

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MODERN TÜNELCİLİKTE JEODEZİK
ÇALIŞMALARIN YÖNETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Yelda ADEMOĞLU**

**Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ
MÜHENDİSLİĞİ**

Programı : GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

**MODERN TÜNELCİLİKTE JEODEZİK
ÇALIŞMALARIN YÖNETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Yelda ADEMOĞLU
501051627**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Rahmi Nurhan Çelik
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Tevfik Özlüdemir (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Şenol Hakan Kutoğlu (Z.K.Ü.)**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Kendisi ile çalışmaktan çok büyük mutluluk duyduğum, Doç. Dr. Rahmi Nurhan Çelik'e başta tez konum konusunda beni yönlendirmesi ve tez danışmanlığımı üstlenmesi; ve gerek tez gerek çalışma hayatıma verdiği önemli desteği nedeniyle teşekkür ederim. İlerki çalışmalarım da beraber çalışmaktan onur duyarım.

Bu çalışmanın yapılmasında gösterdikleri ilgi ve destekleri için başta sayın Ramih Muştı ve şefim Azmi Akal olmak üzere; beraber çalışmaktan onur duyduğum ve kendilerinden bir çok şey öğrendiğim Ali Yüksel'e, Timuçin Özbayır'a, Mustafa Akgül'e, Nezih Nadir Sözak'a ve çalışma arkadaşım Necip Enes Gengeç'e ve Yapı Merkezi – Yüksel – Doğuş – Yenigün – Belen İnşaat Ortak Girişimi (Anadoluray) çalışanı olan değerli büyüklerime ve mühendis arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Aileme bu yoğun ve uzun çalışma süresince hep yanımda olduklarını hissettirdikleri için teşekkür ederim.

Mayıs 2008

Yelda ADEMOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın konusu	1
1.2. Çalışmanın amacı	1
1.3. Yöntem	1
2. TÜNEL YAPIM ÇALIŞMALARI	3
3. ÖLÇME YÖNTEMLERİNİN SEÇİLMESİ VE ALETLENDİRME PLANLARININ HAZIRLANMASI	9
3.1. Ölçme yönteminin seçilmesi	9
3.2. Aletlendirme planlarının hazırlanması	10
3.2.1. Nokta tesisleri	11
3.2.2. Ölçme donanımları	12
3.2.3. Kullanılan yazılımlar	14
3.2.4. Ölçme ekibi	15
4. JEODEZİK ALTYAPI	18
4.1. Proje koordinat sisteminin seçilmesi	22
4.2. Jeodezik kontrol ağı tasarımı ve yönetimi	22
4.2.1. Jeodezik yatay ve düşey kontrol ağı	23
4.2.2. Tünel jeodezik yatay ve düşey kontrol ağı	24
4.2.3. Tünel içi kontrol ağının datumunun oluşturulması	36
5. TÜNEL ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA HATA KAYNAKLARI	40
5.1. Refraksiyon	40
5.1. Çekül sapması (Normal sapması - Düşey sapma)	43
6. İMALAT ÇALIŞMALARI VE TÜNELİN JEODEZİK YÖNETİMİ	44
6.1. NATM kazılarında jeodezik çalışmaların yönetilmesi	45
6.2. TBM kazılarında jeodezik çalışmaların yönetilmesi	48
7.DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI YÖNETİMİ VE ANALİZİ	53
8.KALİTE KONTROL ÖLÇMELERİ VE YÖNETİMİ	57

9.UYGULAMA ÖRNEĞİ: KADIKÖY-KARTAL METRO İNŞAATI	59
9.1. Kadıköy-Kartal Metro İnşaatı yatay ve düşey jeodezik kontrol ağı	62
9.2. Tünel içi jeodezik kontrol ağının tesisi	63
9.3. Tünel jeodezik kontrol ağının datumunun belirlenmesi	63
9.4. Tünel yapım çalışmaları	64
9.5. Deformasyonların izlenmesi çalışması	82
10.SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	93
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	101

KISALTMALAR

ALTU	: Aktif lazer hedef ünitesi
ASCII	: Bilgi değişimi için amerikan standart kuralları
ATR	: Otomatik hedef tanıma sistemi
BÖHHYBÜY	: Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği
BÖHY	: Büyük ölçekli harita üretim yönetmeliği
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
DTA	: Tasarlanmış tünel ekseni
ED50	: Avrupa Datumu 1950
GNSS	: Küresel navigasyon uydu sistemi
GPS	: küresel konumlama sistemi
GRS	: Jeodezik referans sistemi
İGNA	: İstanbul GPS nirengi ağı
IGS	: Uluslar arası GNSS servisi
INC	: İnklinometre
ITRF	: Uluslar arası Yersel referans ağı
LCD	: Likit kristal ekran
LLR	: Aya lazer uzaklık ölçmeleri
NATM	: Yeni Avusturya tünel açma metodu
PCMC	: Uluslar arası kişisel bilgisayar bellek kartı kurumu
PLC	: Programlanabilir lojik kontrolcü
SLR	: Uydu lazer uzaklık ölçmeleri
SLS-T APD	: TBM yönlendirme programı
SSC	: Süper iletken süper parçacık hızlandırıcı
TBM	: Tünel delme makinesi
TG	: Türkiye geoidi
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TUDKA	: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
XML	: Genişletilebilir biçimleme dili

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçları.....	31
Tablo 4.2 Seri Sayısının Delme Doğruluğuna Etkisi]......	32
Tablo 4.3 Gyro-teodolit Ölçmelerinin Eklenmesinden Sonra Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçları]......	32
Tablo 4.4 Gyro-teodolit Ölçmelerinin Eklenmesinden Sonra Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçları]......	34
Tablo 4.5 Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçları]......	35
Tablo 9.1 Segman Üretim Toleransları.....	65
Tablo 9.2 Segman Kalıp Üretim Toleransları.....	66

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Statik, Dinamik ve Yapısal Gabari [3]	6
Şekil 2.2 : Sağ ve Sol Kurpta Gabari Gösterimi [4]	7
Şekil 2.3 : Düz Hatta Gabarinin Gösterimi [4]	8
Şekil 4.1 : Tünel içi Nokta Tesisi	25
Şekil 4.2 : İncelenen Tek Hat Tüneli Jeodezik Ağ Tasarımları	29
Şekil 4.3 : Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçlarının Grafik Gösterimi	31
Şekil 4.4 : Tek Hat Poligon Güzergâhında Hatanın Yayılması	31
Şekil 4.5 : İncelenen Çift Hat Tüneli Jeodezik Ağ Tasarımları [3]	33
Şekil 4.6 : İncelenen Çift Hat Tüneli Jeodezik Ağ Tasarımları [3]	34
Şekil 4.7 : Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçlarının Grafik Gösterimi [3]	35
Şekil 4.8 : Tünel içi kontrol ağının datumunun belirlenmesi (CERN) [19]	38
Şekil 4.9 : Tünel içi yatay kontrol ağının datumunun belirlenmesi (SSC) [20]	38
Şekil 4.10 : Tünel içi düşey kontrol ağının datumunun belirlenmesi (SSC) [20]	39
Şekil 5.1 : Tünel içi Refraksiyon Etkileri	41
Şekil 9.1 : Tünel içi kontrol noktaları [39]	63
Şekil 9.2 : Şaft üstü kontrol noktaları [39]	63
Şekil 9.3 : Şaft Üstü Noktalarının Tünel İçine İzdüşürülmesi [39]	64
Şekil 9.4 : SLS-T Seviye – I	69
Şekil 9.5 : TBM Yönlendirme Donanım Şeması	71
Şekil 9.6 : Yönlendirme Poligonu Konsol Tesisi	79
Şekil 9.7 : P1 kesiti tünelde deformasyon noktalarının yerleşimi	83
Şekil 9.8 : Tünel içi deformasyon noktası detayları [34]	84
Şekil 9.9 : Yüzey deformasyon noktası-arazi tipi [34]	84
Şekil 9.10 : Yüzey deformasyon noktası-bina tipi [34]	84
Şekil 9.11 : Deformasyon Ölçme Sıklığı	85
Şekil 9.12 : Başlangıç NigraWin Dosyası	87
Şekil 9.13 : NigraWin Dosyası	88
Şekil 9.14 : PRP dosyası	88
Şekil 9.15 : BPH dosyası	88
Şekil 9.16 : Tünel İçi Deformasyon Grafiği	89
Şekil 9.17 : En Kesit Diyagramı	90
Şekil 9.18 : Deformasyon Noktalarının Düşey Hareketi	91
Şekil 9.19 : Deformasyon Kesitlerine Ait Oturma Grafiği	91
Şekil 9.20 : Yüzey Oturma Kontur Grafiği	92

MODERN TÜNELCİLİKTE JEODEZİK ÇALIŞMALARIN YÖNETİMİ

ÖZET

NATM ve TBM tünel açma metodlarının uygulandığı tünelcilik işlerindeki jeodezik çalışmalar ve bu çalışmaların yönetimi “Modern Tünelcilikte Jeodezik Çalışmaların Yönetilmesi” başlığı altında araştırılmış ve incelenmiştir. Bu tezdeki amaç, başta tünel yapım aşamasında olmak üzere tünel tasarım, kontrol ve onay aşamalarında da önemli bir yer tutan jeodezi ve ölçme disiplininin uygulamadaki sorumluluk alanları ile disiplinin ulaştığı bilimsel ve teknik gelişmelerin tünel çalışmalarına yansımalarının araştırılmasıdır.

Konum bilgisinin projenin gerçekleştirilmesindeki önemi, jeodezik çalışmaların proje uygulama aşamasından daha önce başlamasını ve gerekli konum doğruluğunu sağlayacak güvenilirlikte olmasını gerektirir. Konum doğruluğu bir çok parametreye bağlı olarak belirlenmektedir. Ölçme işlerinin devamlılığı ve yüksek doğruluk talebi nedeniyle, kullanılacak ölçme yönteminin seçilmesinde ve aletlendirme planlarının hazırlanmasında, doğruluk, ekonomi ve zaman parametrelerinin göz önünde bulundurularak optimize edilmesi uygun olacaktır. Jeodezik kontrol ağı projenin temel konum bilgisine altlık oluşturacak şekilde projeye uygun tasarlanmalıdır. Yüzeyde ve tünelde gerçekleştirilecek jeodezik kontrol ağlarının ihtiyacı karşılayıp karşılayamayacakları ön analiz işlemleri ile değerlendirilmelidir. Sistematik hataların tünel açma doğruluğuna etkisi sebebiyle, tünel çalışmalarında bu sistematik hataların tespit edilmesi ve en aza indirilmesi gerekmektedir. İmalat süresince yapılacak tüm ölçme çalışmaları, bu bakış açısıyla sürdürülmelidir. Bu yaklaşımla çalışmada, ölçme yönteminin seçilmesi, jeodezik alt yapı tasarımı ve uygulanması, kontrol ağı ön analiz işlemleri, tünel çalışmalarındaki söz konusu sistematik hatalar ve en önemli sistematik hata olan refraksiyonun meydana çıkışı ile refraksiyonun ölçmelerinin ne şekilde etkilendiği ve etkisinin nasıl azaltılabileceği incelenmiştir.

Tünel jeodezik alt yapısını oluşturan yukarıdaki temel konuların yanı sıra, modern tünelcilik metotları olarak tanımlanabilecek NATM ve TBM metotları ile yürütülen tünel inşaatı işlerinde ihtiyaç duyulan ölçme çalışmaları ve bu ölçme çalışmalarının yönetimleri değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, önemli ve kapsamlı bir proje olması ve uygulanmasına Türkiye’de yakın bir zamanda başlanmış olan TBM metodunun kullanılması nedeniyle, Kadıköy – Kartal Metro İnşaatı Projesi, uygulama örneği olarak incelenmiştir. Projenin jeodezik yönetiminde kullanılan metotlar ve yapım süresince karşılaşılan sorunlar incelenmiştir.

MANAGEMENT OF GEODETIC WORKS IN MODERN TUNNELING

SUMMARY

Geodetic works and management of geodetic works of tunneling works which are carried out utilizing NATM and TBM methods are researched and evaluated hereby under the title of “Management of Geodetic Works in Modern Tunneling”. These thesis aims to research responsibility area and its reflection to scientific and technical advancements of the geodesy and survey disciplines, which play major role especially on tunnel construction phase and also tunnel design, control and acceptance phases.

Regarding significance of spatial data on the tunneling works, geodetic works have to be commenced before project application phase and reliable enough to establish required spatial accuracy. Defining spatial information accuracy depends on several parameters. Because of the continuity of surveying jobs and its highly accurate data requirement, it will be appropriate to optimize accuracy, economy and time to decide measurement method and prepare instrumentation plans. Design of the geodetic control network should be supportive to project’s main spatial data. Whether geodetic control networks suffice the requirements or not should be assessed by pre-analysis processes. Regarding effect of systematic error on the tunneling breakthrough accuracy, these systematic errors have to be determined and reduced during tunneling works. All measurement works have to be carried out during the construction with this point of view. Deciding measurement method, design and application of geodetic networks, control networks pre-analysis procedures, subject systematic errors of tunneling works and the effect of refraction errors - which is the most important systematic error - on measurements together with its occurrence and elimination of its effects are analyzed from this point of view in this thesis.

Besides the above fundamental concepts which constitute the geodetic infrastructure of tunnel projects, required measurement works and management of the measurement works of tunnel constructions which are carried out with NATM and TBM methods are evaluated.

Within the context of this thesis, due to its importance, extent and utilization of TBM method which is a recent method in Turkey, Kadıköy – Kartal Metro Construction Project is analyzed as case study. The methods used for geodetic management of the project and difficulties encountered during the construction process are studied.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Modern tünelcilikte jeodezik altyapı ve jeodezik ölçmelerin yönetimi çalışmaları bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Modern tünelcilikten kasıt parçalı veya tam cepheli mekanize tünel açma metodunun veya NATM metodunun kullanıldığı tünelcilik anlayışıdır. Tünelin başarılı bir şekilde uygulanmasında jeodezik alt yapının önemi yüksektir. Bu nedenle çalışmada tünelin yapımına konu olacak jeodezik alt yapı jeodezik bilgi ve çalışmaların yönetimi değerlendirilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, tünel çalışmalarında yaşanan sürecin, tünel yapımında proje gereksinimlerine bağlı olarak beklenen doğruluğunun sağlanması amacıyla dikkate alınması gereken ve yapılması önerilen çalışmaların, dünya çapında tanınan ve önemli jeodezik çalışmaları içerisinde barındıran tünel çalışmalarının ve standartlarının incelenmesi ve sunulması; İstanbul ölçeğinde önemli bir proje olan Kadıköy-Kartal metro inşaatı çalışmasında izlenen metodolojinin, yeni bir sistem olması nedeniyle TBM tünellerinin kazılarında karşılaşılan sorunların incelenmesi yoluyla tünelcilik ve jeodezi biliminin yakın ilişkisinin ve teknolojik gelişmelere cevap verilebilmesi için gerçekleştirilmesi gereken çalışmaların altının çizilmesidir.

1.3 Yöntem

Çalışmanın organizasyonunda kapsamlı bir literatür çalışması yapılmıştır. Literatür çalışmasının yanı sıra Kadıköy-Kartal Metro İnşaatı yapımında Anadoluray Ortak Girişimi tarafından gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar sunulmuştur.

Çalışmanın amacının sağlanabilmesi için belirlenen yöntem: tünelcilik kavramının genel değerlendirilmesi ve tünel yapım süreci ve tünel yapım süreci içerisinde jeodezi ve fotogrametri mühendisliğinin görev ve sorumluluklarının neler olduğunun,

projenin hayata geçirilmesinde başından sonuna kadar rol alacak jeodezik altyapının nasıl tasarlandığı ve uygulandığı, Türkiye ve İstanbul’da kullanılan jeodezik altlıklar ve kullanılabilirlikleri üzerine araştırmaların, tünel içi kontrol ağının öneminin ve nasıl datumlandırıldığına araştırılması, tünel çalışmalarında konum doğruluğunu etkileyecek hata kaynaklarının neler olabileceği, NATM ve TBM tünel açma çalışmalarının yürütülmesi, Tünel çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen konum bilgisinin kontrolü amaçlı kalite kontrol ölçmelerinin yöntem ve tekniklerinin araştırılması temel sorularının cevaplarının aranması şeklindedir.

2. TÜNEL YAPIM ALIşMALARI

Tüneller çeşitli kullanım amaçları doğrultusunda yeraltında ya da su altında trafiği sağlamak amacıyla açılan belli bir geometriye sahip etrafı kapalı mühendislik yapılarıdır. Tünelleri kullanım amaçlarına, yapım metoduna, yapım metoduna bağlı olarak belirlenen destekleme sistemine, zaman içerisinde tünel üzerine çalışan organizasyonların birimlendirmede kullandığı gibi çapına göre sınıflandırmak mümkündür.

Tüneller birçok amaçla ve farklı ihtiyaçların karşılanması için inşa edilmektedirler. şehir görünümünü bozmayan yeraltı yapıları olmaları, yeryüzü kaynaklı engellerin aşılmasını sağlamaları, günümüz teknolojisinde daha ekonomik ve daha hızlı inşa edilebilir olmaları nedeniyle özellikle toplu taşımacılıkta diğer mühendislik yapılarına göre tercih edilmektedirler. Tüneller kullanım amaçlarına bağlı olarak karayolu tüneli, demir yolu tüneli, metro tüneli, yaya tüneli, su tüneli, atık su tüneli, maden tüneli, parçacık hızlandırıcı tüneller gibi isimlendirilirler.

Tünel yapım metodu, proje gereksinimlerine göre zaman, maliyet gibi birçok faktöre bağlı olarak belirlenmekte ve jeolojiye bağlı olarak şekillenmektedir. Başlıca tünel yapım metotları, a-kapa, NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu - New Australian Tunnelling Method), del-patlat, mekanize tünel açma (parçalı mekanize tüneller ve tam cepheli TBM tünelleri) ve genellikle kablo, boru taşımacılığı amacıyla alt yapı projelerinde kullanılan boru itmeli (pipe-jacking) yöntemdir.

Tünel destekleme (tahkimat) sistemleri, yapım metoduna bağlı olarak belirlenmektedir. Başlıca tahkimat yöntemleri, genellikle konvansiyonel yöntemle açılan tünellerde, NATM metodunda ve kalkansız TBM'lerde kullanılan şekliyle püskürtme beton, hasır elik, iksa, püskürtme beton ve bulon şeklinde gerçekleştirilmektedir. Süren, süren çubuğu (sürgü levhası) tahkimat unsuru olmayıp kazı güvenliğinin sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Geçici

tahkimatın ardından kalıcı tahkimat olarak proje gereksinimlerine uygun olarak donatılı ya da donatısız kemer beton uygulaması yapılmaktadır. Kemer beton uygulamasından sonra proje gereksinimlerine uygun olarak kontak ve konsolidasyon enjeksiyonları yapılır. TBM tünellerinde yaygın olarak kullanılan destekleme sistemi ise halka şeklinde parçalı prekast ünitelerden (segman) oluşmaktadır.

Tünelcilik üzerine çalışmalarda tünel yapım metodundan bağımsız tünel çapını baz alarak ortaya çıkmış mikro-tünelcilik (micro-tunnelling) ve geniş çaplı tünelcilik (large-diameter-tunneling) şeklinde uzmanlaşmalar oluşmaktadır. Genel kabul çapı 4-4.5 metrenin altında olan tünellerin mikro tünel olduğu şeklindedir.

