k_s)_1 \tag{20}$$

$$(Q_{dd})_s = (Q^k{}_{ss})_1 + (Q^k{}_{ss})_2 \tag{21}$$

eşitlikleriyle hesaplanır. x_e alt vektöründeki noktalardan her biri için R_s değeri hesaplanır.

$$R_s = d^T_s \,.\, (Q_{dd})^+{}_s \,.\, d_s \tag{22}$$

Global test sonucu ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğuna karar verilmiş ise $(R_s)_{min}$ olan noktadaki hareket anlamlı görülür ve bu nokta x_b vektörü içine alınır.

$$F = \frac{(R_S)min}{m^2 \,.\, h_s} \tag{23}$$

eşitliği ile test büyüklüğü hesaplanır. Test büyüklüğü $F_{hs,f,1-a}$ sınır değerinden büyük çıkıyorsa, geriye kalan eşlenik noktalar için (16)-(23) işlemleri yenilenir. Öteki hareketli noktaların araştırılması sürdürülür (Demirel, 1987).

5. UYGULAMA

Selçuk Üniversitesi Alaâddin Keykubat Kampüsünde bulunan Hukuk Fakültesinde meydana gelen düşey ve yatay yöndeki hareketliliğin belirlenmesinde GPS tekniği kullanılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Hukuk Fakültesi

Yapıdaki hareketleri belirlemek amacıyla yapı üzerinde karakteristik bölgelerde üzerine GPS alıcılarının yerleştirilebileceği 4 adet obje noktası tesis edilmiştir. Yine hareket alanın dışında binaya 1-2 km uzaklıkta sabit olduğu düşünülen bölgelerde 4 adet referans noktası şekil 5.2 de görüldüğü gibi pilye şeklinde tesis edilmiştir.



Şekil 5.2 Pilye Tesisi

Ölçmelerde çift frekanslı (L1 ve L2) Ashtech Thales Z-Max (4 adet), Ashtech Z-Surveyor (2 Adet) kullanılmıştır. Z-Max alıcılarının anten tipi " Max – Track Anten Tipi", Ashtech Z-Surveyor 700700B , 700700C anten tipleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan GPS alıcılarının teknik özellikleri tablo 5.1'de ve tablo 5.2'de verilmektedir.

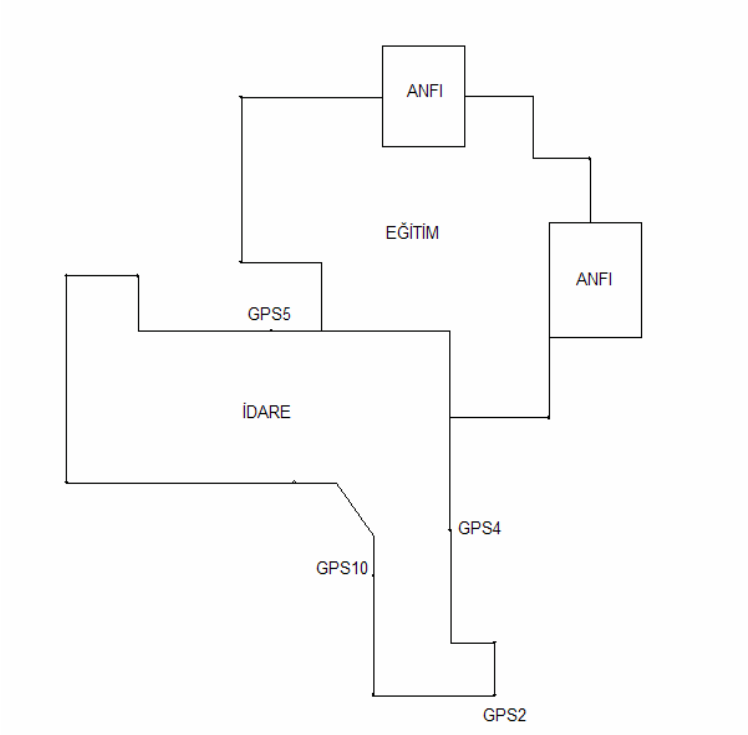
Tablo 5.1 Ashtech Thales Z – Max Alıcısının Teknik Özellikleri

Genel	
Alıcı Tanımı	36 Kanallı, çift frekanslı GPS alıcısı
RTK Çözüm Menzili	30-50 km'ye kadar
RTK İnitializasyon Süresi	2 sn (20 km'den küçük bazlarda)
Fiziksel - Çevresel Özellikler	
Çevresel Koruma Standartları	IP54 su geçirmezlik, MIL-STD-810F şok ve darbe dayanıklığı
Koruyucu Gövde	1.5 metre'den düşmeye dayanıklı, magnezyum kasa
Alıcı Çalışma Sıcaklığı	-30°C ile +55°C arası
Depo Saklama Sıcaklığı	-40°C ile +85°C arası
Alıcı Ağırlığı	2.53 kg
Sinyal İzleme	
Kanal Sayısı	12 paralel, L1/L2 GPS kanalı, 2 SBAS (WAAS / EGNOS) kanalı
Sinyal Özellikleri	12 L1/L2 taşıyıcı faz ve P-kod, 12 L1 C/A kodu
İzleme Teknolojisi	Astech Z*Tracking, Thales Prism
Ölçme Hassasiyetleri ve Performans	
Statik ve Hızlı Statik Mod	Yatay ; 5 mm + 0.5 ppm Düşey ; 10 mm + 0.5 ppm
Kinematik Mod	Yatay ; 10 mm + 1.0 ppm Düşey ; 20 mm + 1.0 ppm
RTK Modu	Yatay ; 10 mm + 1.0 ppm Düşey ; 20 mm + 1.0 ppm
Soğuk Başlangıç	60 sn
Sıcak Başlangıç	20 sn
Isınmış Başlangıç	10 sn
Anten	
Tip	L1/L2 jeodezik GPS anteni
Ağırlık	0.64 kg
Faz Merkezi Kararlılığı	< 1mm
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ile +65°C arası
Çevresel Koruma Standartları	IPX7
Güç	
Batarya Tipi	Dahili Li-Ion batarya
Çalışma Süresi	14 saat (sürekli uydu izleme, RTK/Statik)
Harici Güç Girişi	Var, 10-28 volt DC
Güç Tüketimi	4.5 Watt
Haberleşme	
Portlar	1 x RS-232, 1 x RS-422, 1 x USB, 1 x Bluetooth
Alıcı Göstergesi	8 karakter led ekran
Hafıza	
Tipi	Secure Dijital (SD) hafıza kartı
Kapasite	128 Mb (yaklaşık 80 gün data kaydı)
Kayıt Aralığı	1 - 999 sn

Tablo 5.2 Ashtech Z – Surveyor Alıcısının Teknik Özellikleri

Genel	
Alıcı Tanımı	12 Kanallı, çift frekanslı GPS alıcısı
Fiziksel - Çevresel Özellikler	
Koruyucu Gövde	Plastik kasa
Alıcı Çalışma Sıcaklığı	-30°C ile +55°C arası
Depo Saklama Sıcaklığı	-40°C ile +85°C arası
Alıcı Ağırlığı	1.70 kg
Sinyal İzleme	
Kanal Sayısı	12 paralel, L1/L2 GPS kanalı, 2 SBAS (WAAS / EGNOS) kanalı
Sinyal Özellikleri	12 L1/L2 taşıyıcı faz ve P-kod, 12 L1 C/A kodu
Ölçme Hassasiyetleri ve Performans	
Statik ve Hızlı Statik Mod	Yatay ; 5 mm + 1 ppm Düşey ; 10 mm + 1 ppm
Soğuk Başlangıç	60 sn
Sıcak Başlangıç	20 sn
Isınmış Başlangıç	10 sn
Anten	
Tip	L1/L2 jeodezik(700700B, 700700C) GPS anteni
Ağırlık	1.70 kg
Faz Merkezi Kararlılığı	< 1mm
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ile +65°C arası
Güç	
Batarya Tipi	Dahili Li-Ion batarya
Çalışma Süresi	10 saat (Statik)
Harici Güç Girişi	Var, 12 volt DC
Güç Tüketimi	4.5 Watt
Haberleşme	
Portlar	4x RS-232,
Alıcı Göstergesi	8 karakter led ekran
Hafıza	
Tipi	PCMCI Hafıza Kartı
Kapasite	4 Mb (yaklaşık 80 gün data kaydı)
Kayıt Aralığı	1 - 999 sn

