

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİ FARKLI YÖNTEMLE (NATM-TBM) İLE AÇILAN BİR TÜNELDE
DÜŞEY DEFORMASYON/DEPLASMAN'LARIN BELİRLENMESİ:
M5 METRO ÖRNEĞİ**

MEHMET EREN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HALİL ERKAYA**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ FARKLI YÖNTEMLE (NATM-TBM) İLE AÇILAN BİR TÜNELDE
DÜŞEY DEFORMASYON/DEPLASMAN'LARIN BELİRLENMESİ:
M5 METRO ÖRNEĞİ**

Mehmet EREN tarafından hazırlanan tez çalışması 11.04.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Geomatik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Halil ERKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Halil ERKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. R. Gürsel HOŞBAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Doğan ÇETİN
Yıldız Teknik Üniversitesi MYO

ÖNSÖZ

Bu çalışma hazırlanırken; beni her zaman yönlendiren, her konuda bilgi ve tecrübesini esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Halil ERKAYA'ya, Sn. Yard. Doç. Dr. R. Gürsel HOŞBAŞ'a, uygulamanın matematiksel altyapısı için MATLAB kodunun yazımında emeği geçen Sn. Yard. Doç. Dr. Fatih ALEMDAR'a ölçüm verilerinin edinmesindeki yardımlarını esirgemeyen İBB Anadolu Yakası Raylı Sistemler Md. Yard. Dr. Mücahit NAMLI ve Doğuş Holding A.Ş. personeli Sn. Yük. Müh. Murat ŞEKER'e ve her konuda benim yanımda olan ve manevi olarak destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Nisan, 2014

Mehmet EREN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	1
1.4 Tünelciliğin Tarihi Gelişimi	2
BÖLÜM 2	
TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ	5
2.1 Aç –Kapa Metoduyla Tünel Yapımı	5
2.2 Klasik Metotla Tünel Yapımı	5
2.3 TBM Tünel İnşa Metodu	6
2.4 Batırma Tünel (Immersed tube) Yöntemi	7
BÖLÜM 3	
TÜNEL AÇILMADAN ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
3.1 Jeolojik Çalışmalar.....	9
3.2 Temel Jeodezik Ağlar	10
3.2.1 Düşey Jeodezik Ağ Hiyerarşisi.....	10
3.2.2 Ağ Tasarımı	11

3.2.2.1	Yatay Kontrol Ağının Oluşturulması	11
3.2.2.2	GPS/GNSS Ölçmeleri	12
3.2.2.3	Düşey Kontrol Ağının Oluşturulması	13
3.2.2.4	Düşey Kontrol Ağının Ölçülmesi.....	13
3.3	Hâlihazır Haritaların Hazırlanması	14
BÖLÜM 4		
TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR		15
4.1	Klasik Tünel Kazılarının Yönlendirilmesi.....	16
4.1.1	Klasik Kazılarının Yönlendirilmesi İçin Lazer Cihazlarından Yararlanılması.....	17
4.2	TBM Makinesinin Yönlendirilmesi	18
4.3	Batırma Tünellerin Yönlendirilmesi	19
BÖLÜM 5		
DEFORMASYON ÖLÇMELERİ		21
5.1	Geoteknik Yöntemlerle Deformasyon Ölçümleri.....	21
5.1.1	Ektansometre Ölçmeleri.....	22
5.1.2	Konverjans Ölçümleri	22
5.1.3	İnclinometre	23
5.1.3.1	İnclinometrelerin Çalışma Yöntemi	24
5.2	Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçümleri	26
5.2.1	Yüzey ve Bina Oturma Ölçümleri.....	27
BÖLÜM 6		
ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE-ÇEKMEKÖY METRO TÜNELİ		28
6.1	İhale Bilgileri.....	28
6.1.1	Türkiye'nin Tamamen Sürücüsüz İlk Metro Hattı.....	30
6.2	Jeodezik Altyapı Oluşturma Çalışmaları.....	31
6.2.1	Jeodezik Ağ ve GPS/GNNS Gözlemleri.....	32
6.2.2	Hassas Nivelman Ölçmeleri ve Değerlendirmeleri	32
6.2.3	Nivelman İşleminde Dikkat Edilecek Hususlar.....	33
BÖLÜM 7		
DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....		34
7.1	Dolaylı Ölçüler Dengelemesi	34
7.2	Serbest Ağ Dengelemesi	35
7.2.1	Tüm iz Minimum Çözümü.....	37
7.2.2	Kısmi iz Minimum Çözümü	38
7.2.3	Klasik Dengeleme	39
7.2.4	S – Dönüşümü.....	40
7.3	Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri	40
7.3.1	Nivelman Ağlarında Duyarlık Ölçütleri	41

7.3.1.1	Model Hipotezinin Testi	41
7.3.1.2	Genişletilmiş Modelin Testi.....	42
BÖLÜM 8		
JEODEZİK DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN ANALİZİ		45
8.1	Deformasyon Analizinde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri	45
8.1.1	Analitik Yöntem ile Deformasyon Analizi	45
8.1.2	Bağıl Güven Elipsleri Yöntem ile Deformasyon Analizi.....	46
8.1.2.1	Matematiksel Modelin Kurulması.....	46
8.1.2.2	Referans Noktalarının Belirlenmesi	47
8.1.2.3	Deformasyonların Yerelleştirilmesi.....	48
8.1.2.4	Deformasyonların Grafik Yorumu	49
8.1.3	Ortalama Aykırılıklar Yöntemi ile Deformasyon Analizi	50
8.1.3.1	Matematiksel Modelin Oluşturulması	51
8.1.3.2	Test İstatistiğinin Oluşturulması	51
8.1.3.3	Referans Noktalarının Belirlenmesi	52
BÖLÜM 9		
UYGULAMA		55
9.1	Çalışma Bölgesinin Seçimi	55
9.2	Çalışma Bölgesinde Yapılan Jeodezik (Nivelman) Çalışmaları	57
9.2.1	Ölçülerin Değerlendirilmesi	57
9.2.2	NATM Kazı Bölgesi	57
9.2.2.1	Düşey Deformasyonların Yerelleştirilmesi İşlemi	58
9.2.3	TBM Kazı Bölgesi.....	60
BÖLÜM 10		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		63
KAYNAKLAR.....		63
EK-A		
Deformasyon Analizi İř Akış Diyagramı.....		66
ÖZGEÇMİş.....		67

SİMGE LİSTESİ

A	Katsayılar matrisi
d	Fark vektörü
E	Birim matris
F	Fisher dağılımı
f	Serbestlik derecesi
G	Ag noktalarının ağırlık merkezine indirgenmiş yaklaşık koordinatları ile kurulan matristir
H	Yükseklik
H_0	Sıfır hipotezi
h_D	R kalan 'nın serbestlik derecesi
K_{yy}	Bozucu parametrelerin varyans kovaryans matrisi
m_0	Birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası
n	ölçü sayısı
$\underline{n}$	Sabit terimler matrisi
$\underline{N}$	Normal denklem katsayılar matrisi
R	Aykırılık
R_{kalan}	Kalan aykırılık
r	Fazla ölçü sayısı (redundanz)
S_0^2	Öncül varyans
Q	Dengelenmiş ölçülerin ağırlık katsayıları matrisi
Q_{yy}	Bozucu parametrelerin ters ağırlık matrisi
T	Eşdeğerlik test büyüklüğü
T_D	Hesaplama test büyüklüğü
xg	Koordinat bilinmeyen vektörü
x	Küçültülmüş koordinat bilinmeyen
ug	Bozucu parametre sayısı
u	Bilinmeyen sayısı
v	Düzeltilme
θ	Ortalama aykırılık

KISALTMA LİSTESİ

GPS/GNNS	Küresel Konum Belirleme Sistemi
N.A.T.M	Yeni Avusturya Tünel Metodu
T.B.M	Tünel Açma Makinesi
TTGA	Türkiye Temel Gravite Ağı
TUDKA	Türkiye Düşey Kontrol Ağı
TUSAGA	Türkiye Sabit GPS/GNNS Ağı
TUTGA	Türkiye Temel GPS/GNNS Ağı
YKN	Yer Kontrol Noktası

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Londra Metrosuna Ait Harita.....	3
Şekil 1.2	İstanbul Metro ağı Haritası	3
Şekil 2.1	Klasik (NATM) tünel inşaat yöntemi	6
Şekil 2.2	TBM makinesi	7
Şekil 2.3	Batırma tüp inşaat metodu	8
Şekil 3.1	Zeminde yapılan sondaja ait bir görüntü.....	10
Şekil 3.2	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)	11
Şekil 3.3	Bölgede tesis edilen nirengi ve nivelman noktaları.....	11
Şekil 3.4	Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy–Sancaktepe M. nirengi ağı	12
Şekil 3.5	GPS/GNNS ölçmeleri ve değerlendirilmesi.....	12
Şekil 3.6	Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu nivelman ağı	13
Şekil 3.7	Leica DNA03 sayısal nivo, ahşap sehpa, barkotlu invar mira.....	14
Şekil 4.1	Tünel duvarında değişik yapılarda poligon tesisleri	16
Şekil 4.2	Prizmaların ve İnklinometrelerin yerleşimi (VMT, 2005-d)	16
Şekil 4.3	Roadheader yönlendirme sistemi (SLS-TM) donanımı (VMT, 2005-d).....	17
Şekil 4.4	NATM lazer ile ölçüm şeması	17
Şekil 4.5	BM’ ait bir uygulama görüntüsü	18
Şekil 4.6	TBM yönlendirme sistemi.....	19
Şekil 4.7	Ölçme yardımıyla batırma tüp yerleştirme işlemi	20
Şekil 5.1	Ekstensometre aletleri.....	22
Şekil 5.2	Ring Konverjans ölçüm sistemi ve bileşenleri (VMT, 2005-a)	23
Şekil 5.3	Ring konverjans ölçümlerinin tubgeo yazılımıyla yorumlanması	23
Şekil 5.4	İnklinometre borusunun üstten görünüşü ve şematik görünüşü	25
Şekil 5.5	İnklinometre aleti	25
Şekil 5.6	İnklinometrenin kuruluşu ve ölçümü	26
Şekil 5.7	Tasman büyüklükleri.....	27
Şekil 9.1	Çalışma bölgesinin ortofoto görüntüsü	56
Şekil 9.2	Çalışma bölgesine ait nivelman yolları ve oturma bulonlarını haritası	56
Şekil 9.3	NATM kazı bölgesindeki deformasyonların jeodezik gösterimi	59
Şekil 9.4	Obje noktaları için belirlenen düşey hareket ve büyüklükleri.....	60
Şekil 9.5	TBM kazı bölgesindeki deformasyonların jeodezik gösterimi	61
Şekil 9.6	Obje noktaları için belirlenen düşey hareket ve büyüklükleri.....	62

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 7.1	Ağ türüne göre datum parametre sayısı (datum defekt)	36
Çizelge 9.1	NATM bölgesi düşey hareket büyüklükleri için test büyüklükleri	58
Çizelge 9.2	TBM bölgesi düşey hareket büyüklükleri için test büyüklükleri	60

**İKİ FARKLI YÖNTEMLE (NATM-TBM) İLE AÇILAN BİR TÜNELDE
DÜŞEY DEFORMASYON/DEPLASMAN'LARIN BELİRLENMESİ:
M5 METRO ÖRNEĞİ**

Mehmet EREN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halil ERKAYA

Mühendislik yapıları olarak adlandırılan; barajların, tünellerin, yüksek yapıların inşaa aşamasındaki ölçümlerin zorunluluğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu denli önemli ve pahalı olan yapıların inşasından sonra da yapıların izlenmesi önemlidir. İzleme işlemlerinin yapılabilmesi için uygun görülen aralıklarla ölçümler tekrarlanır.

Yapılan ölçümler **En Küçük Kareler Yöntemine** ile dengelenir. Bu dengeleme işleminde; ağda yapılan ölçülerden meydana gelen hatalar tüm noktalara dağıtılması nedeniyle tüm iz minimum yöntemine göre yapılması uygun olacaktır. Ölçü setine ait uyşumsuz ölçü varsa ve bu nokta ağdan çıkarıldığında ağın yapısını bozmayacaksa ağdan atılır değilse ölçü yenilenir. Bu işlemlerin ardından deformasyon analizinin yapılması ve ölçülen noktalarda anlamlı hareket olup olmadığının belirlenmesi işlemleri Hannover Yaklaşımı ile gerçekleşmiştir.

Bu işlemler sonucu mühendislik yapılarında, yapı emniyetini tehlikeye düşürecek derecede hareketin saptanması durumunda yapı emniyeti için önlemler alınması gerekecektir.

Anahtar Sözcükler: Tünel, Deformasyon, Yapı Emniyeti, En Küçük Kareler Yöntemi

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSTRACT

TWO DIFFERENT METHODS (NATM-CPCS) IN A TUNNEL OPENED WITH VERTICAL DEFORMATION / DISPLACEMENT "S DETERMINATION: M5 METRO SAMPLE

Mehmet EREN

Department of Geomatics Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Halil ERKAYA

Measurement obligation of engineering structure such as dams, tunnels, highrise buildings in their construction phase is a incontrovertible reality. Monitoring of important and expensive structures after their construction phase is very vital. To perform monitoring for the appropriate measurements are repeated at intervals.

The measurements are compensated by the Least Squares Method. This balancing process; network consisting of the measurement errors due to be distributed to all the points made by all trace method would be appropriate to a minimum. This process; network consisting of the measurement errors due to be distributed to all points of the entire trail will be suitable to be balanced by the minimum method. If outlier measure and that measure belonging to the set point disturbing the structure of the network when removed from the network if the network is discarded if not refreshed measure. After this process, deformation analysis and determination of whether there is significant movement were conducted by Hannover Approach.

As a result of this process, if the movement that jeopardizes the safety of the structure were determined for the engineering structure, taking some measurements would be necessary for the safety of the structure.

Key words: Tunnel, Deformation, construction safety, Least Squares Method

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Büyük şehirlerdeki nüfus artışına paralel olarak toplu taşımaya olan gereksinimde gün geçtikçe artmaktadır. Yerüstündeki mevcut ulaşım ağının yetersiz olması ve yeni yolların yapımındaki fiziki zorluklar ve toprak değerindeki artışlarla ortaya çıkan yüksek kamulaştırma bedelleri, yerin altının daha yaygın kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Tamda bu noktada yer altı tünellerinin yapımı gündeme gelmekte, gerek taşıma tünelleri gerekse de iletim tünelleri gibi mühendislik yapılarının inşası, yönlendirilmesi önem kazanmaktadır. Diğer yandan bu gibi değerli mühendislik yapılarının emniyeti için deformasyon ölçmelerinin yapılması büyük önem göstermektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, tünel açılması birlikte zemindeki reaksiyonun izlenmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle zeminde ve bina duvarlarına oturma bulonları ankre edilmiş, oturma bulonlarının geometrik nivelman yöntemiyle ölçümler yapılarak zemin yüzeyinde oluşacak oturmalarının (tasman) izlenmesi yani tünel güzergâhı boyunca tünel kazısından kaynaklı deformasyon analizi hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Yukarıda sözü edilen kazı yöntemlerinden NATM ile tünel açmada oluşacak düşey deformasyon/deplasman, TBM'den daha büyük olması beklenmektedir. Bunun nedeni, TBM'in silindirik yapıda olması ve kazının hemen sonrasında ringlerin örölüp enjeksiyon

uygulanması, NATM ile yapılan çalışmalarda ise (Roadheader veya patlatma ile) destek elemanının kazıdan bir süre sonra yerleştirilmesidir. NATM kazılarında, aradan geçen bu süre içerisinde zemin oturmalarının TBM'e göre daha büyük olması kaçınılmazdır.

1.4 Tünelciliğin Tarihi Gelişimi

Tüneller, uygun ulaştırma yapıları ile arasında doğal zorluklar ve tehlikeler olan iki nokta arasında kesintisiz erişim sağlayan önemli yeraltı mühendislik yapılarıdır. İklim şartlarından etkilenen dağlık araziler, vadi geçişleri gibi bir takım fiziki zorluk bulunan yerlerde güvenli ve kesintisiz ulaşım olanağı sağlamaktadır.

Tünellerin çok gelişmiş toplumlarda kamunun günlük yaşamının önemli parçasını oluşturduğu ilk çağlardan beri açıkça görülmektedir. Mısırlılar ve Romalılar su getirmek amacı ile tüneller açmışlardır. Yunanlılar zamanında ilk tünelin M.Ö. 687'de Sakız Adası'nda açılmış olduğu tespit edilmiştir[1].

Tünelciliği sadece karayolu veya metro ulaşımına indirgenmemeli, sulama tünelleri, demiryolu, iletim tünellerini vs kapsadığını hatırdan çıkarılmamalıdır. İletim tüneli kavramı; içmesuyu, yağmursuyu, atıksu ve diğer altyapı hizmetleri için açılan tünellerdir.

Şüphesiz ki, büyük şehirlerin en önemli problemi toplu ulaşımıdır. Toplu ulaşımında en verimli ve hızlı taşıma yönteminin de "Metro" sistemi olduğu bir gerçektir. Dünyanın en eski yeraltı ulaşım sistemi 1863 yılında hizmete giren Londra Metrosu 'dur. Londra Metrosu 10 Ocak 2013'te açılışının 150.yılıni tamamlamış olup toplamda 270 istasyon ve 402 km. hat uzunluğu ile hizmet vermektedir (Şekil 1). Buna karşılık olarak İstanbul metrosu 2013 sonu itibarıyla toplam hat uzunluğu yaklaşık 65 km(Şekil 2).

Constantinople From Galata to Pera” adlı firmaya 42 yıl imtiyaz süresiyle Yap-İşlet-Devret modeliyle devredilen “Taksim-Karaköy Tüneli” dir[1].

Taksim-Karaköy Tüneli’nin Yapımı 5 Aralık 1874 tarihinde tamamlanmış olup 17 Ocak 1875’te yerli ve yabancı seçkin davetlilerin katıldığı görkemli bir törenle işletmeye alınmıştır. Dünyanın ikinci metrosuna sahip olan İstanbul’un Londra metrosuyla kıyaslandığında son derece yalın olduğu görülecektir.

Gelişen bilim ve teknoloji hayatımızın tüm alanlarında olduğu gibi tünellerin yapım yöntemlerinin de yeni keşiflerle gelişmesini sağlamıştır. İlk zamanlarda kazma-kürekle yapılan tüneller günümüzde artık modern TBM (Tünel Delme Makineleri) ile yapılmaktadır.

Hat tünelleri haricindeki geniş kesitli tüneller için (Peron, Makas vb.) NATM Metodu (Yeni Avusturya Tünel Metodu) halen en geçerli tünel açma tekniğidir.

TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

Tünel açma yöntemleri tarihin akışı içinde gelişerek günümüzdeki modern tünel açma yöntemlerine dönüşmüştür. Daha önceleri kazma kürekle yapılan kazılar ve ahşap destek elemanlarıyla tünelin stabilitesi sağlanırken, TBM adı verilen kazı makinesi yardımıyla tünel stabilitesini makinenin kendi gövdesiyle sağlamak ve yine makine üzerindeki erektör aracılığıyla ring adı verilen birinci kaplama elemanları makinenin kendisi tarafından örülmektedir. Öte yandan kazı kesitiyle ringler arasında kalan – zeminden gelen suyun gelmesini önleyen boşluğun enjeksiyon işlemini yapabilen makinelerle yapılmaktadır. Günümüzde tünel açma işlemi aşağıdaki yöntemlerle gerçekleştirilmektedir.

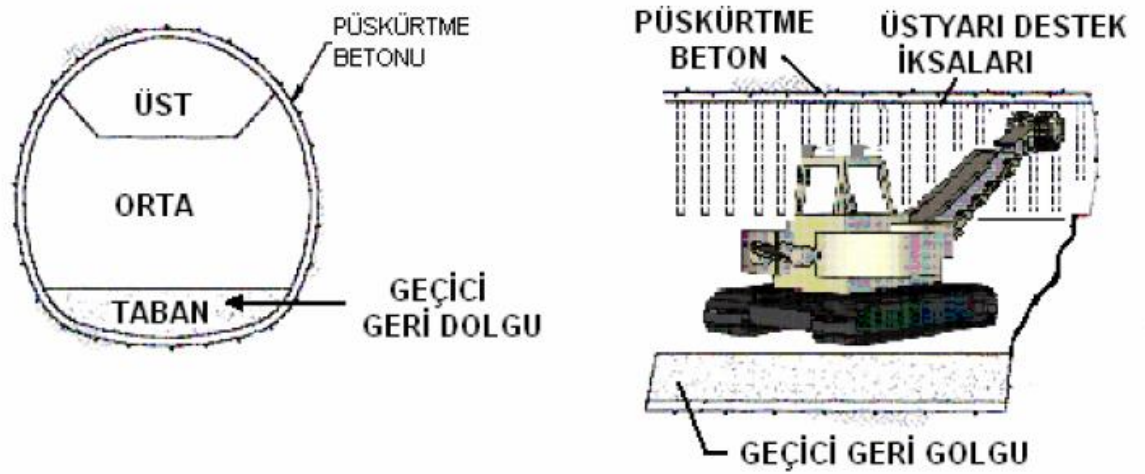
2.1 Aç –Kapa Metoduyla Tünel Yapımı

Adındanda anlaşılacağı gibi tünel yapılacak güzergâhın üzeri açılarak tünel inşa edileceği için üst yapı inşa işlemi ve imalatının yönlendirilmesiyle benzerlik göstermektedir. Bu yöntemle tünel inşaatı Bursa metrosunda kullanılmıştır.