Pipe jacking –boru itmeli yöntem, açık kazı inşa metotlarının pahalı ve fiziksel olarak mümkün olmadığı durumlarda uygulanan bir metottur. Pipe jacking yönteminde mikro tüneli oluşturan borular, tünel içine hidrolik pistonlarla gerçekleştirilen itme kuvvetiyle sürülürler. Boru itme yöntemiyle inşa edilen mikro tünellerde sistemin çalışması, kazıcı makinenin tüneli kazması ve itici ekipmanın kazılan kısımda eş zamanlı olarak makineyi ve boruları itmesi şeklindedir. Kesici kafa hidrolik itme sistemi ile ileri doğru itilirken yeni bir boru sürülecek kadar yer açıldığında, sisteme yeni bir boru bağlanır ve itme işlemi bu şekilde devam eder. [1]

Tünel tasarım ve uygulama işleri; keşfin yapılması ve proje konseptinin geliştirilmesi, fizibilite çalışmalarının, ön inşaat ve mühendislik çalışmalarının yapılması, yapım aşaması; son tasarımın ve sözleşmelerin hazırlanması, inşaat, onay ve teslim aşamalarından oluşmaktadır. [2]

Keşif aşamasında proje kavramı ihtiyacın formüle edilmesi ve bu ihtiyaç ve olanaklardan verimli bir şekilde yararlanmayı sağlayacak yapılanmanın oluşturulmasıyla ilgilenilir. Fizibilite çalışmaları ve konsept geliştirme bölümündeki çalışmalar daha çok ekonomik konular üzerine yoğunlaşır. Ekonomik fizibilite, projeden elde edilecek faydaların projenin maliyetini ve çevresel etkilerini aşmasını gerektirir. Tasarım kavramı, maliyet ve hizmet etkisini tayin edebilecek yeterliliğe kadar geliştirilmelidir ve eğer varsa engeller ortaya çıkarılmalıdır. Engeller, çevresel problemler veya jeolojik problemler gibi

aşılabilir kısıtlamalardır. Engelleri, kısıtlamaları ve etkileri tanımlamak; ön proje alanını ve geometriyi, doğrultu ve eğimi ve ayrıca erişim alanlarını da içeren en uygun planı belirlemek için alternatif çözümler incelenmelidir. Fizibilite ve ön hazırlık aşamasında, genellikle mevcut harita ve hava fotoğrafları kullanılarak, topografik ve kültürel koşulları ve kısıtlamaları gösteren mühendislik ölçmeleri yapılır. Yapım öncesi planlama ve mühendislik aşamasında tünel veya tünellerin doğrultu ve eğimi ve buna bağlı bütün yapıların yerleri belirlenmeli, son tasarım ve yapım için gerekli olan bütün bilgiler elde edilmelidir. Ölçme ağı ve nokta tesisleri (benchmarks) ve ayrıntılı haritalama mutlaka yapılmalıdır. Yapı kontrolü için gerekli olan ölçme son tasarımda da yapılabilir. Kentsel alanlarda, haritalama var olan altyapı hizmetleri ve diğer tesisler gibi etkilenen tüm kültürel özellikleri içermelidir. Jeolojik alan haritalaması, jeoteknik araştırma ve deneme ve hidrolojik veri toplama da tamamlanmalı ve jeoteknik veri raporları hazırlanmalıdır. Yapım aşamasında son tasarım ve sözleşme dokümanları hazırlanır. Projenin gerçekleştirilmesi için yapım grubu oluşturulur ve inşaat işlerine başlanır. Hizmete alma ve operasyonda, bir yeraltı tesisi tamamlanmış olarak ilan edilmeden önce bazı testler istenebilir. İşletme ve bakım kılavuzları hazırlanır, işletmeci tarafından sonradan kullanılabilecek hali hazırlar tedarik edilir. Operasyonel sebeplerle kalıcı izleme ve kontrol araçları tesis içine yerleştirilebilir. [2]

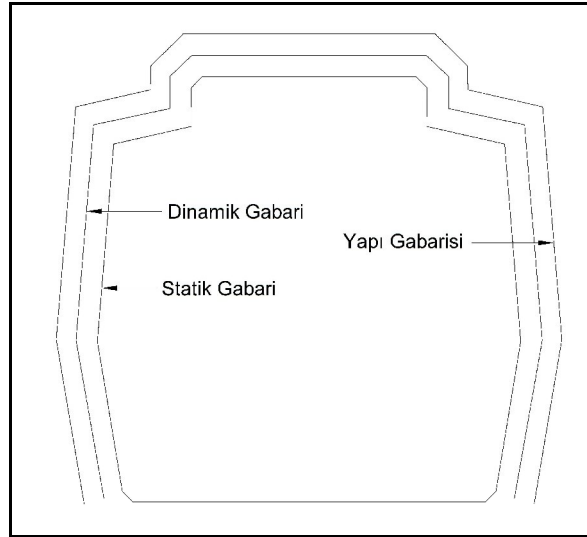
Tünel ve shaft inşaatındaki riskler ve belirsizlikler yüzünden yeraltı inşaatının tasarımı birçok disiplinden bilginin de katkıda bulunacağı dikkatli ve temkinli bir süreç olmalıdır. Tünel yapımı, jeoloji mühendisleri, hidrolik mühendisleri, inşaat mühendisleri, jeodezi ve fotogrametri mühendisleri, çevre mühendisleri ve şartname uzmanı, maliyet uzmanı, CAD uzmanları, teknik ressamlar, tasarım operatörleri ve hatta kontrat dokümanlarının ticari kısımlarını hazırlayan elemanların da içinde bulunduğu bir süreçtir. [2]

Topografik ve altyapı haritalama ile jeoteknik ve coğrafi verilerin bütünleştirilmesi ve ön planlamada, tünel ve shaft inşaatının yönlendirilmesinde jeodezi ve fotogrametri mühendisleri yeraltı inşaatı ve mühendislik hizmetleri içinde önemli bir rol oynamaktadır. [2]

Tünel uygulamaları proje jeodezik alt yapısının ve jeodezik kontrol ağının tasarlanması, kontrol ağının proje gereksinimlerine uygun sıklaştırılması,

güzergâha ait haritaların hazırlanması, aplikasyon işleri, imalat süresince deformasyonun izlenmesi, kalite kontrol ölçmeleri ve as-built planlarının hazırlanması adımlarını kapsayan ölçme uygulamalarını içermektedir.

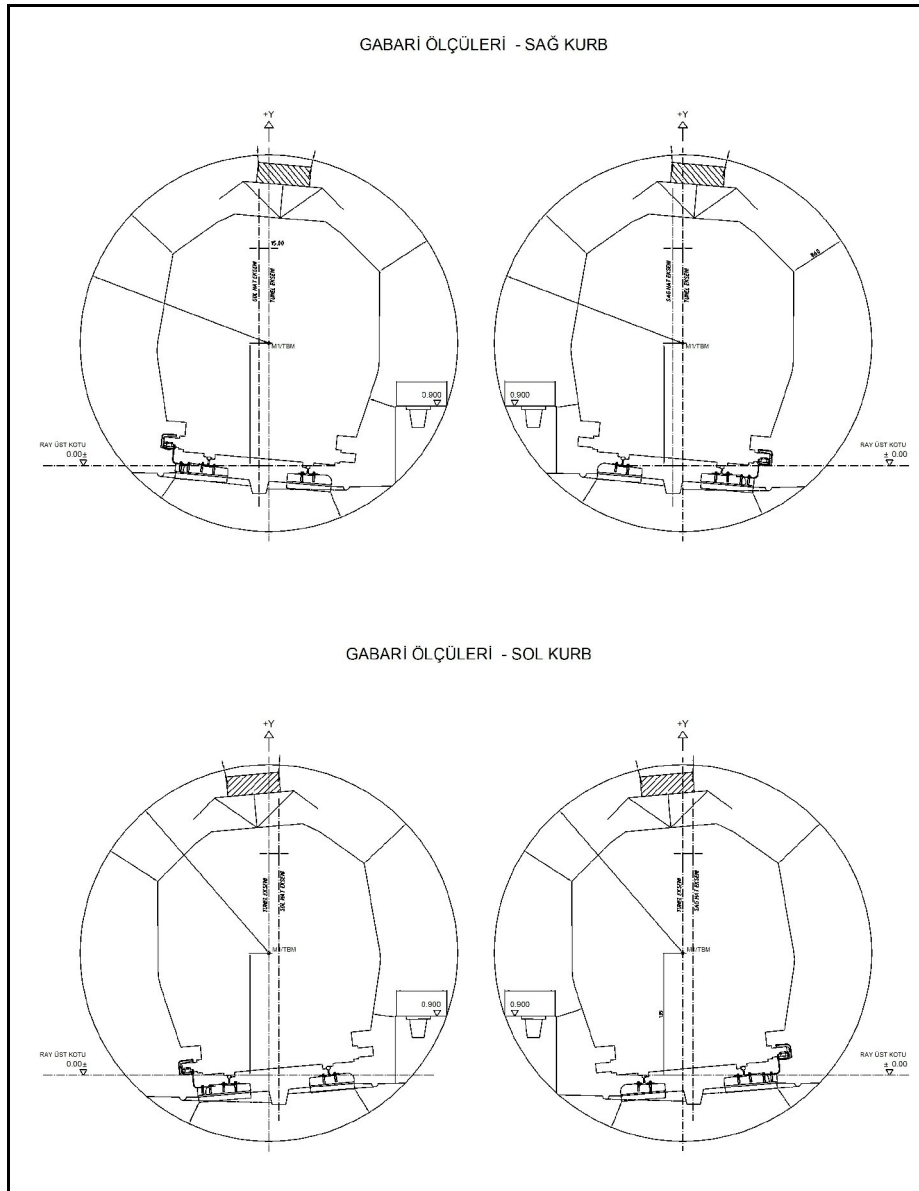
Tünel çalışmalarında inşaatın her aşaması için yapım toleransları tanımlanmıştır. Ölçme mühendisi tüm yapım çalışmalarının tasarımlarına uygun, tanımlanmış yapım toleransları içinde konumlandırılmasını sağlar. Tünelin tüm güzergâh boyunca tasarlanan tünel ekseninden yapım toleransları dışında sapmaması gereklidir. Aksi takdirde revizyon ve gerekli görüldüğü takdirde tekrar kazılarının yapılması önemli derecede emek harcanmasına ve maddi kayba neden olacaktır. Yapım toleransları sadece kazı aşamasında değil iç kaplama ve donatı yapım aşamaları olan inşa aşamasında geçerlidir. Metro tüneli inşasında sağlıklı ve sorunsuz çalışan bir sistem ancak tünel gabarisinin tünel dizaynı ve yapımı süresince dikkate alınması ile sağlanabilir.



Şekil 2.1 : Statik, Dinamik ve Yapısal Gabari [3]

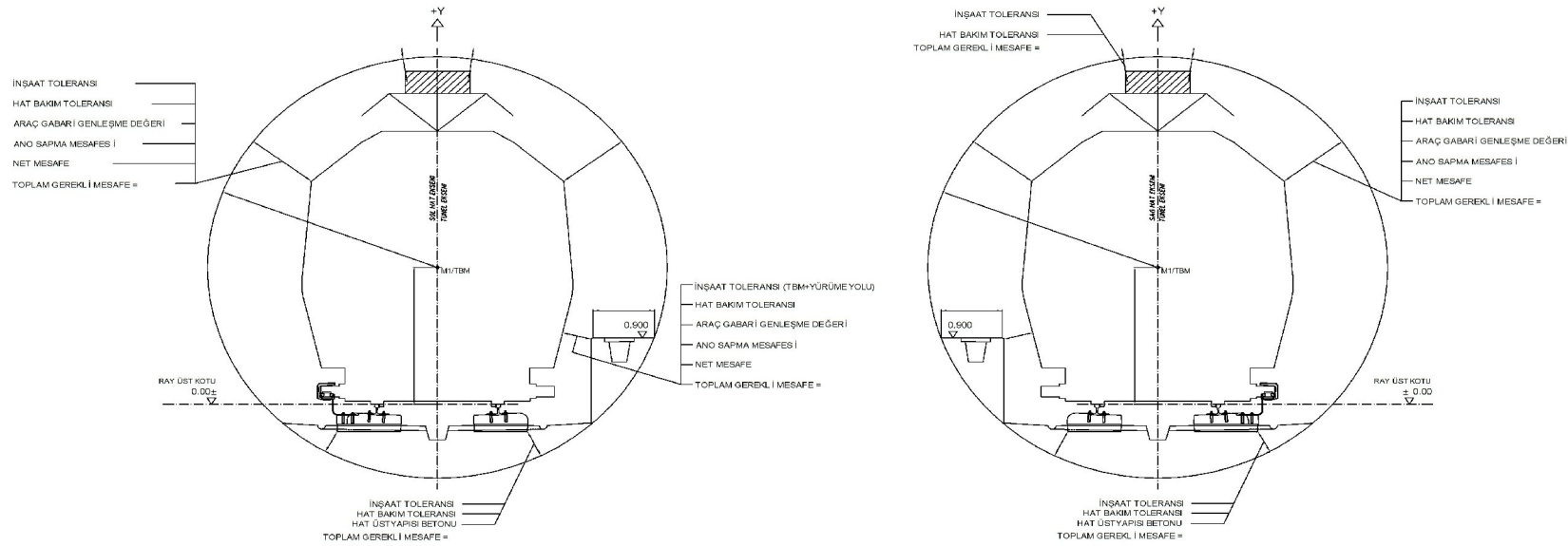
Tünel gabarisi, tünelde seyahat edecek aracın boyutlarına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Statik gabari, sabit aracın, üretim toleransları ve yüke bağlı süspansiyon etkileri de dikkate alınarak izin verilen maksimum boyutlardaki enine kesitidir. Dinamik gabari, tasarım hızına göre aracın statik gabariden izin verilen maksimum olası sapmasının göz önünde bulundurularak genişletilmiş halidir. Dinamik gabarinin belirlenmesinde güzergâh gabarisi için izin verilen toleranslar, güzergâhın plan ve boy profili, güzergâhın yatay ve düşey eğriliği ve güzergâh üzerinde yapılan deşer gibi uygulamalar da göz önünde bulundurulur.

Yapısal gabari, raylı sistemin güvenilir çalışmasını sağlamak için dinamik gabari dışında olması gereken açıklıktır. Yapı gabarisini geçen herhangi bir yapının tesis edilmemesi gereklidir. Dinamik gabari ve yapısal gabari arasındaki açıklığın tüm tünel güzergâhı boyunca korunması gereklidir. [3] Şekil 2.1’de statik, dinamik ve yapısal gabari gösterilmiştir. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de metro aracının dinamik gabarisinin güzergâhın yatay ve düşey geometrisi ile ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Sağ ve Sol Kurpta Gabari Gösterimi [4]

GABARİ ÖLÇÜLERİ - DÜZ HAT



Şekil 2.3 : Düz Hattı Gabarının Gösterimi [4]

3. ÖLÇME YÖNTEMLERİNİN SEÇİLMESİ VE ALETLENDİRME PLANLARININ HAZIRLANMASI

Ölçme yönteminin seçilmesinde ve aletlendirme planlarının hazırlanmasında dikkate alınması gereken en temel parametre proje ile belirlenen talep edilen doğruluktur. Tünel projelerinde talep edilen doğruluk gabariye bağlı olarak belirlenen tolerans değeridir ve çalışmanın her aşamasında dikkate alınmalıdır. İstenilen bu doğruluk içerisinde yapım toleransını ve ölçme doğruluğunu birlikte barındırmaktadır.

3.1 Ölçme Yönteminin Seçilmesi

Üç boyutlu veya yatay konum bilgisinin elde edilmesinde kullanılan başlıca ölçme yöntemleri uydu bazlı konum belirleme yöntemleri (GPS, SLR, LLR), uzaktan algılama, fotogrametri, yersel ölçmeler, lazerli interferometri sistemleri ve lazer tarama sistemleridir. Düşey konumlandırmada yükseklik farkı ölçme yöntemleri ise yaygın olarak kullanılan trigonometrik ve geometrik yükseklik farkı ölçme yöntemleridir.

Ölçme yönteminin belirlenmesinde talep edilen doğruluk, zaman, ekonomi ve personel ihtiyacı göz önünde bulundurulur. Ölçme yöntemleri ve konumsal bilginin elde edilmesinde kullanılan yaklaşımlar teknolojiye paralel olarak sürekli gelişmekte ve her geçen gün hassasiyeti daha yüksek donanımlar ve hesap algoritmaları geliştirilmektedir.

Fizibilite çalışmaları için yapılacak haritalama işlerinde uzaktan algılama yöntemi, proje alanının büyük ölçekli haritasının üretilmesi çalışmasında fotogrametri ve yersel ölçme yöntemlerinden büyük ölçekte yararlanılabilmektedir. Yüzey kontrol ağının tesisinde yeterli duyarlılıkta konum bilgisinin üretilebildiği (± 5 mm +1ppm) ve hızlı ve güvenilir sonuç sağlayan GPS teknolojisi (statik ve hızlı statik yöntem) yaygın olarak tercih edilmektedir. Düşey konum bilgisinin önem kazandığı birçok mühendislik çalışmasında pratik bir yöntem yatay ve düşey konum bilgisi üretim

alışmalarının 2D+1D olarak yatay kontrol ağı ve düşey kontrol ağı olarak tesis edilmesi ve lmesi şeklinedir. Yatay Kontrol Ağı tesisi ve sıklaştırılması çalışmalarında GPS teknolojisinin yersel konum belirleme sistemleri ile entegre şekilde kullanılmasına da yaygın olarak rastlanılmaktadır. Düşey kontrol ağı tesisi ve sıklaştırılması çalışmaları refraksiyondan bk ölçüde etkilenen trigonometrik ykseklik farkı belirleme yöntemi yerine yaygın olarak tercihen geometrik nivelman ya da prezisyonlu geometrik nivelman yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Tünelde yapılacak lme çalışmalarında ise nadiren kullanılabilen inersiyal sistemler ve kalite kontrol ölçmeleri süresince kullanılabilecek lazer tarama, yakın resim fotogrametrisi, mm'nin altında doğruluk beklenen çalışmalarda tercih edilebilecek 3B konum belirleme sistemi olan lazer interferometri yöntemi (endüstriyel lazer lme cihazları) gibi özel amaçlı çalışmalarda kullanılacak lme yöntemleri dışında, tünel yapım süresince kullanılacak tek lme yönteminin yersel lme yöntemi olduğu söylenbilir.

3.2 Aletlendirme Planlarının Hazırlanması

Aletlendirme planı, nokta tesisi, kullanılacak donanımların seçilmesi, kullanılacak yazılımların seçilmesi ve personel çalışmalarını kapsamaktadır. Aletlendirme planı yapılırken işin sürekliliği göz önünde bulundurulurken işin aksamaması ve gereken duyarlılıkta yapılabilmesi için proje iş akış planının ve takviminin göz önünde bulundurulması gerekir. Birçok tünel çalışması iki ayrı noktadan karşılıklı kazılar şeklinde gerçekleşebileceği gibi proje tasarımına bağlı olarak çok farklı şekillerde de gerçekleşebilir. Yine kazı metodu aletlendirme de önemli bir etkindir. TBM tüneli kazı çalışmalarında 24 saat yönlendirme sistemine bağlı olarak çalışacak aletlere gereksinim duyulurken, NATM kazı çalışmalarında ise alet gereksinimi iksa aplikasyonları ve deformasyon ölçmeleri gibi süreksizlik gösteren ve sık aralıklarla gerçekleştirilen çalışmalarda oluşacaktır. Her mühendislik çalışmasında olduğu gibi aletlendirme çalışmasında da optimizasyon sağlanmalıdır. Aletlendirme planı hazırlanırken dikkate alınması gereken parametreler zaman, ekonomi ve eğitimli personel ihtiyaı olarak sıralanabilir.