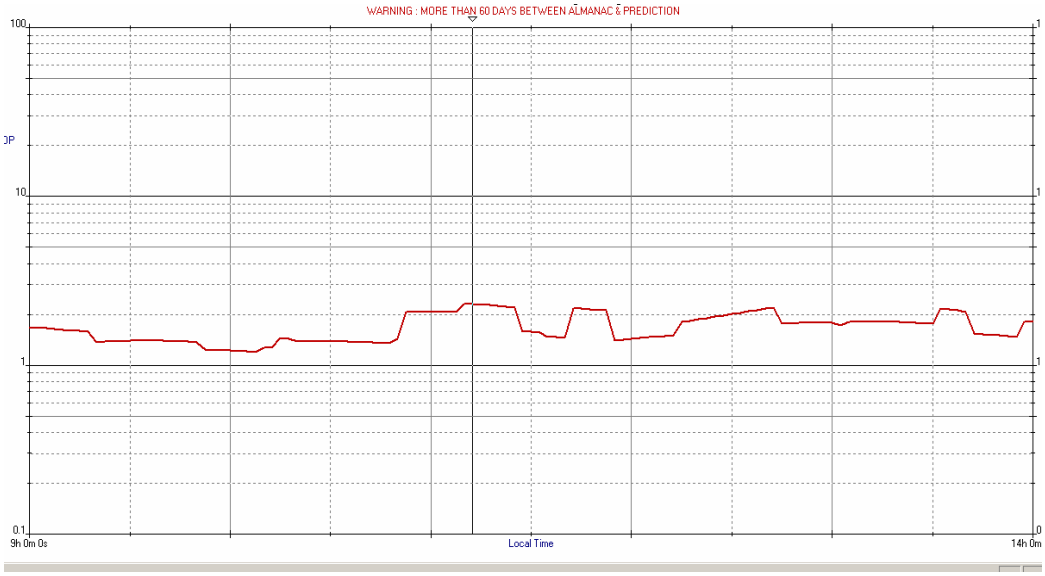
Hareket beklenen bina üzerinde de uygun 4 tane obje noktası belirlenmiştir. Bunlar binanın üstünde beton blokaj destekli vidalama sistemleri olarak tesis edilmiştir. Hareketlenmenin en fazla görüldüğü GPS 2, GPS 4, GPS 10, GPS 5 nolu noktalar obje noktaları olarak kullanılmıştır(Şekil 5.3). 17-18 Temmuz 2006 1.periyot ölçüleri, 27 Ekim 2006 tarihinde 2.periyot ölçüleri, 27 Nisan 2007 tarihinde de 3.periyot ölçüleri yapılarak ölçü işlemleri tamamlandı. Ölçülerin değerlendirilmesinde ve dengeleme işlemlerinde Leica Office Suite ve Ashtech GNSS Studio programları ile çözümler yapılmıştır.



Şekil 5.3 Hukuk Fakültesindeki GPS Noktaları

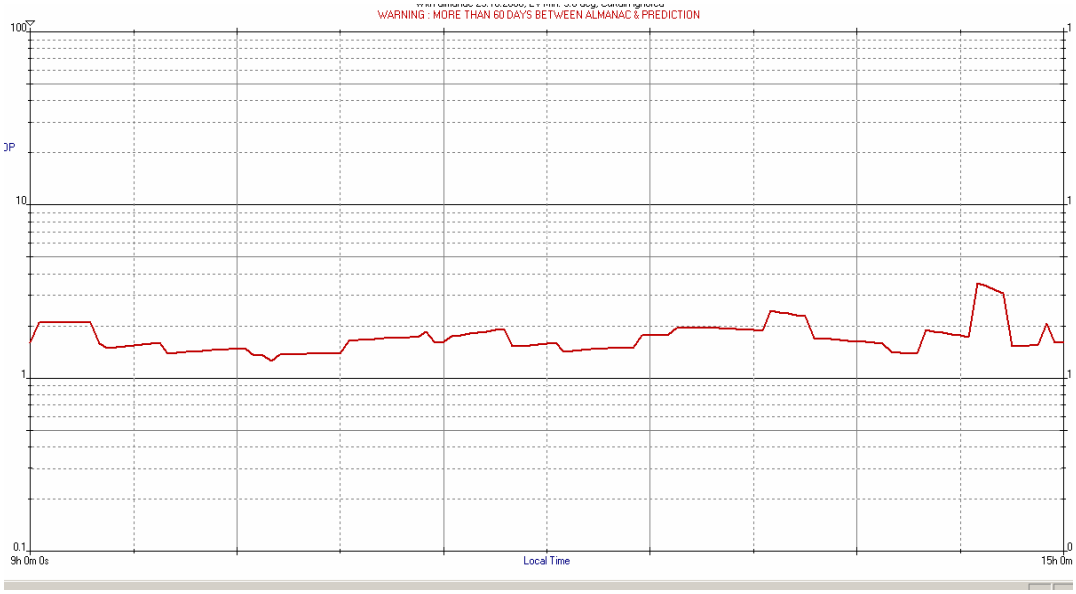
GPS ölçmelerine başlamadan önce uydu sayısının uygun olduğu saatlerin belirlenmesi ve ölçülerin yörünge ve almanak bilgilerinden elde edilen zaman aralığında yapılması gerekir. Bu amaçla referans ve obje noktalarındaki GPS ölçmelerinde uydu almanakları kullanılarak en uygun ölçme zamanı belirlenmiştir. Ölçü planlaması için Ashtech GNSS Solution program paketinin içindeki Mission Planning yardımcı programı kullanılmıştır.

1.periyot ölçüleri saat 17-18 Temmuz 2006 9.05 – 13.45 saatleri arasında yapılmıştır. Şekil 5.4' de bu saatler arasındaki PDOP değerleri görünmektedir.



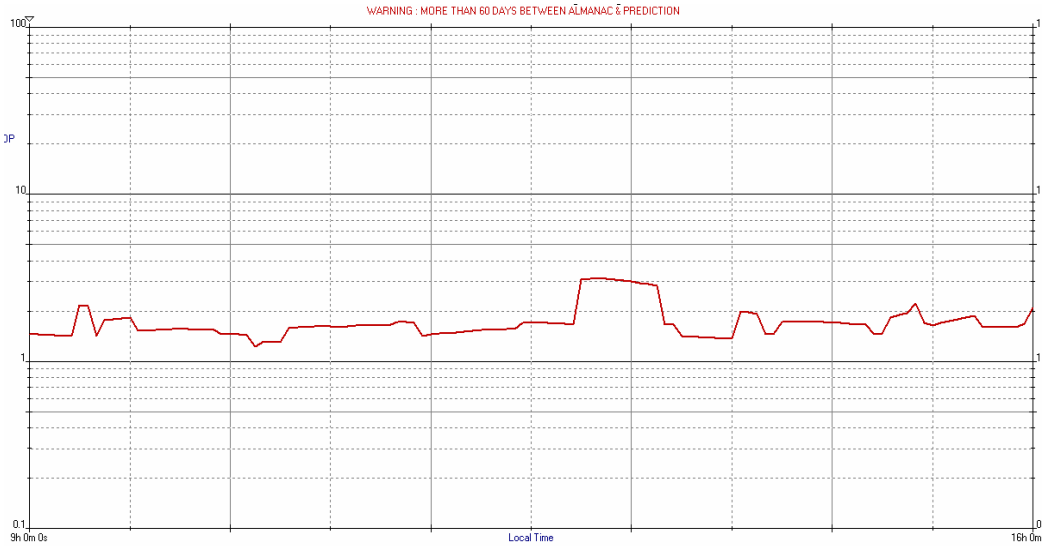
Şekil 5.4 1.Periyot PDOP Değerlerinin Görüntüsü

2. periyot ölçüleri 27 Ekim 2006 tarihinde 09.05 - 14.30 saatleri arasında yapılmıştır. Şekil 5.5' de PDOP değerleri gösterilmiştir.



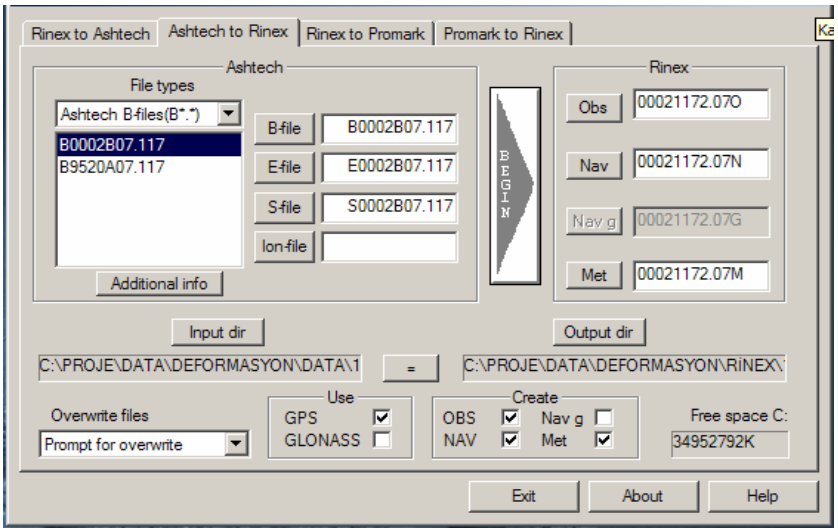
Şekil 5.5 2.Periyot PDOP Değerlerinin Görüntüsü

3.periyot ölçüleri 27 Nisan 2007 10.30 – 16.00 saatleri arasında yapılmıştır. Şekil 5.6 ‘ de PDOP değerleri gösterilmektedir.