2.2 Klasik Metotla Tünel Yapımı

Tünel Açma Yöntemlerinden en yaygın olarak uygulanan Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu(NATM), klasik metotla tünel açma tekniklerinin en deneysel ve esnek olanı, en optimum destek ve kazı yöntemlerinin uygulanabildiği tünelcilik anlayışıdır.[2] NATM tünellerin proje aşamasında belirlenen parametreleri, tünel inşaat aşamasında yapı emniyetini tehdit eden bir problemle karşılaşılması durumunda değiştirilebilir. Yani;

kullanılacak iksa tipi ve iksa aralığı, kullanılacak donatı veya daha başka parametrelerde değişikliğe gidilebilir.

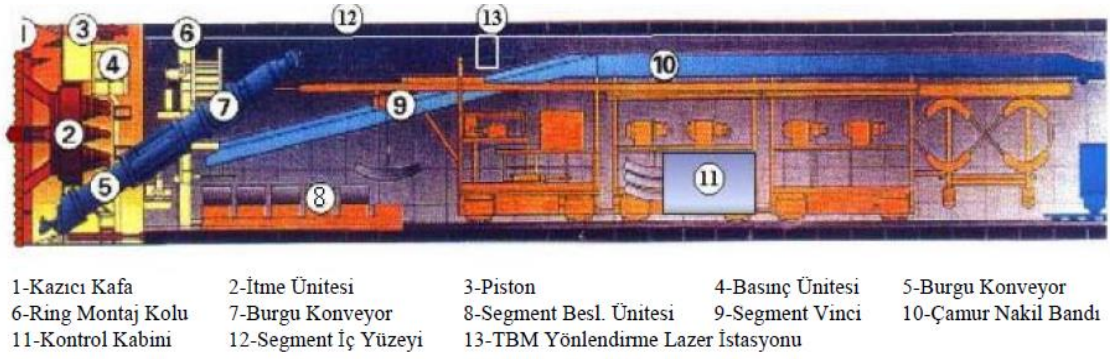


Şekil 2.2 Klasik (NATM) tünel inşaat yöntemi

2.3 TBM Tünel İnşa Metodu

Tünel Açma Makinesi (TBM) teknolojisi son yıllarda hızlı bir ivme kazanmış, sadece ulaştırma tünellerinde değil iletim tünellerinde de kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Hatta İstanbul'da MARMARAY'ın tüp tünellerine yaklaşma kazısı, Melen Suyunun boğaz geçişi, Kadıköy -Kartal metrosu bu yöntemle yapılmış olup, çalışmamızın konusunu oluşturan Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy- Sancaktepe (M5) metrosu da aynı yöntemle inşa edilmektedir.

Bu yöntemde; projede belirlenen tünel çapına uygun kazı makinesi seçimi yapılır. TBM makinesi; dairesel bir şekle sahip olup kesici kafanın dönerek kazdığı malzemeyi kazı alanından uzaklaştıran bir bant sistemi vardır(Şekil 4). Kazı ilerledikçe, çok sayıda piston yardımıyla makinenin ilerlemesini sağlayan hidrolik sistem bulunur. Kazı bittikten sonra tünel dışında imal edilen tünel segmentleri makinenin arkasında yer alan erektör yardımıyla ringleri örerek tünel birinci kaplamasını tamamlar. Zeminden gelecek suyu kesmek ve ringlerin zemin örtü yükü veya yanal yükten kaynaklı deformasyonun olmasını önlemek için kazı ile ringlerin arkasında kalan boşluklar beton enjeksiyonu ile doldurulur.



Şekil 2.3 TBM makinesi [2]

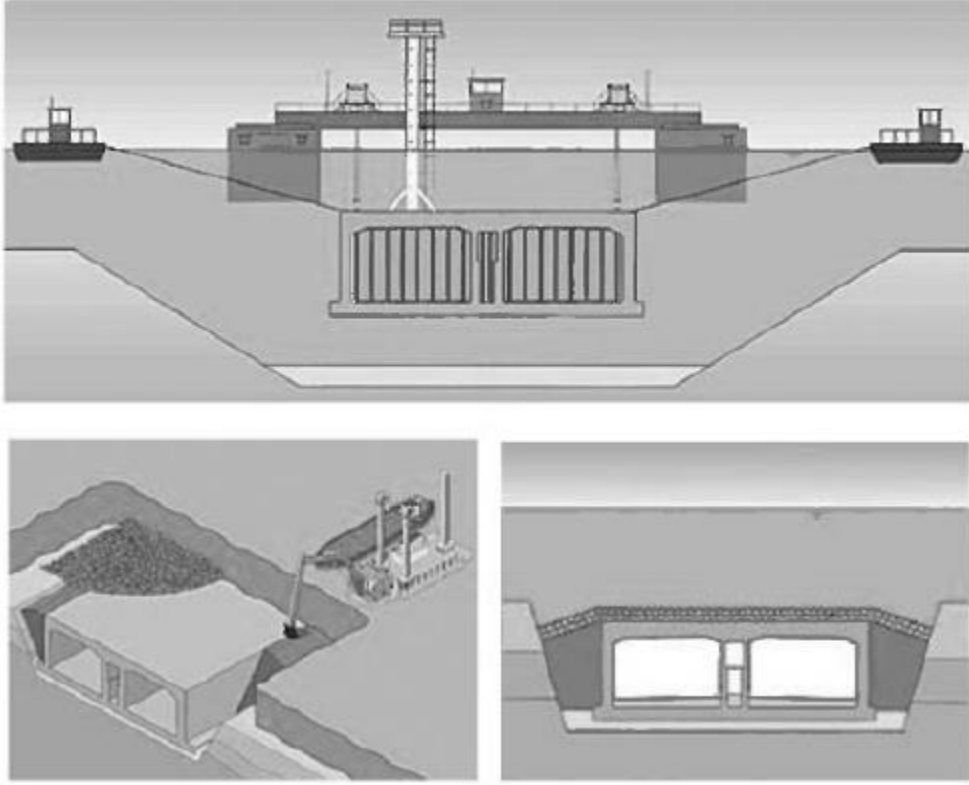
2.4 Batırma Tünel (Immersed tube) Yöntemi

İlk defa 1893 yılında ABD Boston'da kanalizasyon için kullanılmıştır. Bu yöntem daha sonra 1910 yılında Michigan Central Demiryolu Detroit nehri geçişinde kullanılmıştır.[2] Batırma tüp tüneller, 4 aşama sonunda inşa edilir (Şekil 5). Bunlar;

- Prefabrik tüplerin inşası,
- Yerleşim yerinin hazırlanması,
- Batırma ve birleştirme,
- Dolgu yapılması.

Batırma tünel uygulamalarına ilişkin ölçmeler diğer tünelcilik metodları için yapılan ölçmelerden büyük ölçüde farklı olarak hidrografik ölçme ve GNSS ölçmeleri yardımıyla gerçekleştirilirler. İşin önemli aşaması, tünel güzergâhının deniz dibi haritasının hazırlanması, tüplerin su tabanında yerleşeceği kanalın hazırlanması (dredging) için yapılan ölçümler ile batırılan tünel tüplerinin ölçme yardımıyla su dibindeki yerine yerleştirilmesidir.

- Tünel güzergâhının deniz dibi haritalarının hazırlanması
- Tüplerin deniz dibinde yerleştirilme kanalının hazırlanması (dredging) sırasında gerekli ölçme işlemleri (RTK-GNSS ve Echosounder)
- Tüplerin yerleştirilmesi (Immersing) sırasında yapılacak ölçme işlemleri (RTK-GNSS/GNNS ve Echosounder ve akustik algılayıcıları).



Şekil 2.4 Batırma t p inşaat metodu

Deniz dibine yerleştirilecek t p alanının kazılması ve batırılan tüplerin konumu Akustik Konumlandırma Sistemleri (**APS: Acoustic Positioning Systems**) yardımıyla izlenir ve gerekli düzeltmeler hidrolik sistem aracılığıyla yapılır. Echosounder'ın konum  l meleri RTK-GNNS yöntemiyle belirlenir.

TÜNEL AÇILMADAN ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tünel çalışmalarında ön önemli sorun tünelin yönlendirilmesidir. Tünel inşa çalışması öncesinde yapılması gereken işler,

- Jeolojik çalışmalar,
- Tünel proje detaylarının hazırlanması,
- Proje bölgesini kuşatan nirengi ağının kurulması,
- Nirengi ağlarından yararlanarak poligon sıklaştırması,
- Tüm proje bölgesini içeren nivelman ağının oluşturulması,
- Hâlihazır haritasının yapılması,
- Şaft ve yaklaşma tünellerinin arazi ölçümlerinin yapılması,

şeklinde sıralanabilir.

3.1 Jeolojik Çalışmalar

Proje güzergâhı boyunca belli aralıklarla sondaj yapılır (Şekil 6). Yapılan sondajlardan elde edilen bulgular doğrultusunda tünel parametreleri belirlenir. Jeolojik çalışmalar konumuzla ilgili olmadığı için burada üzerinde durulmayacaktır.



Şekil 3.1 Zeminde yapılan sondaja ait bir görüntü

3.2 Temel Jeodezik Ağlar

Hiyerarşik jeodezik ağ yapısı genel olarak 3 başlık altında toplanabilir. Bun ağ noktaları;

- Yatay kotrol ağı
 - Temel GPS/GNNS Ağı (TUTGA-99A)
 - Sabit GPS/GNNS İstasyonları Ağı (TUSAGA)
- Düşey Kontrol Ağı (TUDKA-99)
- Temel Gravite Ağı (TTGA-99)

olarak sınıflandırılabilirler.

3.2.1 Düşey Jeodezik Ağ Hiyerarşisi

Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı ve bu ağa dayalı olarak oluşturulan düşey kontrol ağlarının derecelendirilmesi aşağıdaki gibidir.

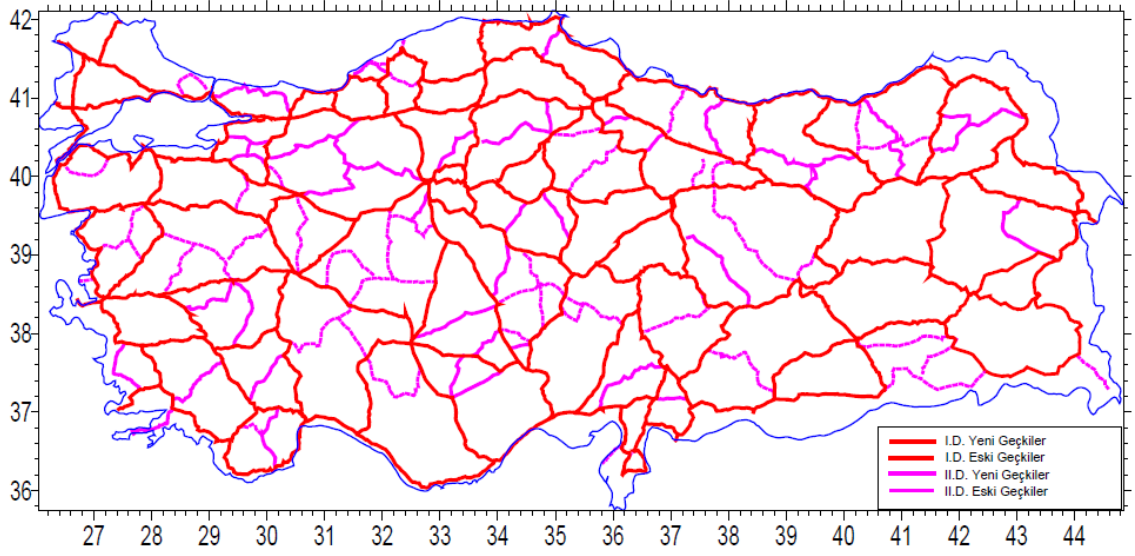
I. Derece Nivelman Ağı ve Noktaları: Ülke Nivelman Ağı ve Noktaları

II. Derece Nivelman Ağı ve Noktaları: Ülke Nivelman Ağı ve Noktaları

III. Derece Nivelman Ağı ve Noktaları: En çok 40 km uzunluğundaki luplarla üst dereceli ağlara dayalı sıklaştırma ağları ve noktaları. Ana Nivelman Ağı

IV. Derece Nivelman Ağı ve Noktaları: En çok 10 km uzunluğundaki luplarla üst dereceli ağlara dayalı sıklaştırma ağı ve noktaları. Ara Nivelman Ağı

V. Derece Nivelman Ağı ve Noktaları: Poligon ve tamamlayıcı nivelman ağı ve noktaları[3]



Şekil 3.2 Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)

3.2.2 Ağ Tasarımı

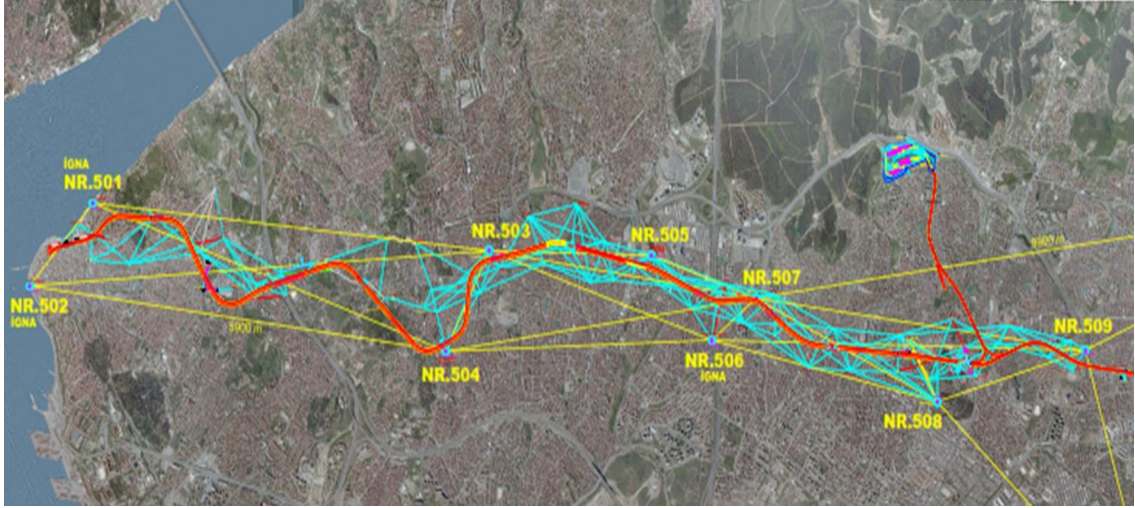
Çalışma bölgesine ait hâlihazır haritalar üzerinde tüm bölgeyi kuşatacak poligon/nirengi ve nivelman noktaları gibi Yer Kontrol Noktaları (YKN) için bir ön istikşaf yapılır. Burada amaç, ağ noktalarının yaklaşık yerlerini belirleyip, arazide yapılacak çalışmalarından sonra YKN'lerin yerlerinin kesinleştirilmesidir. Noktaların tesisinde paslanmaz malzemeden yapılmış yer kontrol noktaları zemine ankre edilmelidir. (Şekil 3.3).



Şekil 3.2 Bölgede tesis edilen nirengi ve nivelman noktaları [4]

3.2.2.1 Yatay Kontrol Ağının Oluşturulması

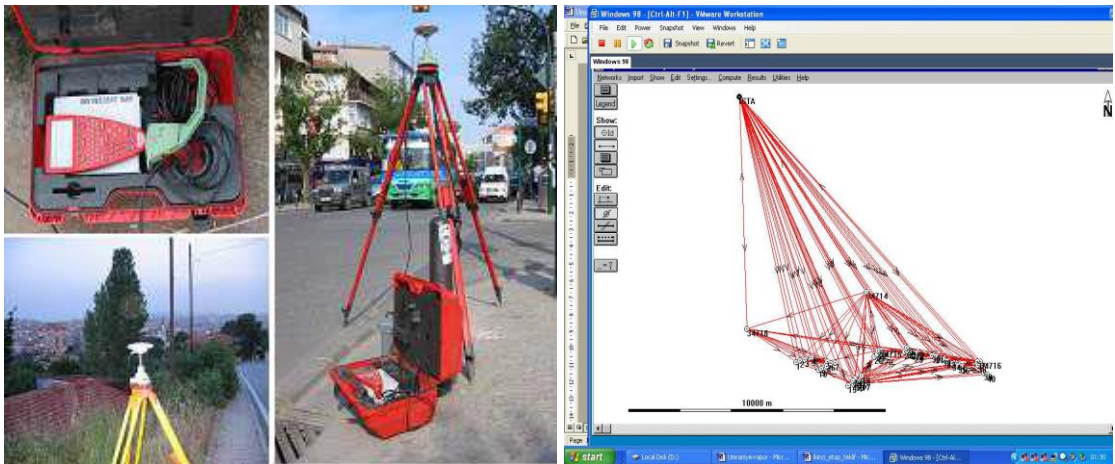
Projede yer alan nirengi/poligon noktaları arazide, zarar görmeyecek şekilde tasarlanmalı ve koordinatlarının belirlenmesinde GNSS ölçme tekniği kullanılmalıdır (Şekil 8). GPS/GNNS ile elde edilen 3B koordinatların X, Y değerleri ± 5 mm. hassasiyetle elde edilebilirken, Kot değerlerinde yatay inceliğin 3 katıdır.



Şekil 3.2 Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy–Sancaktepe M. nirengi ağı [5]

3.2.2.2 GPS/GNSS Ölçmeleri

Bölgede metro güzergahına uygun dağılımlı Nirengi/poligon nokta koordinatlarının belirlenmesinde GPS/GNSS ile statik ölçme tekniği uygulanır. Ölçmelerde çift frekanslı GPS/GNSS alıcıları kullanılır (Şekil 3.5). Tesis edilen nirengi/poligon noktalarına ait ölçmeler, her bir ardışık nirengi noktası arasındaki bazlar bağımsız olarak ölçülür. Ek olarak, ana ağda yer alan tüm bazlar da ayrıca ölçülür. Güzergâhtaki nirengi noktalarında ortalama 45 dakika, Ana Ağ noktalarında ise bir kaç saat süreyle ölçme yapılır. GPS/GNSS ölçmelerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen koordinatların Ülke Sistemine dönüştürülür.



Şekil 3.2 GPS/GNSS ölçmeleri ve değerlendirilmesi

3.2.2.3 Düşey Kontrol Ağının Oluşturulması

Yukarıda belirtildiği gibi GPS/GNNS ile elde edilen yükseklik değerlerinin hassasiyeti, koordinat değerlerinin 3 katı düşük olması nedeniyle, böylesine önemli mühendislik projelerinde daha yüksek doğruluk beklenmektedir. GPS/GNNS yardımıyla yapılan nivelmana ek olarak Ülke Yükseklik Sistemi'ne dayalı bir Düşey Kontrol Ağı tesis edilip yüksek duyarlıklı nivelmanölçümleri ve ağ dengelemesi yapılarak kullanılır.

Nivelmanana ağ noktaları tesis edilirken, tünel açılmasından kaynaklı oluşabilecek deformasyonlardan etkilenmeyecek şekilde, tünel ekseninden emniyetli bir mesafe kadar uzağındatesis edilmelidir. (Şekil 3.6)



Şekil 3.26 Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metrosu nivelman ağı [5]

3.2.2.4 Düşey Kontrol Ağının Ölçülmesi

Sayısal nivolar günümüzde ulusal düşey kontrol ağlarının ölçülmesinde, deformasyon ölçmelerinde, endüstriyel ölçmelerde, kara ve demiryolu inşaatı ölçmelerinde, tünel ve madencilik ölçmelerinde, yerel geoit belirlenmesi gibi çalışmalarda kullanılmaktadır (Şekil 3.7). Lazer bölümlendirmeli barkotlu invar miralarla kullanılmaları halinde klasik hassas nivelman ölçme doğruluğuna yaklaşık sonuçlar elde edilebilmektedir. Sayısal nivoların, klasik nivolarla göre önemli avantajları vardır. Bunlar:

- Alet operatörüne yöneltme dışında yük getirmemesi,
- Ölçmelerin kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi,

- Ölçmelerin otomatik olarak kaydedilmesi, kayıt ve buna ilişkin kişisel hataların ortadan kaldırılması,
- Ölçme kontrollerinin anında yapılabilmesi ve hesap hatalarının önlenmesi,
- Yazıcı personele gereksinim olmaması,
- Hızlı ve ekonomik ölçme yapılabilmesi,
- Diğer nivolarla göre daha uzak mesafeden ölçme yapabildiği,
- Ölçülerin doğrudan bilgisayar ortamına aktarılabilmesi,

Şeklinde sıralanabilir [6].