3.2.1 Nokta Tesisleri

Nokta konum doğruluğu yapılacak çalışmaların doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle ister yüzey ister tünel içi nokta tesislerinin ihtiyacı karşılayacak doğrulukta ve ihtiyaç duyulacağı zaman zarfında kaybolmayacak nitelikte ve dış etkenlerden en az etkilenecek şekilde sağlam tesisler olarak tasarlanması gereklidir. Tünel çalışmalarında kullanılacak söz konusu noktalar yatay ve düşey kontrol ağı noktaları, tünel içi yatay ve düşey kontrol ağı noktaları, tünelde tesis edilecek yardımcı noktalar olan konsollar ve tıpa prizmalar (spigot), proje datumunun tünele transferinde kullanılan noktalar, şaft ile açılan tünellerde şaft üstü ve şaft içi noktaları, tünel içi deformasyonların ve yüzey oturmalarının izlemesi amacıyla tesis edilen obje noktaları (deformasyon noktaları), ayna kazılarının yönlendirilmesinde kullanılan lazer aparatlar, mekanize tünellerde kazıların yönlendirilmesi amacıyla kullanılan yönlendirme noktalarıdır.

Nokta tesisleri çalışmalarında dikkate alınması gereken diğer hususlar noktaların belli bir isimlendirme kuralına bağlı olarak isimlendirilmesi, noktaya ulaşımı kolaylaştırmak amacıyla röperlenmesi, olası değişimlerin izlenmesi ve saptanması amacıyla oluşturulacak referans ağından yararlanılarak sürekli gözlem ve takibinin sağlanmasıdır.

Nivelman noktalarının tek anlamlı sonuç üretmesi ve doğruluğu yüksek noktalar olması amacıyla küresel başlı noktalar şeklinde oluşturulması tercih edilir. Tünelde tesisi yapılacak tüm noktaların tünel trafiğinden etkilenmemeleri sağlanmalıdır. Bu nedenle genellikle noktalar tünel yan duvarları üzerinde ve korumalı olarak tesis edilir ve yansıtıcı reflektörle işaretlenir. Tünelde tesisi gerçekleştirilen noktalar korunmaya çalışılsa da çalışma şartları nedeniyle çarpılmaya ve bozulmaya elverişlidirler. Bu nedenle tünel içi kontrol noktalarının yönetimi özen gerektirmektedir. Silikon, boya gibi malzemelerle nokta tesisinin yer değiştirmesi kaba ve pratik olarak kontrol edilebilir. Tüneldeki noktaların önemi ve korunmasının gerekliliğinin sadece ölçme personeli tarafından değil tünelde en üst kademeden en alt kademeye kadar tüm çalışanlarca kavranması sağlanmalıdır. Tünel içinde ve yüzeyde tesisi gerçekleştirilecek noktaların yerlerinin belirlenmesinde nokta

tesislerinin deformasyon bölgesi dışında kalmasına özen gösterilmelidir. Aksi takdirde konum bilgisinin sürekli takibi ve güncellenmesi ihtiyacı doğacaktır.

Yatay konum bilgisinin belirlenmesinde kullanılacak noktaların tesis tiplerine karar verilirken merkezleştirme hatasının en aza indirgenmesi amacıyla özellikle tünel içi kontrol noktalarında zorunlu merkezleştirmeler kullanılır.

3.2.2 Ölçme Donanımları

Ölçme donanımları kullanılacak yöntemle bağlı olarak belirlenmekle beraber ulaşılabilecek doğruluğu doğrudan etkilemektedir. Proje başlangıcında gerçekleştirilen yatay ve düşey jeodezik kontrol ağı oluşturulması, büyük ölçekli hâlihazır haritaların ve şerit vari haritaların üretilmesi çalışmalarının ve tünel giriş yapılarının inşaatı çalışmalarının süreklilik göstermediği ya da güncelleme ve kontrol çalışmaları gibi seyrek aralıklarla tekrarlanmasına gereksinim duyulacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Genel olarak kısa süreli kullanılacak ve özel çözüm gerektiren yatay kontrol ağının GPS tekniği kullanılarak ölçmesi gibi çalışmalarda, fazla sayıda elemana, alete ve yazılıma gerek duyulacak hâlihazır haritaların hazırlanması çalışmalarında bu konuda uzman firmalardan yararlanılmaktadır. Bu nedenle donanım seçiminde büyük oranda tünel yapım çalışmaları göz önünde bulundurulmalı ve bu konu üzerinde yoğunlaşılmalıdır.

Tünel kazılarının jeodezik yönetiminde yersel ölçmelerden yararlanılacağı göz önünde bulundurulursa yatay konum bilgisi için temel ölçme donanımı total stationlar ve yardımcı donanımlar gözleme hedefleri, alet sehpaları düşey konum bilgisi için ise geometrik nivelman yöntemi kullanılacağı göz önünde bulundurulursa temel donanım nivolar ve yardımcı donanımlar miralar ve alet sehpalarıdır. Yüksek doğruluk gerektiren tünel çalışmalarında kullanılmakta olan gyro-teodolitler de tünel çalışmalarında temel donanım unsuru olmaya başlamışlardır.

Ölçme aletleri teknolojisi her geçen gün daha hızlı olarak gelişmekte ve ulaşılan doğruluk artmakta, bunun yanı sıra kullanıcıya sunulan imkânlar da gelişmektedir. Kullanılacak alet belirlenirken öncelikle hangi amaçla kullanılacağı ve bu amacın gerçekleştirilmesi için gerekli doğruluğu karşılayıp karşılayamayacağı dikkate alınmalıdır. Günümüz teknolojisinde mühendislik ölçmelerinde kullanılan aletlerin

kenar ölçme doğruluğu üretici firmanın belirlediği alet teknik özellikleri göz önünde bulundurulursa 2mm+2 ppm, açı ölçme doğruluğu ise 1°-5° saniyesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Açıklık açısı ölçme amacıyla kullanılan gyro-teodolitler ise 3° saniyesi doğruluk sağlamaktadır.

Yükseklik farkının ölçmesinde prezisyonlu geometrik nivelman tekniği tercih edildiği varsayılırsa yine açı ve kenar ölçmeleri için kullanılacak donanımların belirlenmesinde olduğu gibi amaç ve talep edilen doğruluk göz önünde bulundurulmalıdır. Nivolar klasik ve sayısal nivolar olmak üzere gruplandırılabilirler. Sayısal nivolar yüksek doğruluk sağlamaları, gerek barkotlu gerek klasik invar ya da invar olmayan miralarla kullanılabildiği ve kullanıcı kaynaklı hataları en aza indirdiği için yüzey düşey kontrol ağının tesisinde, tünel içi düşey konum bilgisinin üretilmesinde, yüzey deformasyonlarının izlenmesinde yaygın olarak tercih edilir.

Tünel çalışmaları süresince gereksinim duyulacak aplikasyon çalışmaları, geriden ve ileriden kestirmeler, kesit ölçmeleri, kontrol ve kalibrasyon amaçlı yazılımlar gibi özel amaçlı ölçme ve hesap programlarını içerisinde barındıran aletlerin tercih edilmesi hiç şüphesiz faydalı olacaktır. Günümüz total station teknolojisi açı ve kenar ölçmelerinde sağladığı yüksek doğruluk yanı sıra elektronik düzeç, lazerli merkezleştirme sistemleri, elektronik okuma düzeneği, elektronik yazma düzeneği, harici hafıza (PCMCIA kart), uzaktan kontrol (radio modem, bluetooth), reflektörsüz ölçme sistemleri, motorize sistemler, otomatik hedef tanıma sistemi (ATR-Automatic Target Recognition), grafik ekran, dokunmatik ekran ve kullanıcı kolaylığı sağlayan menüler gibi birçok avantaj sunmaktadır.

Total stationlarla yapılacak çalışmalarda açı ölçme doğruluğunun artırılması açı ölçmelerinde kullanılacak olan gözleme hedefine doğrudan bağlıdır. Açı ölçmesinde en doğru sonucun noktaya doğrudan bakılması olmakla beraber tünel çalışmalarında böylesi pratik bir sistemin kullanılması neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle açı ölçme doğruluğunun artırılması amacıyla gözleme plakalarının tercihi söz konusudur. Uzaklık ölçmesinde kullanılan reflektörler (prizmalar) standart prizmalar, mini prizmalar, yaprak (kâğıt) reflektörler, 360° standart ve mini prizmalar, eş merkezli küresel prizmalar olarak sıralanabilir. 360° prizmalar özellikle birçok açıdan

gözlenecek olan sabit noktalarda kullanılan yeni bir teknolojidir. Küresel prizmalarda tek merkez etrafında prizmanın istenilen yöne çevrilmesi ve noktanın konumunun değişmemesi nedeniyle birçok uygulamada tercih edilebilecek olup özellikle yüzey kontrol ağı ile tünel kontrol ağının datumunun belirlenmesi çalışmalarında şaft üstü noktalar olarak kullanılmaktadır. Prizma seçiminde alet ve prizma uyumu dikkate alınmalıdır.

Aletin kurulacağı sehpa, tribrach gibi yardımcı donanımlarında ölçme doğruluğunun doğrudan etkileyeceği göz önünde bulundurularak güvenilir olmaları ve sürekli bakım ve kontrollerinin yapılmasını gerektirir. Kullanılacak tüm ölçme donanımlarının aletsel hataların azaltılması amacıyla kontrol ve kalibrasyonlarının düzenli aralıklarla gerçekleştirilmesi ve takibinin yapılması sağlanmalıdır.

Donanımların seçilmesinde optimum çözümün sağlanması ihtiyacın doğru tespiti ve doğru ölçme programı tasarımı ile sağlanabilir.

3.2.3 Kullanılan Yazılımlar

Tünel çalışmaları süresince ihtiyaç duyulabilecek başlıca yazılımlar başta kullanılan donanımlara uygun veri aktarım ve veri dönüştürücü programlar olmak üzere, hesap programları, bilgisayar destekli grafik tasarım programları, deformasyon takibinde kullanılacak programlar, yönlendirme programları, kesit çizme programları gibi özel amaçlı hesap ve çizim programları ve coğrafi bilgi sistemleri yazılımlarıdır. Günümüzde, özel ölçme uygulamalarına çözüm olması amacıyla hazırlanmış ulusal ve uluslararası ölçekte birçok programa ulaşılabilir. Ayrıca proje gereksinimleri doğrultusunda programların hazırlanması da söz konusu olabilir. Özel amaçlı yazılımların kullanılmasının birçok avantajı vardır. Bir iş için gerekli sürenin azaltılması, hesaplarda bilgisayar teknolojilerinden gerektiği gibi yararlanılması, kullanıcı kaynaklı hataların azaltılması gibi birçok avantajdan bahsedilebilir.

Kullanılacak yazılımlardan doğru ve tam olarak yararlanmak için personelin yeterli derecede bilgi sahibi olması gerekmektedir. Çalışmaların her aşamasında dokümantasyon ve raporlama çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Gerekli görüldüğü takdirde arşivleme çalışmalarında uygun veri tabanları kullanılabilir.

3.2.4 Ölçme Ekibi

Ölçme ekibin oluşturulması çalışmasında aletlendirme çalışması içerisinde iş akış planına bağlı olarak gerçekleştirilir. Aynı anda bir kaç yerde vardiyalı sürece kazı çalışmaları için bir kaç çekirdek ekibe ihtiyaç duyulabilir (alet operatörü, şenör).

Ölçme ekibi işi itibariyle kalifiye elemana ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle çoğunlukla yetiştirilen elemanlar olan alet operatörü ve şenörler mümkün olduğunca sürekli eğitim halinde bulunmaları hiç şüphesiz yararlı olacaktır.

Deformasyon ölçmeleri çalışmasının NATM tünel çalışmalarındaki önemi göz önünde bulundurulursa gerek yüzey deformasyonlarının takibi gerek tünel deformasyonlarının takibi için alet operatörü ve şenörden/şenörlerden oluşan 2–3 kişilik ekiplerin iş aksamasını engellemek amacıyla proje büyüklüğüne bağlı olarak oluşturulacak ayrı ekiplerden oluşması önemlidir. Mümkün olduğunca bu ekiplerin sabit kalması deformasyon çalışmalarının rutinliği, öğrenme için zaman kaybedilmemesi, ölçme ekibi tarafından daha az hatanın yapılması, kişisel engellerden kaynaklı hataların deformasyon ölçmelerine yansımaması gibi nedenlerle önerilmektedir.

Tünelin yatay ve düşey tasarımının uygulaması, tünel kesitinin ve profilinin kontrol edilmesi, tünel açma makinesinin yönlendirilmesi veya diğer yöntemlerle açılacak tünellerde de gerekli konum bilgisinin sağlanması ve son olarak belirlenen kesitlerde güvenlik ve koruma amaçlı deformasyon ölçmelerinin yapılması gibi birçok iş tünel inşaatında ölçme mühendisinin (geomatik mühendisi/jeodezi ve fotogrametri mühendisi/ harita ve kadastro mühendisi) varlığını gerektirir. [5] Bunun yanında mühendisin en temel ve en önemli işi, delme doğruluğunun optimizasyonu ve kontrol ölçmelerinin tasarımının yapılmasıdır. Bu çalışmaların yüksek doğruluk gerektiren tünel inşaatı başlamadan önce tamamlanması gerekmektedir.

Eğer mümkünse projenin büyüklüğüne bağlı olarak mühendislerin iş başlıklarına göre (deformasyon/NATM Aplikasyon/TBM Yönlendirme/Kontrol ölçmeleri) görev dağılımının yapılması yerinde olacaktır. Eğer ekip bölünmüşse güncel veri paylaşımının dikkatle organize edilmesi çok önemlidir. Böyle bir yöntem izlendiği takdirde birimler arasında iletişim ve bilgi aktarımının sağlıklı bir şekilde sürekli ve güvenilir olması sağlanmalıdır. Ekip içerisinde dönemsel periyotlarla toplantılar işin

doğruluğu, ekip çalışması, motivasyon, deneyim paylaşımı için gereklidir. Özellikle yazılı ürünler gerek projeye gerek proje sonrası önemli kazanımlara yol açacaktır.

“Ölçme ekibinin ve ekip liderinin hizmetlerinde başarılı olmasının; yapılacak iş ve işlemlerin isabetli kararlara, dikkatli planlamaya, özenli ve sistemli arazi ve büro çalışmalarına, ölçme tekniği prensiplerinin eksiksiz uygulanmasına ve insan ilişkilerine verilen öneme bağlı olduğu bilinmelidir. Bir projedeki ölçme mühendisinin başarılı olabilmesi için:

- Modern ölçme ve bilgi işlem donanımları ile ilgili bilgi ve beceriler açısından yetenekli ve yeterli mesleki deneyime sahip olması,
- Amaca uygun yöntem ve donanım kullanımının, doğruluk kriterlerine uygunluğunun ve uyumunun gereğini ve önemini iyi bilmesi;
- Ölçme hizmetleri ile diğer iş grupları arasındaki ilişkileri ve ölçmenin diğer işlere olan etkilerini iyi değerlendirip takdir edebilmesi;
- Gerek ölçme grubunun gerekse diğer grupların başarısında, halkla ilişkiler, yönetim ve insan ilişkileri, iletişim becerileri gibi teknik dışı faktörlerin önemli olduğu; ölçme grubunun, halkla temas eden ilk grup oluşu ve görevinin sürekliliği nedeniyle bu konuda önemli etkisinin olduğunu bilmesi;
- Görevli olduğu proje ile ilgili mühendislik disiplinde gerekli temel bilgilere sahip olması;
- Mesleki etik konularına önem vermesi

Gibi hususlar göz önünde bulundurulmalı ve

- Ölçme mühendisi ve grubu, hizmetin gerektirdiği imkân yetki ve sorumluluklarla donatılmalıdır.
- Uygun doğrulukta yer ve zamanda yapılmış bir ölçme ve haritalama hizmetinin projede önemli kazanç, hız ve verim artışı sağlayacağı, aksi durumda ise; önemli teknik, ekonomik ve hukuksal sorunlara ve kayıplara neden olacağı (ölçme hizmetinin, fizibilite, tasarım, pilot

proje uygulaması gibi en az harcama ile en fazla ekonominin sağlandığı bir hizmet olduğu) bilinmelidir.” [6]

İnsan yaşamının önemi, sürekli iş güvenliğinin sağlanmasını zorunlu kılar. Bu nedenle yapılacak her işte önce iş güvenliği sağlanmalı ve ekip çalışanlarının teknik bilgiler yanı sıra dönemsel olarak tekrarlanacak iş güvenliği eğitimleri ile sürekli bilgilendirilmeleri sağlanmalıdır.

4. JEODEZİK ALTYAPI

Jeodezik problemlerin çözülebilmesi için problemlerin yapılarına uygun çok çeşitli koordinat sistemleri kullanılır. Bir koordinat sistemini tanımlamak için başlangıç noktasının yeri, koordinat eksenlerinin yönleri, koordinat sistemine ait bir noktanın konumunu belirleyen parametreler belirtilmelidir. Yeryüzünde değişik ülkelerin kullanıldığı çeşitli jeodezik datumlar vardır. Türkiye, referans elipsoidi “Uluslararası Hayford 1910” olan “European 1950” datumunu kullanmaktadır. [7]

Türkiye Ulusal Nirengi Ağı çalışmaları 1900’lü yılların başlarına dayanmaktadır. 1954 yılında dengelenen Türkiye Ulusal Nirengi Ağı, 27 poligon halkasından oluşmaktadır. [8] Türkiye Ulusal Nirengi Ağı teknik özellikleri aşağıdaki gibidir

Datum	ED50
Elipsoit	Uluslararası Hayford
Dengeleme	1954
Avrupa Ağıyla Ortak Nokta	8
I. Derece Poligon Sayısı	27
Astronomik Nokta	99
I. ve II. Derece Nokta	904 + 3320
I. ve II. Derece Nokta Sıklığı	185 km ² (≈13 km/nokta)
III. Derece Nokta	≈55000
I. II. Ve III. Derece Nok. Sık.	13 km ² (≈3-4 km/nokta)

Konuma bağlı bilgilerin güncelliği bilgisi ve fiziksel yeryüzünün zamana bağlı değişimleri sonucu konum bilgisinin doğrudan değişime uğraması nedeniyle konum bilgisi kavramı içinde konumun belirlendiği zaman bilgisi büyük önem taşımaktadır. [8]

Türkiye Ulusal Nirengi Ağı hiyerarşik bir ağ yapısına sahiptir ve her zaman üst dereceli bir ağ alt dereceli ağa koordinat vermektedir. Tasarımında Türkiye’nin tektonik yapısı göz ardı edildiğinden noktaların fiziksel yapısı değişmiş olmasına karşın koordinatları değişmez alınmıştır. [8] Ülkenin değişik bölgelerinde sık

aralıklarla oluşan deprem ve bu depremlerin neden olduğu kabuk hareketleri ülkenin jeodinamik yapısını içeren bir jeodezik ağ modeline gereksinim olduğu gerçeğini su yüzüne çıkarmıştır. [9]

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA), 1997-1999 yılları arasında gerçekleştirilmiş olan TUTGA küçük ölçekli/düşük çözünürlüklü tüm çalışmalara altlık oluşturabilecek özelliktedir yalnız büyük ölçekli/yüksek çözünürlüklü çalışmalarda sorunsuz kullanılabilmesi için sıklaştırılması gerekmektedir. [8] TUTGA'ya ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir.