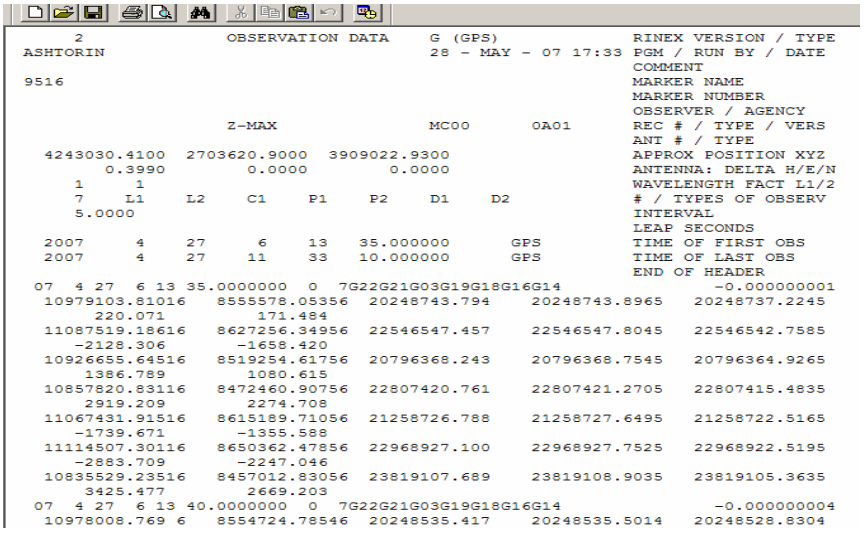
Şekil 5.6 3.Periyot PDOP Değerlerinin Görüntüsü

Ölçülen ham datalar rinex formatına dönüştürülmüştür. Çünkü rinex formatı değerlendirmelerin yapılabilmesi için dünya genelinde standart format olarak tanımlanmıştır. Ham datalar rinex formatına dönüştürülmesinde Ashtech GNSS Solution Rinex Converter yardımcı programından yararlanılmıştır(Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Rinex Dönüştürücü Görüntüsü

Ashtech GNSS Solution Rinex Converter programında GLONASS verilerine ait butonlar kapatılır. Böylece GLONASS datalarının rinex dosyasında görünmesi engellenir. Bu durumda elde edilen datalar GPS datası özelliğindedir. Rinex datasında uydu sinyallerinden L1 ve L2 frekanslarındaki konum ve yörünge bilgilerinin yansıra nokta numarası, anten yüksekliği ,noktanın yaklaşık kartezyen koordinatları, kayıt aralığı, ölçümün ve kapanış saati ile ilgili veriler de bulunmaktadır. Ham datadan rinex formatına yapılan dönüştürmede (observation, navigation, meteorology) dosyalarını oluşturmaktadır. Observation dosyası şekil 5.8'de görülmektedir.



```
     2                OBSERVATION DATA    G (GPS)             RINEX VERSION / TYPE
ASHTORIN                                  28 - MAY - 07 17:33 PGM / RUN BY / DATE
                                                              COMMENT
9516                                                          MARKER NAME
                                                              MARKER NUMBER
                                                              OBSERVER / AGENCY
                   Z-MAX                  MC00       0A01    REC # / TYPE / VERS
                                                              ANT # / TYPE
  4243030.4100  2703620.9000  3909022.9300                    APPROX POSITION XYZ
        0.3990        0.0000        0.0000                    ANTENNA: DELTA H/E/N
     1     1                                                  WAVELENGTH FACT L1/2
     7    L1    L2    C1    P1    P2    D1    D2             # / TYPES OF OBSERV
     5.0000                                                   INTERVAL
                                                              LEAP SECONDS
  2007     4    27     6    13    35.000000      GPS         TIME OF FIRST OBS
  2007     4    27    11    33    10.000000      GPS         TIME OF LAST OBS
                                                              END OF HEADER
 07  4 27  6 13 35.0000000  0  7G22G21G03G19G18G16G14               -0.000000001
  10979103.81016   8555578.05356  20248743.794    20248743.8965   20248737.2245
       220.071          171.484
  11087519.18616   8627256.34956  22546547.457    22546547.8045   22546542.7585
     -2128.306        -1658.420
  10926655.64516   8519254.61756  20796368.243    20796368.7545   20796364.9265
      1386.789         1080.615
  10857820.83116   8472460.90756  22807420.761    22807421.2705   22807415.4835
      2919.209         2274.708
  11067431.91516   8615189.71056  21258726.788    21258727.6495   21258722.5165
     -1739.671        -1355.588
  11114507.30116   8650362.47856  22968927.100    22968927.7525   22968922.5195
     -2883.709        -2247.046
  10835529.23516   8457012.83056  23819107.689    23819108.9035   23819105.3635
      3425.477         2669.203
 07  4 27  6 13 40.0000000  0  7G22G21G03G19G18G16G14               -0.000000004
  10978008.769 6   8554724.78546  20248535.417    20248535.5014   20248528.8304
```

Şekil 5.8 Rinex Dosya Görüntüsü

5.1 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

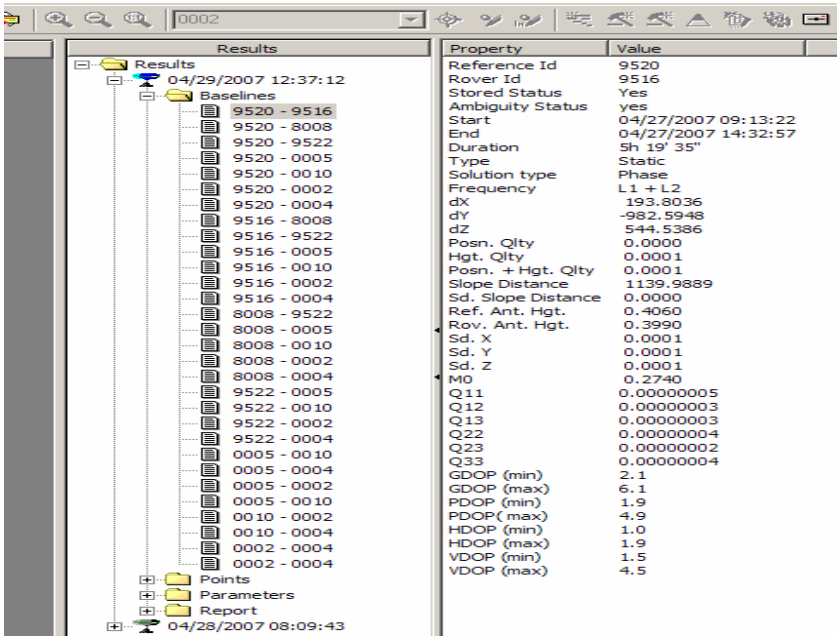
GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde Leica Geo Office 1.0 ve GNSS Solution yazılımları kullanılmıştır.

5.1.1 Leica Geo Office Yazılımı

Yazılımın arazi Planlama modülü mevcuttur. Ayrıca bazların otomatik olarak düzenlenmesi mümkündür. Manuel baz çözümleri mevcuttur. Datalar yüklendikten sonra düzenlenmeler yapılabilmektedir. Programda yeni proje açıldıktan sonra, projenin Rinex dataları projeye aktarılır.Aktarılan datalar GPS – Prosses ekranında görünür.

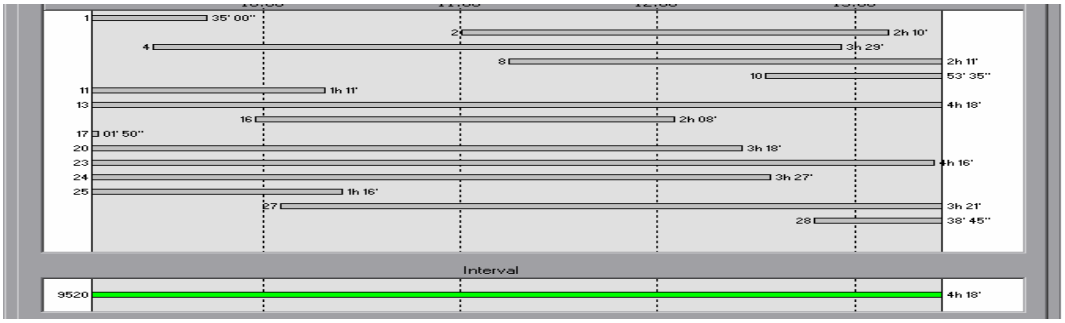
Rinex dataları aktarıldıktan sonra programda serbest, tek sabit noktaya dayalı veya İki tane sabit noktadan baz çözümleri incelenmektedir. LGO yazılımında proses yapılmadan önce prosses modu otomatik sistemine alınması gerekmektedir. Yeryüzünden ve noktaya yakın objelerden yansımayı önlemek için ufuktan 15^{o} açı ile gökyüzündeki uydulardan sinyalleri kullanılmıştır. Baz veri işleme sistemi oturum şeklinde de kullanılabildiği gibi baz seçiminde olanak sağlamaktadır. Uydu sayısına göre PDOP değerini göstermektedir. Prosesten sonra elde edilen değerler dengelenmiştir. Kartezyen koordinat farkları programdan elde edilmektedir.