Şekil 3.27 Leica DNA03 sayısal nivo, ahşap sehpa, barkotlu invar mira

3.3 Hâlihazır Haritaların Hazırlanması

Çalışma bölgesine ait hâlihazır haritası olup olmasına bakılmaksızın, jeodezik altyapıya dayalı olarak proje bölgesini kapsayan hâlihazır haritaları şeritvari olarak hazırlanır.

TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tünel kazıları; yerin üstünde yapılan, Karayolu, demiryolu, dere ıslahı gibi bir proje güzergâhına sahip, inşaat ölçümlerinden farklılık göstermektedir. Tünel inşaatında kazı bitiminden sonra veya hat üzerinde yapılan sondajlarla kontrol edilebilmektedir. Metro tünellerinde, karayolu tünellerindeki bu sorunlara ek olarak, jeodezik ağın tünel içine taşınmasının zorlukları da eklenir. Çünkü kot ve koordinat taşınırken tünellerin şaftlarından indirilen koordinatlar lazer yardımıyla veya totalstationlarla yapılmakta, yükseklik taşıma işlemi ise tünel çeperlerinden çelik şerit metre yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Koordinat taşıma işleminin lazerli çekülle gerçekleştirilirken, lazerin açılanmasıyla zemine indirilen noktanın konumu olması gereken yerden farklı bir noktada olmaktadır.

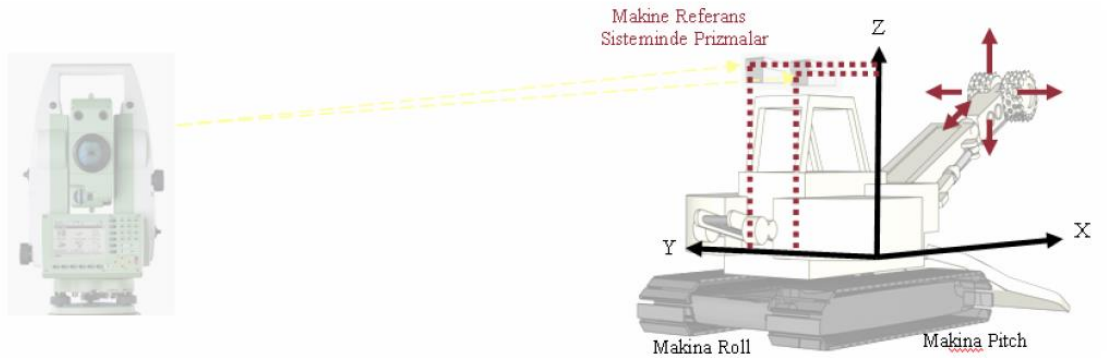
Tünel içi ölçümlerinde alet her defasında gerideki poligon noktasına bağlanarak ilerlemekte, zemin üstündeki ölçmeler gibi denetlenmesi söz konusu olamamaktadır. Tünel birinci kaplama üzerine tesis edilen bu noktalarda karşılaşılan en büyük sorun ise; çalışmalar sırasında bu poligon noktalarının zarar görmesi veya tünellerde oluşan hareketten kaynaklı konum değişmesine bağlı olarak projenin güzergâhının planlanan eksenine uygun ilerlemesine engel olmaktadır. (Şekil 4.1)



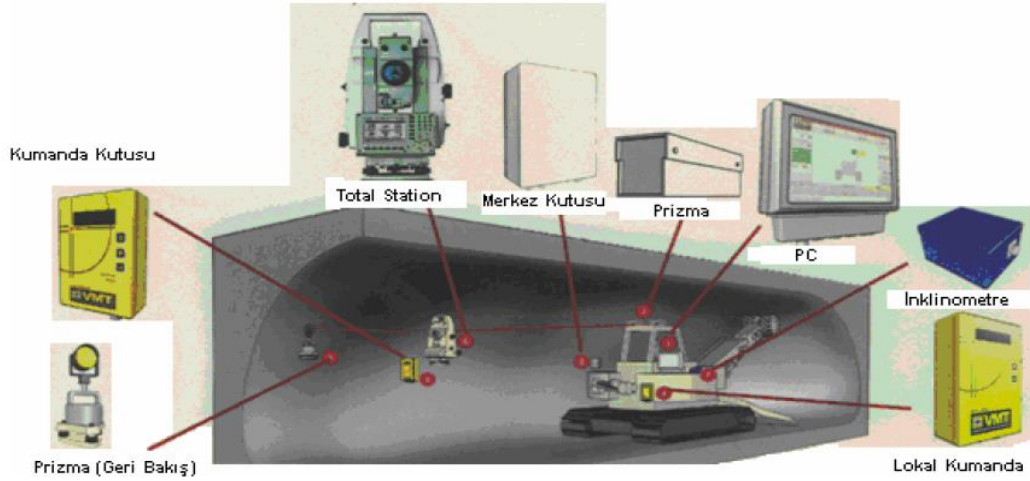
Şekil 3.31 Tünel duvarında değişik yapılarda poligon tesisleri[5]

4.1 Klasik Tünel Kazılarının Yönlendirilmesi

Klasik tünel kazılarının yönlendirilmesi jeodezik ölçüm aletleriyle yapılabileceği gibi tünel kazı kesitinin büyüklüğüne bağlı olarak yeteri sayıda lazer cihazları kullanılarak da yapılabilir. Bunun yanında son zamanlarda yaygınlaşan bir diğer uygulamada kazı makinelerinin ölçme aracılığıyla yönetilerek kazıların yapılmasıdır(Şekil 4,2),(Şekil 4.3). NATM tünel kazılarının yönlendirilmesi klasik ölçme yöntemiyle yapılabilmesi yanında iki değişik yöntemle de yapılabilmektedir.



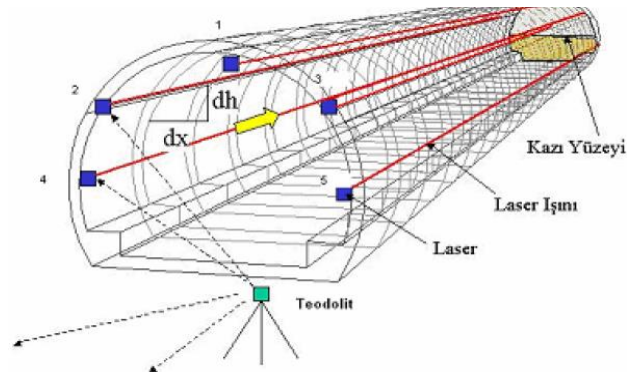
Şekil 4.12 Prizmaların ve inklinometrelerin yerleşimi (VMT, 2005-d)



Şekil 4.13 Roadheader yönlendirme sistemi (SLS-TM) donanımı (VMT, 2005-d)

4.1.1 Klasik Kazılarının Yönlendirilmesi İçin Lazer Cihazlarından Yararlanılması

Tünel geometrik formuna ve kazı yapılacak tünel aynası bölümüne bağlı olarak istenen sayıda lazer cihazı yerleşimi sağlanarak tüm tünel kazı ve iksa destekleme işlemleri çok az sayıda ölçme elemanı yardımıyla sürdürülebilmektedir. Uygulamaların yönlendirilmesini sağlayacak olan bu liste tünel boyunca belli aralıklarla hesap edilerek hazırlanır ve kazı-destek ekiplerine teslim edilir. Bu değerler bütün lazer ışınları için tip kesit üzerindeki belli noktalara bağlı olarak tünel boyunca verildiğinde tünel ilerlemesi için ölçmecinin tünelde beklemesine gerek olmayacaktır. Bir çift hatlı raylı sistem tüneli kazısı için 4 yada 5 adet lazer cihazı tesisi kazıların yönlendirilmesi için gayet uygun olmaktadır.(Şekil 4.4) Lazerlerle tünel kazılarının yönlendirilmesi tünellerde kazı uygulamaları için büyük kolaylıklar ve personel tasarrufu sağlamaktadır[6].

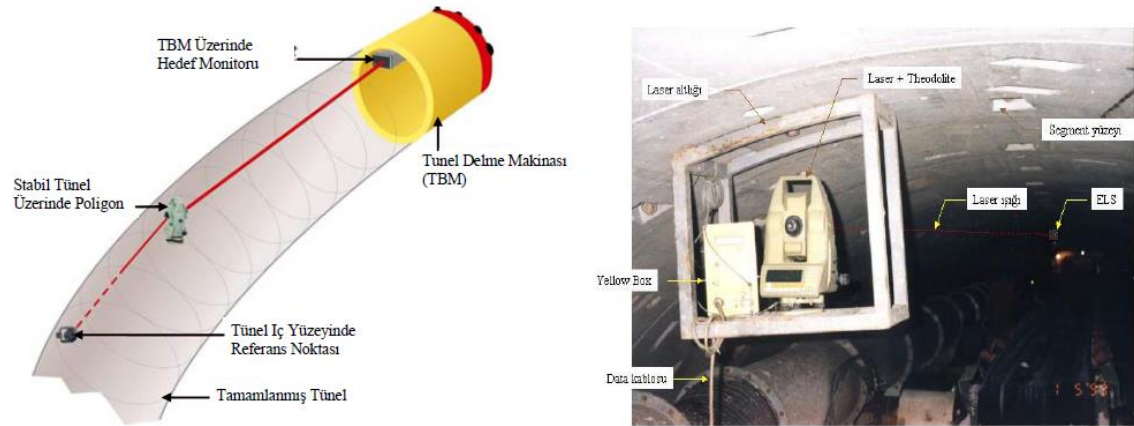


Şekil 4.14 NATM lazer ile ölçüm şeması [2]

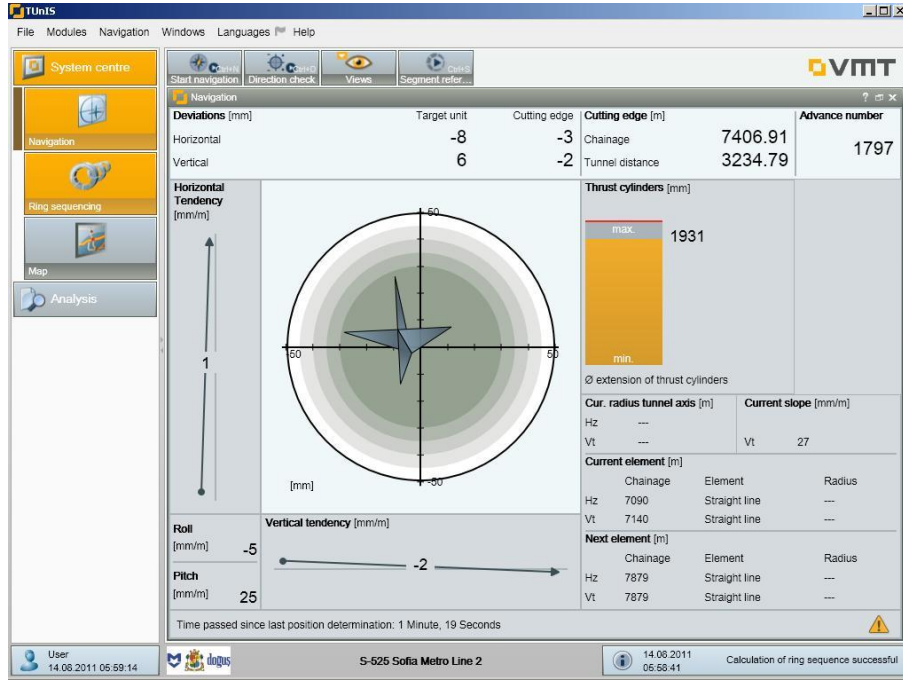
4.2 TBM Makinesinin Yönlendirilmesi

TBM'in klasik yöntemlerle yönlendirilmesi olanaklıdır. Ancak kazının durdurulup ölçüm yapılması, yapılan ölçümün değerlendirilip, kazının konumuna göre operatörü yönlendirmek ekonomik olmamaktadır. Bunun yerine, değişik firmalar tarafından geliştirilen ve kazıyı otomatik olarak yönlendiren yazılımlardan yararlanmak uygun olacaktır.

Kazı makinesi kazıya başlamadan önce tünel güzergâhına ait proje kot-koordinat ve kurp yarıçapı ve kurp yönü gibi bilgilere ait parametreler, makinenin bilgisayarına girilir. TBM ilk konumunu aldıktan sonra kazı işlemine başlanır. Kazı sırasında zemin malzemesi, zemin suyu ve boşluklar gibi bir takım nedenlerle TBM planlanan eksenine uygun gidememektedir. TBM'in proje eksenine göre değişimi totalstation tarafından belirli aralıklarla sürekli olarak ölçülmekte, bu ölçüler bilgisayardaki planlanan proje eksenine göre kıyaslanmaktadır(Şekil 4.5). Bu ölçülerden elde edilen eksenin planlanan eksenenden olan yatay ve düşey farkları hem nümerik hem de grafik olarak bilgisayar ekranında görünür(Şekil 4.6). TBM operatörü tarafından pistonlardaki basınç miktarları arttırılarak veya azaltılarak TBM'nin proje eksenine uygun olarak hareket ettirilmesi sağlanır.



Şekil 4.25 TBM'e ait bir uygulama görüntüsü[6]

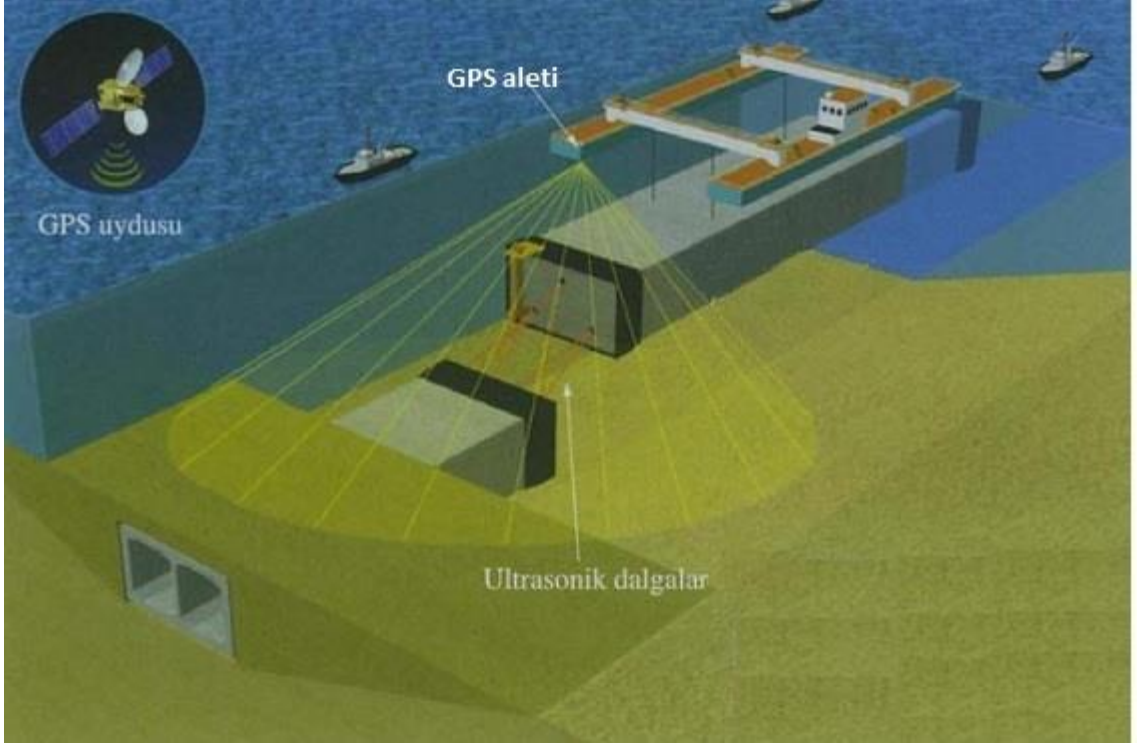


Şekil 4.26 TBM yönlendirme sistemi

4.3 Batırma Tünellerin Yönlendirilmesi

Tüp tüneller için önceden kazısı yapılan güzergâh, batımetrik ölçmeler yardımıyla gerçekleştirilir. Batırma tüp için yapılan tüm batımetrik ölçmeler; GPS/GNNS ve Hassas Nivelman koordinat sistemlerine bağlı olarak tekne konumu RTK-GPS/GNNS ölçmeleriyle ve dip taraması ise multibeam (çok bimli) echo-sounder ile ölçülmektedir. Konumlandırma işlemi için, RTK-GPS/GNNS ölçümleriyle kazıcı sistem ve kazıcı sistemden de multibeam Echosounder ölçümleriyle kazılar yönlendirilmektedir.

Değişik izleme sistemlerinin kombinasyonu kullanılarak tünel elemanlarının montajının kontrolü yüksek bir hassasiyet ile yapılabilmektedir. Elemanların konumu GPS/GNNS kullanılarak belirlenmektedir. Daha önce yerleştirilmiş olan komşu tünel elemanına bağlı konumunun belirlenmesi ultrasonik dalgalar kullanılarak yapılmaktadır[6] (Şekil 4.7).



Şekil 4.37 Ölçme yardımıyla batırma tüp yerleştirme işlemi

Tüp tüneller birleştirildikten sonra sızdırmazlık işlemleri yapılır. Bu işlemlerin ardından açılan kanal doldurularak koruma tabakası oluşturulur.

DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

Tünelin kazılması sırasında zemin suyunun durumu, zeminde boşalmalar gibi nedenlerle zeminde bir takım reaksiyonlar meydana gelir. Bu boşalmalar gerek tünel içinde gerekse de zeminde tasman adı verilen oturmalara veya binalarda burulmalara sebebiyet verir. İşte bu hareketlerin hem tünel içinde hem de zeminde yol açabileceği yıkımların zararının en aza indirgenmesi amacıyla izlenmesi gerekir. Biz bu ölçümlere deformasyon ölçümleri adını vermekteyiz.

Deformasyonun izlenmesi için jeodezik ve geoteknik yöntemlere başvurulur.

5.1 Geoteknik Yöntemlerle Deformasyon Ölçümleri

Yerkabuğu, yapıların temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle yerkabuğunu oluşturan malzemelerin, yani zemin ve kayaların taşıma gücü, mukavemeti, hacimsel değişim davranışı (sıkışma, kabarma, büzülme vb.) gibi hususlar iyi bilinmelidir. Zeminlerin fiziksel ve mühendislik özellikleri tam olarak belirlenebildiği takdirde zeminlerin analizi, tasarım ve yapım yöntemleri yani geoteknik uygulamaları tam olarak gerçekleştirilebilir. Zemin mekaniği ve temel inşaat bilim dallarının her ikisini birlikte içine alan bu anabilim dalı Geoteknik anabilim dalı olarak adlandırılır.

Geoteknik ölçmeler, zemin özellikleri tam kestirilemeyen ve derin kazı gerektiren inşaatlarda zemin mekaniğinin belirtilmesinde, yapı malzemelerinde temellerin ilettiği yapı yükünü taşıyan desteklerin incelenmesinde kullanılır.

5.1.1 Ektansometre Ölçmeleri

Noktalar arasındaki uzaklık değişimini izler. Sondaj kuyusu içine zeminin düşey hareketini takip için yerleştirilmektedir. Genelde üç kademedan oluşurlar. Kademe sayısı gerekli görülmesi durumunda arttırılır veya azaltılır. En alt kademe tünel tavanından itibaren maksimum 2 m üzerinde olacak şekilde kuyuya indirilir. Diğer kademeler jeolojik yapıya göre belirlenir. Ölçümler zemine monte edilen ekstensometre kafasından alınır. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1 Ekstensometre aletleri

“Herhangi bir yapıda (tünel, baraj, yol, vb.) belirlenen sabit noktaların ölçülmesiyle hareketin yönü ve büyüklüğü konusunda fikir vermektedir. Ekstensometre belirli aralıklarla delinmiş çelik bantlardan oluşur.