Datum	ITRF 96
Elipsoit	GRS 80
Toplam Nokta Sayısı	594
Ülke Ağı ile Çakışık	91
Jeodinamik Çalışmalarla Ortak	53
Nivelman Yüksekliği Olan	181
SLR Nokta Sayısı	5
Noktalar Arası Uzaklıklar	25 ile 70 km
Ortalama	1315 km ² /nokta

İstanbul GPS Nirengi Ağı çalışmalarına 1999 yılında başlanmıştır. 1998 ve 1999 yılları arasında gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda 1/1000 ve 1/5000 ölçekli sayısal fotogrametrik harita üretimine altlık oluşturacak yaklaşık 650 nirengi noktası GPS tekniği ile ölçülmüş ve değerlendirmeleri teknik şartname hükümlerine uygun olarak yapılmıştır. [10] Ayrıca dengeleme sonucunda ITRF94 datumunda elde edilen nokta koordinatları kullanılarak ülke sistemi ED50 datumunda koordinatları bilinen özdeş noktalar yardımıyla İstanbul için ITRF94 datumundan ED50 datumuna dönüşümü sağlayacak 2B koordinat dönüşüm parametreleri belirlenmiş, benzer şekilde, nivelman ölçüleri ile Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA) ile ilişkilendirilerek ortometrik yükseklikleri belirlenmiş olarak noktalar yardımıyla bir yerel geoit hesaplanmıştır. [10] Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) GPS ölçüleri ve değerlendirmelerine ilişkin standartlar tanımlanmasıyla 1999 yılında ITRF94 datumuna göre oluşturulan IGNA, bu kez BÖHHBÜY ile birlikte ulusal datum olarak tanımlanan ITRF96 datumunda TUTGA noktalarına bağlı olarak oluşturulmuş ve yayınlanmıştır. [10]

Türkiye düşey kontrol ağı, ana kara yollar boyunca 158 I. Derece ve 87 II. Derece geometrik nivelman geçkisi ile 1536–1970 yılları arasında oluşturulmuştur. Daha sonra ağın iyileştirilmesi amacı ile ikinci faz ölçmelerine başlanmış ve 1973–1992 yılları arasında da 151 I. Derece ve 35 II. Derece geometrik nivelman geçkisi yenilenmiştir. Geçkiler boyunca ortalama birer kilometrelik aralıklarda düşey kontrol noktaları bulunmaktadır. Ortalama deniz seviyesi Karadeniz kıyısında Ereğli, Samsun ve Trabzon mareograf istasyonları Akdeniz kıyısında Antalya ve İskenderun istasyonları Ege Denizi kıyısında da İzmit mareograf istasyonlarından yararlanılmıştır. İkinci faz ölçmelerde daha önce ölçülmeyen gravite değerleri düşey kontrol noktalarından ölçülmüştür. Düşey datumu belirlemek için Antalya mareograf istasyonunda 1936–1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçüleri kullanılmıştır. [7]

3B konum belirlemenin bir parçası olarak düşey kontrol belirli başlangıç yüzeyine göre yeryüzündeki nokta yüksekliklerinin belirlenmesine olanak sağlar. Bu amaçla düşey kontrol, geleneksel olarak adlandırılan gravite ile ilişkili yükseklik ağları ya da modern uydu teknikleri yardımıyla sağlanabilir. Gravite ile ilişkili yükseklik sistemleri, pratik gereksinimleri karşılayabilecek nitelikte oluşları nedeniyle, düşey kontrol açısından temel sayılırlar. Pezisyonlu nivelman tekniği, GPS tekniği ile karşılaştırıldığında ekonomik değildir. Buna karşılık GPS'den türetilen elipsoidal yükseklikler ise fiziksel gerçeğe uymamaktadır. Ancak ortalama deniz yüzeyi ile yaklaşık çakışık kabul edilen jeoidin bir referans elipsoidine göre belirlenmesi, elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçişi olanaklı kılmaktadır. [11]

Bir yükseklik sistemi oluşturulurken, ideal anlamda jeoide karşılık gelmesi ve doğada erişilebilir olması nedeniyle başlangıç yüzeyi (düşey datum) olarak ortalama deniz yüzeyinin seçilmesi, nokta yüksekliklerinin tek anlamlı olması, pratiğe elverişli olması açısından yeryuvarının gravite alanı ile ilişkili bir yükseklik türünün seçilmesi temel ilkeleri göz önünde bulundurulur. [11]

Yeryuvarının dinamik yapısı, ulusal ağların giderek kendini kıtasal hatta küresel ağlara bırakması, ortometrik, normal vb yerel yüksekliklerin geleneksel nivelman yöntemiyle belirlenmesinin mühendislik hizmetlerinin maliyetini artırması gibi nedenlerle düşey kontrol ağlarının GPS gözlemleri ile desteklenmesi gerekmektedir. [11]

Harita üretimi çalışmalarında yer kontrol noktalarının GPS ölçüleri ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerinin ülke yükseklik sistemine dönüştürülmesi için uygun doğruluğa sahip jeoid bilgisine ihtiyaç vardır. Ülkemizde en son belirlenmiş jeoid güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi 1999'dur. Noktaların elipsoidal yükseklikleri, TUTGA99A'ya dayalı hesaplanan GPS ölçüleriyle ITRF96 datumunda belirlenir. GPS ölçüleri belirlenen elipsoid yüksekliklerinin ülkemizde kullanılan ortometrik yükseklik sistemine dönüştürülmesi amacıyla BÖHHBÜY, TG99A jeoidinin doğrudan kullanılması, TG99A jeoidinin yerel GPS/Nivelman ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması, baz vektörlerinde elipsoidal ve TG99A jeoid yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi, yerel GPS/Nivelman jeoid modelinin oluşturulması yöntemlerini önermiştir. [12]

1/5000 ve daha büyük ölçekli harita ve harita bilgilerinin üretimi ile mühendislik amaçlı çalışmalarda, personel, zaman ve para tasarrufu sağlamak üzere santimetre doğrulukta bir Türkiye jeoidine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Türkiye jeoidinin santimetre doğrulukta hesaplanacağı zamana kadar, büyük ölçekli harita üretimlerinde, nokta yüksekliklerinin istenen doğrulukta belirlenmesi için, TG99A jeoidinin yerel GPS/Nivelman jeoidi ile geliştirilmesi uygun olacaktır. [12]

Ülkemizde yol projelerinde, jeodezik altyapının oluşturulması işleminde tüm çalışmalar ülke ağına dayalı noktalar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Mühendislik uygulamalarında jeodezik altyapı için ülke ağı noktalarının kullanılması ve bütün çalışmaların bu noktalara dayalı olarak yapılması teknik yönetmeliklerde de istenmektedir. [13]

Ülke ağı noktalarının tektonik nedenlerle yer değiştirmesi ve düzeltme ölçmelerinin yapılamaması, bu noktalara dayalı olarak gerçekleştirilecek çalışmaların doğruluğunu ve güvenilirliğini etkilemektedir. ITRF, nokta koordinatları ve noktaların hareket hızlarının, yerkabuğundaki tüm plakaların hareket ettiği varsayılan bir modele göre belirlenen dinamik bir ağıdır. ITRF'in gerçekleştirilmesini izleyen yıllarda, bu ağı dayalı bölgesel ve ülke ağlarının oluşturulması çalışmaları başlamıştır. Aplikasyon işlerinde de ülke nirengi ve nivelman ağındaki deformasyonları yok edebilmek aynı

zamanda GPS ve yeni geliştirilen teknolojilerden en fazla düzeyde faydalanabilmek için ITRF sistemi kullanılmalıdır. [10]

4.1 Proje Koordinat Sisteminin Seçilmesi

Kontrol ağının tasarımında koordinat sisteminin belirlenmesi önemli bir aşamadır. Koordinat sisteminin belirlenmesi, ağın başlangıç noktasının yeri, dönüklüğünün ve ölçeğinin seçilmesi yani projenin refere edileceği datumun belirlenmesidir. [3]

Proje datumu belirlenirken, tünel uzunluğu, izleyeceği güzergâh, talep edilen doğruluk gibi parametreler dikkate alınır. Kısa tüneller için lokal koordinat sistemleri çalışma rahatlığı nedeniyle tercih edilebilir. Diğer taraftan bir kaç km'lik ve yapılacağı bölgeye ait yerleşim, altyapı gibi diğer parametrelere ihtiyaç duyulan yeteri kadar uzunluktaki tünellerin jeodezik altyapısı oluşturulurken bölgeye ait jeodezik datum tercih edilebilir. Yine çok uzun tünellerde yeryüzü eğriliğine bağlı meydana gelecek distorsiyonların minimize edilebilmesi ve özel ölçek faktörü düzeltilmesi gereksinimi için güzergâhı kapsayan alanda gerçekleştirilecek haritalama ve projeksiyon ile lokal koordinat sistemi tercih edilebilir. [3] Çalışma lokal koordinat sisteminde yapılmış olsa da bölgenin jeodezik alt yapısı ile ilişkilendirilmesi ve transformasyon parametrelerinin tanımlanması gerekir.

4.2 Jeodezik Kontrol Ağı Tasarımı ve Yönetimi

Referans Sistemi, bir referans sisteminin temel teori ve standartları da içeren kavramsal düşüncesi referans ağı ise, referans sisteminin ölçmeler ve bir grup istasyon koordinatları ile pratik olarak gerçekleştirilmesi olarak tanımlanır. [7]

Jeodezik kontrol ağları, ölçme metotlarına ve geometrilere göre sınıflandırılmaktadır ayrıca prezisyonlu mühendislik projeleri için özel olarak tasarlanan özel amaçlı jeodezik ağlarda mevcuttur. Genel olarak bu ağlar proje ismiyle adlandırılmaktadır. [14]

Jeodezik ağ tasarımı, temel beş adımdan oluşmaktadır. Önce ağın kapladığı alana ait istikşaf kanavası hazırlanır, ardından ölçme kanavası hazırlanır, kontrol noktaları numaralandırılır, nokta tesisleri gerçekleştirilir ve istasyonların röper krokileri hazırlanır. İstikşaf kanavası küçük ölçekli haritalar üzerinde mevcut kontrol

noktalarının, sıklaştırma alanının sınırları, yerleşim alanları, ulaşım ağları, ormanlık alanlar, göl dere gibi diğer doğal ve doğal olmayan objelerin işaretlendiği kanavardır. Ölçme kanavasında ise gözlenen doğrultular, ölçülen kenarlar, nivelman yolları gibi mevcut ölçme durumu işaretlenir. Noktaların adlandırılmasında ve nokta tesislerinin gerçekleştirilmesinde yönetmeliğe uyulur. Nokta tesislerinin noktanın ihtiyaç duyulacağı zaman zarfında kalıcı ve sağlam tesisler olması önemlidir. Hazırlanacak röper krokileri, kontrol noktasına tekrar ulaşımı kolaylaştıracağı için önemlidir. [14]

Kontrol Ağının tasarımında güvenilirlik, zaman ve ekonomi önemli bir yer tutar. Bu nedenle jeodezik kontrol ağının optimizasyonuna gerek duyulmaktadır. “Teknikte ve ekonomide herhangi bir yatırımın gerçekleştirilmesi sırasında elde bulunan araç, hammadde, para, personel ve gerekli zamanın optimal olarak kullanılması problemi ile karşılaşmaktadır. Gerekli koşullara uyularak amacın en iyi bir biçimde gerçekleştirilebilmesi için yatırım iyi organize edilmelidir. Yatırımı gerçekleştirme olanakları bazı parametrelerle ifade edilebiliyor ve amaç aynı parametrelerin bir fonksiyonu olarak tanımlanabiliyorsa matematiksel optimizasyon söz konusudur ve iyi organizasyon matematiksel optimizasyon esasları ile gerçekleştirilir. Jeodezik Ağların, presizyon, güven, ekonomi, ölçütlerinden veya bunların karışımından oluşturulacak, ağın datum, şekil, ölçü ağırlıkları ve yaklaşık koordinatlar gibi parametrelerin fonksiyonlarıyla ifade edilen amaç fonksiyonunun gerçekleştirilmesini sağlayacak şekilde kurulması seçime bağlı parametrelerinin amaç fonksiyonunu optimal yapacak biçimde belirlenmesi jeodezik ağların optimizasyonu ya da dizaynı olarak tanımlanır.” [15]

4.2.1 Jeodezik Yatay ve Düşey Kontrol Ağı

Yüzey kontrol ağının doğruluğu, tünel çalışmalarına doğru bir başlangıç yapılmasında etkindir. Bu nedenle yüzey kontrol ağının tasarımı ve doğruluğu önemlidir. [3]

Genel olarak proje kontrol ağı, projeyi içine alan bir alanda güzergâh boyunca oluşturulur. Her ne kadar bir takım objeler bu gereksinimi engelleseler de ideal olarak ağ noktalarının tamamının yersel gözlemlerle bağlanması istenir. Günümüzde GPS ve GNSS teknolojileri, uydu ve yersel ölçmelerin bir kombinasyonu olan, yüzey kontrol ağlarının tesisinde daha tercih edilir olmaktadır.

Uzun tünel projelerinde ana kontrol ağı tesisinden sonra sıklaştırma yapılmaktadır. İkincil ağlar, ihtiyaç doğrultusunda örneğin tünel portallarının ya da şaftların yakınlarında tesis edilmektedirler. Nokta tesisleri genelde geleneksel yer noktası ya da pilye olarak tesis edilir.

4.2.2 Tünel Jeodezik Yatay ve Düşey Kontrol Ağı

Tüneller, dar ve uzun geometrileri nedeniyle tünel içerisinde düzgün kapalı geometrilerin tanımlanması için elverişli değildir ve bu nedenle genellikle tünel içinde tesisi gerçekleştirilen kontrol noktalarının konumlandırılması ve konum bilgilerinin üretilmesi açık poligon lme ve hesap yöntemine göre gerçekleştirilir. Tünel yapım süresince kullanılacak bu jeodezik kontrol noktaları ve kontrol noktalarından oluşan kontrol ağı tasarımı tünelin toleranslar içerisinde yapımı ve tünelin varacağı noktaya ulaşımını etkileyeceği için tünel lme çalışmalarının en önemli ve temel adımı tünel içi jeodezik kontrol ağının tasarımı, lme ve hesap sistemlerinin belirlenmesi oluşturmakla beraber yapılacak işin optimizasyonu ve doğrulukların belirlenmesi çalışmalarını kapsadığından mühendislik formasyonuna uygun olarak çalışmanın lme mühendisleri tarafından yönetilmesini gerektirir.[16]

Tünel aım metoduna bağlı olarak tesis edilecek kontrol noktaları açılacak olan tünelin gereksinimlerine göre farklılıklar gösterebilir. Tünel içerisinde tesisi gerçekleştirilecek noktalar genellikle tünel yan duvarlarında nadiren tünel tavanında ve ancak nokta tesislerinin güvenliği ve tünel trafiğinden etkilenmemeleri sağlandığı takdirde tünel tabanında gerçekleştirilebilir. Tünel yan duvarlarında tesis edilen noktalar konsol biçimde tesis edilirler. Tünel tavanında tesis edilen noktalar gözlenen noktalar olarak kullanılır, doğrudan üzerlerine alet kurulumuna elverişli olmadıkları için gerekli grldğu takdirde lazer ya da optik ekllerle tünel tabanına izdüşüm noktaları belirlenip bu izdüşüm noktalarında alet kurulumu gerçekleştirilebilir. şekil 4.1’de tünel içinde nokta tesis rneği gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Tünel içi Nokta Tesisi

Tünel içinde jeodezik amaçlı kullanılacak noktalar, konsol biçiminde tesis edilmiş ve aplikasyon, deformasyon ve üretim kontrol ölçmelerinde de gerek istasyon gerek geriden kestirme noktası olarak kullanılabilecek jeodezik kontrol noktaları, mekanize tünellerde makinenin yönlendirilmesinde kullanılacak ve yine konsol şeklinde, makine ve makine geri ekipman sisteminin geometrisine uygun olarak tesis edilen yönlendirme noktaları, tıpa prizma (spigot) adı verilen üzerlerine prizma takılarak gözlenebilen noktalar, tünel içi nivelmanında referans noktası olarak kullanılacak nivelman noktaları, deformasyonun belirlenmesinde kullanılacak tünel geometrisinin en iyi temsil edileceği biçimde tünel duvarlarına tesisi gerçekleştirilmiş konverjans (deformasyon) noktalarıdır. Bu noktaların tünelde meydana gelebilecek hasarlardan en iyi şekilde korunması, tünel deformasyonlarına bağlı olarak meydana gelebilecek değişimlerin belirlenmesi planlı ve dikkatli nokta yönetimine gereksinim duyar.

Tünel içinde açık poligon ölçme ve hesap sistemlerinin kullanılıyor olması ve doğrudan gözlenemeyen birçok sistematik hatanın tünel içinde yapılacak ölçmeleri etkilemesi gibi nedenlerle yüksek yatırım gerektiren ve emek-yoğun bir sistem olan tünellerde, kazı çalışmaları başlamadan, tünel içinde yapılacak jeodezik çalışmaların test edilmesi ve tünel gereksinimlerine uygun doğruluğu sağladığının matematiksel olarak kontrolünün yapılması, bu kontrollere bağlı olarak nokta tesislerinde, kullanılacak aletlerin kalitelerinde iyileştirmelerin, ekstra donanımın gerekli olup olmadığının belirlenmesi gerekir. Bu tez kapsamında bu amaçla Samuel Fowler tarafından hazırlanmış olan “Design Preamalysis of Underground Control Networks

For Tunnel Construction” adlı lisans çalışması incelenecek çalışma sonuçları sunulacaktır. Samuel Fowler’ın, tünel kontrol ağlarının tasarımı ve test edilerek varış doğruluğunun ön analizlerle tahmin edilmesi üzerine yaptığı çalışmada tek ve çift hat açılacak tünellerde alternatif poligon güzergâhları tasarlanmış ve hesaplanmıştır. Aşağıda Sam Fowler’ın araştırmasında kullandığı yöntem anlatılacak ve sonuçlar değerlendirilecektir.