Ayrıca çözümlerde noktalara ait ölçü hassasiyetleri ile birlikte kovaryans matris değerleri verilmektedir(Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Ölçü Hassasiyetleri Kovaryans Matris Değerleri

Her ölçü periyodunda kullanılan uydular satellite windows ekranında görünmektedir. Bu sayede her periyottaki kullanılan uydu sayıları görünür (Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12).



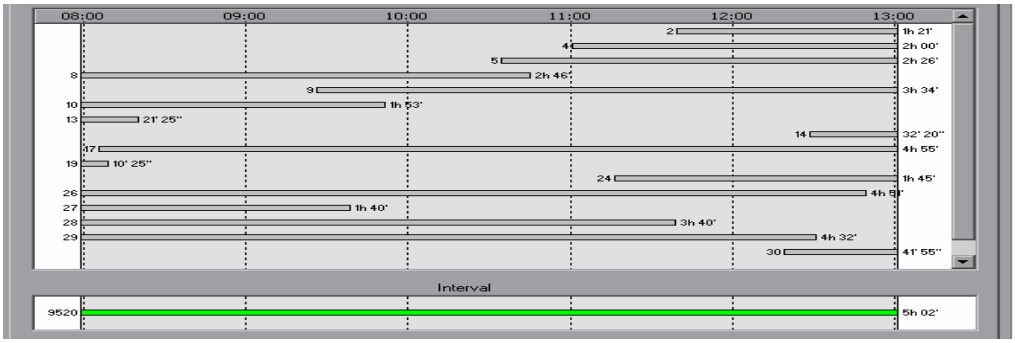
Şekil 5.10 1. Periyot Ölçümünde Kullanılan Uydular

Ölçü zamanları almanak değerlerine bakılarak uydu sayısının en fazla olduğu saatler arasında yapılmaya dikkat edilmiştir. LGO yazılımı ile elde edilen kartezyen koordinat farkları periyot bilgileriyle birlikte tablo 5.3' de, tablo 5.4'de ve tablo 5.5'de gösterilmektedir.

Tablo 5.3 1. Periyot Ölçümünde Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (m)

Sabit	Gezici	DX	DY	DZ
8008	9516	-423.0769	575.2502	-4.1688
8008	9522	120.1727	985.1869	-893.7387
8008	9520	-616.8717	1557.8423	-548.7041
9520	9522	737.0446	-572.6552	-345.0344
4	8008	14.4200	-858.1153	669.7768
4	9520	-602.4567	699.7254	121.0706
4	9522	134.5890	127.0700	-223.9631
4	9516	-408.6580	-282.8647	665.6087
2	8008	32.9805	-863.8377	653.9247
2	9520	-583.8961	694.0030	105.2185
2	9522	153.1496	121.3476	-239.8152
2	9516	-390.0974	-288.5872	649.7567
10	8008	18.3886	-873.4367	676.0029
10	9522	138.5657	111.7532	-217.7361
10	9516	-404.6892	-298.1897	671.8342
10	9520	-598.4821	684.4025	127.3008
5	9520	-619.5183	689.6529	146.2734
5	9516	-425.7182	-292.9491	690.8252
5	9522	117.5216	116.9923	-198.7574
5	8008	-2.6479	-868.1978	694.9862
4	5	17.0676	10.0767	-25.2005
2	5	35.6296	4.3601	-41.0554
2	10	14.5887	9.6017	-22.0704
2	4	18.5620	-5.7166	-15.8549
4	10	-3.9734	15.3183	-6.2155
5	10	-21.0410	5.2416	18.9850

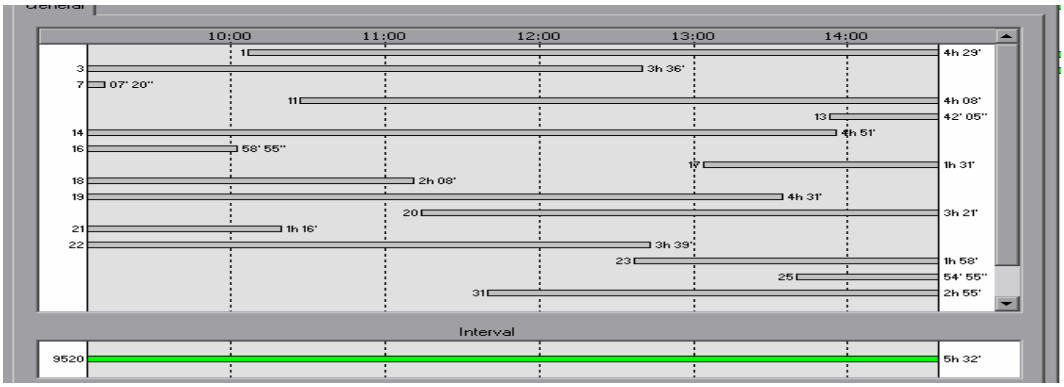
Statik ve Kinematik veriyi beraber çözebilir. Sonuçları grafik olarak gösterebilmektedir. Lup kapanmalarına ait bilgileri gösterebilmektedir. Anten faz merkezlerini ait bilgilerin elden girilebileceği, anten cinslerinin tanımlanabileceği kütüphanesi mevcuttur.



Şekil 5.11 2. Periyot Ölçümünde Kullanılan Uydular

Tablo 5.4 2. Periyot Ölçümünde Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (m)

Sabit	Gezici	DX	DY	DZ
8008	9520	-616.8819	1557.8593	-548.7104
8008	9516	-423.0764	575.2602	-4.1707
8008	9522	120.1565	985.1908	-893.7436
9516	9520	-193.8056	982.5991	-544.5397
9516	9522	543.2328	409.9305	-889.5731
9520	9522	737.0383	-572.6688	-345.0336
4	8008	14.4466	-858.1093	669.8062
4	9516	-408.6302	-282.847	665.6359
4	9520	-602.4341	699.7522	121.098
4	9522	134.6024	127.0812	-223.9419
2	8008	33.0086	-863.8273	653.9562
2	9516	-390.0683	-288.565	649.7859
2	9520	-583.8722	694.0343	105.2479
2	9522	153.1644	121.3633	-239.792
5	9522	117.5327	117.0021	-198.7419
5	8008	-2.6271	-868.1901	694.9996
5	9516	-425.7006	-292.9311	690.8284
5	9520	-619.5071	689.6682	146.2895
5	10	-21.0393	5.2415	18.9776
10	8008	18.4122	-873.4319	676.022
10	9516	-404.6612	-298.173	671.8505
10	9520	-598.4676	684.4265	127.3114
10	9522	138.5719	111.7606	-217.7196
2	5	35.6129	4.3525	-41.0631
2	10	14.5744	9.5892	-22.0811
5	10	-21.0362	5.2389	18.9835



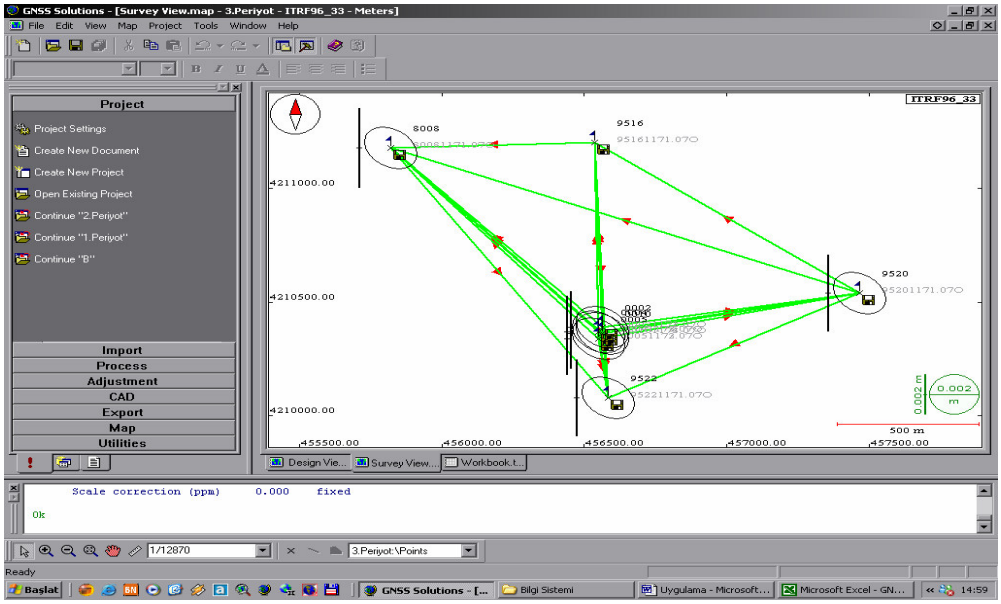
Şekil 5.12 3. Periyot Ölçümünde Kullanılan Uydular

Tablo 5.5 3. Periyot Ölçümünde Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (m)