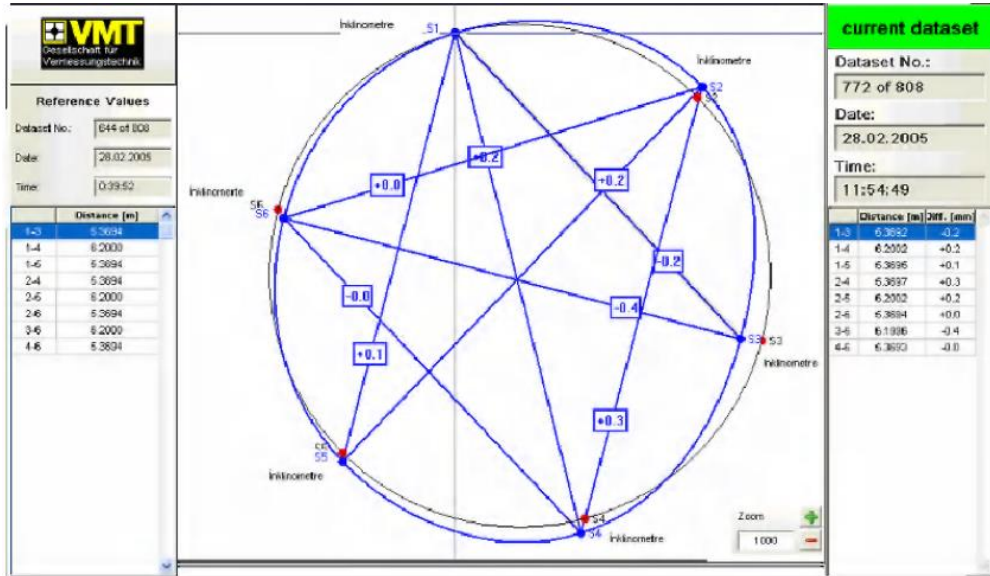
5.1.2 Konverjans Ölçümleri

Bu yöntem segmentli (parçalı) tünel uygulamalarında kullanılmaktadır. Ring elemanları yerleştirildikten sonra TBM pistonlarının basıncının ringlerdeki reaksiyon, enjeksiyon yapılması sırasında oluşan hareket, tüp içinden yük taşımanın etkisi araştırılması gereksinimini karşılayacak konverjans ölçümlerine gereksinim duyulmuştur. Çalışma prensibi segment içerisine yerleştirilen inklinometrelerin veri kaydetmesi ve bu verinin değerlendirilerek konverjans - diverjans (yaklaşma - uzaklaşma) değişimlerinin belirlenmesine dayanmaktadır. (Şekil 5.2)



Şekil 5.12 Ring konverjans ölçüm sistemi ve bileşenleri (VMT, 2005-a)

Segmentli tünel iç yüzeyindeki konverjans ölçümleri, t_0 zamanında alınan ölçümü sıfır kabul eder. Bundan sonra yapılan ölçümler ilk yapılan ölçüme göre bağıl olarak değerlendirilir. İstenilen sıklıkta veri toplayarak ± 0.3 mm incelikte tünel içi konverjanslarını belirlemek olanağı sağlamaktadır(Şekil 5.2).



Şekil 5.13 Ring konverjans ölçümlerinin tubgeo yazılımıyla yorumlanması

5.1.3 İnklinometre

İnklinometrelerde, bir boru boyunca, yerçekimine karşı duyarlı bir prob yardımıyla borunun eksenine dik olarak gerçekleşen sapmalar trigonometrik fonksiyonların yardımıyla ölçülen deplasmanlara dönüştürülmektedir. İnklinometrenin esas kullanım amacı, yer yüzeyinden belirli derinlikte meydana gelen yatay deformasyonların

gözlemlenmesidir. Bunun için boru düşey veya düşeye yakın bir açıyla yerleştirilir ve bu şekilde alt seviyelerdeki yatay deformasyonların ölçümüne olanak sağlar.

İnclinometrik ölçüm sistemi genel olarak dört bileşenden oluşmaktadır:

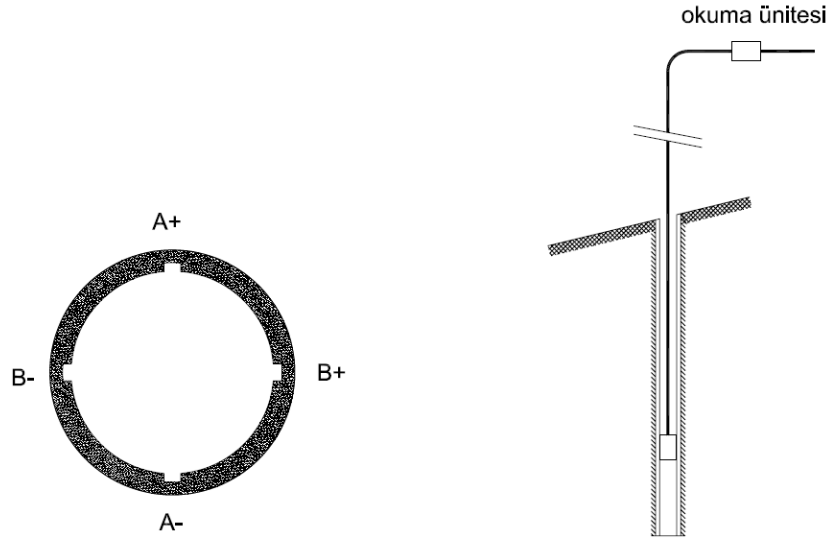
- Deformasyonu ölçülmesi planlanan kesite dik olarak yerleştirilecek ve sürekli olarak orada kalacak bir boru.
- Yerçekimini hassas bir şekilde ölçüm yapabilecek taşınabilir prob.
- Probun ölçtüğü değerleri hafızasına kaydedecek ve aynı zamanda bir güç kaynağı olarak da kullanılacak elektronik okuma ünitesi.
- Ölçüm yapan probun okuma ünitesiyle bağlantısını sağlayacak ölçekli bir elektrik kablosu.

5.1.3.1 İnklinometrelerin Çalışma Yöntemi

İnklinometrelerde probun içinde bir transdüser bulunmaktadır. Probun düşeyden sapmasıyla bir voltaj farkı oluşmakta, ölçülen voltaj eğimle doğru orantılı olmaktadır. Kütleyi dengelemek ve dolayısıyla voltajı sıfırlamak için gerekli olan kuvvet de aynı şekilde ilgili kesitteki eğimle doğru orantılı olmaktadır. Buna göre ölçülen voltaj değerinden $\sin\theta$ değerine, oradan da prob boyu belli olduğundan δ yatay deplasmanına geçilebilmektedir.

İnklinometre borularının içinde birbirine dik açıyla duran dört adet yarık bulunmaktadır(Şekil 5.4). İnklinometre borusu yerleştirilip ilk okuma alınmalıdır. Daha sonra yapılacak bütün ölçümler bu ilk referans ölçümüne göre değerlendirileceğinden referans ölçümü en önemli ölçümdür. Öncelikle probun tekerlekleri borunun yarıklarına oturtulur. Bu işlem yapılırken bu ilk ölçüm için probun ön yüzünün A+ yönü ile karşılaştırılır. Borunun içine yerleştirilen prob yarıklardan hareket ederek borunun en alt noktasına kadar indirilir.

İlk ölçüm alındıktan sonra (A+ ve B+ değerleri) prob bir üst seviyeye çekilir ve aynı işlem tekrarlanır. Okuma aralıkları genellikle 0.5 m. de bir yapılmaktadır. Her seviyede yapılan okumalar okuma ünitesine kaydedilmektedir.



Şekil 5.14 İnklinometre borusunun üstten görünüşü ve şematik görünüşü

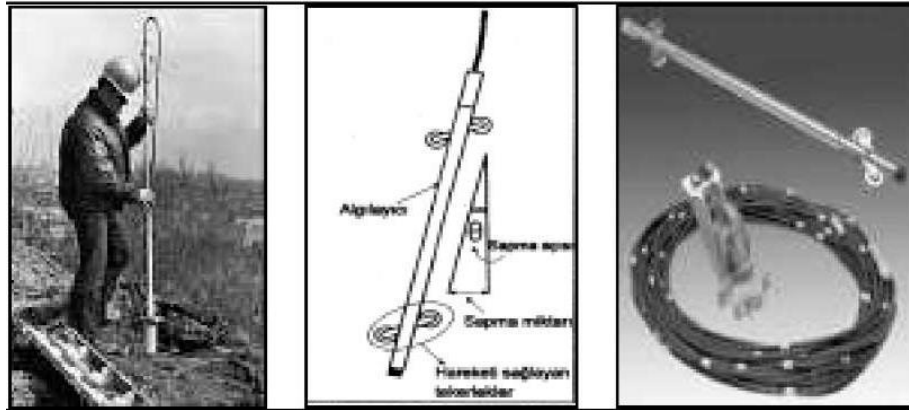
İnklinometre aleti, arazide açılmış deliklerin eksenlerinden düşey sapmalarını ölçmek için kullanılır. Ölçülen sapma değerlerinin, trigonometrik fonksiyon ile ifade edilmesidir. İnklinometre aleti, esnek bir boru içerisinde deliğe indirilen probdan oluşan algılayıcı, kayıt cihazı ve bunlar arasındaki bağlantıyı sağlayan kablodan oluşur. Gövdesi, paslanmaz çelikten yapılmış olan algılayıcıların iki değişik tipi bulunmaktadır. Yanal yöndeki hareketlerin izlenmesinde kullanılan düşey inklinometre algılayıcıları, biri tekerleklerin bulunduğu düzlemde diğeri ise bu eksene 90 derece dik durumda bulunan iki adet eksene sahiptir. Bu sayede boruda hem kuzey - güney, hem de doğu - batı yönlerinde standart sapmalar hesaplanır ve yapılan ölçümleri görsel verilere, grafik formlara dönüştürülür(Şekil 5.5).



Şekil 5.15 İnklinometre aleti

Algılayıcıdan alınan voltaj değerleri, algılayıcının uzun ekseninin düşeyden olan sapması sonucu oluşan açıyla doğru orantılıdır. Yatay inklinometre algılayıcıları ise düşey yönde

meydana gelecek şişme ve oturma miktarlarının saptanmasında kullanılmakta olup, çap ve boyları yine değişebilmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.16 İnklinometrenin kuruluşu ve ölçümü

İnklinometre borusunun kurulduğu andaki pozisyonuna göre, bütün deplasmanların hesaplanmasına kadar, en az iki ayrı set halinde yapılacak olan ölçümlere göre borunun ilk konumunun doğruluğu kanıtlanmalıdır. İlk ölçümler yapıldığında borunun tepesi, zemin yüzeyinde, hareket beklenen bölgenin dışında bir noktaya yönelmiş olmalıdır. Ölçümlerin sıklığı çeşitli nedenlere bağlıdır, en önemli neden hareketin oranıdır. Yerleştirildikleri sondaj deliğinin eksenine dik yönde oluşan hareketlerin ölçülmesinde kullanılan inklinometreler yardımıyla düşey doğrultudaki deliğin iki tarafında 10 - 20 derecelik sapmalar ölçülebilmekte, hareketin yeri, büyüklüğü ve yönü saptanabilmektedir. Hareketlerin üçüncü boyutta da izlenmesi mümkündür. Bir tek inklinometre cihazı kullanılarak çok sayıda sondaj deliğinden ölçüm alınabilmekte ve ölçüm hassasiyetinin diğer yöntemlerden daha yüksek olması sebebiyle kaya kütlelerinde ve zeminde gelişebilecek çok yavaş hareketler de kaydedilebilmektedir.

5.2 Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçümleri

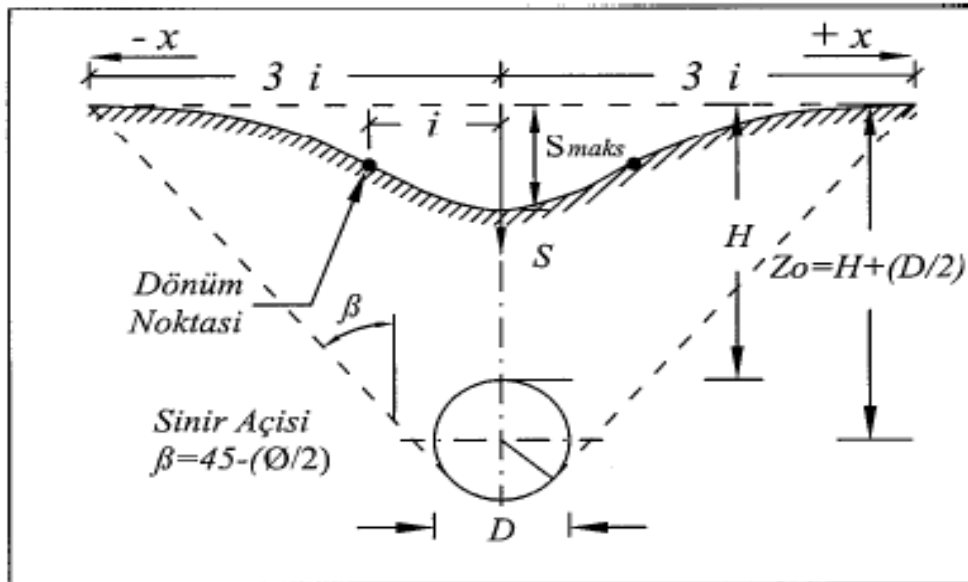
Deformasyonun hem yönü hemde büyüklüğünün bir koordinat sistemine bağlı olarak belirlenmesi işlemidir. Bu çalışmanın konusu olan işler sadece oturma bulonlarına yapılan hassas geometrik nivelman içermektedir.

5.2.1 Yüzey ve Bina Oturma Ölçümleri

Metro ulaşım yapıları yoğun yerleşim alanlarındadır ve yerleşim yapısı ve topoğrafik koşullar nedeniyle derin tünel şeklinde inşa edilmek durumundadır. Tünel açıldığı zaman başlıca iki nedenden ötürü Yüzeyde oturma meydana gelmektedir[7]

- Açılan tünel bir drenaj kanalı gibi çalışmakta ve yeraltı su seviyesinde oluşan bu değişiklik zeminde su kaybına yol açmaktadır. Bu durum özellikle killi formasyonlarda konsolidasyon oturmasıyla sonuçlanmaktadır.
- Tüneldeki kazı sonucu tünel çevresindeki zemin kaybı tünel kazısında uygulanan kazı destekleme yöntemine, tüneli çevreleyen zeminlerin jeomekanik büyüklüklerine ve tünel geometrisine (çap ve derinlik) bağlı olarak yüzeye yansımaktadır(Şekil 5.7).

Zemine ve binalara, tünel eksenine dik bir kesit oluşturacak şekilde belli aralıklarla yerleştirilen oturma bulonları tesis edilir. Tesis edilen bu bulonlara sayısal nivolarla ve barkodlu miralar yardımıyla hassas kot verilir. Kazı sebebiyle meydana gelen zemindeki, dolayısıyla bulonlardaki oturmalar ölçülür. Bu ölçme işi yeteri sıklıkta yapılarak zeminin reaksiyonu takip edilir. Ancak istasyon bölgelerindeki oturmalar kritik durumuna göre her gün ya da birkaç günde bir alınmaktadır[4].



Şekil 5.27 Tasman Büyüklükleri [7]

ÜSKÜDAR-ÜMRANIYE-ÇEKMEKÖY METRO TÜNELİ

6.1 İhale Bilgileri

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe (M5) Metrosu İnşaat ve Elektromekanik İşleri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Daire Başkanlığı Anadolu Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü kontrollüğünde yapılmakta olup, işin yapım süresi 38 aydır. İhale bedeli 563.899.995,32 € olan M5 Metrosu'nun yapım yüklenicisi Doğu İnş. ve Tic. A.Ş.'dir. Müşavir firma ise Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.-Emay Uluslar arası Müh. Müh. ve Tic. Ltd. Şti. Ortak Girişimidir.

M5 Metrosu, İstanbul'un beşinci, Anadolu Yakası'nın ise ikinci metro hattı olacaktır. Üsküdar sahil bölgesinden Çekmeköy ve Sancaktepe'ye kadar uzanan 17 km'lik çift tüp tünelden oluşan bir anahat üzerinde 16 adet yer altı istasyonu bulunacaktır. Ayrıca Dudullu'dan zemin üstündeki depo/ bakım alanına erişim 2,7km'lik depo bağlantı tüneli ile sağlanacaktır. Anahat tünellerinin bir kısmı TBM ile açılmakta iken, diğer kısımları ile peron tünelleri ve bağlantı tünelleri NATM (Yeni Avusturya Tünel Metodu) ile açılmaktadır. Ayrıca 22,1 km'lik TBM tünel inşası için kapasitesi 37,5 metre/gün olan segment üretim tesisi kurulmuştur.

Tünel açımında kullanılan pasa basınçlı (earth pressure balance- EPB) TBM'ler; 6.570 mm çapında ve 4x315 kW gücünde olup planlanan tünel açma hızı 18 metre/gün'dür. Ayrıca, TBM'lerin ilerleme ve pozisyon bilgisi gibi parametreleri online olarak takip edilebilmektedir M5 Metrosu'nun İstanbul'un ulaşım ağındaki en önemli fonksiyonlarından birisi, diğer önemli kent içi toplu taşıma sistemlerine olan entegrasyonudur.

29 Ekim’de açılan ve Avrupa ile Anadolu’yu bir birine bağlayan Marmaray projesi ile Kadıköy-Kartal (M4) Metrosu’nun entegrasyonu, inşaatı İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığınca yapılmakta olan Ayrılıkçeşme İstasyonunda, M5 Metrosu’nun entegrasyonu ise Üsküdar İstasyonu’nda sağlanacaktır. Böylece, Ümraniye ve Çekmeköy bölgelerindeki yolcular, raylı sistem ağını kullanarak Avrupa Yakası’ndaki diğer raylı sistem hatlarına kolayca erişebileceklerdir. Bununla birlikte, Anadolu’yu Avrupa’ya bağlayan ikinci bir hat olan Metrobüs Hattı ile entegrasyon Altunizade İstasyonu’nda sağlanacaktır. Ayrıca, şunda proje geliştirme aşamasında olan ve yakın gelecekte yapım ihalesine çıkılması planlanan, Dudullu-Bostancı Metro Hattı ile de entegrasyon sağlanacaktır. Böylece Anadolu Yakası’nda bir raylı sistem ring hattı teşkil edilmiş olacaktır.

Metro hatlarının karakteristik özelliklerinden birisi de tek yönde bir saatte yolcu taşıma kapasiteleridir. M5 Metro Hattı, 90 saniyelik sefer sıklığında ve maksimum 80km/h hızda çalışacaktır. 6’lı vagon dizilerinden oluşacak trenlerin yolcu kapasitesi 1620 kişidir. Bu şartlar altındaki sistem kapasitesi 64.800 yolcu/saat/yön’dür. Diğer hatlarla olan entegrasyon neticesindeki seyahat süreleri şöyledir:

Çekmeköy – Üsküdar : 27 dk.

Çekmeköy – Kadıköy : 35 dk.

Çekmeköy – Yenikapı : 39 dk.

Çekmeköy – Taksim : 47 dk.

Çekmeköy – Atatürk Havalimanı : 71 dk.

Çekmeköy – Atatürk Olimpiyat Stadı : 81 dk.

M5 Metrosunun işletmeye alınması ile ilk yılda 400 otobüs ve 858 minibüs trafikten çekilecektir. Ayrıca milli ekonomide ve kişisel ekonomilerde önemli kazanımlar sağlanacaktır. Toplu taşımada yolculuk süresinin kısılması ve bölge trafiğinin rahatlatılmasıyla zaman tasarrufu, yakıt tasarrufu ve psikolojik rahatlık gibi kişisel

kazançlar sağlayacaktır. Öte yandan, otobüs, minibüs gibi toplu taşıma araçlarının yüksek işletme maliyetlerinin, yol bakım-onarım giderlerinin ve kaza maliyetlerinin azalması ile M5 Metrosunun milli ekonomiye yıllık ortalama katkısı yaklaşık 750 Milyon \$ olacaktır. Metronun işletmeye alınması ile trafikteki motorlu araç sayısında azalmalar meydana gelecek buna bağlı olarak atmosfere salınan CO₂ emisyonu yaklaşık 77.000 ton/yıl azalması öngörülmektedir.[8]

6.1.1 Türkiye'nin Tamamen Sürücüsüz İlk Metro Hattı

M5 Metrosu, Türkiye'nin "Tamamen Sürücüsüz" ilk metro hattı olması ile ön plana çıkmaktadır. Bu özellik, Türkiye ve İstanbul'da gelişmekte olan raylı toplu taşıma sistemlerine ve metro işletme anlayışına birçok yenilikçi unsur getirecektir.