Ön analiz çalışmasında kullanılan yöntem aşağıdaki gibidir. Tüm ağlar Star*Net-Plus yazılımı kullanılarak en küçük kareler yöntemine göre dengelenmiştir. Öncül standart sapmaların belirlenmesinde kullanılacak ölçme aletlerine ait üretici firma tarafından belirlenmiş alet doğruluklarından yararlanılmıştır. Doğrultu ölçme doğruluğu için standart sapmanın belirlenmesinde üretici firmanın belirlediği değer yatay refraksiyon gibi ölçülemeyen sistematik hatalardan kaynaklanacak belirsizliğin hesaba katılması amacıyla % 200 abartılmıştır. Açı ve ölçme doğruluğunun yanı sıra istasyon ve hedef noktalarında yatay merkezleştirme hatası da tanımlanmıştır. Merkezleştirme hatası zorunlu merkezleştirme sistemlerinin kullanılması nedeniyle alet ve hedef için 1mm olarak kabul edilmiştir. Aşağıda çalışma için belirlenen standart sapmalar gösterilmiştir. [3]

Doğrultu	1.5”	(Leica TC2000 serisi total station)
Mesafe	2mm+2ppm	(Leica TC2000 serisi total station)
Yatay Merkezleştirme (Alet)	1 mm	
Yatay Merkezleştirme (Hedef)	1 mm	

Ayrıca tünel deneyimlerine dayanarak açı ölçmelerinin genelde 4–8 seri yapıldığı göz önünde bulundurulmuş ve uygulanacak seri sayısının belirlenmesinde fazla seri ölçmesinin ağ dengelemesinde doğruluğu çok fazla etkilemeyeceği aksine pahalı ve zaman alıcı olacağı gerekçeleri ile 6 seri ölçülmesine karar verilmiştir. Gözlemlerin ortalamasının standart sapması, tek bir gözlemin standart sapmasına bağlı olarak hesaplanmıştır. [3]

Doğrultu	$1.5''/\sqrt{12} = 0.43''$
Mesafe	$1\text{mm}+1\text{ppm}/\sqrt{12}=0.29\text{mm}+0.29\text{ppm}$
Yatay Merkezleştirme (Alet)	$1\text{ mm}/\sqrt{12}=0.29\text{mm}$
Yatay Merkezleştirme (Hedef)	$1\text{ mm}/\sqrt{12}=0.29\text{mm}$

Test edilen her ağ için nokta adları, koordinatları ve yapılan açı ve kenar gözlemlerinin tanımlandığı veri dosyaları hazırlanmıştır. Tünel kontrol ağının en küçük kareler yöntemine göre dengelenmesinde minimum koşulun sağlanması için sadece iki nokta bilinen kabul edilmiştir. [3]

Ağ ön analizinden sonra aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

- Kenar ölçmeleri ve doğrulukları
- Doğrultu ölçmeleri ve doğrulukları
- Noktaların sağa-yukarı değerlerinin standart sapmaları
- Noktaların hata elipsi parametreleri
- Gözlenen kenarların bağıl hata elipsi parametreleri

Ağdaki en son nokta (P'), tünelin teorik açma noktasının ve buna bağlı olarak hesaplanacak teorik tünel açma hatasını temsil edeceğinden dikkate alınması gereken en önemli sonuç verisidir. Yapılan çalışmada yüzey ölçmelerinden kaynaklanacak hataların P' noktasındaki tünel açma doğruluğuna etkisi göz ardı edilerek sadece tünel ölçmelerinin etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Hata elipsinin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıdaki gibidir. [3]

P' noktasının varyans kovaryans matrisi hesabı:

$$\sum_{x(P')} = \begin{pmatrix} \sigma_{x'}^2 & \sigma_{x'y'} \\ \sigma_{x'y'} & \sigma_{y'}^2 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

P' noktası için hata elipsinin a ve b yarı eksenlerinin eksenlerinin hesabı:

$$a^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x'}^2 + \sigma_{y'}^2 + \sqrt{(\sigma_{x'}^2 - \sigma_{y'}^2) + 4\sigma_{x'y'}^2} \right) \quad (4.2)$$

$$b^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x'}^2 + \sigma_{y'}^2 - \sqrt{(\sigma_{x'}^2 - \sigma_{y'}^2) + 4\sigma_{x'y'}^2} \right) \quad (4.3)$$

a yarı ekseninin azimutu:

$$\tan 2\varphi = \frac{2\sigma_{x'y'}}{\sigma_{x'}^2 - \sigma_{y'}^2} \quad (4.4)$$

Enine hata:

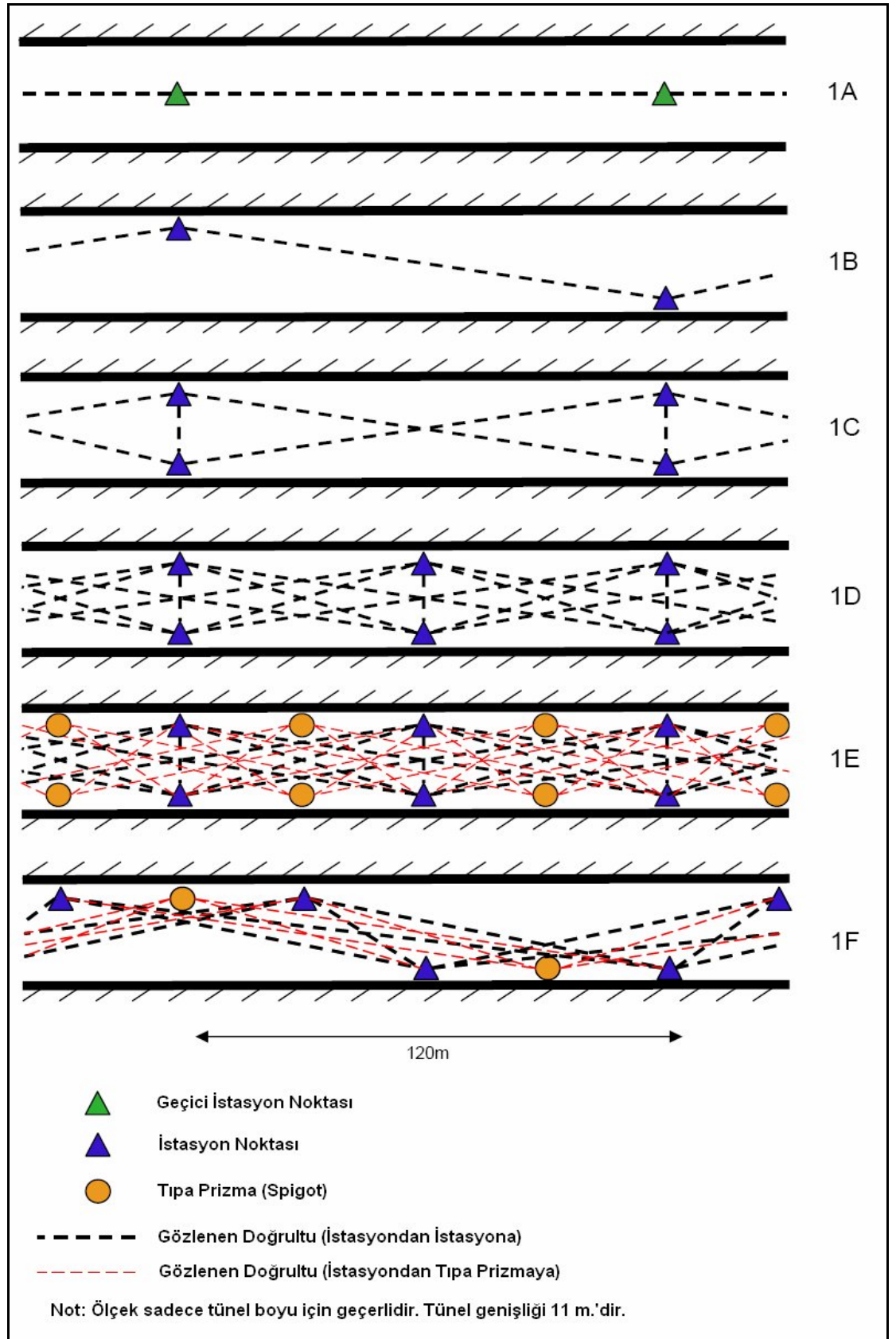
$$e = \sqrt{a^2 \cos^2 \varepsilon + b^2 \sin^2 \varepsilon} \quad (4.5)$$

$$\varepsilon = 90^\circ - \alpha + \varphi \quad (4.6)$$

Maksimum enine hata:

$$e_{\max} = e_{95\%} = 1.96e \approx 2e \quad (4.7)$$

Maksimum yatay hatanın hesabında sınır değeri genel olarak mühendislik uygulamalarında kullanıldığı gibi %95 yerine en kötü senaryoyu sağlayacak şekilde %98.8 (2.5e) olarak kabul edilmiştir. [3] Şekil 4.2’de 11metre genişliğindeki tek hat tünel için oluşturulan güzergâh planları görülmektedir. Çalışmada değerlendirilen poligon güzergâhlar 1A-1F olarak isimlendirildiğinden burada da aynı notasyon kullanılacaktır. Ağların değerlendirilmesine ilişkin sonuç veriler Tablo 4.1’de ve Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : İncelenen Tek Hat Tüneli Jeodezik Ağ Tasarımları

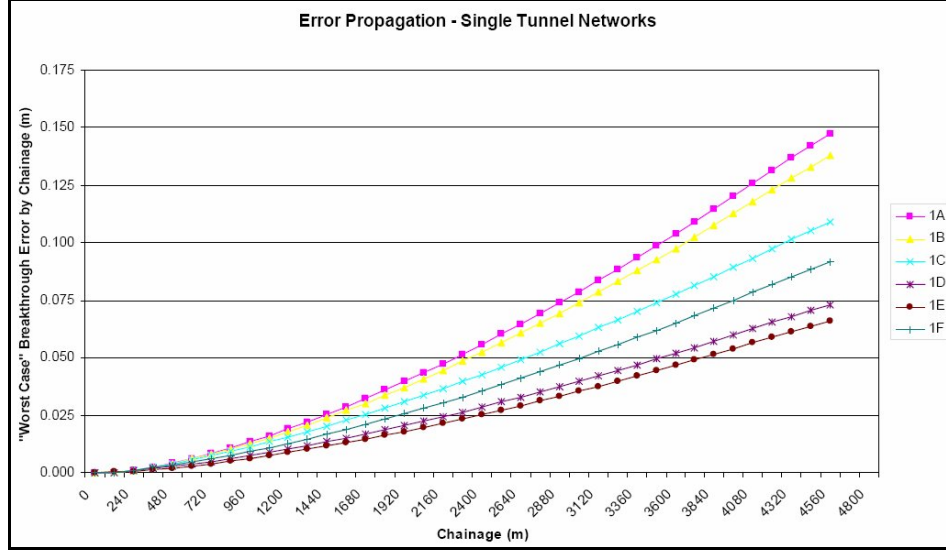
1A genellikle tünel trafiğinden ve tünel ortasında sağlam nokta tesisleri gerekleştirilemeyeceğinden kullanılması önerilmeyen bir tasarım olmasına rağmen basit bir tünel g zerg hına bağlı olarak hataların analizi amacıyla değerlendirilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesiyle ortaya çıkan hata ve hatanın yayılması şekil 4.4'te gösterilmiştir. a yarı eksenini, b yarı eksenine göre kilometre artışı dikkate alındığında çok daha fazla büyümektedir. Bu durum açıkça enine hatanın boyuna hatadan daha fazla etkili olduğunu göstermektedir. Tünel g zerg hına paralel olan b yarı eksenini kenar ölçmelerine bağlı hatalardan oluştuğu için, kenarların daha yüksek doğruluklu elde edilebildiği şeklinde yorumlanabilir. [3]

1B poligon güzergâhı 120 metre aralıklarla karşılıklı tünel duvarlarına tesis edilmiş konsollardan oluşan zigzag poligon güzergâhı olarak tasarlanmıştır. Ancak yine tek bir hat ölçmesine dayandığı için 1A olarak adlandırılan tasarıma çok yakın bir sonuç vermesi beklenmektedir. 1C tasarımında çift zigzag poligon güzergâhı kullanılmıştır. Bu çeşit bir ağ tasarımıyla yatay refraksiyon etkisinin tünel eksenine göre simetrik olması nedeniyle refraksiyon kaynaklı sistematik hatanın eliminasyonunun sağlayacağı söylenebilir. 1D tasarımında noktalar sıklaştırılarak bir noktadan karşı duvardaki 5 noktanın ölçülmesi yoluyla 1C tasarımına benzer çift zigzag uygulaması yapılmıştır. 1E tasarımında 1D tasarımındaki yaklaşım kullanılmış ve sıklaştırılmış kontrol noktaları, gözlenebilen ancak üzerine alet kurulamayan tıpa prizmalar kullanılarak sıklaştırılmıştır. 1E tasarımında alet kurulum sayısı 1D tasarımı ile aynı olmasına rağmen gözlem sayıları 1D tasarımına göre iki kat daha fazladır. 1F tasarımı tünel eksenine paralel olmayan fakat daha az gözlem yapılması ve daha az konsola ihtiyaç duyulması nedeniyle daha ekonomik olan ve yaygın kullanılan bir tasarımdır. Bu ağın kullanılmasının nedeni daha az gözlem yapılması ve daha az konsola ihtiyaç duyulmasıdır.

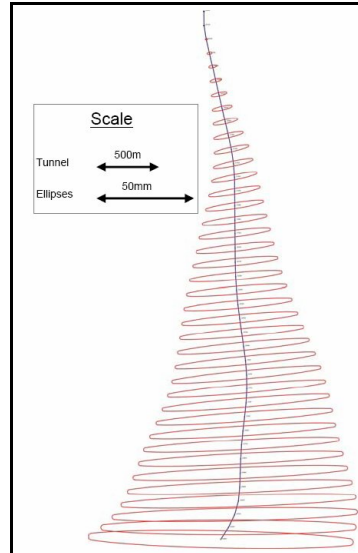
Ağlar 4 km.lik bir tünel için tasarlanmış ve tünel açma doğruluğunu gösterdiği düşünülen ağın en son noktasında ulaşılan e-max değeri hesaplanmıştır. Sonuçlar, Tablo 4.1 de gösterildiği gibidir. En yüksek doğruluğun 1E tasarımında en düşük doğruluğun 1A tasarımında söz konusu olduğu görülmektedir. Ulaşılmak istenen doğruluğun ± 5 cm olduğu varsayılırsa tasarımlar gereken doğruluğu sağlamaktadır. şekil 4.3.'de tüm tasarımlar için tünel açma doğruluğunun kilometreye bağlı değişimi grafikte gösterilmiştir.

Tablo 4.1 : Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçları [3]

Network	$e_{\max}$ (mm)
1A	147
1B	139
1C	108
1D	72
1E	66
1F	91



Şekil 4.3: Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçlarının Grafik Gösterimi [3]



Şekil 4.4 : Tek Hat Poligon Güzergâhında Hatanın Yayılması [3]

Çalışmada seri sayısının artırılmasının ölçme doğruluğuna etkisi de araştırılmıştır. Farklı sayıda seri gözlemlerine ait sonuçlar Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Seri sayısının belirlenmesinde zaman ekonomi faktörleri göz önünde bulundurularak gerçekçi olunması gerekir. [3]

Tablo 4.2: Seri Sayısının Delme Doğruluğuna Etkisi [3]

Network	$e_{\max}$			
	6 Sets / 12 Obs	12 Sets / 24 Obs	24 Sets / 48 Obs	48 Sets / 96 Obs
1A	147	110	78	54
1B	139	105	74	51
1C	108	81	57	40
1D	72	54	38	27
1E	66	50	35	25
1F	91	68	48	35

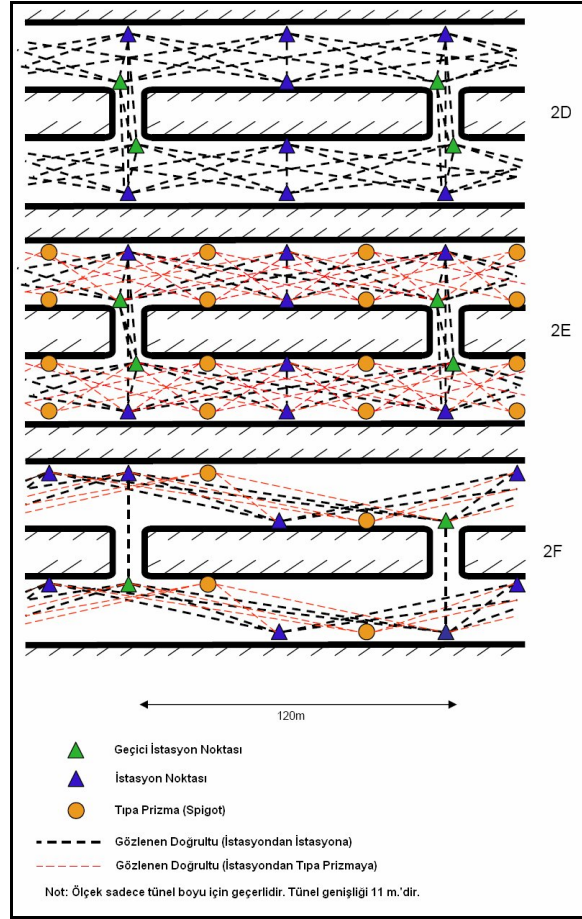
Söz konusu ağların doğruluklarının artırılması için, gyrotheodolite ölçmeleri eklenmiştir. Gerçekçi bir yaklaşım için sahada gyro-teodolit olmadığı ve belli aralıkla ölçme kampanyalarının düzenlendiği varsayılmış ve 720-840, 2280-2400, ve 3720-3840 kilometrelerinde ölçmeler planlanmıştır. Azimut ölçmeleri için üretici firmanın belirlediği ölçme standart sapması 3’’ alınmıştır. Gyro ölçmelerinin eklenmesiyle ulaşılan doğruluklar Tablo 4.3’te gösterilmiştir. [3]

Tablo 4.3: Gyro-teodolit Ölçmelerinin Eklenmesinden Sonra Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçları [3]

Network	$e_{\max}$ (mm)			
	Without Gyro Obs	With 3 Gyro Obs	Improvement (mm)	Improvement (%)
1A	147	86	61	41.5
1B	139	82	58	41.3
1C	108	75	33	30.2
1D	72	60	13	17.9
1E	66	56	10	15.6
1F	91	68	23	25.3

Samuel Fowler'ın çalışmasında çift (paralel, ikiz) tüneller de simüle edilmiştir. Çalışmada kullanılan ağ geometrileri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da ve bu ağ geometrilerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'te özetlenmiştir. Şekil 4.7'de sonuçların grafik gösterimi bulunmaktadır. Tablo 4.5'de gyro-teodolit kullanılması durumunda elde edilecek sonuçlar özetlenmiştir. Teknik şartnamelerde ve uygulama yönetmeliklerinde şart koşulduğu gibi uzun tünellerde projeye bağlı belirlenebilecek aralıklarda acil çıkış gibi nedenlerle kullanılacak bağlantı tünellerinin yapılması gerekmektedir. Ancak tünel jeodezik ağ tasarımları yapılırken bağlantı tünellerinin yapım takvimi projeye bağlı değişiklik gösterebileceğinden bağlantı tünellerinin açılmasına dayalı bir ön analiz gerçekleştirilmesi yerine tek hat tüneli üzerinden tasarımın ve analizin yapılması bağlantı tünellerinin açılması durumunda bağlantı tünellerinden yararlanılarak doğruluğun artırılması sağlanabilir. Bunun yanında bağlantı tünellerinin istasyon kazılarında kullanılması hat tünellerinde kullanılmasından daha olasıdır.