Sabit	Gezici	DX	DY	DZ
9520	9522	737.0439	-572.6662	-345.0352
9516	9520	-193.8045	982.5943	-544.5393
9516	9522	543.2396	409.9282	-889.5743
8008	9520	-616.8824	1557.8521	-548.7122
8008	9516	-423.0780	575.2578	-4.1731
8008	9522	120.1618	985.1861	-893.7473
10	9522	138.5771	111.7666	-217.7281
10	9520	-598.4666	684.4330	127.3060
10	8008	18.4138	-873.4193	676.0201
10	9516	-404.6665	-298.1635	671.8456
5	9522	117.5350	116.9992	-198.7429
5	9520	-619.5119	689.6631	146.2904
5	9516	-425.7108	-292.9322	690.8296
5	8008	-2.6305	-868.1877	695.0041
5	10	-21.0406	5.2338	18.9857
5	10	-21.0366	5.2362	18.9842
4	9520	-602.4340	699.7493	121.0858
4	9522	134.6059	127.0784	-223.9526
4	8008	14.4481	-858.1033	669.7963
4	9516	-408.6308	-282.8472	665.6235
4	5	17.0578	10.0710	-25.2175
4	10	-3.9796	15.3067	-6.2341
2	9520	-583.8742	694.0298	105.2419
2	9522	153.1660	121.3590	-239.7965
2	8008	33.0084	-863.8227	653.9527
2	9516	-390.0707	-288.5666	649.7798

5.1.2 Thales GNSS Solution Yazılımı

Thales grubunun yeni kuşak ölçü sonrası değerlendirme yazılımıdır. Yazılım veri oluşturma ve veri derlemede güçlü veri tabanı özelliklerine sahiptir. Veriler tablo, harita, grafik şeklinde oluşturulup projeye eklenebilmektedir. RTK(Real-time kinematik) ve post-proses modları ile desteklenmektedir (Şekil 5.13). Aynı projede RTK ve Statik veri işlem yeteneğine sahiptir. GIS (Geographical Information System) verileri desteklenmektedir. ESRI formatındaki dosyalar yeni bir projeye import edilebilmekte, yeni ”Land Survey Projesi” ile kombine edilerek GIS verisi ile bağlantı sağlanabilmektedir. Ayrıca değişik formatta raster görüntüleri import edilebilmektedir.



Şekil 5.13 GNSS Studıo Veri İşleme Görüntüsü

GNSS Solution; görev planlama, veri transferi, baz işleme, ağ dengelemesi, kalite analizi, koordinat transformasyonu, rapor üretimi, export, İnternetten ham veri ve hassas efemeris transferi, lup kapanma kontrolü, GIS uyumlu veri tabanı yönetimi, koordinat sistemi edit ve yönetimi, zaman dönüşümü yapılabilmektedir. Wincomm modülü sayesinde GPS alıcısı – PC haberleşmesini sağlamakta ve oturum programlama yapılabilmektedir.

GNSS Solution programı ile elde edilen kartezyen koordinat farkları her periyot için tablo 5.6, tablo 5.7, tablo 5.8 de gösterilmektedir.

Tablo 5.6 1. Periyotta Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (m)

Sabit	Gezici	DX	DY	DZ
9522	9520	-737.0410	572.6580	345.0330
9522	9520	-737.0410	572.6580	345.0330
9522	9516	-543.2420	-409.9370	889.5760
9522	8008	-120.1690	-985.1870	893.7400
9520	9516	193.8000	-982.5950	544.5430
9516	9522	543.2420	409.9370	-889.5760
9516	9520	-193.8000	982.5950	-544.5430
8008	9522	120.1690	985.1870	-893.7400
8008	9520	-616.8720	1557.8450	-548.7070
8008	9520	-616.8720	1557.8450	-548.7070
8008	9516	-423.0720	575.2500	-4.1640
8008	9516	-423.0720	575.2500	-4.1640
10	9522	138.5640	111.7530	-217.7380
10	9520	-598.4770	684.4110	127.2950
10	9516	-404.6770	-298.1840	671.8380
10	8008	18.3950	-873.4340	676.0020
10	2	-14.5900	-9.6000	22.0710
5	9522	117.5240	116.9940	-198.7540
5	9520	-619.5170	689.6520	146.2790
5	9516	-425.7170	-292.9430	690.8220
5	8008	-2.6450	-868.1930	694.9860
5	10	-21.0400	5.2410	18.9850
5	4	-17.0690	-10.0790	25.2040
5	2	-35.6300	-4.3590	41.0560
4	9522	134.5930	127.0730	-223.9580
4	9520	-602.4480	699.7310	121.0750
4	9516	-408.6480	-282.8640	665.6180
4	8008	14.4240	-858.1140	669.7820
4	10	-3.9710	15.3200	-6.2200
4	2	-18.5610	5.7200	15.8520
4	2	-18.5610	5.7200	15.8520
2	9522	153.1540	121.3530	-239.8100
2	9520	-583.8870	694.0110	105.2230
2	9516	-390.0870	-288.5840	649.7660
2	8008	32.9850	-863.8340	653.9300
2	10	14.5900	9.6000	-22.0710

GNSS Solutıon ölçmelere başladığımız andan itibaren, yerleştirdiğimiz parametrelerle noktanın yerini doğru olarak tanımlama olanağını sağlar. Post-prosesin tanımlanması ile GNSS kaba hata algılama, ağ dengelemesi ve kalite ölçütlerini gözden geçirmenize izin verir. Otomatik baz işlemi tanımlanınca program ham veriyi kullanıcı ihtiyaçlarına uygun formatta açık bir sonuç rapora dönüştürür.

Tablo 5.7 2. Periyotta Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (m)

Sabit	Gezici	DX	DY	DZ
9520	9522	737.0360	-572.6680	-345.0330
9520	8008	616.8810	-1557.8570	548.7090
9520	9516	193.8050	-982.5980	544.5390
9516	9522	543.2310	409.9300	-889.5720
8008	9522	120.1560	985.1890	-893.7430
8008	9516	-423.0750	575.2590	-4.1700
10	9516	-404.6650	-298.1740	671.8450
10	9520	-598.4700	684.4240	127.3060
10	8008	18.4070	-873.4330	676.0150
10	9522	138.5660	111.7570	-217.7270
10	4	3.9780	-15.3080	6.2290
10	2	-14.5800	-9.5930	22.0770
10	5	21.0420	-5.2350	-18.9790
10	5	21.0420	-5.2390	-18.9760
5	9520	-619.5100	689.6640	146.2840
5	9516	-425.7050	-292.9340	690.8220
5	9522	117.5260	116.9970	-198.7490
5	8008	-2.6320	-868.1920	694.9930
4	2	-18.5580	5.7140	15.8480
4	9520	-602.4420	699.7430	121.0840
4	9516	-408.6370	-282.8540	665.6240
4	8008	14.4390	-858.1150	669.7920
4	2	-18.5620	5.7170	15.8490
4	9522	134.5940	127.0740	-223.9520
4	5	17.0630	10.0730	-25.2090
2	9522	153.1560	121.3560	-239.8010
2	9520	-583.8800	694.0250	105.2330
2	9516	-390.0750	-288.5720	649.7740
2	8008	33.0020	-863.8330	653.9430
2	5	35.6210	4.3580	-41.0570

Yazılım GLONASS ölçülerini işleyebilir. Yazılım bilinen pek çok değişik firmalara ait alıcıların ölçülerini doğrudan işleyebilir, GNSS Studio yazılım paketinde kullanıcılara sunulan bileşenler: Dosya (*File*), Düzenleme (*Edit*), Bakış (*View*), Proje (*Project*), Map(Harita),, Araçlar (*Tools*), Seçenekler (*Options*), Pencere (*Window*), Yardım (*Help*)'dir.

Tablo 5.8 3. Periyotta elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları (m)