"Tamamen Sürücüsüz" Metro Konsepti

- Değişken yolcu yoğunluğuna (ekonomik bir işletme modeliyle) hızlıca cevap verilmesi,
- Pik saatler dışındaki düşük işletme modlarında ekonomik ve etkin hizmet verilmesi,
- Yüksek kapasitelerde bile düşük arıza oranları ile yüksek sürdürülebilirlik elde edilmesi,
- İnsan hatalarının, otomasyon yardımı ile en aza indirgenmesi,
- Kısalan tren bekleme süreleri ile daha hızlı ve dakik ulaşım sağlanması,
- Peron Ayırıcı Kapı Sistemi ile peronlardaki yolcu emniyetinin artırılması.

Araç üzerinde hiçbir personel bulundurmamak, bir yandan işletmeciye seferleri düzenlemede çok büyük bir esneklik kazandırırken diğer yandan da işletme güvenliğini insan hatalarından izole ederek iyi planlanmış bir otomasyon sistemine emanet etmektedir. İyi bir planlama ile önceden oluşturulmuş eylem planı ve senaryolar, personelin stres altında anlık olarak alması gereken kararlara göre çok daha emniyetli olmaktadır.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Hattı, tek yönde bir saatte taşıyabileceği 64.800 yolcu/saat/yön'lük kapasitesiyle, dünyada ikinci sıraya yer almaktadır. [8]

6.2 Jeodezik Altyapı Oluşturma Çalışmaları

Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş. firmasının, Harita Birimi Yük. Müh. Murat Şeker öncülüğünde metro projesinin jeodezik altyapısının oluşturulması çalışmaları başlamıştır.

Metro güzergâhı boyunca projenin jeodezik altlığını üç boyutlu (3B) bir jeodezik ağ tasarlanmış ve proje için oluşturulacak jeodezik sistemin GPS/GNNS teknolojileri ile değerlendirilmesine ve yükseklik sisteminin hassas nivelman tekniğiyle yapılacak ölçmelerle desteklenerek doğruluğunun artırılmasına, aynı zamanda GPS/GNNS yüksekliklerinin yanı sıra ortometrik yüksekliklerinde belirlenmesine hedeflenmiştir. Çalışmalar boyunca zarar görme olasılığı düşük olan yerler seçilerek noktaların yeri saptanmıştır.

Tüm proje alanını kapsayacak şekilde bir ana ağ belirlenip projenin ilerlemesine olanak sağlayacak şekilde sıklaştırma ağı tasarlanmıştır. Ağın ölçümleri GPS/GNNS gözlemleri ve hassas nivelman tekniğiyle yapılan ölçmelerde özellikle projenin uygulamasını sağlayacak sıklaştırma noktaları öncelikli olacak biçimde gerçekleştirilmiş.

GNSS gözlemleri ileri teknoloji 11 adet çift frekanslı Leica GNSS alıcısı kullanılarak İmge Harita, Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş. Harita Birimi ve İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümü işbirliğiyle 14-16 Mayıs 2012 tarihleri arasında toplam 3 gün süren GNSS ölçümleriyle gerçekleştirilmiştir. Hassas nivelman ölçmeleri Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş. Harita Birimi tarafından gerçekleştirilmiştir. GPS/GNNS gözlemlerinin ve hassas nivelman ölçmelerinin değerlendirmeleri İTÜ IGS-ISTA Uydu Gözlem ve Değerlendirme Laboratuvarında yapılmıştır[9].

6.2.1 Jeodezik Ağ ve GPS/GNNS Gözlemleri

Projeye ana ağına ait noktalar zeminde pilye olarak tesis edilmiş 11 noktadan oluşmaktadır. Bu noktalar üzerindeki GPS/GNNS gözlemleri 14 Mayıs 2012 tarihinde iki farklı oturum yapılarak gerçekleştirilmiştir. Ağ gözlemlerinde,

Uydu Sayısı: en az 4

Kayıt Aralığı: 5 saniye

Minimum Uydu Yüksekliği: 5°

Minimum Gözlem Süresi: ana ağda 3 sıklaştırma ağında 1 saat

Projeye ait sıklaştırma ağı noktaları pilye ve yer tesisleri biçiminde tesis edilmiş toplam 75 noktadan oluşmaktadır. Bu noktalar üzerindeki GPS/GNNS gözlemleri 14-16 Mayıs 2012 tarihleri arasında ana ağa dayalı üç referans ve diğer sekiz alıcı gezici olacak biçimde tasarlanmıştır. GPS/GNNS gözlemleri İmge Harita, Doğu İnşaat ve Ticaret A.Ş. Harita Birimince yapılmıştır[9].

6.2.2 Hassas Nivelman Ölçmeleri ve Değerlendirmeleri

Projede yer alan noktaların doğruluğunu artırmak için hassas nivelman tekniği kullanılarak yeteri sıklıkta tasarlanmış ve Firmanın Harita Birimi tarafından hassas nivelman yapılmıştır. Ölçmelerde Leica DNA03 Dijital hassas nivo 2 metre boyunda invar mira ve çarıklar kullanılmıştır. Nivelman ölçmelerinde alet ile mira arası mesafelerin (geri - ileri) eşit olarak ölçülmesine özen gösterilmiştir. Güzergâh boyunca yapılan ölçmelerde, luplar oluşturulmuş ve gidiş dönüş olarak yapılmıştır. Ölçmeleri serbest olarak dengelenmiş, daha sonra proje için oluşturulan nivelman ağının iç doğruluğunu da koruyarak tek noktadan (IN.4 noktası) datum kazandırılarak zorlamasız dengeleme yapılmıştır[9].

Nivelman ağına datum kazandırılan IN.4 noktası ağ hiyerarşisinde 5. Derece nivelman noktasıdır.

6.2.3 Nivelman İşleminde Dikkat Edilecek Hususlar

Sağlıklı bir deformasyon analizinin en önemli ayağı ölçme işlemidir. Ölçümlerin hassasiyetine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Önlem alınmaması durumunda daha ölçüm aşamasında kaçınılmaz hatalar yapılmakta, iyi bir sonucun elde edilmesini olanaksız kılmaktadır. Doğru bir nivelman işleminin yapılabilmesi için;

- Nivo ile mira arasındaki mesafenin (geri-ileri) eşit olmasına dikkat edilmeli,
- Ölçüm yapılırken miranın çekül doğrultusundan sapmanın önüne geçilmeli,
- Hassas nivelman okumaları için çarık ve payanda kullanılmalı,
- Ölçüler gidiş-dönüş olarak yapılmalıdır.

Ölçülerden beklenen hassasiyetin istenilen düzeyde olabilmesi için, yukardaki kurallara uyulması gerekir.

DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Jeodezik deformasyon araştırmasına önce her ölçme dönemine ait ölçülerin ayrı ayrı dengelenmesi ile başlanır[14]. Dengeleme hesabının amacı, gereğinden fazla sayıda yapılmış ölçülerden hiç birini seçip ayıklamaksızın, bilinmeyenlerin en uygun değerlerini belirlemek, ölçülerin, kesin değerlerini ya da bunların fonksiyonlarının duyarlıklarını ve güvenilirliklerini saptamaktır. Bu amaca ulaşabilmek için uygulanan ilke, Gauss'un ($v^T P v = \min$) "En küçük kareler ilkesi"dir[22].

7.1 Dolaylı Ölçüler Dengelemesi

Dolaylı ölçüler dengelemesinde jeodezik ağda en az iki noktanın koordinatları sabit alınır[11].

Fonksiyonel model;

$$v = Ax - l \quad (7.1)$$

stokastik model ise;

$$P = Q_{ll}^{-1} \quad (7.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Normal denklem katsayılar matrisi;

$$N = A^T P A \quad (7.3)$$

sabit terimler matrisi;

$$n = A^T P l \quad (7.4)$$

olmak üzere $Nx-n = 0$ denkleminin çözümünden yararlanarak normal denklem katsayılar matrisinin inversinin sabit terimler matrisinin çarpımı ile bilinmeyenler vektörü elde edilir.

$$x = (A^T P A)^{-1} n = Q_{xx} \quad (7.5)$$

Dengelenmiş ölçüler ve koordinatlar ise;

$$\bar{l} = l + v \quad (7.6)$$

$$x = x_0 + \delta x \quad (7.7)$$

eşitlikleriyle bulunur. Dengeli ölçülerin ağırlık katsayıları matrisi;

$$\bar{Q}_{ll} = A^T Q A \quad (7.8)$$

düzeltilmelerin ağırlık katsayıları matrisi;

$$Q_{vv} = P^{-1} - A Q_{xx} A^T = Q_{ll} - \bar{Q}_{ll} \quad (7.9)$$

şeklinde yazılabilir.

Birim ağırlıklı ölçünün dengeleme sonucu karesel ortalama hatası; düzeltilmelerin ağırlıklı karelerinin serbestlik derecesine bölümüyle elde edilir.

$$m_0^2 = \frac{v^T P v}{n-u} \quad (7.10)$$

Burada n ölçü sayısını, u ise bilinmeyenlerin sayısını göstermektedir.

7.2 Serbest Ağ Dengelemesi

Ağın konumu, ölçeği, yönlendirilmesi ile ilgili zorlamaları ortadan kaldıran ve nokta duyarlıklarını gerçekçi biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi deformasyon analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

Doğrultu ağlarında doğrultular, kenar ağlarında uzunluklar, doğrultu-kenar ağlarında hem doğrultular ve hem de uzunluklar, nivelman ağlarında yükseklik farkları, trigonometrik nivelman ağlarında düşey açılar ya da yükseklik farkları (düşey açılardan hesaplanır), GPS/GNNS ağlarında üç boyutlu koordinat farkları (kod, faz ve zaman) ölçülür. Bu ölçüler ilgili jeodezik ağa ait bilgi içermez (koordinat sisteminde yeri, yönü ve ölçeği). Bu ölçüler yardımıyla oluşturulan jeodezik ağlara SERBEST ağlar denir.

Bir jeodezik ağı tanımlı bir koordinat sistemindeki yeri, ölçeği ve yönü konusunda bilgi veren parametrelere DATUM parametreleri denir.

- a) Bir nivelman veya trigonometrik nivelman ağının bir koordinat sisteminde tanımlı olabilmesi için en az bir noktasının yükseklik koordinatı o koordinat sisteminde bilinmesi gerekir.
- b) Bir doğrultu ağının bir koordinat sisteminde tanımlı olabilmesi için en az iki noktasının koordinatları bilinmelidir.
- c) Bir doğrultu-kenar ağının bir koordinat sisteminde tanımlı olabilmesi için en az bir noktasının koordinatları bilinmelidir ve en az bir doğrultusunun yönü bilinmelidir.
- d) Bir GPS/GNNS ağının bir koordinat sisteminde tanımlı olabilmesi için en az bir noktasının X, Y ve Z koordinatları o koordinat sisteminde bilinmesi gerekir.

Çizelge : 7.1 Ağ türüne göre datum parametre sayısı (datum defekt)

Ağın Türü	d	Datum parametre Türü	Ağın Tanımlayıcıları
Nivelman	1	1 öteleme	1 noktanın yüksekliği
Trigonometrik	1	1 öteleme	1 noktanın yüksekliği
Doğrultu	4	2 öteleme 1 dönüklük 1 ölçek	2 noktanın (x, y) koordinatı
Doğrultu-kenar	3	2 öteleme 1 dönüklük	1 noktanın (x, y) koordinatı ve bir doğrultunun yönü
GPS/GNNS Ağı	3	3 öteleme	1 noktanın (x,y,z) koordinatları

Bir ağ dengelemesinde ağdaki bazı noktalara dayalı olarak (**zorlamasız dengeleme**) koordinatları hesaplanan yeni noktaların koordinatları ve koordinatların doğrulukları, koordinatı değişmez alınan noktalardan etkilenir. Bunun nedeni; bu ağda yapılan ölçülere ait hatalar sadece yeni noktaların koordinatlarına dağıtılır. Sabit alınan noktalardan uzaklaştıkça biriken hatalar yeni noktaların konum hatalarını büyütür. Bu

bağlamda noktaların konum doğruluğu datum seçimine bağlı olarak değişir. Bu durumdan etkilenmemek için ağlar serbest ağ dengelemesi (**tüm iz minimum yöntemine göre dengeleme**) ile dengelenir. Bu yöntemde bir ağda yapılan hatalar tüm nokta koordinatlarına dağıtılır.

Serbest ağ dengelemesi deformasyon araştırma çalışmalarında kullanılır. Deformasyon izleme amacıyla oluşturulan jeodezik ağlarda noktaların koordinatları ve koordinatların doğrulukları deformasyon analizinde kullanılan giriş değerlerdir. Deformasyon analizi ve yorumu açısından bu değerlerin serbest ağ dengelemesiyle elde edilmiş olunması tercih edilmektedir.

Serbest ağ dengelemesinde ağdaki bütün noktalar bilinmeyen olarak değerlendirildiğinden normal denklem katsayıları matrisinin(N) determinantı sıfır olur. Yani bu matris singüler bir matristir.

Fonksiyonel model;

$$v = A \cdot x - \ell \quad (7.11)$$

Stokastik model;

$$P_u = Q^{-1}_u \quad (7.12)$$

Ağırlıkları Farklı ve Korelasyonlu ölçüler için amaç fonksiyonu

$$v^T Q^{-1}_u v = v^T p \cdot v = \min \quad (7.13)$$

Rank bozukluğu ya da defekt sayısı, serbest datum parametrelerinin sayısına eşittir. Bilinmeyen sayısı u, rank bozukluğu d ile gösterildiğinde normal denklem katsayılar matrisinin rangı $r = u - d$ olur. Normal denklem katsayılar matrisinin tekil olması, açık çözüm için gerekli ölçü sayısından daha çok bilinmeyen öngörülmesinden kaynaklanır[12].

7.2.1 Tüm iz Minimum Çözümü

Tüm iz minimum çözümü, ağın tüm noktalarının datum tanımına katkıda bulunmasını öngören bir serbest dengelemedir. Buna göre, koordinat bilinmeyenleri vektörünün normu ve bunların kofaktörler matrisinin izi minimum olur.

Bu çözümün doğrusallaştırılmış fonksiyonel modeli, düzeltme denklemleriyle koordinat bilinmeyenleri arasındaki koşul denklemlerinden oluşur [12].

$$v = Axg - l \text{ (Düzeltilme denklemleri)} \quad (7.14)$$

$$G^T xg = 0 \text{ (Koşul denklemleri)} \quad (7.15)$$

xg : Koordinat bilinmeyenleri vektörü, ağın tüm noktalarını içerir.

G : Ağın datumunu tanımlar. Tüm noktalar datum tanımına katılır.

Koşul denklemleri sayısı, datum parametrelerinin sayısına eşittir.

Nivelman ağları için normlandırılmış G^T matrisi;

$$G^T = \frac{1}{\sqrt{p}}[111\dots 1] \quad (7.16)$$

şeklindedir.

Bilinmeyenlerin kareleri toplamının minimum olması koşulunu sağlayan tek anlamlı çözüm, normal denklem katsayılar matrisi N 'nin tersi ise;

$$N^+ = (N + GG^T)^{-1} - GG^T \quad (7.17)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Normal denklem katsayılar matrisinin Pseudo tersini alma işlemi için diğer bir çözüm $N^+ = S D^{-1} S^T$ dir. N matrisinin sıfırdan farklı öz değerlerinden oluşan köşegen matris D ve buna karşılık gelen normlandırılmış öz değerler matrisi S ile işlem yapılır. Buna göre;

$$Q_g = N^+ \quad (7.18)$$

yazılabilir. Küçültülmüş bilinmeyenler,

$$x_g = N^+ n = Q_g n \quad (7.19)$$

şeklinde hesaplanır [10].

7.2.2 Kısmi iz Minimum Çözümü

Bu çözüm, ağın tüm noktalarını içeren küçültülmüş koordinat bilinmeyenleri vektörünün bir bölümünün normunun ve ağırlık katsayıları matrisinin buna karşılık alt matrisinin izinin en küçük olmasını, yani ağın noktalarından yalnızca bir bölümünün

datum tanımına katılmasını öngören serbest dengelemedir. En uygun konumlandırma, ağın yalnızca datum tanımına sokulan noktalar bölümünde gerçekleştirilmektedir [10].

Kısmi iz minimum çözümünün fonksiyonel modeli oluşturulurken, tüm iz minimum yönteminin fonksiyonel modelindeki G yerine, G matrisinden datum tanımına katılmayan noktalara karşılık tüm elemanlar için "0" yazılarak elde edilen bir B matrisi geçmektedir. Bu durumda fonksiyonel model;

$$v = Axi - l \text{ (Düzeltilme denklemleri)} \quad (7.20)$$

$$B_i^T x_i = 0 \text{ (Koşul denklemleri)} \quad (7.21)$$

biçimindedir.

Koordinat bilinmeyenlerinin Q_i ağırlık katsayıları matrisi N normal denklem katsayıları matrisinin genel inversidir. Küçültülmüş bilinmeyenler;

$$Q_i = N^{-1} \quad (7.22)$$

$$X_i = Q_i n \quad (7.23)$$

$$Q_i = (N + B_i B_i^T)^{-1} - G(G^T B_i B_i^T)^{-1} G^T \quad (7.24)$$

şeklinde elde edilir.

7.2.3 Klasik Dengeleme

Datum tanımı için defekt sayısı kadar koordinat bilinmeyeninin seçildiği kısmi iz minimum çözümüdür. E matrisinin köşegeni üzerinde datum noktalarına karşılık 1, diğerleri için 0 değeri yazılır. x küçültülmüş bilinmeyenleri vektörü içinde datum noktaları ilk sırada x_1 'i, diğerleri x_2 'yi oluştursun. Çözüm sonucu $x_1=0$ ve Q_i matrisinin x_1 alt vektörüne karşılık satır ve sütun elemanları 0 çıkar. Buna göre;

$$Q_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & Q_{x_2 x_2} \end{bmatrix}, X_2 = Q_{x_2 x_2}^{-1} n_2 \text{ olur.} \quad (7.24)$$

A matrisinin x_2 bilinmeyenlerine karşılık bölümü A_2 ile gösterilirse, ağırlık katsayılar matrisi ve sabit terimler;

$$Q_{x_2 x_2} = (A_2^T P A_2)^{-1}, n_2 = A_2^T P l \quad (7.25)$$

olur. Küçültülmüş koordinat bilinmeyenleri;

$$x_2 = Q x_2 x_2 n_2 \quad (7.26)$$

şeklinde hesaplanır [10].

7.2.4 S – Dönüşümü

Yeni bir dengeleme yapmaksızın, tüm serbest ağ dengelemelerinin sonuçları arasında bir S matrisiyle yapılan dönüşümlere S- dönüşümü adı verilir. Bu dönüşüm deformasyon analizinde büyük kolaylık sağlar.

Zorlamasız klasik dengeleme sonuçları, S_g ve S_i matrisleriyle tüm iz minimum ve kısmi izminimum sonuçlarına dönüştürülebilir. Bu matrisler,

$$S_g = E - G(G^T G)^{-1} G^T \quad (7.27)$$

$$S_{ic} = E - G(B_I^T G)^{-1} B_I^T \quad (7.28)$$

şeklindedir. Bu eşitliklerde E matrisi birim matristir.

Örneğin, zorlamasız klasik dengeleme sonuçları x_k ve Q_k ise tüm iz minimum sonuçları,

$$x_g = S_g x_k \quad (7.29)$$

$$Q_g = S_g Q_k S_g^T \quad (9.30)$$

ve kısmi iz minimum sonuçları,

$$x_i = S_i x_k \quad (7.31)$$

$$Q_i = S_i Q_k S_i^T \quad (7.32)$$

eşitlikleriyle elde edilir[13].

7.3 Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri

Duyarlık ölçütleriyle oluşturulan nivelman ağlarının amaçları için yeterli olup olmadığı denetlenir. Duyarlık ölçütleri, seçilen uygun bir dengeleme modeli ile yapılan hesaplama sonucu elde edilen büyüklüklerdir. Dengeleme modelinin geçerli olup olmadığı ya da ölçülerin değerlendirilmesi aşamasında model hataları oluşup oluşmadığı da güven ölçütleri ile denetlenir[14].

7.3.1 Nivelman Ağlarında Duyarlık Ölçütleri

Geçerli bir dengeleme modeli kullanılarak elde edilebilen duyarlık ölçütleri, ağın kalitesini denetleyen ölçütlerdir.

Dengelemenin matematik modeli, fonksiyonel model ile stokastik modelden oluşmaktadır.

Nivelman ağlarında matematik model;

$$\Delta h_{ij} + v_{ij} = H_j - H_i \quad (7.33)$$

şeklinde kurulur.