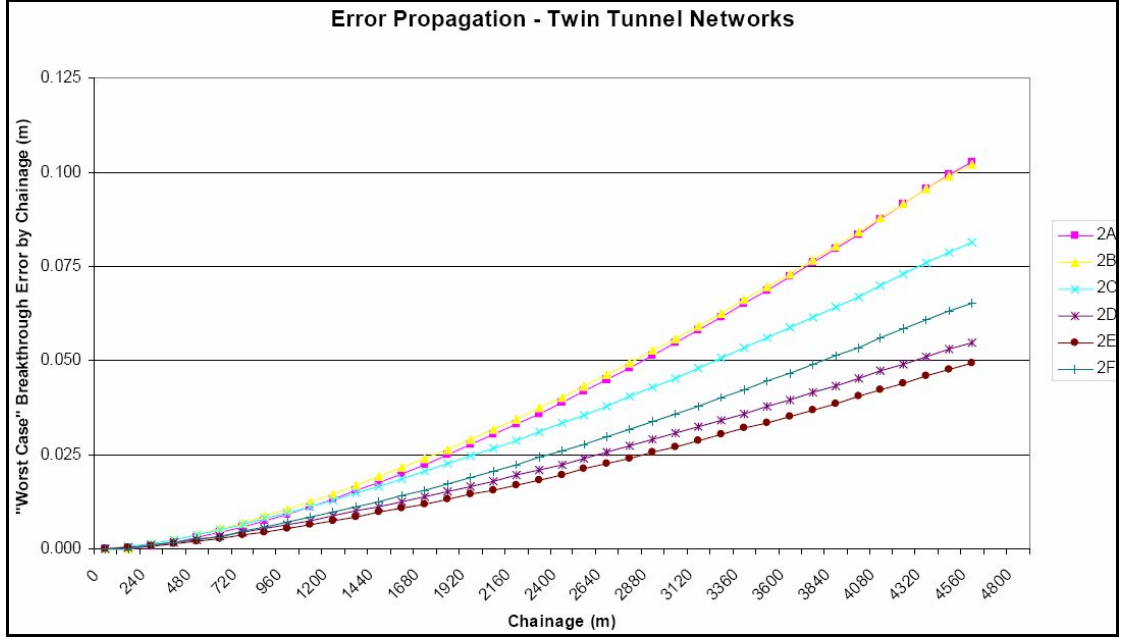
Şekil 4.5 : İncelenen Çift Hat Tüneli Jeodezik Ağ Tasarımları [3]



Şekil 4.6 : İncelenen Çift Hat Tüneli Jeodezik Ağ Tasarımları [3]

Tablo 4.4: Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçları [3]

Network	$e_{\max}$ (mm)
2A	103
2B	102
2C	81
2D	55
2E	49
2F	65



Şekil 4.7 : Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçlarının Grafik Gösterimi [3]

Tablo 4.5: Gyro-teodolit Ölçmelerinin Eklenmesinden Sonra Jeodezik Ağların Ön Analiz Sonuçları [3]

Network	$e_{\max}$ (mm)						
	Without Gyro Obs	3 Gyro Obs	Improvement (mm)	Improvement (%)	5 Gyro Obs	Improvement (mm)	Improvement (%)
2A	103	73	30	30	62	41	40
2B	102	72	30	30	61	41	40
2C	81	64	17	21	57	24	30
2D	55	48	7	12	45	10	18
2E	49	44	5	9	42	7	15
2F	65	55	10	16	49	16	24

Dr. Adam Chrzanowski'nin "Optimization of Breakthrough Accuracy" adlı çalışmasında varış doğruluğunun hesaplamasında yüzey ağının hatasının (e_s) ve tünel ağının hatasının (e_u) etkili olduğuna değinerek tünel açma doğruluğunu aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

$$e = \sqrt{e_s^2 + e_u^2} \quad (4.8)$$

Chrzanowski bu çalışmasında varış doğruluğunun hesaplanması için %95 güven aralığında yüzey kontrol ağının etkisi $e_s = 55\text{mm}$ ve %95 güven aralığında tünel

güzergâhının etkisi $e_u = 125\text{mm}$ olmak üzere %95 güven aralığında $e_{\max}$ değerini 137 mm olarak bulmuş ve aslında varış doğruluğunu etkileyen hata kaynağının tünel kontrol ağından geldiğini, ağın varış doğruluğunun optimizasyonu için yapılacak çalışmaların tünel içi kontrol ölçmelerinin optimizasyonuna odaklanması gerekliliğinin altını çizmiştir. Buna göre yapılacak iyileştirme çalışmalarının tünel içi jeodezik ağa yönelik yapılması gereklidir. [5]

Tünel içi düşey kontrol ağı ölçme yöntemine uygun olarak tesis edilir. Tünel içi düşey konumlandırma nivelman teknikleriyle yapılacaksa buna uygun nokta tesislerinin uygulanması gerekir. Nivelmanın en hızlı şekilde yapılabilmesi için nivelman adımlarının kısa tutulması önemlidir. 40–50 metrelik nivelman adımlarının kullanılması yeterli doğruluğu ve hızı sağlayabileceği gibi ekonomik bir çözüm de sunacaktır.

4.2.3 Tünel içi Kontrol Ağının Datumunun Oluşturulması

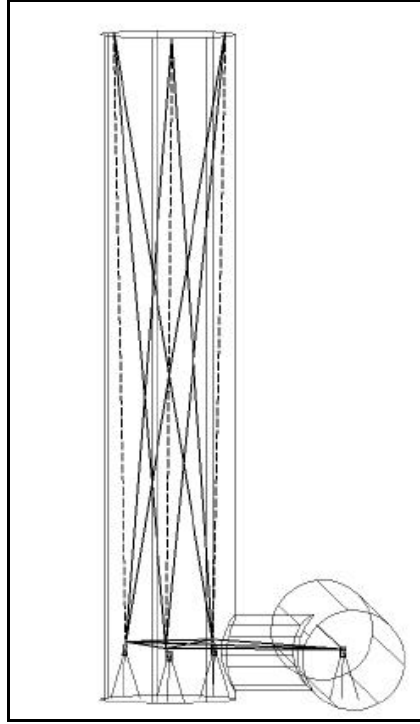
Tünel içi yatay ve düşey kontrol ağının proje koordinat sisteminde datumunun belirlenmesi çalışmasının tünel yapım doğruluğunu doğrudan etkileyeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Tünel giriş yapıları proje gereksinimlerine uygun olarak portal, yan galeri ya da shaft olarak tasarlanmaktadır. Portallar ya da yan galeri olarak açılan tünellerde datumun belirlenmesi çalışmasında tünel girişi etrafında tesis edilmiş kontrol noktalarından yapılan açı ve kenar ölçmelerinin açık poligon olarak hesaplanması yoluyla yatay konum bilgisi ve yükseklik farklarının ölçülmesi yoluyla düşey konum bilgisi üretilir. Açıklık açısının belirlenmesinde ayrıca gyroteodolitlerden yararlanılabilir. Portalların ve yan galerilerin söz konusu olduğu, tünel ve yüzey kontrol noktaları arasında doğrudan gözlem yapılabilen çalışmalarda, yüzey kontrol ağının sıklaştırması çalışmasının tünel doğruluğunu doğrudan etkileyeceği göz önünde bulundurularak sıklaştırma ağının güvenilir, sağlam geometri ile tasarlanması beklenir.

Dikey shaftlardan yatay ve düşey konum bilgisinin ve açıklık açısının tünel içine transferi özel ölçme yöntemlerine gereksinim duyar. Bu çalışmada Gotthard Base Tunnel, CERN ve SSC’ de gerçekleştirilen birbirinden farklı yöntemlere değinilecektir. Shaftlı yapılarda dikkate alınması gereken en önemli noktalardan biri konum bilgisinin transferinin açıklık açısına göre daha yüksek doğrulukta

gerçekleştirildiği ve örnek projelerde olduğu gibi yüksek doğruluk beklenen çalışmalarda ayrıca açıklık açısı ölçmelerine gereksinim duyulabileceğidir.

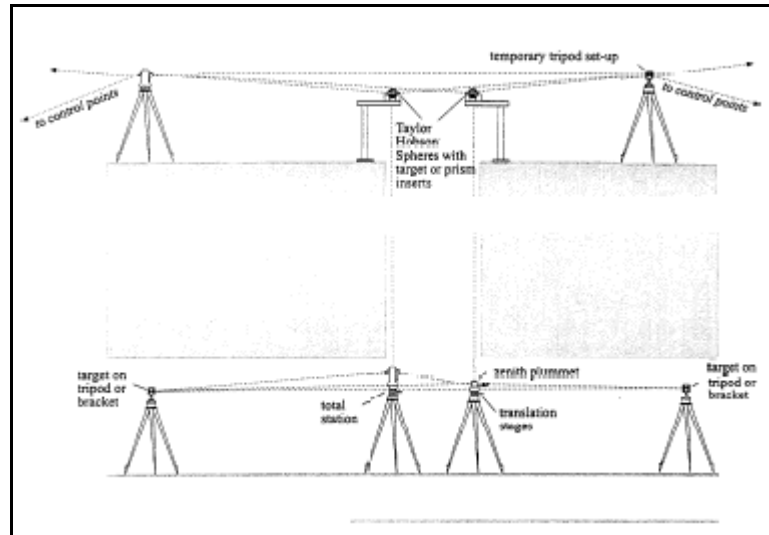
Gotthard Base tünel projesi inşaat çalışmaları Sedrun girişinde 8 metre genişliğinde ve 800 metre derinliğinde inşa edilen bir shaft ile tünele girilmesiyle başlamıştır. Proje doğruluğunun sağlanması için gözlenebilen ve gözlenemeyen tüm hata kaynaklarını da kapsayan tünel içi kontrol ağı standart sapmasının 10 mm olması gerekmektedir. Yükseklik transferinde Mekometre (ME5000) kullanılarak düşey mesafe ölçülmüş ve gravite ölçmeleri yapılmıştır. Yatay konum bilgisinin transferinde karşılaştırmalı iki metot kullanılmıştır. Bunlar, optik çekül ve bir iple sallandırılan çekül yardımıyla mekanik çekül yöntemidir. Çeküle bağlı prizmalar yardımıyla salınan çeküle sürekli gözlem yapılır. Bu şekilde salanının sabitlendiği pozisyon belirlenir. Üç farklı prizmanın çekülle yapılan bu gözlemlerden elde edilen konum bilgisi doğruluk gereksinimini karşılayacaktır. Ancak bu yöntem kullanılarak elde edilen doğrultuların doğrulukları yeterli değildir. Bir optik çekül ve özel bir hedefin kullanıldığı düşey gözlemlerle iz düşüm noktası belirlenebilir ancak bu yöntemde kullanılan aletler için üretici firmalar tarafından verilen doğruluklar çok iyimserdir çünkü refraksiyon gibi atmosferik etkiler ve buna benzer birçok hata kaynağı göz önünde bulundurulmamaktadır. [17]

CERN parçacık hızlandırıcı tünellerin yapımında yatay ve düşey konum bilgisinin tünele taşınması ortalama 50 metre derinliğinde olan shaftlar aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yöntem shaft üstünde tesis edilen noktaların tünele otomatik WILD ZL zenit çekül kullanılarak izdüşürülmesidir. Shaft üstü noktaları izdüşürme işleminin yapılmasına uygun tasarlanmış delikli noktalardır. Çekül çizgisinin shaft duvarının yakınından geçiyor olması nedeniyle refraksiyon etkisi göz önünde bulundurulmuş ve shaft üstü noktaları shaft içi noktalardan takeometrik olarak gözlemlenmiştir. Shaft üstü noktalarının gözlenmesinde eksen hatalarının eliminasyonu amacıyla iki durum okuması yapılmıştır. Yapılan çalışma Şekil 4.8’de gösterilmiştir.[18]

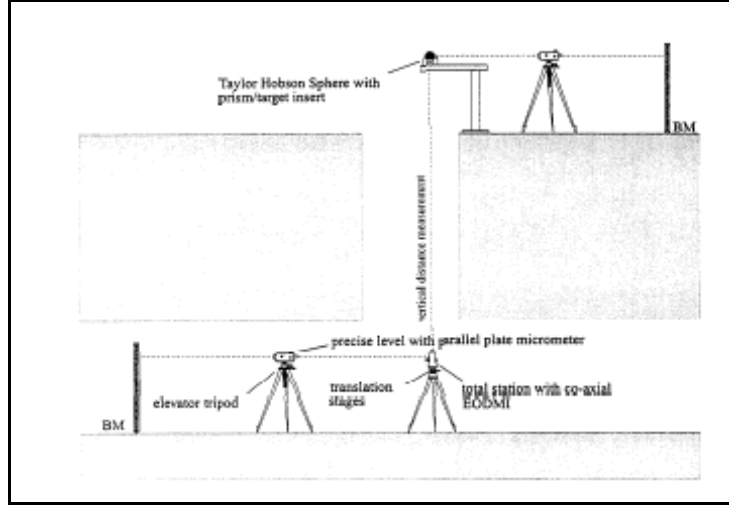


Şekil 4.8 : Tünel içi kontrol ağının datumunun belirlenmesi (CERN) [18]

“Supper Conducting Super Collider” tüneline yatay ve düşey konum bilgisinin transferinde kullanılan yöntem, şaft üstüne tesis edilmiş noktaların Taylor-Hobson küreleri kullanılarak hem tünelden hem de yüzeyden eş zamanlı ve merkezli ölçmeleri yoluyla uygulanmıştır. Yapılan çalışmada yatay konum bilgisinin transferi Şekil 4.9’da düşey konum bilgisinin transferi şekil 4.10’da gösterilmiştir. [19]



Şekil 4.9 : Tünel içi yatay kontrol ağının datumunun belirlenmesi (SSC) [19]



Şekil 4.10 : Tünel içi düşey kontrol ağının datumunun belirlenmesi (SSC) [19]

Yukarıda bahsedilen tünel çalışmaları hassas ölçme sistemlerine ihtiyaç duyan yüksek doğruluk gerektiren projelerdir. Bu amaçla yatay ve düşey konum bilgisinin transferi yanı sıra tünel çalışmalarında gyro-teodolitler de kullanılmıştır.

5. TÜNEL ÖLÇME ÇALIŞMALARINDA HATA KAYNAKLARI

Jeodezi ve fotogrametri mühendisliğinde tanımlanan hata kavramı ve kaynakları tünel ölçme çalışmaları içinde geçerlidir. Yani ölçmelerde kullanıcıya bağlı hatalar, aletin yapım ve düzenlenmesindeki eksikliklere bağlı hatalar ve ölçmenin yapıldığı atmosferik koşullara bağlı hatalar söz konusudur. Bu hataların bir kısmı fazla sayıda ölçme yapmak, bir büyüklüğü çok seçenekli elde etmek, aletlerin kontrol ve kalibrasyonlarını yapmak ve sistematik hata miktarının hesaplayıp ölçmelere düzeltme olarak getirmek yollarıyla giderilebilir ya da etkisi azaltılabilir. Ölçme hatalarının en önemli kısmını oluşturan hatalar düzensiz hatalardır ve giderilemezler. Düzensiz hatalar pozitif ve negatif değerler aldıkları için birikmezler. Düzensiz hataların azaltılmasının tek yolu ölçmelerin farklı koşullarda tekrarlanmasıdır. Dengeleme yoluyla düzensiz hataların etkisi azaltılabilir fakat tamamen yok edilemezler.

Yersel aletlerle gerçekleştirilen jeodezik ölçmelerde başlıca hata kaynakları; yönlendirme hatası, düzeçleme hatası ve okuma hatasıdır. Hata bileşenlerinin tüm tipleri için beklenen varyans hesaplanabilir. Bu değerlerin birlikte değerlendirilmesiyle ölçme standart sapması kestirilir.

Tünel çalışmalarında dikkate alınması gereken iki temel sistematik hata refraksiyon ve çekül sapmasıdır. Bu nedenle bu başlıklar aşağıda detaylandırılacaktır.

5.1 Refraksiyon

Optik ölçmelerde açıların ve kenarların belirlenmesinde kullanılan ışının homojen olmayan ortamdaki geçmesiyle oluşan refraksiyon günümüzde başlıca sistematik hata kaynağı olmaktadır. Bir ışık ışını gözlemciye ulaşırken mümkün olan en hızlı yolu izleyerek gidecektir, bu da hava yoğunluğunun en az olduğu yönde hareket edeceği anlamına gelmektedir. [20] Havanın yoğunluğu sıcaklığa ve basınca bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$d = \frac{P}{R \cdot T} \quad (5.1)$$

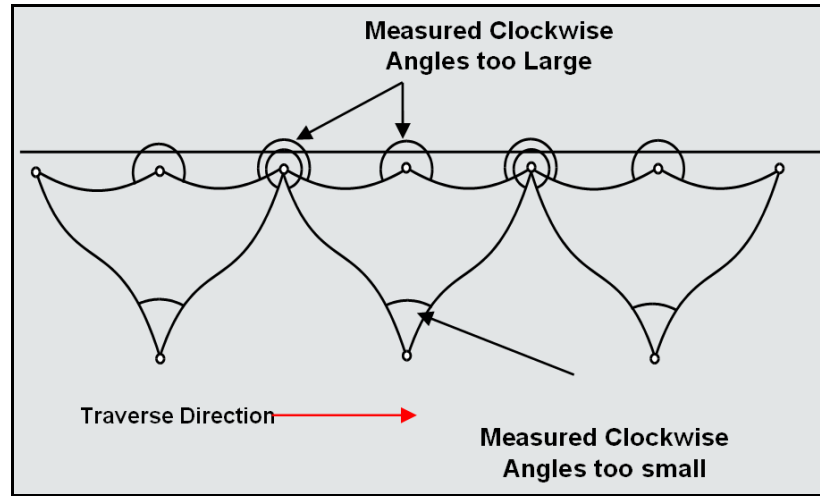
d: Yoğunluk (d) = P / (R*T)

P: Basınç

T: Sıcaklık

R: Sabit

Düşey refraksiyon için yükseklik arttıkça sıcaklığın azalacağı ve basıncın düşeceği göz önünde bulundurulursa yükseklikle yoğunluğun ters orantılı olacağı görülebilir. Yani hava yeryüzüne daha yakın yerlerde daha yoğun olacaktır. Bu nedenle ışın yeryüzü eğriliğine paralel konkav bir yol izleme eğiliminde olacaktır. Bu şekilde meydana gelen düşey refraksiyonun düşey açı ve nivelman ölçülerini etkilediği söylenebilir. Işın farklı ısıtım yapan objelerin yakınından veya bu objeler boyunca geçerken yatay refraksiyon gerçekleşecektir. [3] Şekil 5.1’de tünel poligon güzergâhlarına refraksiyonun etkisi görülmektedir.



Şekil 5.1 : Tünel içi Refraksiyon Etkileri [21]

Atmosferik koşullar ve bu koşulların etkisi tünel için düşünüldüğünde yatay refraksiyonun açı ve kenar ölçmelerini ne şekilde etkileyeceği görülebilir. Tünel içerisinde eş yükseklikte basınç sabit olacağından refraksiyona önemli bir etki yapmayacağı kabul edilebilir yalnız tünel duvarları ile ortamdaki hava arasında önemli bir ısı transferi söz konusudur. Yani yatay sıcaklık gradyeni tünel merkezine

doğru yayılan sıcaklıkla tünel duvarlarına yakın bölgelerde atlama (basamak) yapacaktır. Bu nedenle hava yoğunluğunun tünel duvarlarına daha yakın yerlerde artacağı, gözleme ışınının hava yoğunluğunun daha az olduğu tünel ortasına doğru yöneleceği söylenebilir. [3]

Bu nedenle poligon hattı sadece tünelin bir duvarında oluşturulmamalıdır. Bu çeşit bir ölçme önemli sistematik hataya neden olacaktır ve tünel bir tarafa doğru yönelecektir. Yatay refraksiyonu azaltmanın en yararlı yolu daha homojen bir yapıya sahip tünel merkezinde ölçmeleri gerçekleştirmektir. Bu şekilde gözlenen ışın tünel duvarına yakın olarak gözlenen ışıdan daha az refraksiyondan etkilenecektir. Tünel merkezine nokta tesisi yapmak mümkün olmayacağından genelde bunun yerine zigzag poligon ağları kullanılmaktadır. Bu yöntem yatay refraksiyonu yok etmez, etkilerinin azalmasına neden olur. Zigzag olarak gözlenen doğrultular doğru değerden benzer şekilde fakat ters yönde sapacaktır. Bu doğrultunun indirgenmesi iki istasyon arasındaki doğru doğrultuya çok yakın bir ortalama doğrultunun elde edilmesinde kullanılmalıdır. [3]

Zigzag poligon güzergâhları tünelin alıyman olması durumunda ve tünelin içerisinde farklı sıcaklık gradyenlerinin olmaması durumunda geçerlidir. Havalandırma sistemi, bağlantı tünelleri, farklı ısınım yapan objeler (transformatörler) araçlar atmosferik koşulları etkilemektedir. Kurbta zigzag travers, yatay refraksiyonu elemine etmek için yeterli değildir. Her ne kadar çift (double) zigzag yöntemi ile etkileri azaltılabilse de kurlarda yatay refraksiyon daha fazla hissedilebilir. Bunun nedeni gözleme ışını istasyonlardan birinde tünel duvarına çok yakın ilerleyecektir. Bu durum büyük yatay refraksiyon hatasına neden olabilir. [3]

Sıcaklık gradyeni ve yatay refraksiyonun etkisi tünel kaplamasının tipine, malzemesine bağlıdır. Bunun yanı sıra jeolojik faktörler de yatay refraksiyonda etkili olmaktadır. Halen gelişmekte olan dispersometrelerin refraksiyon kaynaklı hataların azaltılmasında hatta ortadan kaldırılmasında çözüm sağlaması beklenmektedir. Dispersometreler farklı dalga boyuna sahip ışığın (genellikle infrared ve mavi ışık) kullanılması prensibiyle çalışmaktadır.