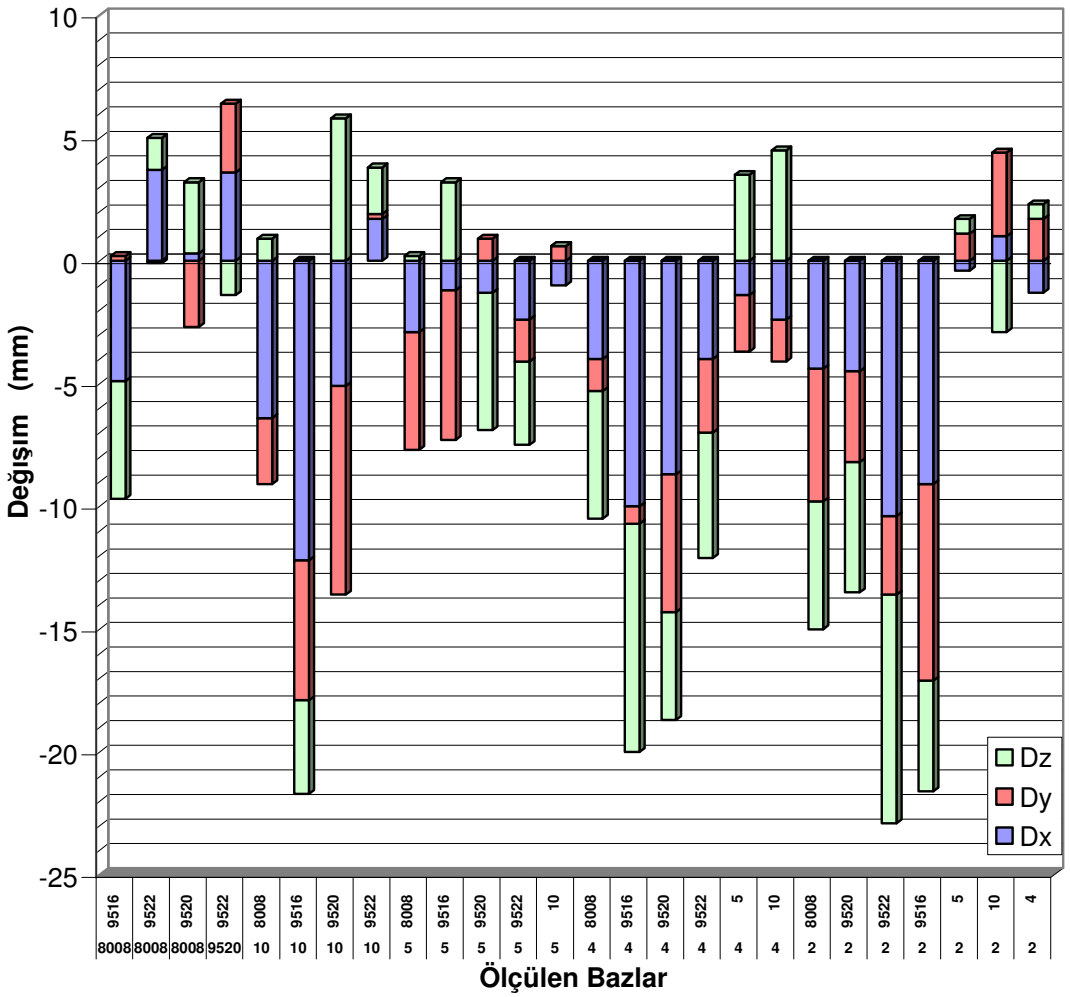
Sabit	Gezici	DX	DY	DZ
8008	9516	-423.0720	575.2500	-4.1640
8008	9522	120.1690	985.1870	-893.7400
8008	9520	-616.8720	1557.8450	-548.7070
9522	9520	-737.0410	572.6580	345.0330
10	8008	18.3950	-873.4340	676.0020
10	9516	-404.6770	-298.1840	671.8380
10	9520	-598.4770	684.4110	127.2950
10	9522	138.5640	111.7530	-217.7380
5	8008	-2.6450	-868.1930	694.9860
5	9516	-425.7170	-292.9430	690.8220
5	9520	-619.5170	689.6520	146.2790
5	9522	117.5240	116.9940	-198.7540
5	10	-21.0400	5.2410	18.9850
4	8008	14.4240	-858.1140	669.7820
4	9516	-408.6480	-282.8640	665.6180
4	9520	-602.4480	699.7310	121.0750
4	9522	134.5930	127.0730	-223.9580
5	4	-17.0690	-10.0790	25.2040
4	10	-3.9710	15.3200	-6.2200
2	9522	153.1540	121.3530	-239.8100
2	8008	32.9850	-863.8340	653.9300
2	9516	-390.0870	-288.5840	649.7660
2	9520	-583.8870	694.0110	105.2230
5	2	-35.6300	-4.3590	41.0560
4	2	-18.5610	5.7200	15.8520
2	10	14.5900	9.6000	-22.0710

Gözlemlerin tüm data setini doğru dengelemek için dataların tüm bölümlerine bağlanabilmelidir. Farklı günlerdeki ölçülerin bağlanabilmesi için ortak gözlem olmalıdır. Birim ağırlığın varyansı ve birim ağırlığın standart hatası, tüm ağdaki gözlemlerin güven aralığı ile karşılaştırıldığında gözlemlerdeki değişikliklerin (artık

hata) kapsamını gösterir. Gözlemlerdeki değişiklikler az olmalı ve güven aralığından büyük olmamalıdır. Birim ağırlığın standart sapması ve birim ağırlığın varyansı dengelemenin kalitesini gösterir. Eğer birim ağırlığın standart hatası 1 den büyük veya küçükse, bu hata kestirimlerinin gerçekçi olmadığını gösterir. Ashtech Solutions bu problemi otomatik olarak giderir.

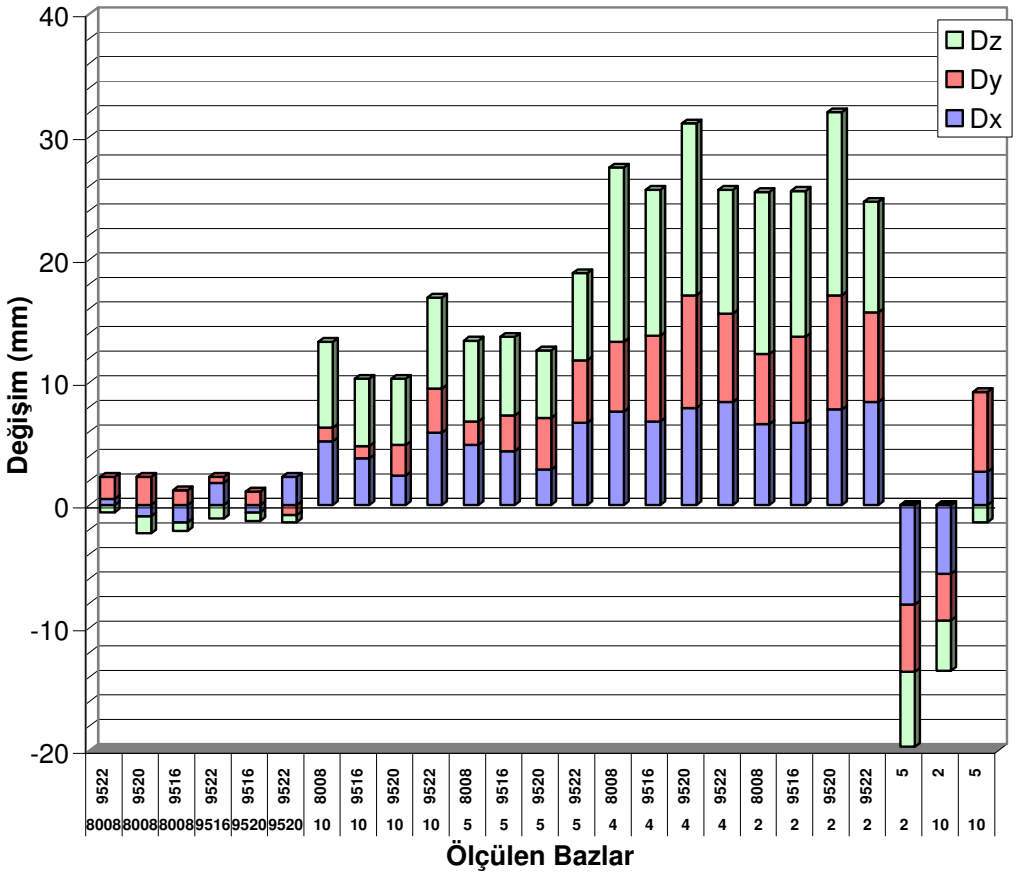
Leica Geo Office ve GNSS Solution yazılımları ile ayrı ayrı elde edilen kartezyen koordinat farkları arasındaki fark tablo 5.9, tablo 5.10, tablo 5.11 de her periyot için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Tablo 5.9 1. periyotta LGO ve GNSS ile Ayrı Ayrı Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları Arasındaki Fark(mm)