Burada ;

H_i, H_j : i ve j noktalarının yükseklikleri,

Δh_{ij} : i ve j noktaları arasında ölçülen yükseklik farkı,

V_{ij} : Ölçüye eklenecek düzeltmedir. Dengelemenin fonksiyonel modeli ve stokastik modeli aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$l + v = Ax \quad (7.34)$$

$$K_{ll} = s_0^2 Q_{ll} \quad (7.35)$$

Model en küçük kareler ilkesine göre $v^T P v = \min$ koşulunu sağlayacak biçimde çözülürse;

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (7.36)$$

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} \quad (7.37)$$

$$Q_{vv} = P^{-1} - A Q_{xx} A^T \quad (7.38)$$

$$v = Q_{vv} P l \text{ olmak üzere birim ölçünün varyansı; } \quad (7.39)$$

$$m_0^2 = \frac{v^T P v}{n-u} \text{ şeklinde bulunur. } \quad (7.40)$$

7.3.1.1 Model Hipotezinin Testi

Birim ölçünün ortalama hatası s_0 , bu büyüklüğün dengelemeden sonra elde edilen soncul değeri m_0 ile gösterilirse;

$$H_0 = E \{ s_0^2 \} = E \{ m_0^2 \} = \sigma_0^2 \text{ Sıfır Hipotezi} \quad (7.41)$$

biçiminde kurulur.

Gerek öncül değer s_0 ve gerekse soncul değer m_0 aynı bir kuramsal standart sapma σ_0 'ın uygulamada elde değerleri olduklarından, umut değeri koruyan büyüklüklerdir [22]. Test büyüklüğü T hesaplanır.

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \quad (7.42)$$

$T < F_{(f, f_0, 1-\alpha/2)}$ ise dengeleme modeli geçerlidir. Fonksiyonel model ve stokastik model yeterlidir.

$T > F$ ise dengeleme modeli geçersizdir. Kaba hatalı ölçü ya da ölçüler bulunabilir. Ağırlıkların doğru tahmin edilip edilmedikleri kontrol edilmelidir. Aletlerin ayar hataları denetlenmelidir. Fonksiyonel modelin yeterliliği incelenmelidir.

7.3.1.2 Genişletilmiş Modelin Testi

Gözlemlerde sistematik ölçü hataları varsa, dengelemenin stokastik modelinde hata yapıldığı sonucuna varılır. Bu durumda stokastik model gerçeğe uygun olarak belirlenir veya bu etki bozucu parametre ile temsil edilecek şekilde fonksiyonel modele eklenerek genişletilmiş fonksiyonel model elde edilir. Nivelman ağlarında bu bozucu etki refraksiyon olabilir. Bu durumda fonksiyonel model

$$\Delta h_{ij} + v_{ij} = H_j - H_i + \Sigma(r^2 \Delta Z) \quad (7.43)$$

şeklinde olur[14].

Bu eşitlikte r mira uzaklığını, ΔZ her alet kurmada belirlenen yükseklik farkını gösterir. Başka bir bozucu etki, jeomağnetik etki olabilir. Bu durumda fonksiyonel model,

$$\Delta h_{ij} + v_{ij} = H_j - H_i + \varphi_{ij} a_1 \quad (7.44)$$

a_1 : jeomağnetik etki φ_{ij} : i ve j noktaları arasındaki enlem farkları olmak üzere oluşturulur. Yukarıdaki gibi bozucu parametreler eklenerek genişletilmiş fonksiyonel model elde edilir[14].

Bu durum aşağıdaki gibi genelleştirilebilir.

$$v + l + \Delta l = A_x A_2 y \quad (7.45)$$

Genişletilmiş fonksiyonel model

Δl : Sistematik ölçü hataları vektörü

Y : Bozucu parametreler

A_y : Bozucu parametrelerin katsayılar matrisi

$$K_{yy} = s_0^2 Q_{yy} \text{ Bozucu parametrelerin varyans-kovaryans matrisi} \quad (7.46)$$

Q_{yy} : Bozucu parametrelerin ters ağırlık matrisi

Genellikle bozucu parametrelerin varyans-kovaryans matrisinin belirlenmesi zordur.

Bozucu parametrelerin katsayılar matrisi biliniyor, buna karşın stokastik özellikleri hakkında bilgi edinilemiyorsa özel bir durum ortaya çıkar[14]. Bu durumda bozucu parametrelerin ağırlık matrisi $P_{yy} = 0$ olur.

$$K = \begin{bmatrix} K_{ll} & 0 \\ 0 & K_{yy} \end{bmatrix} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & P \end{bmatrix}^{-1} \quad (7.47)$$

Genişletilmiş model en küçük kareler yöntemine göre çözülerek,

$$x = Q_{xx}n_x + Q_{xy}n_y \quad (7.48)$$

$$y = Q_{yx}n_x + Q_{yy}n_y \quad (7.49)$$

elde edilir. Buradan düzeltmeler ve birim ölçünün ortalama hatası,

$$v = Ax + A_y y - l \quad (7.50)$$

$$m_g^2 = \frac{v^T P v}{n - u} \quad (7.51)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Genişletilmiş dengeleme modelinin stokastik modelinde $P_{yy} = 0$ alınırsa, sadece fonksiyonel model genişletilmiş olmaktadır. Bu durumda genişletilmiş fonksiyonel modelin testi, bozucu parametrelerin (y) ölçü vektöründe (l) sistematik hataya (i) neden olup olmadığının denetlenmesiyle aynı anlama gelmektedir. Başka bir deyişle, fonksiyonel modelin genişletilmesinin anlamlı olup olmadığı, bozucu parametrelerin (y) anlamlılık testiyle belirlenebilmektedir[14].

$H_0: y = 0$ Sıfır Hipotezi

$H_S: y \neq 0$ Seçenek Hipotezi

Sıfır hipotezi geçerli ise; test büyüklüğü,

$$T_g = \frac{y^T Q_y^{-1} y}{u_g m_g^2} \text{ olur.} \quad (7.52)$$

Payın serbestlik derecesi bozucu parametre sayısı olan u_g , paydanın serbestlik derecesi f olan Fisher dağılımındadır.

$T_g > F(u_g, f, 1-\alpha)$ ise sıfır hipotezi geçersiz sayılır. Fonksiyonel modelin genişletilmesi anlamlıdır yorumu yapılır. $T_g < F(u_g, f, 1-\alpha)$ ise sıfır hipotezi geçersiz sayılamaz. Fonksiyonel modelin genişletilmesi anlamlı değildir yorumu yapılır.

JEODEZİK DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN ANALİZİ**8.1 Deformasyon Analizinde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri**

Uygulamada kullanılan pek çok analiz yöntemi mevcuttur. Bu bölümde, uygulamalarda en sık tercih edilen birkaç yöntem hakkında kısaca bilgi verilmiş ve bu çalışmada kullanılan “Hannover Yaklaşımı (Ortalama Aykırılık Yöntemi - θ^2 Yöntemi) ile Deformasyon Analizi” açıklanmıştır.

8.1.1 Analitik Yöntem ile Deformasyon Analizi

Analitik yöntemle, önce ağın ölçü periyotları arasında geçen zaman içinde konumu (veya yüksekliği) değişmeyen noktalar aranır. İlk olarak, farklı periyotlardan bulunan sonuçlar bir transformasyonla benzerlik dönüşümüne tabi tutulur. Daha sonra, bir ön test işlemi ile iki veya daha fazla değişmez nokta belirlenir. Bundan sonra ağın iki periyodu birlikte dengelenerek sabit noktalar dışındaki noktalarda yeniden test işlemi uygulanır ve

$$T_{dj} = \frac{d_j^T Q_{dj}^{-1} d_j}{2m_0^2} \quad (8.1)$$

eşitliğinden test büyüklüğü hesaplanır. Burada m_0^2 , birim ağırlıklı ölçünün örneklem varyansdır[4].

Testin karşılaştırma ölçütü, $1-\alpha$ istatistik güven 2, $f = n-u + r$ serbestlik dereceleri ile F-Fisher dağılım çizelgesinden alınır. Bu değerin T_{dj} 'den büyük olması durumunda sıfır hipotezi geçerlidir. Yani P_j noktasında $t_{i+1} - t_i$ zaman aralığında, α yanılma olasılığı ile konum değişmemiştir. Ters durumda ise, P_j noktasında bir deformasyon oluştuğuna

karar verilir. Test işlemi bütün obje noktalarına tek tek uygulanır. Elde edilen değerler yardımıyla obje noktalarında anlamlı bir hareket olup olmadığı istatistiksel açıdan denetlenir.

8.1.2 Bağlı Güven Elipsleri Yöntem ile Deformasyon Analizi

Bu yöntemle deformasyon analizinde her bir nokta için bağlı güven elipslerinin elemanları hesaplanır ve uygun bir ölçekte çizilir. Aynı şekilde bu noktalara ait hareket vektörleri de bir ucu elips merkezinde olmak üzere aynı ölçekte çizilir. Vektörün elipsi taşıdığı noktalarda, deformasyonun varlığından söz edilebilir. Bu yöntem, doğrudan doğruya analitik yöntemin geometrik bir yorumudur[4].

Jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçülerinin analizi inceleme konusu olan objeyi temsil eden noktaların iki ya da daha fazla sayıdaki koordinat kümesinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Büyük mühendislik yapılarının yatay konum değişimlerini izlemek amacıyla oluşturulan yerel kontrol ağlarının geometrik analizi şeklinde geliştirilen Karlsruhe yaklaşımı, farklı ölçme dönemlerinden elde edilen koordinatların farklarından bulunan yer değiştirme vektörlerinin ilgili noktalara ilişkin bağlı güven alanlarının dışında kalmaları durumunu anlamlı yer değiştirme yani deformasyon varsayan görsel yoruma dayanmaktadır [15].

8.1.2.1 Matematiksel Modelin Kurulması

Her ölçü dönemine ait ölçüler ilk olarak serbest ağıyöntemine göre dengelenir. Bunun için matematiksel model;

$$l_1 + v_1 = A_1 x_1 \quad (8.2)$$

$$K_{lil} = \sigma_0^2 Q_{lil} \quad (8.3)$$

$$\text{cov}(l_i, l_j) = 0 \quad i \neq j \quad (8.4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada t_i ve t_j ölçme dönemleri i ve j indisleriyle tanımlanır.

$$\Omega = \sum \Omega_i \quad (8.5)$$

$$F = \sum f_i \quad (8.6)$$

Ölçme dönemlerine ait Ω_1 karesel formlarından ve f_1 serbestlik derecelerinden tüm düzeltmelerin ağırlıklı toplamı Ω ve toplam serbestlik derecesi f bulunur[15].

8.1.2.2 Referans Noktalarının Belirlenmesi

Referans noktalarının belirlenmesinde ağ bölümlerinin uygunluğunu kontrol etmek için tüm ölçme dönemlerine ait ölçüler birlikte dengelenir. İki dönemin birlikte değerlendirilmesi durumunda fonksiyonel model;

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{R1} & A_{01} & 0 \\ A_{R2} & 0 & A_{02} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ x_{01} \\ x_{02} \end{bmatrix} \quad (8.7)$$

Olarak tanımlanır. Burada;

x_R = Referans noktaları koordinat bilinmeyenleri vektörü

x_{01} = Obje noktaları koordinat bilinmeyenleri vektörü (t_1 ölçme dönemi için)

x_{02} = Obje noktaları koordinat bilinmeyeni vektörü (t_2 ölçme dönemi için)

Nivelman ağlarında h koşullarının sayısı;

$h = 1$ (referans noktaları sayısı) – d

T test büyüklüğü, α yanılma olasılığı için $F_{\{h, f, \alpha\}}$ test büyüklüğü değerinden küçükse ağın bütün referans noktalarının hareketsiz olduğu sonucuna varılır. Aksi durumda referans noktalarındaki hareketli noktaların adım adım araştırılması gerekmektedir. Bunun için her adımda bir nokta değişken olarak alınır.

Fonksiyonel modelin yeni şekli;

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{R1} & A_{R1i} & 0 & A_{01} & 0 \\ A_{R2} & 0 & A_{R2i} & 0 & A_{02} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ x_{R1i} \\ x_{R2i} \\ x_{01} \\ x_{02} \end{bmatrix} \quad (8.8)$$

olarak tanımlanır. Referans noktaları kümesinden çıkarılması durumunda en küçük Ω_H , yani R değerini veren noktanın hareketli olduğuna karar verilir. Test büyüklüğü;

$$T(i) = [R(i)_{\min} / (h-1)] (f/\Omega) \quad (8.9)$$

olur. Bu referans noktası sonraki adımda obje noktası gibi değerlendirilir. Eğer $T(\backslash i)$ değeri $F_{\{h-1, f, \alpha\}}$ değerinden büyükse kalan referans noktaları arasında işlem tekrarlanır. Deformasyon belirlenmesi için kullanılacak olan hareketsiz referans noktaları tespit edilir.

8.1.2.3 Deformasyonların Yerelleştirilmesi

Bu aşamada, kontrol ağının hareketsiz bölümünden faydalanılarak tek nokta hareketleri araştırılır. İki ölçme döneminin birlikte dengelenmesinde bilinmeyenler vektörü (8.7) modeline göre;

$$X^T [x_R \ x_{01} \ x_{02}] \quad (8.10)$$

şeklindedir. $Bx = w$ koşul denklemlerinde geçen B matrisi ve w vektörü;

$$B = [0_R \ 0 \dots -I \dots 0 \dots I \dots 0], \ w=0 \quad (8.11)$$

şeklinde alınarak sıfır ve seçenek hipotezleri;

$$H_{0: \ x_{02} - x_{01} = 0 \quad (8.12)$$

$$H_{a: \ x_{02} - x_{01} = d \neq 0 \quad (8.13)$$

Olarak öngörülür. Her obje noktası için di fark vektörü;

$$D_i = B d \quad (8.14)$$

$$d_i = [dh]_i = [h_{02} - h_{01}]_i \quad (8.15)$$

şeklinde yazılır. Ağırlık katsayıları matrisi;

$$Q_{hh} = \begin{bmatrix} Q_{RR} & Q_{R01} & Q_{R02} \\ Q_{01R} & Q_{0101} & Q_{0102} \\ Q_{02R} & Q_{0201} & Q_{0202} \end{bmatrix} \quad (8.16)$$

biçiminde alt matrislerden oluşur. Her obje noktası için fark vektörünün ağırlık katsayıları alt matrisi;

$$Q_{di} = B Q_{xx} B^T \quad (8.17)$$

$$Q_{di} = [Q_{hhd}]_i \quad (8.18)$$

$$Q_{hhd} = Q_{h1} + Q_{h2} - 2 Q_{h12} \quad (8.19)$$

şeklinde olur. Her noktası için H_a seçenek hipotezince olarak tanınan d_i fark vektörünün deformasyon olup olmadığına kanaat getirebilmek için T test büyüklüğü;

$$T = \frac{d_i^T Q_{di}^{-1} d_i}{m_0^2} \quad (8.20)$$

Şeklinde oluşturulur. Test büyüklüğü; $f_1=2$ ve $f_2=f$ serbestlik dereceleri ve α yanılma olasılığı ile F dağılımının buna ait sınır değerinden büyükse, o obje noktasının t_1 ve t_2 ölçme dönemleri arasında hareketli olduğu kanısına varılır. Deformasyon vektörünün büyüklüğü ve yönü;

$$d_i = d_{hi} \quad (8.21)$$

bağıntılarından bulunur [15].

Eğer T test büyüklüğü F sınır değerinden küçükse, d_i fark vektörünün α yanılma olasılığı ile istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, d_i fark vektörünün kaçınılmaz ölçü hatalarından kaynaklandığı yorumu yapılır.

8.1.2.4 Deformasyonların Grafik Yorumu

Deformasyonların grafik yorumu söz konusu olduğunda O_i obje noktasına ait d_i fark vektörünün varyans-kovaryans matrisinin tersi;

$$K_{di}^{-1} = \frac{1}{m_0^2} Q_{di}^{-1} \quad (8.22)$$

şeklindedir. Bu eşitlik test büyüklüğünde yerine konulur ve $T_i = F\{h-1, f, \alpha\}$ alınır;

$$d_i^T K_{di}^{-1} d_i = 2F_{\{h-1, f, \alpha\}} \quad (8.23)$$

elde edilir. Bu eşitlik bir elips denklemdir ve dengeleme sonucunda bulunan O_{i1} ve O_{i2} nokta çiftine ait güven elipsini vermektedir. Dengeleme sonuçlarından d_i fark vektörü ve Q_{di} ağırlık katsayıları matrisi hesaplandıktan sonra aşağıdaki bağlantılarla Helmert bağıl hata elipsinin eksen uzunlukları belirlenir. Ancak yükseklik ağırları tek boyutlu olduğundan hata aralığı;

$$A_H = m_0 \sqrt{\lambda_A} \quad (8.24)$$

$$\lambda_A = 0.5 Q_{hhd} \quad (8.25)$$

eşitlikleriyle belirlenir. Bu uzunluklarda $\sqrt{2F_{\{2,f\alpha\}}}$ ile büyütülerek seçilen α istatistiksel yanlışma olasılığı ile O_i nokta çifti için güven aralığı bulunmuş olur. Eğer,

$$d_i > \sqrt{2F_{\{2,f\alpha\}}} m_{di} F \quad (8.26)$$

ise d_i vektörünün hareketli olduğuna karar verilir.

Bu bağıntıda $\sqrt{2F_{\{2,f\alpha\}}}$ ifadesi, f serbestlik derecesinin büyük değerlerde olması durumunda 3 değerine yaklaşmaktadır. Dolayısıyla bu durum, fark vektörünün standart sapmanın 3 katından büyük olması durumunda deformasyon olarak yorumlanacağı sonucuna götürmektedir. (8.26) eşitliği üzerinde ağgeometrisinin de etkili olacağı düşünüldüğünde, bağıl güven elipslerinde eksen uzunluklarının hesabına benzer şekilde;

$$d_i > \sqrt{2F_{\{2,f\alpha\}}} m_{di} \sqrt{\lambda_A} \quad (8.27)$$

bağıntısı yazılabilir.

Deformasyonların grafik yorumunda dengeleme sonuçlarına göre nokta çiftleri ölçekli biçimde çizildikten sonra, elemanları hesaplanmış bağıl güven aralıkları bu noktalardan biri üzerine yerleştirilir. Nokta çiftinin diğeri bu aralığın dışında kalıyorsa, (t_2-t_1) aralığında düşey yönde konum değişikliği vardır yorumu yapılır [15].

8.1.3 Ortalama Aykırılıklar Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Hannover Yaklaşımı yerli ve yabancı yayınlarda; Teta-Kare Yöntemi, Pelzer Yöntemi, Ortalama Aykırılıklar Yardımıyla Deformasyon analizi ve Uygunluk (Eşdeğerlik) Testi gibi adlar altında sunulmaktadır.

Tünel çalışmalarında yapılan jeodezik deformasyon ölçmelerinde ölçmeler bütün güzergâh boyunca komple yapılmamaktadır. Ölçmeler tünelin açıldığı bölgenin bir miktar önü ve sonunu kapsayacak şekilde gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla jeodezik deformasyon ölçmeleri açısından düzenli bir ağ yapısından söz etmek mümkün olmamaktadır. Hannover yaklaşımında, karşılaştırılan ölçme dönemleri arasında aynı ağ yapısı ve ölçü planının uygulanması zorunlu değildir [16].

8.1.3.1 Matematiksel Modelin Oluşturulması

Ağ noktalarının konumlarının belirlenmesi için önce farklı dönemlerde yapılan ölçüler ayrı ayrı serbest ağ yöntemi ile dengelenir. Bu aşamada farklı dönemlerdeki ölçüler arasında korelasyon olmadığı kabul edilmektedir. İki ölçme dönemi için dengeleme modeli,

$$\ell_1 + v_1 = A_1 \chi_1, A_1^T P_1 A_1 \chi_1 - A_1^T P_1 \ell_1 = 0, N_1 \chi_1 - n_1 = 0, \chi_1 = N_1^+ n_1 \quad (8.28)$$

$$N_1^+ = Q_1 = (N_1 + G G^T)^{-1} - G (G^T G G^T G)^{-1} G^T$$

$$m_{01}^2 = \frac{v_1^T P_1 v_1}{f_1}, f_1 = n_1 - u_1$$

$$\ell_2 + v_2 = A_2 \chi_2, A_2^T P_2 A_2 \chi_2 - A_2^T P_2 \ell_2 = 0, N_2 \chi_2 - n_2 = 0, \chi_2 = N_2^+ n_2 \quad (8.29)$$

$$N_2^+ = Q_2 = (N_2 + G G^T)^{-1} - G (G^T G G^T G)^{-1} G^T$$

$$m_{02}^2 = \frac{v_2^T P_2 v_2}{f_2}, f_2 = n_2 - u_2 \quad (8.30)$$

yukarıdaki eşitliklerinde olduğu gibi kurulur. Bu eşitliklerde geçen G matrisi ağ noktalarının ağırlık merkezine indirgenmiş yaklaşık koordinatları ile kurulan matristir. Eğer iki ölçme dönemine ilişkin birim ağırlıklı ölçülerin standart sapmaları m_1 ve m_2 uyumlu ise bunların ağırlıklı ortalaması ise;

$$m_0^2 = \frac{f_1 s_1^2 + f_2 s_2^2}{f_1 + f_2} \quad (8.31)$$

hesaplanır [17].