5.2 Çekül Sapması (Normal Sapması – Düşey Sapma)

Genel olarak çekül sapması, nivo yüzeyinin normali ile referans elipsoidinin normali arasındaki doğrultu farkı olarak tanımlanır. Düşey sapma düzeltilmezse düşey ve yatay ekseninde önemli sistematik hatalara neden olabilir. Tünel çalışmaları için sadece yatay yöndeki olası etkileri göz önüne alınacaktır. Çekül sapması ya astronomik jeodezik ölçmelerden veya gravimetrik ya da uydu gözlemlerinden hesaplanabilir. Bunlardan astronomik ölçmelerin Laplace eşitlikleriyle hesaplanması tercih edilir. Diğer yöntem proje alanında geoid elipsoid ayırımına en iyi uyan düzlemin en küçük kareler yöntemiyle hesaplanarak çekül sapmasının belirlenmesidir. Bu metot ideal olarak gravimetre ölçmelerini de içeren güvenilir ortometrik yükseklik bilgisine ihtiyaç duyar. Hesaplanan düzlem geoidin elipsoide göre eğimini verecektir. En küçük kareler yöntemi ile düzlemin kuzey ve doğu yönlerinde sapmaları elde edilir. Çekül sapması nedeniyle meydana gelecek sistematik hatalardan en az etkilenmek için, gözleme çizgilerini mümkün olduğunca yatayda oluşturmak gerekir. [3,7]

6. İMALAT ÇALIŞMALARI VE TÜNELİN JEODEZİK YÖNETİMİ

İmalat çalışmaları, tünelin projelendirilmesinin ardından, projenin gerçekleştirilmesi amacıyla yapılan tüm inşaat işlerini kapsamaktadır. Bu inşaat işleri tünel açma yöntemine bağlı olarak değişmekle beraber temel olarak aynı iş adımlarından oluşmaktadır. Bu temel iş adımları, şantiye yerleşiminin planlanması ve uygulanması, tünel giriş yapılarının açılması, birbirini takiben kazı ve destekleme çalışmalarının yapılması, tünel iç kaplamasının yapılması, tünelin açılmasıyla radye betonun ve raylı sistemler için rayların döşenmesi, elektromekanik işlerin yapılması şeklinde sıralanabilir.

Şantiye yerleşimi, üretim hızını doğrudan etkilediğinden dikkatli ve planlı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Şantiye yerleşimi planlanırken, şantiye alanının topografik durumu göz önünde bulundurularak yapılacak çalışmada, tünelin lojistik ihtiyaçları doğru bir şekilde planlanmalı ve her aşamasında işin aksamaması sağlanmalıdır. Ayrıca, şantiye yerleşiminin planlanmasında dikkate alınması gereken en önemli parametreler iş güvenliği ve işçi sağlığı, şantiye içi ve tünel içi trafiği, şantiye güvenliği ve çalışanlara sunulan sosyal imkânlardır.

Oluşturulan şantiye yerleşim planlarının araziye aplikasyonu ölçme ekibi tarafından gerçekleştirilir. Aplikasyon sırasında karşılaşılan temel problemler diğer aplikasyon çalışmalarında olduğu gibi hâlihazır alımı, arazi tesviyesi, şev düzenlemesi, bina aplikasyonu, metraj ve kübaj hesapları gibi teknik ekiple gerçekleştirilebilecek çalışmalardır. Topografyanın değişiminin söz konusu olduğu tüm çalışmalarda üretimin doğru tespiti ve hak ediş çalışmaları, ölçmelerin doğru ve dikkatli yapılmasını gerektirir. Günümüz teknolojisinde ölçme, hesap ve çizim teknolojileri böylesi hesapların belirlenmesi için yeterli güvenilirlik sağlamaktadırlar.

Tünel giriş yapılarının projelendirilmesinde şantiye alanının konumu, jeolojik durum, maliyet, proje gereksinimleri dikkate alınmaktadır. Başlıca tünel giriş yapıları, portallar, yan galeriler, shaftlar ve bağlantı tünelleridir. Tünel giriş yapıları proje

datumunun tünel içi jeodezik kontrol ağına transferi çalışmasında önemli bir yer tutmaktadır. Portallı yapılar yüzey ve tünel jeodezik kontrol noktaları arasında doğrudan gözlem yapmaya elverişli olmalarından dolayı tünel imalat ve varış doğruluğunu doğrudan olumlu etkilemektedir. Şaft ile açılan tüneller, tünel jeodezik kontrol ağlarının datumunun belirlenmesinde özel çözüm gerektirmektedirler. Şaftın tünele göre konumu diğer bir deyişle hat üzerinde açılması, bağlantı tüneli üzerinde açılması ya da yaklaşım tüneli ile hatta bağlanması yine tünelin jeodezik datumunun belirlenmesinde özel çözüm gerektirecektir.

Tünelin imalatı süresince yapılacak kazı ve destekleme sistemi çalışmaları ve bu çalışmaların jeodezik yönetimleri NATM ve TBM tünelleri için ayrı başlıklar halinde aşağıda detaylandırılacaktır. Rayların döşenmesi çalışması ve elektromekanik işler bu çalışmanın kapsamında işlenmeyecektir.

6.1 NATM Kazılarında Jeodezik Çalışmaların Yönetilmesi

NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu –New Australian Tunneling Method) 1957 ve 1965 yılları arasında Avusturya’da geliştirilmiştir. NATM metodunun temel düşüncesi, jeolojik stresin tünelin kendi stabilizesini sağlamak için kullanılmasıdır. [22] NATM, büyük ve dairesel olmayan tünellerin açılmasında ve özellikle zayıf zemin koşullarında, tahkimatın hızlı uygulanması gerektiği şartlarda yararlı bir yöntemdir. [23]

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan Genel Şartnamenin eki niteliğinde “NATM Uygulamalı Yer Altı Tünel İşleri Teknik Şartnamesi”, Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü için, GeoConsult tarafından 1994 yılında hazırlanmıştır. Şartname tünel yapım işlerinin şartnamelere uygun olarak yapılması ve tamamlanabilmesi için gereken tüm tesis, işgücü, malzeme, ekipman, ve diğer tüm tüketim malzemeleriyle araç ve gerecin temin ve hizmete sokulması dâhil tüm yeraltı yapılarının (tüneller, nişler) yapımını kapsamaktadır. [24]

Şartnamede yeraltı kazısı ile ilgili olarak karşılaşılan kayanın jeoteknik özellikleri ve tünel yapımının etkisi altındaki davranışına göre kaya grupları ve iksa sınıfları tanımlanmıştır. Tanımlanan kaya sınıfları kaya parametreleri yanı sıra, örtü yükü,

kazı kesitinin büyüklüğü ve raunt boyu, kazı sırası, yeraltı suyu, jeoteknik ölçüm neticeleri gibi dış faktörlerin de dikkate alınmasıyla belirlenirler. Kaya sınıfları ilgili tünel kazısı başlamasından önce tünel kazı yüzeyindeki kayanın görünüşü esas alınarak tespit edilir, benzer kaya şartlarındaki jeoteknik ölçüm neticeleri, deformasyonların tahmin edilmesinde, iksa sınıflarının ayırt edilmesinde kullanılır. Kaya sınıflandırmasına dayanarak her bir kaya sınıfında ve her tip kazı profili için detaylı bir kazı ve iksa çalışma raundu detaylı programı hazırlanır. [24]

NATM teknik şartnamesine ve proje teknik şartnamesine bağlı olarak projelendirilen iksaların ve diğer destekleme elemanlarının aplikasyonu proje gereksinimlerine uygun olarak gerçekleştirilir. Aplikasyon çalışmaları kutupsal aplikasyon yöntemi esas alınarak gerçekleştirilir. Aplikasyon çalışmalarında bilinen nokta koordinatlarından ve aplikasyon ölçmelerinden türetilen hataların bir ürünü olarak tanımlanan ulaşılan nokta standart sapması ile talep edilen doğruluğun sağlanması gerekir. Bu da ulaşılan doğruluğun talep edilen doğruluktan daha küçük değerlere sahip olmasını gerektirir. [25] Talep edilen doğruluklar, herhangi bir ölçme eylemine bağlı olmayan ve yalnızca inşa edilecek mühendislik yapısının nitelikleri dikkate alınarak türetilen a-priori doğruluklardır. Talep edilen nokta standart sapması $\pm \mu_p$ ile ifade edilir. Bir proje noktasının kutupsal koordinatlarla aplikasyonu, A ve B sabit noktalarından yararlanılarak β açısının ve S yatay uzunluğunun ölçülmesiyle gerçekleştirilir. β ve S aplikasyon elemanlarının ölçmelerini etkileyen hatalar ile A ve B sabit nokta konum hatalarının bileşkesi, ulaşılan doğruluk olarak tanımlanır ve ulaşılan doğruluk standart sapması $\pm \sigma_p$ ile ifade edilir. Talep edilen doğruluğun karşılanabilmesi için $|\sigma_p| \leq |\mu_p|$ eşitsizliği gerçekleştirilmelidir. [25]

Aplikasyon ölçmelerinde hata bileşenleri β açısının ölçülmesinde etkili olan hatalar ve S uzunluğunun ölçülmesinde etkili olan hatalardır. β açısının ölçülmesinde etkili olan hatalar, istasyon noktasındaki merkezlendirme hatası, gözlenen sabit noktadaki merkezlendirme hatası, aplike edilen noktadaki merkezlendirme hatası, aletin kalitesi, sabit noktaların konum hatalarıdır. S uzunluğunun ölçülmesinde etkili olan hatalar, istasyon noktasındaki ve aplike edilen noktadaki merkezlendirme hataları, aletin kalitesi, sabit noktaların konum hataları, ulaşılan nokta konum doğruluğudur. [25]

Aplikasyon alışmaları başlamadan önce ön hesaplarla talep edilen doğruluğun sağlanıp sağlanamadığı, lme yönteminde iyileştirmelere gereksinim duyulup duyulmadığı araştırılmalıdır. Merkezlendirme hataları, zorunlu merkezlendirme sistemleri tercih edilerek en aza indirgenmektedir. Aletsel hatalar aletlerin kontrol ve düzenlemeleri yapılarak giderilebilir. Alet seçiminde talep edilen doğruluk göz önünde bulundurularak talep edilen doğruluğun karşılanması amacıyla seçilecek lme aletinin kalitesi belirlenir. Mühendislik hizmetlerinin çok büyük bir bölümünde yarım seri ölçülerek, çok hızlı bir şekilde yapılan aplikasyonda talep edilen doğrulukların karşılanması mümkündür. [25]

Tünel inşaatları sırasında kazı doğrultusunun belirlenmesi tünel ölçmelerinin en önemli konusunu oluşturmaktadır. Klasik anlamda tünel kazılarının yönlendirilmesi ve diğer tünel uygulamaları doğrudan lme ekiplerinin total-station, nivo ve yardımcı donanımları aracılığıyla tünel kazı birimlerini yönlendirmesi ve kazı profilini işaretleyerek yürütülebileceği gibi bu amaçla tünel kazı kesiti ve elemanlarına bağlı olarak gerek sayıda kullanılacak lazer cihazları aracılığıyla da yapılabilir. Bu arada son zamanlarda kazıların yönlendirilmesi için uygulanmaya başlayan bir yöntemde kazı makinelerinin lme aracılığıyla yönlendirilerek kazıların gerçekleştirilmesi şeklinde olmaktadır. NATM metoduyla tünel kazılarının yönlendirilmesi klasik yöntemlerle yapılabileceği gibi iki değişik yöntemle de yapılabilmektedir. Bu lme yöntemleri; kazı makinelerinin (Roadheader) yönlendirilmesi, yönlendirme için lazer cihazlarının kullanılması şeklinde dir. [26]

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 lme elemanı yardımıyla sürdürülebilir. Burada tünel geometrisinin alıyman olması da bir zorunluluk değildir. lmecinin yapması gereken; tünel aynasında bilinmesi gereken bir noktaya en yakınından geçen lazer ışınından belli bir km'deki yatay ve düşey mesafe farklarının verilmesini sağlamaktır. 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 lmecinin tünelde beklemesine gerek olmayacaktır. [26]

Parçalı cepheli mekanize tünel açma metodu olarak da adlandırılan Roadheader kazı makineleri kullanılarak açılan tüneller değişik kazı kesitlerinde ve zor zemin şartlarında hızlı ve ekonomik olmalarından ötürü yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Roadheaderla yapılan kazılarda da lazer cihazları kullanılarak ya da aplikasyonla kazı sınırlarının belirlenmesi yoluyla NATM tünellerin yönlendirilmesi mümkün olmakla beraber yerini hızla ölçme desteğinin otomatik olarak gerçekleştirildiği bilgisayarlı yönlendirme sistemlerine terk etmektedir.

Roadheader yönlendirme donanımı makine üstünde yerleştirilen diğer donanım aracılığıyla tüm veriyi kaydederek kazı profiline göre kazıları değerlendirdikten sonra görselleştiren bir adet bilgisayar, veri iletişimi için bir lokal modem kutusu, sensör verilerini toplayan ve bilgisayar kullanılabilecek hale dönüştüren merkez kutusu, lazer ışınlarını karşılayan 2 adet prizma, makinenin hareketlerini tespit eden 2 eksenli inklonometre sayılabilir. Roadheader üzerindeki sisteme doğrudan tanımlanan aralıklarla ölçme yapmak üzere poligon noktasında yerleştirilmiş aktif teodolit sistemi bulunmaktadır. Data iletimini yöneten kumanda kutusu ise bu harici sistemi desteklemektedir. Teodolit koordinat bağlantısını gerideki poligon üzerinde yerleştirilmiş olan prizmadan almaktadır. Makine üzerine yerleştirilen 2 adet prizma teodolit-lazer ölçüleriyle makinenin genel konumunun proje koordinat sistemine göre belirlenmesini sağlamaktadır. Makinenin genelde roll ve pitch olarak tanımlanan boyuna ve enine hareketlerini tanımlamak için 2 eksenli inklonometre kullanılmaktadır. Bu arada makinenin kazı kafası ve kolunun ve kazı kafasının hareketlerinin de tanımlanması için sensörler yerleştirilmektedir. Böylece kazıcı kafanın konumu makinenin ana gövdesinin pozisyonundan ve sensörlerden elde edilen hareket verisinden yararlanarak kazıcı kafanın rölatif koordinatlarına bağlı olarak proje koordinatlarıyla belirlenebilmektedir. Proje koordinatlarındaki kazıcı kafanın konumu ise kazılacak proje kesiti ile karşılaştırılarak operatöre kazı yapılabilmesi için bilgisayar ekranında görsel ve sayısal bir yönlendirme verir. [26]

6.2 TBM Kazılarında Jeodezik Çalışmaların Yönetilmesi

TBM'ler (Tunnel Boring Machine-Tünel Açma Makinesi), tam cephe kazı yapan makinelerdir. İlk tam cepheli tünel açma makinesi 1881 yılında İngiltere-Fransa

kanalı için Colonel Beaumont tarafından geliştirilmiş ve ortalama 2.1m/gün günlük ilerleme hızıyla İngiltere tarafından 1.850 metre açıldıktan sonra politik nedenlerle durdurulmuştur. [27] TBM teknolojisi, uygulamada karşılaşılan sorunların üretici firmalarca değerlendirilip yeni uygulamaların geliştirilmesi yoluyla her geçen gün hızla gelişmektedir. Başlıca TBM üreticileri Robbins, Wirth, CTS, Borettec, Voest Alpine, Herrenknecht ve Lovat'tır. TBM dizaynı ve üretimi safhasında gerçekleştirilen performans tahminleri, fizibilite ve planlama aşamasında özellikle birim fiyat belirleme ve projenin zaman cetvelinin gerçeğe uygun hazırlanması için önemlidir. TBM makinelerinin dizaynında kazılacak zeminin jeolojik parametreleri dikkate alınır. Kazı makinelerinin performanslarını etkileyen parametreler makine özelliklerine bağlı parametreler ve jeolojik parametrelerdir. Makine özelliklerine ait parametreler, makinenin tipi, makinenin ağırlığı ve boyutları, pasa toplama ve taşıma kapasitesi, makinenin yaşı, makinenin kurulu toplam gücü gibi makine özellikleri ve kesici kafanın tipi ve boyutu, kesici kafanın gücü, keskinlik dağılımı ve sayısı, kesit tipi ve özellikleri gibi kesici kafa özellikleridir. Jeolojik parametreler, kaya kalite değeri, jeolojik süreksizlikler, hidrojeolojik durum gibi kayaç kütlesi özellikleri ve kaya kesme parametreleri, dayanım özellikleri, yüzey sertliği, kayaç dokusu, aşındırıcılığı, sismik özellikleri, yoğunluk ve nem oranı gibi diğer özellikler de kayacın fiziksel ve mekanik özellikleridir. [27]

TBM'ler zemin şartlarına uygun olarak sert kaya TBM'leri ve yumuşak zemin TBM'leri olmak üzere iki temel sınıfa ayrılabilir gibi zeminin jeolojik yapısının farklılık göstermesine bağlı olarak her iki zemin koşulunda da çalışabilmek üzere tasarlanmaları da söz konusudur. TBM'ler kalkanlı ya da kalkansız olabilirler. TBM'lerin bir diğer sınıflandırma yöntemi pasanın ne şekilde dışarı alındığına bağlı olarak yapılabilir. Bu amaçla, helezon konveyörler, konveyör bant sistemleri, boru sistemleri (slurry) kullanılabilir.

TBM sistemi genel olarak, kesici baş, kalkan, itme pistonları, ana şanzıman, helezon konveyör, erektör ve (back-up) geri besleme elemanlarından oluşmaktadır. Kesici baş, kayanın veya yumuşak zeminin kesilmesinde kullanılır. Kalkan, pasanın makineye girişini önler ve çalışanlar için güvenli bir alan sağlar. İtme pistonları, segmanlara basarak TBM'in hidrolik pistonlar yardımıyla ilerlemesini sağlar. Ana şanzıman, kesici kafanın dönmesi için gerekli enerjiyi sağlayan elektrikle çalışan

ünitedir. Helezon konveyör, pasanın içeri konveyör bandın üzerine alınmasını sağlar. Erektör, TBM ilerlemesinin ardından ring örülmesinde kullanılır. Geri besleme elemanları, TBM ilerlemesinde gerekli olan tüm elemanların bulunduğu kısımdır. [28]

Sert kaya koşulları için geçerli olan gripperlı sistemler göz ardı edilirse, TBM metodunun genel prensibi kazının yapılması, kazı etabının tamamlanmasının ardından prekastlı tüneller için, segmanlardan oluşan halkanın örülmesi, halka inşasının tamamlanmasıyla bir sonraki ilerlemenin gerçekleştirilmesi şeklindedir. Kazı süresince zeminden gelecek su problemlerinin çözülmesi amacıyla halka ve zemin arasına sıvı çimento veya çimento-bentonit karışımı enjekte edilir.