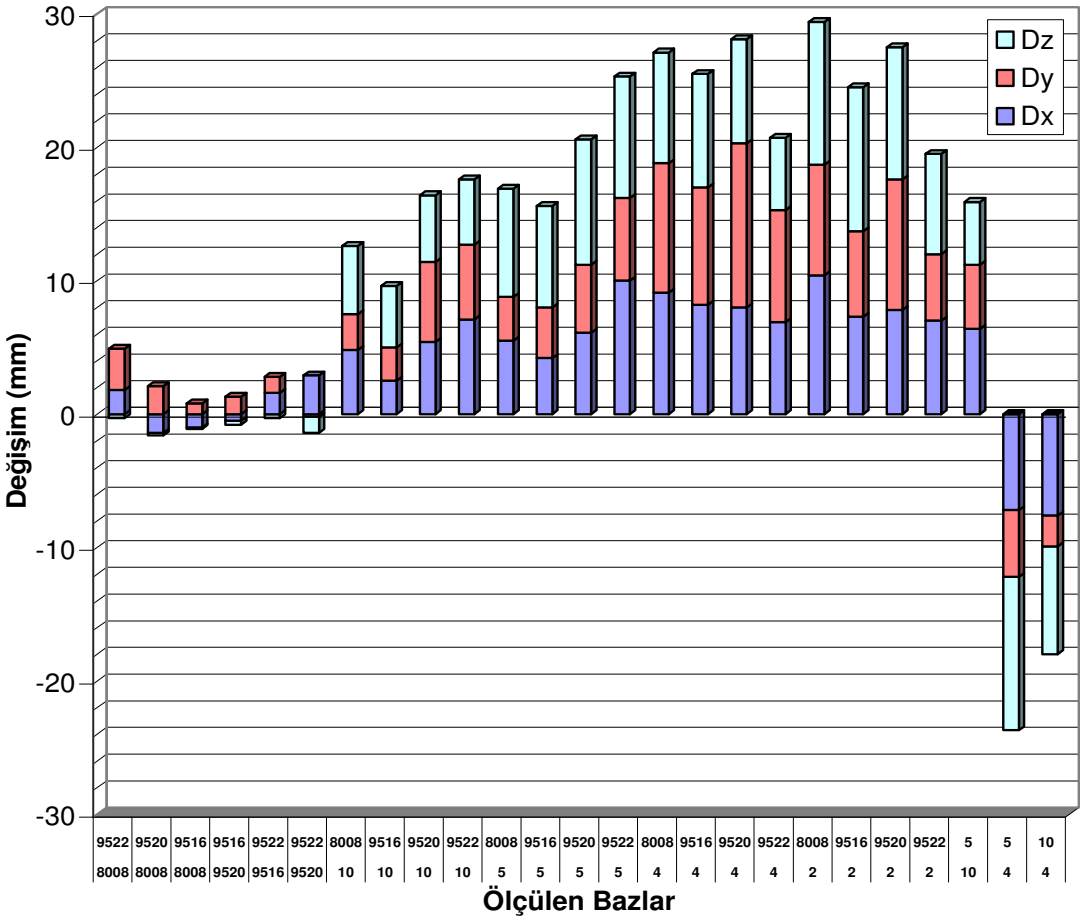
Chi-kare testi, öncül hataların uygunluk testidir. Ağın matematiksel kapanmasını en hızlı yoldan kontrolünü sağlar. Chi-kare testi bir istatistik test olup, onunla birim ağırlığın varyansı için hesaplanan değer değerlendirilir. Test, birim ağırlığın varyansı için hesaplanan değerin istatistik olarak 1'e eşit olup olmadığı kontrol için yapılır. 1 işareti, öncül ve soncul hataların arasında bir denge olduğu anlamındadır. Ashtech Solution için çok büyük ve çok küçük hata otomatik olarak düzeltilir.

Tablo 5.10 2. periyotta LGO ve GNSS ile Ayrı Ayrı Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları Arasındaki Fark(mm)



Tau testi, eğer gözlem kaba hata içeriyorsa gözlemdeki artık hatayı otomatik olarak tanımak için yapılır. Tau testi, artık hatanın beklenen sınırlar içinde olup olmadığını belirlemek için gözlem normalize hatasını kullanılır. Normalize artık hata beklenenden daha büyükse, Tau testi geçmez. Testten geçemeyen gözlemlerdeki hatalar incelenmelidir. GNSS Solutions, Tau testini otomatik olarak yapar. Gözlem testten geçmezse, burada sadece gözlemin atılıp - atılmayacağı konusunun araştırılması için bir uyarı verilmiştir.

Tablo 5.11 3. periyotta LGO ve GNSS ile Ayrı Ayrı Elde Edilen Kartezyen Koordinat Farkları Arasındaki Fark(mm)

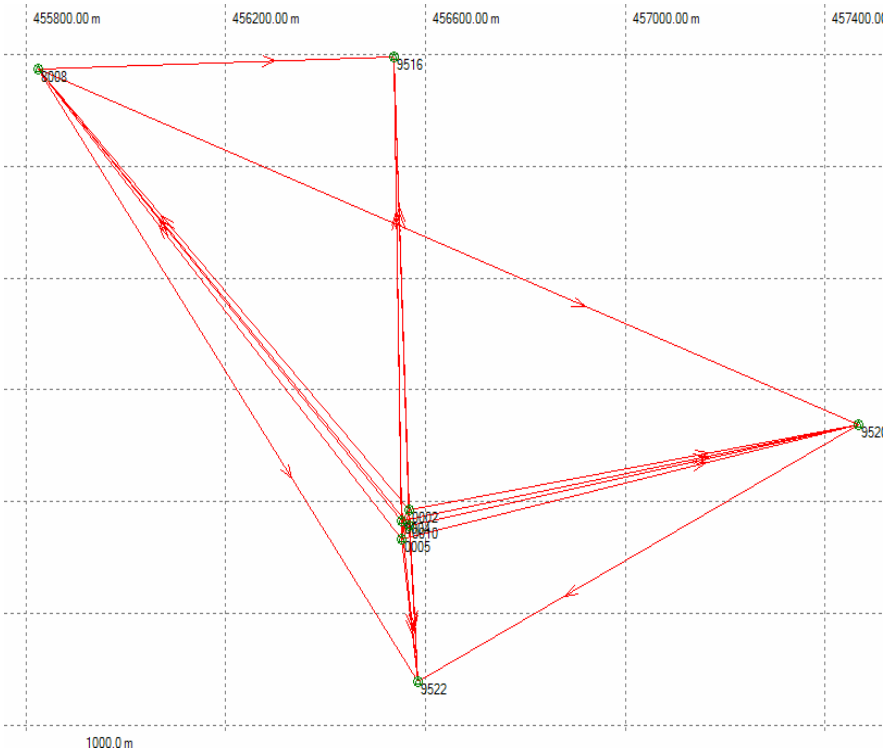


5.2 S- Dönüşümü ile Hareketli Noktaların Analizi

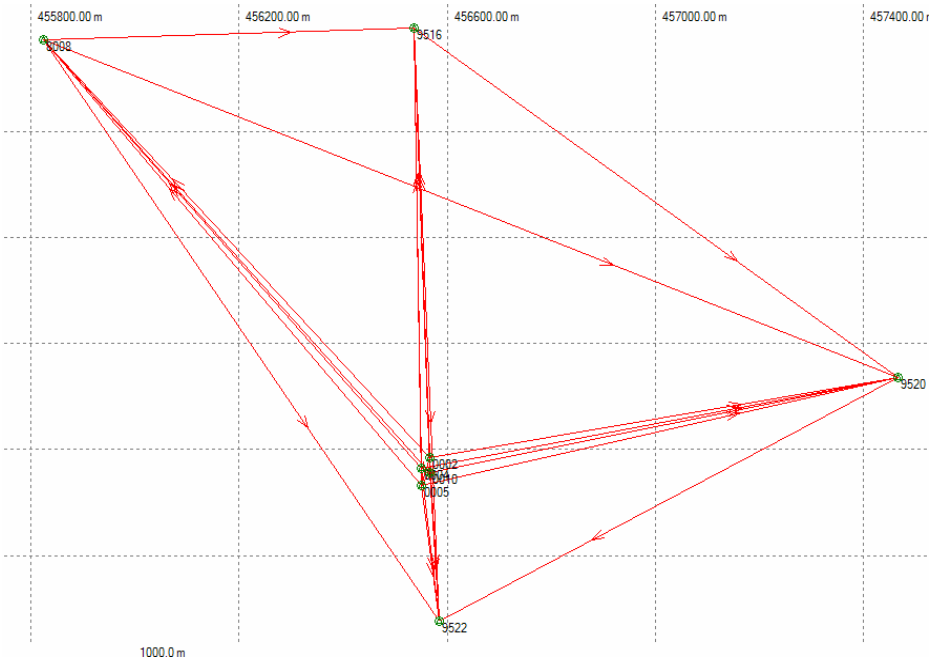
Leica Geo Office ve GNSS Solution Programı kartezyen koordinat farkları elde edilmiştir. Elde edilen baz vektörleri yardımıyla uyuşumsuz ölçüler ayıklanarak, ölçülerin deformasyon analizine hazır hale getirilmiştir.

ΔX, ΔY, ΔZ yer merkezli kartezyen koordinat farkları ve bunların varyans - kovaryans matrisleri kullanılarak S dönüşümü yardımıyla deformasyon analizi yapılmıştır. S dönüşümü yardımıyla yapılan deformasyon analizde her bir periyot için tüm iz minumum ilkesiyle dengeleme yapılmıştır.

Dengelemeler sonucunda 3. periyot ölçülerinin varyanslarının homojen olmadığı sonucuna varılmıştır. 1. periyot ve 2. periyot ölçülerinin varyanslarının homojen olduğu görülmüştür. 1. periyodun $M_{o1} = \pm 6.4350$, 2. periyodu $M_{o2} = \pm 6.4879$ dur. $F_{\text{test büyüklüğü}} = 1.017$, $F_{\text{tablo}} = 1.552$. 1.periyotta ve 2. periyotta kullanılan ölçüler şekil 5.14, şekil 5.15 gösterilmiştir.