8.1.3.2 Test İstatistiğinin Oluşturulması

Ölçme dönemleri arasındaki hareketlerin ortaya çıkarılması $B\chi - w = 0$ (sıfır hipotezi) koşulu ile

$$H_0 : | - E E | \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (8.32)$$

olarak öngörülür. Bu hipotez gerçekleşiyorsa ağın herhangi bir yerinde hareket olmadığı sonucuna varılır. Gerçekleşmiyorsa PELZER (1971) tarafından aykırılık vektörü

$$d = x_2 - x_1 \quad (8.33)$$

olarak adlandırılan, fark vektörü oluşturulur. Bu vektörün tekil ağırlık katsayıları matrisi;

$$Q_{dd} = Q_{11} + Q_{22} \quad (8.34)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Sıfır hipotezi geçerli ise d fark vektörünün ölçü hatalarından kaynaklandığı söylenebilir. Q_{dd} 'nin genelleştirilmiş inversi olan ağırlık merkezi (8.28) ve (8.29) eşitliklerindeki N_1 ve N_2 'nin inversine benzer şekilde

$$P_{dd} = Q_{dd}^+ = (Q_{dd} + GG^T)^{-1} - G(G^T GG^T G)^{-1} G^T \quad (8.35)$$

hesaplanır. $B\chi - w = 0$ formundüzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi

$$\Omega_H = V_H^T P V_H = v^T P v + R \quad (8.36)$$

olmaktadır. Burada önemli olan x_1 ve x_2 vektörlerinin aynı datumda olmasıdır. Eğer jeodezik datumun irdelenmesi söz konusu ise

$$\text{rang}\{Q_{11}\} = \text{rang}\{Q_{22}\} = \text{rang}\{Q_{11} + Q_{22}\} = \text{rang}\{Q_{dd}\} \quad (8.37)$$

olarak PELZER (1971) tarafından hesaplanan

$$\theta = \sqrt{\frac{R}{h}} \quad (8.38)$$

değeri ortalama aykırılık olarak adlandırılmıştır. Eğer eşdeğerlik testinin test büyüklüğü,

$$T = \frac{Q^2}{S^2} = \frac{d^2 P_{dd} d}{S^2 h} \quad (8.39)$$

Test büyüklüğü $F\{h, f, \alpha\}$ olasılık değerinden büyük ise ağıın herhangi bir yerinde anlamlı nokta hareketi olduğu yargısına varılır.

8.1.3.3 Referans Noktalarının Belirlenmesi

Sıfır hipotezinin ret edilmesi durumunda hareketli noktaları belirleyebilmek için d fark vektörü ve onun p_{dd} ağırlık katsayılar matrisi S hareketsiz nokta grubunu, O hareketli nokta grubunu gösteren indisler olmak üzere

$$d = \begin{bmatrix} d_s \\ d_o \end{bmatrix}, P_{dd} = \begin{bmatrix} P_{ss} & P_{so} \\ P_{os} & P_{oo} \end{bmatrix} \quad (8.40)$$

biçiminde alt matrislere ayrılır. Bu alt matrisler GAUSS yöntemi ile indirgenerek

$$d_o = d_o - P_{oo}^{-1} P_{os} d_s \quad (8.41a)$$

$$P_{ss} = P_{ss} - P_{so} P_{oo}^{-1} P_{os} \quad (8.41b)$$

kısa gösterimleri ile $B\chi - w = 0$ koşulunun düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi

$$R = d^T P_{dd} d = d_s^T P_{ss} d_s + d_o^T P_{oo} d_o \quad (8.42)$$

biçiminde stokastik olarak bağımsız iki bileşene ayrılır. Deformasyonların belirlenmesi aşamasında sırayla ağın her noktası kuşku duyulan o hareketli noktası olarak ele alınır. Böylece her adımda başka bir noktanın koordinatları d_o alt vektörünü oluşturur. Bu durumda nokta sayısı kadar

$$R = (d_o^T P_o d_o)_i \quad (8.43a)$$

aykırılık hesaplanır. Toplam aykırılık R' deki payı en büyük olan

$$R_{maks} = maks(R_i) \quad (8.43b)$$

Olan noktada α yanılma olasılığı ile hareketli olduğuna karar verilir. Ağda hareketli başka noktalar bulunup bulunmadığını sorgulamak için fark vektörü d ve bunun ağırlık katsayılar matrisi Q_{dd} ve S- dönüşümü ile kalan noktaların datumuna dönüştürülür.

Dönüşüm matrisi

$$S_i = E - G(B_i^T G)^{-1} B_i^T \quad (8.44)$$

$$d_I = S_i d \quad (8.45a)$$

$$Q_{didi} = S_i Q_{dd} S_i^T \quad (8.45b)$$

şeklinde dir. Burada B_i matrisi, G matrisinin hareketli olup olmadığı sorgulanan noktasına karşı gelen satır elemanları sıfırlanarak elde edilen matrisidir. i 'inci datum dönüşümünden sonra fark vektörü

$$d_i = \begin{bmatrix} d_D \\ d_N \end{bmatrix} = S_i \begin{bmatrix} d_s \\ d_o \end{bmatrix} = S_i d \quad (8.46)$$

biçiminde alt matrislerden oluşur. Burada d_D datum dönüşümüne katılan noktaları, d_N ise dönüşüme katılmayan noktaları göstermektedir. d_s ve d_o alt vektörlerine ayırma

işlemi, toplam aykırılıktaki payları en büyük olan R_{maks} noktalarının tümü d_0 'da kalacak biçimde olursa i' inci adımdan sonra

$$R_{kalan} = d_D^T P_{DD} d_D \quad (8.47)$$

eşitliği ile hesaplanır. Kalan aykırılık için R_{kalan} 'nın serbestlik derecesi

$$h_D = h - m \text{ m: Bir boyutlu ağlarda bir, iki boyutlu ağlarda ise ikidir.} \quad (8.48)$$

ile hesaplama test büyüklüğü

$$T_D = \frac{R_{kalan}}{S^2 h_D} \quad (8.49)$$

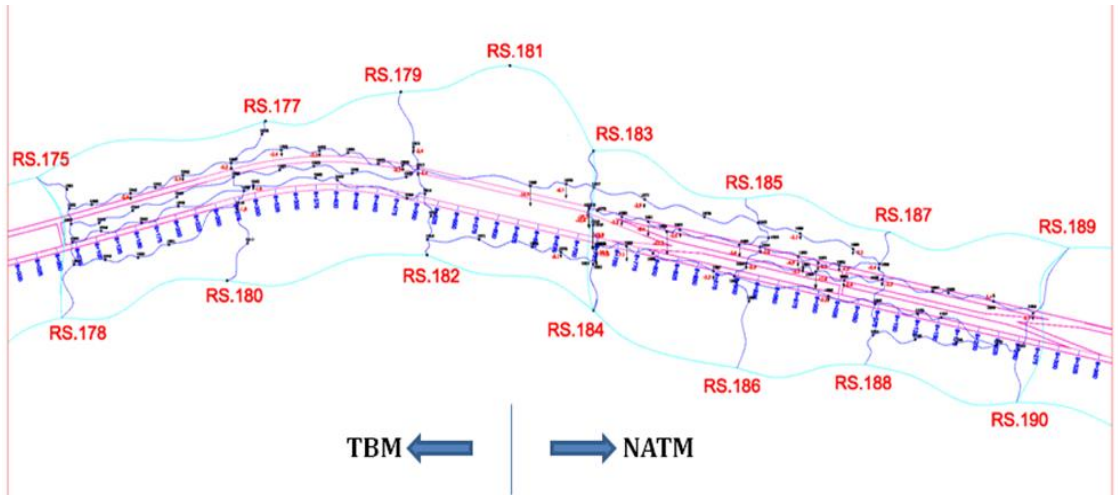
F- testinin $F\{h, f, \alpha\}$ D olasılık değerinden büyük ise $i+1$ 'inci adıma geçilir. Bu aşamada yeni bir S-dönüşümü ile yeni datum verilip matrisler alt matrislere ayrılır. Bu durumda (8.47) eşitliğinde geçen d_D ve P_{DD} 'inci adımın büyüklükleridir. Eğer jeodezik ağ referans ve obje noktaları gibi iki aşamalı yapıya sahip ise yukarıda açıklanan irdelemeler önce referans noktaları kümesi üzerinde gerçekleştirildikten sonra obje noktalarında deformasyon araştırmasına geçilir [18].

9.1 Çalışma Bölgesinin Seçimi

Doğuş Holding bünyesinde yapılmakta olan M5 Metrosu tünel açma çalışmaları hattın 8+575'inci kilometresine rastlayan Ümraniye Belediyesi Ek Hizmet Binası karşısındaki Ümraniye istasyonuna ait şafttan çift yönlü olarak başlamıştır(Şekil 9.1), (Şekil 9.2). Üsküdar yönüne olan çalışmalar, 8+720 ile 8+000 km'leri arasında TBM ile Çekmeköy yönünde 8+720 ile 9+300 km'leri NATM yöntemiyle kazılmaya başlanmıştır. Çalışmanın bu bölgeden başlaması, TBM ile NATM tünelinin aynı noktadan uygulanması bölge seçiminin yapılmasında etkili olmuştur.



Şekil 9.1 Çalışma bölgesinin ortofoto görüntüsü



Şekil 9.12 Çalışma bölgesine ait nivelman yolları ve oturma bulonlarını haritası

9.2 Çalışma Bölgesinde Yapılan Jeodezik (Nivelman) Çalışmaları

Firma harita birimince birinci periyot ölçüleri (t_0) hem ana nivelman ağına ait hem de binalarda ve zeminde tesis edilen oturma bulonları (obje noktaları) kazı başlamadan önce Leica DNA03 Dijital nivo ile yapılmış hassas nivelman çalışmalarından elde edilen kot farkına(ΔH) ait değerler firmadan alınmış, kazı ilerledikçe hat yakınındaki bulonlara hassas geometrik nivelman ölçüleri 5-10 gün süreyle her gün ölçülmüştür. Böylece 2. periyot dataları oluşturulmuştur. Tezimizin konusunu oluşturan bölgenin ölçüm dataları tüm verinin içinden ayrılmıştır. Çalışma alanı kendi içinde iki bölgeye ayrılmıştır. 8+720 ile 8+000 km'leri arasında TBM kazısını kendi içinde, 8+720 ile 9+300 km'leri NATM yöntemiyle yapılan kazı ayrı olarak değerlendirilmiştir.

9.2.1 Ölçülerin Değerlendirilmesi

Referans noktalarının gidiş-dönüş ölçülerinden yararlanarak öncül varyans değeri hesaplanmış ve bu değerin 0.16 mm^2 olarak hesaplanmıştır. Çalışma bölgesinde yapılan ölçüler, MATLAB R2010a sürümünde yazılan programın kodları (Ek-A) aracılığıyla, **En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY)** ile serbest ağ dengeleme yöntemlerinden tüm iz minimum çözümü ile her periyot için ayrı ayrı yapılmıştır. NATM bölgesinde;

- 1. Periyot varyans değeri 0.168 mm^2 ,
- 2. Periyot varyans değeri 0.185 mm^2 ,

hesaplanmıştır.

TBM bölgesinde;

- 1. Periyot varyans değeri 0.168 mm^2 ,
- 2. Periyot varyans değeri 0.185 mm^2 ,

olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler öncül varyans değeri ile uyumludur.

9.2.2 NATM Kazı Bölgesi

NATM tünel açma işlemi yapılan bölgede 8 adet referans noktası, 45 adet obje noktası toplam 53 nokta bulunmaktadır. Kontrol ağının düşey datum noktası olarak RS.184

kullanılmış, dengeleme işlemi için, her periyot ölçüsü ayrı ayrı serbest ağ dengeleme yönteminin tüm iz minimum çözümüne göre yapılmış, öncül varyans ve soncul varyans değerleri birlikte test edilmiş, bulunan test değeri sınır değerden küçük olduğundan uyumsuz ölçü olmadığı gözlemlenmiştir.

Her iki periyoda ilişkin ölçme doğruluğu istatistiksel olarak araştırılmış ve $T \leq f$ olduğu saptanmıştır. Birleştirilmiş varyans değerinin kullanılabilir olduğu belirlenmiş, Test büyüklüğü (T) %95 güven aralığında F olasılık değerinden büyük olduğu gözlemlenmiş ve ağdaki en az bir noktanın hareketli olduğu kanısına varılmıştır.

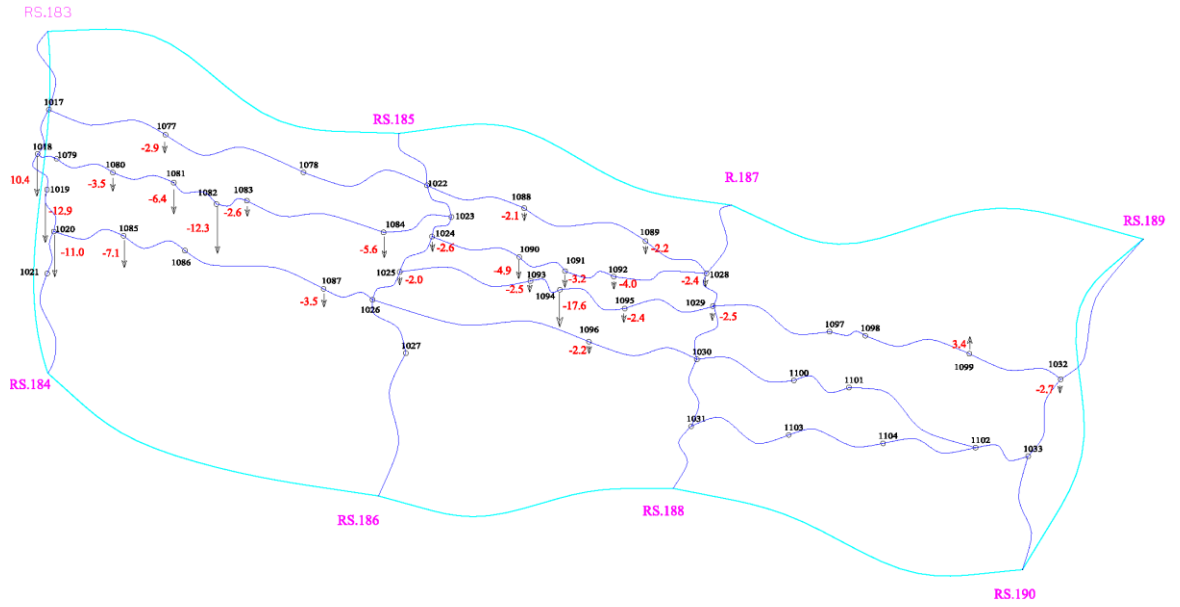
9.2.2.1 Düşey Deformasyonların Yerelleştirilmesi İşlemi

Fark vektörü d , Q_{dd} ağırlık katsayıları matrisi ve birleştirilmiş varyans değerleri yardımıyla test değeri hesaplanmış, Bu değer sınır değerden büyük gerçekleşmiş ve düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi hesaplanmıştır. Toplam aykırılık R' deki payı en büyük olan (R_{maks}) noktanın hareketli olduğu kanısına varılmış, bu nokta ağdan çıkartılmıştır. Başka noktada hareket olup olmadığını belirlemek için d fark vektörü ve Q_{dd} ağırlık katsayılar matrisi için S-dönüşümü yapılmış, tekrar test büyüklüğü hesaplanarak sınır değeri ile tekrar karşılaştırılmış test büyüklüğü sınır değerden küçük olana kadar bu işleme devam edilmiştir. Yerelleştirme işlemi sonucu NATM bölgesinde;

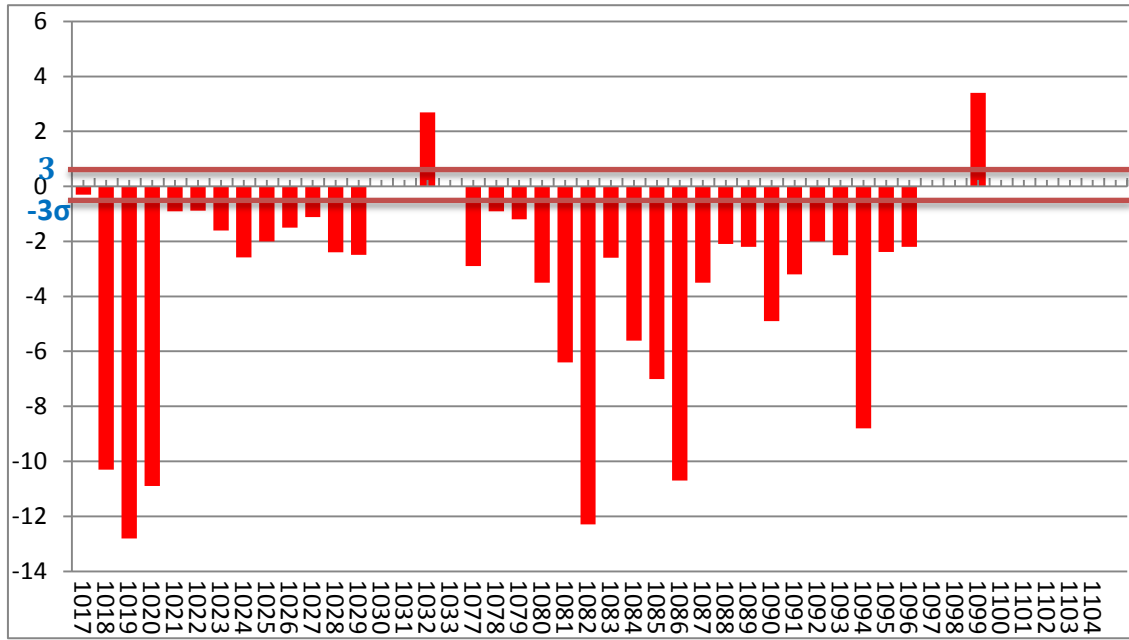
- Referans noktalarında anlamlı bir hareket olmadığı gözlenmiş,
- Obje noktalarından 34 adet oturma bulonunun hareketli olduğu saptanmıştır (Çizelge : 9.1),(Şekil 9.3) ,(Şekil 9.4).