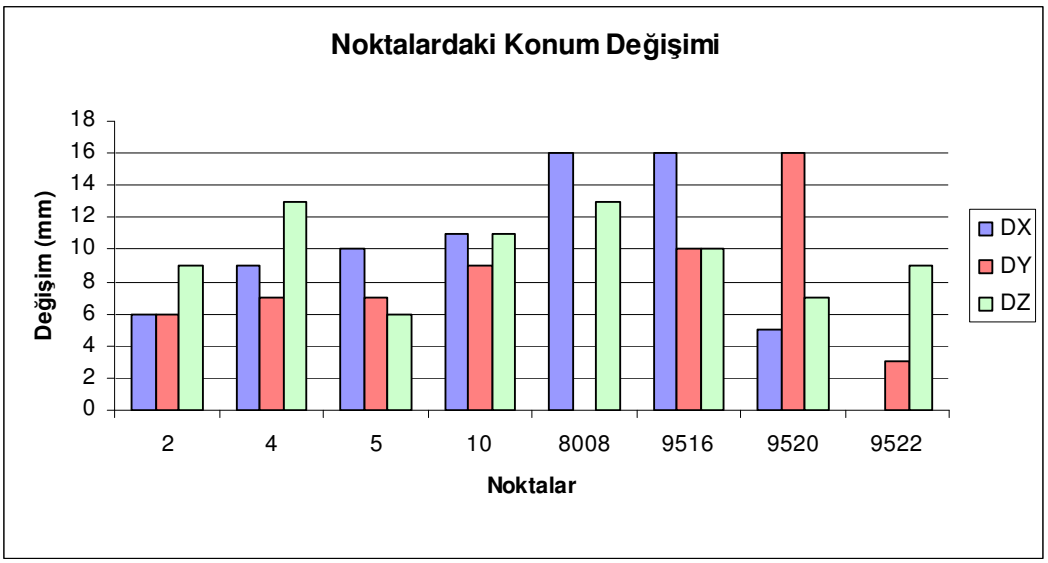
Şekil 5.14 Deformasyon Analizinde Kullanılan 1.Periyot Ölçüleri



Şekil 5.15 Deformasyon Analizinde Kullanılan 2.Periyot Ölçüleri

1.periyot ve 2. periyot ölçülerinin analizinde 9516,9520,9522,8008,5 numaralı noktaların deformasyona uğradığı görülmüştür. 2,4 ve 10 numaralı noktalarda ise deformasyon olmadığı görülmüştür. Maksimum deformasyonun 9516 ve 9520 nolu noktalarda 16 mm olarak belirlenmiştir. Bu değişimler şekil 5.16 gösterilmektedir

Tablo 5.12 Noktalardaki Konum Değişimi



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Deformasyon ölçmeleri ve analizi konusu jeodezik uygulamalarda önemli bir yer tutmaktadır.Günümüze kadar yapılan çalışmalarda yatay yöndeki deformasyonların belirlenmesi için doğrultu ve uzunluk ölçülerinden, düşey yöndeki hareketlerin belirlenmesinde hassas nivelman ve bu mümkün olmadığı takdir de trigonometrik nivelman kullanılmıştır. Deformasyon analizinde ise yatay ve düşey değişim için ayrı ayrı yapılmıştır.

Teknolojide gelişmelere paralel olarak GPS alıcıları ile deformasyon ölçmeleri kısa sürede ve yüksek doğrulukta yapılabilmektedir. Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsündeki Hukuk Fakültesi binasındaki deformasyon ölçmelerinde Ashtech Thales Z-Max ve Ashtech Z- Surveyor tipi GPS alıcıları kullanılmış datalar 5 saniyede bir toplanmıştır. Toplanan Datalar Leica Geo Office ve GNSS solution programlarında ayrı ayrı değerlendirilmiş ve ölçülen bazlara ilişkin kartezyen koordinat farkları elde edilmiştir. GNSS Solution Programında kartezyen koordinat farklarının varyans, kovaryans matrisi elde edilemediği için deformasyon analizi LGO yazılımında elde edilen kartezyen koordinat farkları kullanılmıştır.

Yapılan test sonucunda 3.periyot ölçülerinin 1. ve 2.periyot ölçüleri ile uyuşumlu olmadığı için deformasyon analizi sadece 1. ve 2. periyot ölçüleri arasında yapılabilmiştir. S – transformasyonuyla yapılan analiz sonucunda 9516,9520,9522,8008 ve 5 numaralı noktaların deformasyona uğradığı 2,4,10 noktalarda deformasyon olmadığı görülmüştür.

GPS tekniğiyle deformasyon ölçmeleri yüksek doğrulukta yapılabilmektedir. Ölçüler hava şartlarından bağımsızdır. Ancak ölçü planlamasının iyi yapılması ve en uygun ölçü zamanının belirlenmesi gerekmektedir.

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde gerekse binadaki hareketlerin yorumlanabilmesi için, iyonosfer değişimlerinin, rüzgar şiddeti, basınç, nemlilik, sıcaklık, güneş ışınları etkileri gibi parametrelerin sürekli izlenmesi gerekmektedir. Mühendislik yapılarındaki hareketlerin izlenmesinde GPS alıcılarının yanında ivme ölçer, eğim ölçer, lazer ışınları ile ölçüm yapabilen total station gibi ölçü

sistemlerinin ek olarak kullanılması uygun olacaktır. Böylece nokta konum doğrulukları daha da artırılabilir.

Mühendislik yapılarındaki deformasyon ölçmelerine imkan verecek tesis ve planlama proje esnasında düşünülmeli ve inşaat yapımı sırasında ölçümlere başlanılmalıdır. Mühendislik yapılarına etki eden tüm kuvvetler göz önüne alınmalıdır.

Mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda jeofiziksel ve jeoteknik ölçümlerin yapılarak dinamik deformasyon analizinin yapılması uygun olacaktır.

7. KAYNAKLAR

Akdoğan N. , (1999), Deformasyon Analizinde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri, HKMO Dergisi, Sayı: 85-86,1999.

Akyılmaz, O. , (2001), Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ,2001.

Bayata, H. , (2002), GPS ile Deformasyon Analizi , GYTE, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.

Celep, Z., Kumbasar, N. , (2004) , Deprem Mühendisliği Kitabı, Ankara.

Chen, R., (1983) , Analysis of deformation Surveys generalized method , Technical Report No.94 , Dept. of Surveying Engineering ,University of New Brunswick, Canada.

Ersoy, U., Özcebe, G. ,(2004) , Betonarme Kitabı . Ankara.

Demirel, H. , (1987), S- Transformasyonu ile Deformasyon Analizi , Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 23-27 Şubat, Ankara.

Caspary, W. F., Schwintzer, P., (1980) , Mathematische Und Statistische Methoden Zur Aufdeckung kleiner reltiver Bewegunen von Punktgrppenin Geodatischen Netzen. , In: R:Conzett, H. Mattas, H. Schmid Ingenieurvermessung ’80. Betrage zum VIII. Int. Kurs für Ingenieurvermessung, Zurich.

Caspary, W. F., (1987) , Concept of Network and Deformation Analysis, Monograph II School of Surveying, The University of New South Wales, Kensington, N.S.W., Australia.

Caspary, W. F.,Haen , W. and Borutta,H., (1990) , Deformation Analysis by Statistical Methods, Tecnometrics, February.

İnal,C., (1989), Dengelemede Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması, S.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi, 4, 1, 7 - 14.

İnal, C. , (2005), Dengelemede Özel Konular, Yüksek Lisans Ders Notları, Konya.

İnal, C. , (2004), Mühendislik Ölçmeleri Ders Notları, Lisans Ders Notları, Konya.

İnal, C., Ceylan, A. ,(2000) , Deformasyon İzlemede Referans Noktalarının Sabitliğinin Analizi Için Bir Yöntem, Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 15, 2, 41 - 48,.

İnal, C., Turgut, B. , (2002) , GPS Ağlarının Dengelenmesi, S.Ü.Müh.Mim.Fak.Derg, 17, 1, 17 - 23.

İnal, C., Ceylan, A. , (2002) , S Transformasyonu Uygulama Alanları, Selçuk Teknik Online, 0, , 0 - 0.

İnal ,C., (1990) , Yerkabuğu Ve Yapılardaki Deformasyonların Oluşumu Ve Yorumu, Harita ve Kadastro Mühendisleri Dergisi, 0, 66, 42 - 48.

Kontny , B. , (1999) , Reference Frame Control For Deformation Measurements of open pit mine " TUROW " , at the 9th fıg International Symposium on Deformation Measurements, 27-30 September 1999 , Olsztyn , Poland.

Lennartz , J. H. , (1999) , Analysis Europe's larges suspension bridge , at the 9th fıg International Symposium on Deformation Measurements, 27-30 September 1999 , Olsztyn , Poland.

Szostak , A., Ghrzanowski, A. Masesiera, M., Muma, M. Whitaker, C. , (1999) , Geotechinical aspectd of Earth Dam Deformation Monitoring , at the 9th fıg International Symposium on Deformation Measurements, 27-30 September 1999 , Olsztyn , Poland.

Öztürk ,H., (2001) , Çevre Jeolojisi Ders Notları, İ.Ü.

Salgın ,Ö., (2006) , LGO GPS Değerlendirme Yazılımı, Yüksek Lisans Semineri , Konya.

Uluışık P., Erkaya H., Hoşbaş R.G., Soycan M. , Akpınar B. , Aykut N.O. , Poyraz F. (2005) Yüksek Binaların Hareketinin GPS İle İzlenmesi, II.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım , İstanbul.

Yıldız ,F., Kahveci, M. (2001) , Global Konumlama Sistemi Kitabı, Ankara.