Çizelge: 9.1 NATM bölgesi düşey hareket büyüklükleri için test büyüklükleri

NN.	R	TETA	R(kalan)	T	F	KARAR	NN.	R	TETA	R(kalan)	T	F	KARAR
1018	3495.191	59.1201	1188.74	1249.7	> 1.76	HAREKETLİ	1028	53.2965	7.3004	244.196	40.913	> 1.82	HAREKETLİ
1082	3080.315	55.5006	8108.42	923.79	> 1.76	HAREKETLİ	1091	26.8224	5.179	217.374	37.523	> 1.82	HAREKETLİ
1094	1508.182	38.8353	6600.24	767.31	> 1.76	HAREKETLİ	1024	34.6181	5.8837	182.756	32.533	> 1.83	HAREKETLİ
1019	1420.716	37.6924	5179.52	614.69	> 1.77	HAREKETLİ	1096	19.8028	4.45	162.953	29.944	> 1.84	HAREKETLİ
1020	2851.521	53.3996	2328	282.16	> 1.77	HAREKETLİ	1083	12.7231	3.5669	150.23	28.526	> 1.84	HAREKETLİ
1086	462.3147	21.5015	1865.69	231.04	> 1.77	HAREKETLİ	1089	9.4104	3.0676	140.819	27.661	> 1.85	HAREKETLİ
1085	363.8745	19.0755	1501.81	190.11	> 1.78	HAREKETLİ	1088	18.8051	4.3365	122.014	24.823	> 1.85	HAREKETLİ
1081	277.8204	16.6679	1223.99	158.46	> 1.78	HAREKETLİ	1092	11.3921	3.3752	110.622	23.339	> 1.86	HAREKETLİ
1084	260.9148	16.1529	963.078	127.59	> 1.78	HAREKETLİ	1095	13.6554	3.6953	96.9667	21.245	> 1.87	HAREKETLİ
1090	102.9645	10.1471	860.114	116.66	> 1.78	HAREKETLİ	1093	13.8822	3.7259	83.0845	18.931	> 1.88	HAREKETLİ
1087	89.7984	9.4762	770.315	107.03	> 1.79	HAREKETLİ	1025	12.9151	3.5938	70.1694	16.655	> 1.89	HAREKETLİ
1080	78.6459	8.8682	691.67	98.502	> 1.79	HAREKETLİ	1023	12.8674	3.5871	57.3019	14.192	> 1.9	HAREKETLİ
1077	74.9577	8.6578	616.712	90.079	> 1.8	HAREKETLİ	1026	10.5146	3.2426	46.7873	12.115	> 1.91	HAREKETLİ
1099	71.3449	8.4466	545.367	81.754	> 1.8	HAREKETLİ	1079	8.9287	2.9881	37.8586	10.27	> 1.92	HAREKETLİ
1032	151.8668	12.3234	393.5	60.583	> 1.8	HAREKETLİ	1027	9.1821	3.0302	28.6765	8.168	> 1.93	HAREKETLİ
1030	64.5929	8.037	328.907	52.045	> 1.81	HAREKETLİ	1022	11.8372	3.4405	16.8393	5.049	> 1.95	HAREKETLİ
1029	31.4146	5.6049	297.493	48.419	> 1.81	HAREKETLİ	1021	9.951	3.1545	6.8883	2.18	> 1.96	HAREKETLİ



Şekil 9.23 NATM kazı bölgesindeki deformasyonların jeodezik gösterimi



Şekil 9.24 Obje noktaları için belirlenen düşey hareket ve büyüklükleri

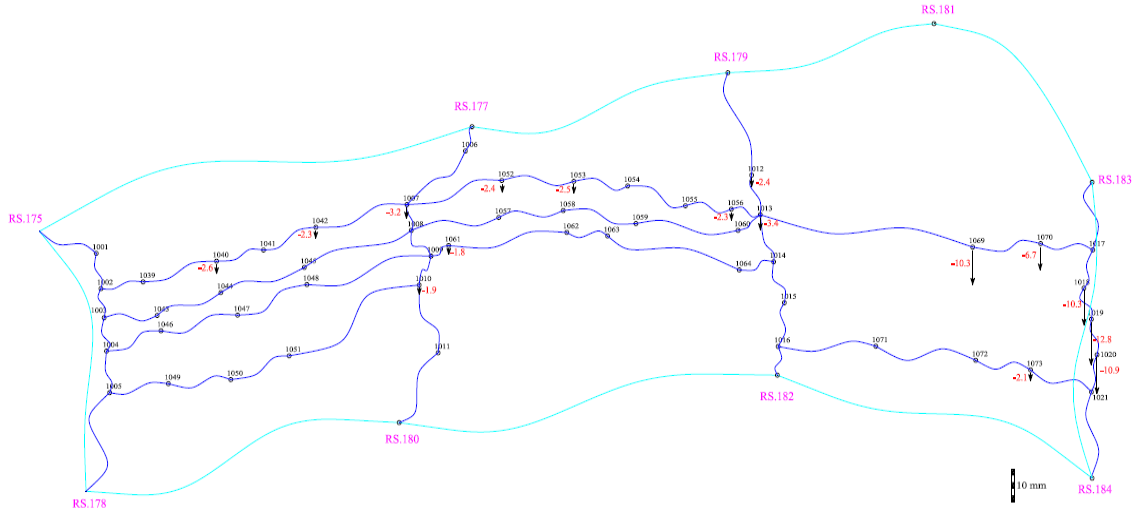
9.2.3 TBM Kazı Bölgesi

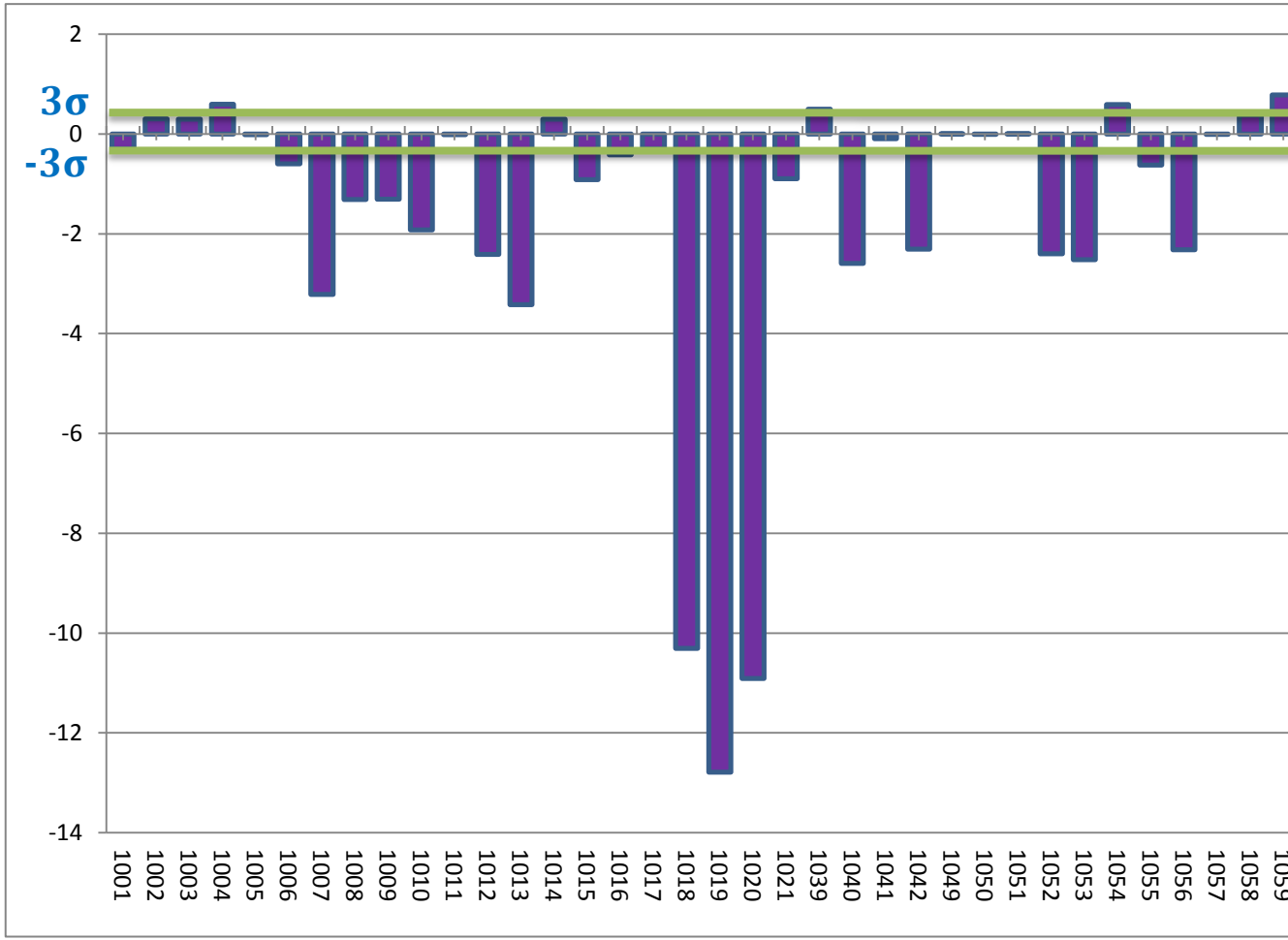
TBM Yöntemiyle tünel açım işlemi yapılan bölgedeki 9 adet referans noktası ve 46 adet obje noktası birlikte değerlendirilmiş, kontrol ağının düşey datum noktası olarak RS.184 kullanılmış, yine her periyot ayrı ayrı dengelenmiş, uyumsuz ölçü testinden geçirilmiştir. Ölçme doğruluğu istatistiksel olarak araştırılarak uygunluğu saptanmıştır. Yine yerelleştirme işlemleri tekrarlanmış ve bu çalışma bölgesinde;

- Referans noktalarının anlamlı hareketi gözlemlenmemiş,
- Obje noktası olan 33 adet oturma bulonunun hareketli olduğu saptanmıştır (Çizelge : 9.2),(Şekil 9.5) ,(Şekil 9.6).

Çizelge : 9.2 TBM bölgesi düşey hareket büyüklükleri için test büyüklükleri

NN.	R	TETA	R(kalan)	T	F	KARAR	NN.	R	TETA	R(kalan)	T	F	KARAR
1017	1790.544	42.3148	4762.28	542.72	> 1.86	HAREKETLİ	1061	31.5634	5.6181	204.72	34.347	> 1.91	HAREKETLİ
1021	1126.555	33.5642	3635.73	422.3	> 1.86	HAREKETLİ	1015	24.9173	4.9917	179.8	31.028	> 1.91	HAREKETLİ
1069	277.0664	16.6453	3358.66	397.77	> 1.86	HAREKETLİ	1009	18.1637	4.2619	161.63	28.714	> 1.92	HAREKETLİ
1013	283.0896	16.8253	3075.57	371.53	> 1.86	HAREKETLİ	1008	27.2275	5.218	134.41	24.601	> 1.92	HAREKETLİ
1019	200.8774	14.1731	2874.69	354.35	> 1.87	HAREKETLİ	1071	17.3196	4.1617	117.09	22.1	> 1.93	HAREKETLİ
1020	542.679	23.2955	2332.01	293.45	> 1.87	HAREKETLİ	1053	10.1786	3.1904	106.91	20.83	> 1.93	HAREKETLİ
1018	874.0539	29.5644	1457.96	187.36	> 1.87	HAREKETLİ	1052	41.4696	6.4397	65.439	13.175	> 1.94	HAREKETLİ
1070	358.2853	18.9284	1099.67	144.39	> 1.87	HAREKETLİ	1006	12.8919	3.5905	52.547	10.944	> 1.95	HAREKETLİ
1040	188.6877	13.7364	910.985	122.28	> 1.88	HAREKETLİ	1016	8.5731	2.928	43.974	9.486	> 1.95	HAREKETLİ
1007	162.1871	12.7353	748.798	102.79	> 1.88	HAREKETLİ	1001	8.1033	2.8466	35.871	8.024	> 1.96	HAREKETLİ
1054	123.3029	11.1042	625.495	87.86	> 1.88	HAREKETLİ	1004	7.8771	2.8066	27.994	6.503	> 1.97	HAREKETLİ
1073	80.0855	8.949	545.41	78.435	> 1.89	HAREKETLİ	1055	7.2548	2.6935	20.739	5.011	> 1.98	HAREKETLİ
1056	66.861	8.1769	478.549	70.498	> 1.89	HAREKETLİ	1062	3.3361	1.8265	17.403	4.38	> 1.98	HAREKETLİ
1012	87.6872	9.3641	390.862	59.02	> 1.89	HAREKETLİ	1059	3.199	1.7886	14.204	3.73	> 1.99	HAREKETLİ
1042	63.2293	7.9517	327.632	50.741	> 1.9	HAREKETLİ	1063	2.8063	1.6752	11.398	3.129	> 2	HAREKETLİ
1010	49.5477	7.039	278.085	44.201	> 1.9	HAREKETLİ	1064	3.7563	1.9381	7.641	2.198	> 2.01	HAREKETLİ
1060	41.8059	6.4658	236.279	38.571	> 1.9	HAREKETLİ							





Şekil 9.26 Obje noktaları için belirlenen düşey hareket ve büyüklükleri

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Proje alanında TBM yöntemi ile kazılan 8+720 ile 8+000 km'leri arasında 33 noktada, NATM yöntemi ile kazılan 8+720 ile 9+300 km'leri arasında 34 noktada hareketli nokta saptanmıştır. d fark vektöründen elde edilen değerler ışığında TBM alanında ortalama 1.05 mm hesap edilmiş, NATM kazı alanında ise bu değer 3.17 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu büyüklükler göz önünde bulundurulduğunda, NATM kazısıyla oluşan deformasyon/deplasman değeri 3 kat daha büyük olmaktadır.

Deplasman değerinin TBM'e göre 3 kat çıkması göz önünde bulundurulduğunda,

- Kazı sonrası yapılan günlük ölçülerle, zemin hareketleri kazının yapıldığı ilk 1-2 gün içinde gerçekleştiği saptanmıştır.
- Yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerde kazıların TBM yöntemiyle yapılması, zemindeki yapı emniyeti açısından tercih edilmelidir.
- TBM'in pahalı bir makine olması nedeniyle kazının NATM yöntemiyle yapılmasının bir zorunluluk olması durumunda, kazının kısa, tünel destek elemanları daha sık aralıklarla uygulanmalıdır.
- Vadi geçişlerinde sedimentli yapı nedeniyle zeminin kendini ayakta tutması oldukça güçtür. Bu sebeple vadi geçişlerinde TBM ile kazı yapılması daha uygun olacaktır.

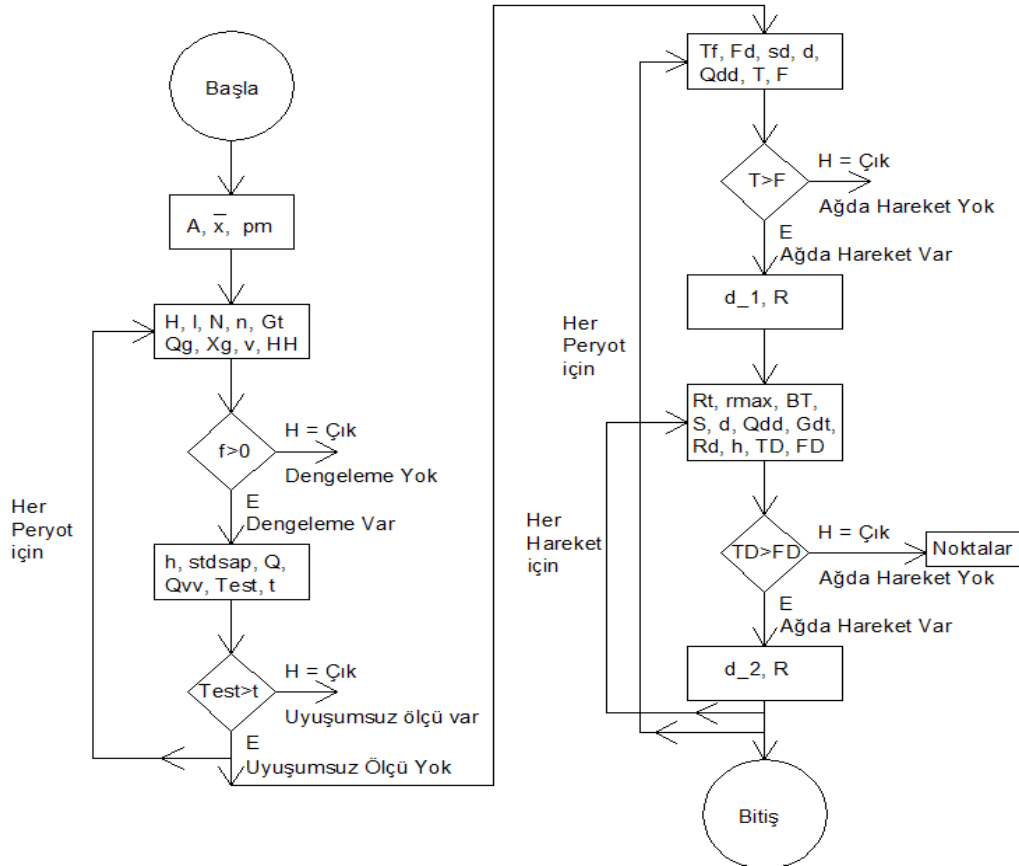
KAYNAKLAR

- [1] Satır, B., (2007). Tünel Deformasyonlarının Jeodezik, Geoteknik ve Sonlu Eleman Yöntemleri İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [2] Ünlütepe, A., (2003). "Tünel İnşaatları Sırasında Uygulanan Ölçme Yöntemleri ve Bu Yöntemlerin Değişik Tünelcilik Metotlarıyla Karşılaştırılması", 1. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, YTU, İstanbul.
- [3] (2005). "Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği", Ankara
- [4] Alkan R.M., Kalkan Y. ve Yanalak M., (2005). " Ulaştırma Yapılarına İlişkin Mühendislik Projelerinde Yatay-Düşey Kontrol Ağlarının Oluşturulması: Üsküdar-Ümraniye 2. Etap hafif Metro Projesi Örneği", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- [5] ŞEKER, M., (2012). "Şantiyelerde Ölçme Tekniği (Mühendislik Ölçmeleri)", İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Daire Başkanlığı Anadolu Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü seminer, İstanbul.
- [6] Gürdal, M.A., (2004). "Sayısal Nivoların Teknolojisi ve Tarihsel Gelişimi", Harita Genel Komutanlığı, Harita Dergisi, Ankara.
- [7] Ünlütepe, A. ve Messing M., (2005). "Tünel Ölçme Uygulamalarında Son Yenilikler", Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ – İstanbul.
- [8] Arıoğlu, B., Yüksel, A. ve Arıoğlu, E., (2002). "İstanbul-Mevhibe İnönü Tüneli'nde tasman (yüzey oturması) eğrisi dönüm noktasının belirlenmesi", IV Kaya Mekaniği Sempozyumu, İstanbul.
- [9] AKATED,(2013). "Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Hattı, Altyapı ve Tünelcilik Dergisi", İstanbul.
- [10] Çelik,R. ve Özlüdemir T.,(2012). "İTÜ İnşaat Fakültesi Geomatik Mühendisliği Bölümü Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Hattı Metro İnşaatı projesinin Jeodezik Altyapısının Oluşturma Çalışmaları Kapsamında Jeodezik Ağ GPS/GNNS Gözlemlerinin Tasarımı ve GPS/GNNS Gözlemleri İle Presizyonlu Nivelman Ölçmelerinin Değerlendirmeleri", Teknik Rapor, İstanbul.

- [11] Glal V. E.,(1992). "Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların Belirlenmesinde  Boyutlu Jeodezik Yaklaşım", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [12] ztrk E., ve Serbetçi M., (1995). Dengeleme Hesabı Cilt II, KT Yayınları, Trabzon
- [13] Demirel, H., (2009). Dengeleme Hesabı, Yıldız Üniversitesi Yayınları, 3. Baskı, İstanbul.
- [14] Aydın C., (2001). "Yerkabuğundaki Düşey Deformasyonların Analizinde Statik Modelin Gvenirliğı zerine Bir İnceleme" Yüksek Lisans Tezi, YTU Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Yalçinkaya M., (1996). "Nivelman Ağılarında Duyarlık ve Güven ltleri" Harita ve Kadastro Mühendisliğı Dergisi,
- [16] Hoşbaş R. G., (1992). "Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir neri Doktora Tezi", İstanbul.
- [17] ERKAYA, H., (1987). Mühendislik Yapılarında Deformasyonların Jeodezik Yöntemle Saptanması ve Bir Model zerinde Uygulanması, Doktora lisans tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] ztrk E., ve Serbetçi M., (1992). Dengeleme Hesabı III, KT Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, Trabzon.
- [19] Hoşbaş R. G., Demirkaya S. ve Erkaya H., (2005). "Hannover Yaklaşımı ile Geometrik Analiz Sürecine Bir Kısa Yol nerisi", 2. Ulusal Mühendislik lmeleri Sempozyumu, İstanbul.
- [20] Bayrak, T. ve Yalçinkaya, M., (2002). "GPS/GNNS İle İzlenen Jeodezik Deformasyon Ağılarında Kinematik Hareketlerin ve Hareket Yüzeylerinin Belirlenmesi, TUJK Tektonik ve Jeodezik Ağılar Çalıştay", İznik.
- [21] Bayrak, T., (2011). "Jeodezik Ağıların Dengelenmesi Dengeleme Hesabı-II" Ders Notları, Gümüşhane.
- [22] Bektaş, S., (1990). "Serbest Ağ Dengelemesi", Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi, sayı :66, Ankara.
- [23] Ghilani, C. D., (2009). Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, New Jersey.
- [24] Hoşbaş R. G., (2004). "Barajlarda Deformasyon lmeleri Lisans Ders Notları", İstanbul.
- [25] Kalkan, Y. ve Alkan, R., (2005). "Mühendislik Yapılarında Deformasyon lmeleri", Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik lmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik lmeleri Sempozyumu, İTÜ – İstanbul.
- [26] MATLAB R2010a, 6.10a, Bilgisayar Yazılımı, Natick, Massachusetts, U.S.A, MathWorks.

- [27] Ünlütepe, A., (2005). "Marmaray BC1 Projesi Ve Ölçme Çalışmaları", Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ – İstanbul.
- [28] Yaşar, E., (2007). Taksim-Kabataş Füniküler Hattında Deformasyon Ölçmeleri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Deformasyon Analizi İş Akış Diyagramı



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet EREN
Doğum Tarihi ve Yeri : 1976 ANDIRIN
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : meren@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2003
Lise	Matematik	G.ANTEP 19 Mayıs Lisesi	1993

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012 - Devam	YTÜ Meslek Yüksek Okulu	Öğretim Görevlisi
2006 - 2012	İSKİ Genel Müdürlüğü	Kontrol Mühendisi
2004 - 2006	Taşıyapı İnşaat A.Ş.	Harita Grup Şefi