TBM metodu ile tünel açılmasında TBM'in güzergâh üzerinde yönlendirilmesi özel ölçme çözümlerine gereksinim duyar. Yönlendirme çalışması, TBM pozisyonunun sürekli tespit edilip, sayısal ve görsel olarak TBM operatörünün tünel kazısında kullanabilmesi için anlaşılır ve güvenilir olarak sunulmasını gerektirir. Bu amaçla birçok ölçme şirketi tarafından yönlendirme sistemleri geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan başlıca yönlendirme sistemleri, ZED tunnel guidance system, ACS guiding system (TACS), Tauros TBM guiding system (Geodata), PPS TBM guiding system ve SLS-T TBM guiding system (VMT)'dir. Bu sistemler kullanım amacı ve sundukları imkânlar açısından ortaklaşmaktadır. Yönlendirme sisteminin amacı TBM'in tasarlanan tünel geometrik eksenini üzerinde ilerlemesini sağlamaktır. Bu amaçla proje koordinat sisteminde konumu bilinen bir noktaya tesis edilen bir total station ve total station ile entegre çalışan bir lazer yönlendirme sistemi kullanılarak, TBM konumunu belirlemek üzere TBM kafası üzerine yerleştirilmiş bir ya da birden çok hedefin ölçülmesi sağlanır. Kullanılan hedefler aktif lazer ünitesi ya da akıllı lazer ünitesi olarak isimlendirilen, üzerine düşen lazer ışının, konumunu ve geliş açısını belirleyebilen LCD ekranlı hassas hedeflerdir. TBM konumunun belirlenmesinde total station aletinin yerleştirildiği nokta yanı sıra yatay açı bilgisinin alındığı konumu bilinen bir veya birden fazla nokta geri hedef olarak kullanılmaktadır. Geri hedefe bağlanması ve TBM üzerine yerleştirilen prizmanın ölçmesi yoluyla TBM'in konumunun tespit edilmesi, ancak TBM geometrisinin, bu geometriye bağlı olarak geliştirilen TBM koordinat sisteminin ve TBM konumunun tespiti amacıyla kullanılan aktif hedefin bu koordinat sisteminde lokal konumunun

tanımlanmış olması ile mümkündür. TBM ilerleme süresince yanal sapma (roll) ve itme (pitch) hareketlerini gerçekleştirecektir. TBM koordinat sisteminin proje koordinat sistemi ile olan ilişkisinin belirlenmesi ancak TBM'in dönme ve sapma değerlerinin bilinmesiyle söz konusu olacağından bu amaçla TBM üzerine çift eksenli inklonometre yerleştirilmesi ve inklonometre değerlerinin, bu iki koordinat sistemi arasındaki dönüklüğü belirlemek üzere düzenlenmesi gerekmektedir.

Bu durumda bir TBM yönlendirme sistemi çift eksenli inklonometre, aktif lazer ünitesi, geri hedef prizması, otomatik hedef tanıma özelliğine ve yönlendirme lazer aparatına sahip bir total station, verilerin işleneceği ve görsel olarak sunulacağı bir bilgisayar ve verinin sürekli aktarımını sağlayacak veri aktarım kabloları, radyo modemler gibi temel donanımlardan oluşacaktır.

Yönlendirme sistemi yazılımı, toplanan verilerin doğrudan işlenmesini, sunulmasını ve saklanmasını sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerin başarılı olarak çalışması veri aktarımının ve dönüşümün doğru yapılması ve yazılım algoritmasının gerçeğe uygun olarak tasarlanması ile mümkündür. TBM konumunun belirlenmesi, yönlendirmesi yapılacak olan makinenin üretimine bağlı parametrelerinin doğruluğuyla ilişkilidir.

TBM'in ilk konum tespiti, TBM geometrisinin belirlenmesi ve TBM koordinat sisteminin oluşturulması amacıyla yapılan, TBM üzerinde tesis edilmiş obje nokta ağının proje koordinat sisteminde ölçülmesi ve TBM koordinat sistemi ile birlikte hesaplanması yoluyla gerçekleştirilir. TBM obje noktaları kazının her aşamasında TBM konumunun tespiti ve yönlendirme sisteminin kontrolü amacıyla kullanılabilir.

Kazının tamamlanmasının ardından halka montajı yapılır. Prekast segmanlardan oluşan halkalar, bir tanesi halkanın kilitlenmesini sağlayacak şekilde kilit taşı olmak üzere tünel çapına ve tasarımına bağlı sayıda elemandan oluşur. Halka tasarımını belirleyen başlıca parametreler proje gereksinimleri, jeolojik profil, TBM tasarımı ve güzergâh tasarımıdır. Tasarlanan güzergâhın uygulanması güzergâh geometrisine uygun olarak yerleştirilecek halkalarla sağlanır. Bu amaçla yatay ve düşey kurbpların ve alıymanların gerçekleştirilebilmesi için düz, sağa, sola yönelimli kalkalar kullanılabileceği gibi, universal sistem olarak bilinen tek bir halkanın farklı açılarla montajı yoluyla istenilen her yöne dönmeye müsait konik yapılı halka geometrisi de kullanılabilir.

Halka seçimi klasik olarak yapılabilmesi gibi genellikle bu amaç için üretilmiş ya da yönlendirme sistemi içerisinde tanımlanmış hesap programları ile yapılır. Halka seçimi, yapının güvenliği, tünel ekseninin tasarımına uygun inşası, halka montajının TBM kuyruk kalkanı içerisinde gerçekleştirilmesi dolayısıyla sıkışma sonucu montajı yapılan halkanın ya da TBM'in zarar görmemesi gibi birçok nedenle dikkatle yapılması gereken bir çalışmadır. Temel prensip, TBM'in tasarlanan tünel eksenine bağlı olarak sürülmesi ve halkaların TBM sürüş eksenine bağlı olarak seçilmesi şeklindedir. Halka seçiminde hesaba giren parametreler, halka geometrisine ait parametreler, ilerleme sonu TBM konumuna ait parametreler, proje ile belirlenmiş tünel eksenini için yatay ve düşey geometrilere ait gerçekleştirilebilecek minimum yarıçaplar, tesisi yapılmış en son halka (referans halka) özellikleri, itme pistonlarının açıklığı, en son halkanın TBM iç çeperine olan mesafesi (açıklığıdır). Halka seçiminin ardından halka montajı gerçekleştirilir. Halka montajının ardından ilerlemeye devam edilir.

Halkaların talep edilen geometriyi sağlamaları, birbirleriyle tam örtüşmesi ve uzun vadede gerçekleşebilecek su sızması ve yapının güvenliğini tehdit edecek diğer faktörlerin yaşanmaması halka üretiminin üretim toleransları göz önünde bulundurularak yapılmasını gerektirir. Halka elemanlarının üretimi için belirlenen toleranslar milimetrik ve bazı özel uygulamalarda mikron ile belirlenen doğruluk gerektirir. Bu şartlar altında halka üretiminde kullanılacak kalıpların ve ürünlerin geometrik kontrolü endüstriyel ölçmeler alanına giren özel ölçme sistemleri ile gerçekleştirilmelidir. Başlıca ölçme yöntemleri multi-teodolite, yakın resim fotogrametrisi, lazer interferometri sistemleridir. Bu sistemler yanı sıra geometrik kontrol endüstriyel kumpaslar kullanılarak da yapılabilir. Geometrik kontrollerin düzenli aralıklarla yapılması gerekir.

7. DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI YÖNETİMİ VE ANALİZİ

Deformasyon ölçmeleri, çok genel bir ifadeyle mühendislik yapılarına etki eden iç ve dış kuvvetlerin kestirimi, kuvvet-şekil değiştirme ilişkilerinin modellenmesi, talep edilen doğrulukların belirlenmesi, optimizasyon dikkate alınarak jeodezik kontrol ağlarının oluşturulması, ölçme yöntem ve donanımlarının seçilmesi, deformasyon ölçmelerinin yapılması, ölçme sonuçlarının, istatistik biliminden yararlanılarak değerlendirilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanmaktadır. [29]

Yapısal deformasyonlar, izlenen objenin ve/veya çevresinin davranışının beklenen modeli izleyip izlemediğinin kontrolü yoluyla beklenmeyen deformasyonların erken dönemde fark edilebilmesi, anormal bir durum karşısında, deformasyona neden olan etkenlerin belirlenmesinde kullanılmak üzere, mutlak deformasyon durumunun mümkün olduğunca doğru tanımlanabilmesi amacıyla izlenmektedir. [30]

Tünel kazısı sırasında, tünelin bir drenaj kanalı gibi çalışması sonucu yeraltı su seviyesinde oluşan değişikliğin zeminde su kaybına yol açması ve tüneldeki kazı ile tünel çevresindeki zeminin kaybı sonucu, tünelde uygulanan kazı destekleme yöntemine, zeminin jeomekanik büyüklüklerine ve tünel geometrisine (çap ve derinlik) bağlı olarak yeryüzünde oturma meydana gelmektedir. [31] Bu oturma, deformasyon noktalarının düşeydeki eğilimlerinin ölçülmesi yoluyla izlenebilmektedir.

Deformasyon takibinde kullanılan temel adımlar, beklenen deformasyon veya deformasyonların olası maksimum değerlerinin tahmin edilmesi, gerekli ölçme doğruluklarının ve ölçme yöntemlerinin belirlenmesi, ölçme ağının dizaynı ve uygun ölçme yöntemleriyle ölçülmesidir. Ölçme işinden sonra toplanan veriler değerlendirilir ve deformasyonlar modellenir. [32]

Yapının performansı ve beklenen deformasyonu, deformasyon noktalarının yerleri, tesis tipleri, isimlendirme kuralları, ve ölçme sıklığı projelendirme çalışması

kapsamında, belirlenmektedir. Yapının performansı, jeolojik profil, tünel açıklığı ve destekleme sistemine bağlıdır. [33]

Deformasyonların belirlenmesinde kullanılacak deformasyon noktaları, yapıyı karakterize edecek ve yapının performansı hakkında bilgi verecek şekilde uygulanmaktadır. Tünel kazısının yüzeye etkisinin belirlenmesi amacıyla proje ile belirlenmiş kilometrelerde yüzey ve bina deformasyon noktaları tesis edilir. Deformasyon noktalarının ölçmelerinde referans noktalarından yararlanılmaktadır. Referans noktaları konumu bilinen ve değişmez olarak kabul edilen jeodezik kontrol noktalarıdır. Proje datumunda üretilen referans noktaları ve referans ağı deformasyondan etkilenmeyecek şekilde sağlam zeminlerde ve sağlam tesisler olarak oluşturulmalıdır. [33]

Tünel deformasyon ölçmeleri, kazı ve desteklemenin hemen ardından, deformasyon kesitinin oluşturulmasıyla başlar ve tüm kazı kesitinin tamamlanıp deformasyonun sonlanmasının ardından bir süre daha devam eder ve yapının tamamlanmasıyla düzenli aralıklarla gerçekleştirilir. lme sıklığı, projenin evre şartları ve jeoteknik koşullara göre değişkenlik gösterebilir. [33]

Yapısal deformasyonların ölçmesinde farklı teknikler ve donanımlar kullanılabilir. Kullanılan lme teknikleri, yöntem ve aletlendirmelerine bağlı olarak jeodezik ve jeoteknik ölçmeler olmak üzere iki gruba ayrılır. Her iki metodun da kendine has avantajları ve dezavantajları vardır. Jeodezik lmeler, sabit referans noktalarından deformasyon noktalarına yapılan ölçmelerle, noktaların mutlak yer değiştirmelerinin belirlenmesi temel ilkesine dayanır. [33]

Yüzey oturmasını temsil eden düşey deformasyonlar, geometrik ve trigonometrik nivelman yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Trigonometrik nivelman total station ile yapılan mesafe ve düşey aı gözlemleriyle yükseklik farkının llmesidir. Bu yöntem deformasyon noktalarına ulaşımın zor olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Elde edilen doğruluk düzeyi aletin hassasiyetine bağlıdır. Geometrik nivelman ise yükseklik farkının doğrudan llmesidir. Yüzey deformasyonların llmesinde çoğunlukla prezisyonlu nivelman yöntemi uygulanmaktadır. [33]

NATM tünellerde deformasyonun izlenmesi için üç boyutlu (3B) konum verisi kullanılmaktadır. 3B konum verisi yersel ölçmeler ile elde edilir. Yersel lmeler

maliyet ve kullanım açısından tünel içi deformasyonların izlenmesinde en uygun yöntem olup yeterli ölçme doğruluğu sağlamaktadır. [33]

Deformasyon ölçmeleri, tünel yan duvarlarına sabit konsollar şeklinde tesis edilmiş jeodezik kontrol noktalarından yapılmaktadır. Bu kontrol noktaları tünel içi jeodezik ağa bağlıdır. Jeodezik kontrol noktalarında olabilecek yer değiştirmeler sistematik kontrol ölçmeleri ile izlenmektedir. [33]

Sistematik hataların minimize edilebilmesi için aletlerin düzenli olarak kontrolleri ve periyodik olarak kalibrasyonu yapılmalıdır. Ölçme aletinin bir takım eksen şartlarını sağlaması gerekir. Bu eksen şartlarının sağlanamadığı durumlarda gerçekleşecek sistematik hata “iki durum okuması” yapılarak giderilebilir. [33]

Özel mühendislik ölçmelerine gereksinim duyan veri toplama çalışması, ham verinin kabul edilebilir doğruluk ve güvenilirliğini sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Verilerin analizinin yapılabilmesi geometrik modelleme ile gerçekleştirilir. Geometrik modelleme konumsal yer değiştirmenin analizinde kullanılır. Deformasyonu ifade eden nokta yer değiştirmesi, başlangıç zamanında elde edilmiş koordinatlardan, güncel ölçmede elde edilmiş olan koordinatların çıkarılmasıyla hesaplanır. Yüzey deformasyonlarının değerlendirilmesi yükseklik bilgilerinin karşılaştırılmasıyla elde edilir. Tünel deformasyonlarının değerlendirilmesi ise biraz daha karmaşık matematiksel modellere gereksinim duyar. [33]

Proje koordinat sisteminde konum bilgileri elde edilmiş noktaların değerlendirilmesi için tünel koordinat sistemine çevrilmesi gerekir. 3B koordinatlardan “S” kilometre bilgisi, “Q” eksenden kaçıklık, ve “H” yükseklik bilgileri elde edilir. Son ölçmenin bir önceki ölçme ile karşılaştırılması sonucu Δh , düşey yer değiştirme, Δq yatay yer değiştirme ve Δs boyuna yer değiştirme bilgileri elde edilir. Δq ve Δs , X ve Y koordinatlarının bir fonksiyonudur. [33]

Her hareket vektörü, nokta yer değiştirmesinin koordinat farkını gösteren büyüklük ve yöne sahiptir. Bu vektörler verilen bir zaman aralığında yer değiştirme alanını tanımlar. Normal koşullar altında beklenen hareketi aşan yer değiştirmeler olası normal olmayan davranışı gösterecektir. Hesaplanan yer değiştirmenin büyüklüğünün, ait olduğu ölçme doğruluğu ile karşılaştırılması görülen hareketin olası bir ölçme hatası olup olmadığını gösterir. Yapılan ölçmeler sonucu elde edilen

sayısal değerler yorumlamayı ve anlaşılabilirliği kolaylaştırmak için uygun grafik formatına dönüştürülmektedir. [33]

TBM metoduyla açılan tünellerde, tünel içi deformasyonun izlenmesi özel çözüm gerektirir. TBM geri donanım sisteminin yoğunluğu nedeniyle konverjans ölçmelerinin doğrudan yersel ölçmelerle yapılması neredeyse imkânsızdır. Montajı yapılan bir halkanın deformasyonunun yersel ölçmeler yoluyla izlenmesi ancak söz konusu halkanın TBM geri ekipman sisteminden kurtularak açığa çıkması ile mümkün olacağı göz önünde bulundurulursa deformasyon başlangıç verisinin elde edilmesi ve ilk deformasyonun değerlendirilmesi gerçekleştirilemeyecektir. Bunun yanı sıra halka montajının ardından, TBM pistonlarının basıncının, enjeksiyonun etkisinin ve TBM kuyruk kısmının geçişi esnasında oluşan değişim, tüp içinde yük taşıma sırasında oluşan etkileşimin belirlenmesi sağlanamayacaktır. [26] Bu amaçla, jeoteknik ölçme ve aletlerinden yararlanılarak gerçekleştirilen halka konverjans ölçme sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistem, montajı yapılan halkanın her elemanı üzerinde bir kesit oluşturacak ve yapının geometrisini karakterize edecek şekilde tek eksenli inklonometrelerin yerleştirilmesi ve birbirleri ile ilişkilendirilmesi ilkesine dayanır.

Deformasyonların belirlenmesi çalışmasına söz konusu olan tüm ölçme verileri ve işlenen sonuçlar arşivlenir ve indekslenir. İhtiyaç duyulduğunda verilere kolayca ulaşılması ve verilerin tekrar düzenlenebilir olması veri yönetiminde bilgi sistemlerinin kullanılması ile mümkündür. [33]

Deformasyon belirleme çalışmasının yönetimi ve yürütmesi periyodik denetim prosedürünün önemli bir parçasıdır. Yapısal izleme farklı iş disiplinlerinden gelen uzmanlardan oluşmaktadır. Tüm katılımcılar tam değerlendirme süreci için tüm birimlerin gereklilikleri hakkında genel bir fikir sahibi olmalıdır. [33]

8. KALİTE KONTROL ÖLÇMELERİ VE YÖNETİMİ

Kalite kontrol, ölçtüğümüz gerçek kalite performansı ile kalite amacının karşılaştırılması ve fark üzerinde önlem almayı içeren düzenleme sürecidir. Kalite ve kontrol çalışmaları yapımın her aşamasında söz konusudur. Bu çalışmada Kalite kontrol ölçmeleri başlığı altında değerlendirilecek olan konular ölçme ile ilgili olup kalite ve kontrol ölçmelerinin sadece bir kısmını içeren, alet kontrol ve kalibrasyonları, profil kontrolü, iksa, segman ve kalıp imalat kontrolüdür.

Veri toplama çalışmaları toplanan verilerin doğruluğu ve kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Verilerin doğruluğu ve kalitesi ise büyük ölçüde veri toplamada kullanılan ölçme donanımına bağlıdır ve bu nedenle veri toplamada kullanılan donanımın kontrol ve kalibrasyonuna ayrı bir önem verilmesi gerekmektedir. [34] Elektronik uzunluk ölçerlerin kontrolü çalışması, modülasyon frekans hatasının, faz farkı ölçme hatasının, sıfır noktası hatasının; doğrultu ölçme amacıyla kullanılan elektronik takeometrelerin kontrolü çalışması, gözlem eksen hatasının, muylu eksen hatasının, düşey eksen hatasının, bölümlene ve enterpolasyon hatasının, ve ATR sıfır noktası hatasının belirlenme çalışmalarını kapsamaktadır. [34] Tünelde kullanılan tüm ölçme aletlerinin kontrol ve kalibrasyonlarının standartlara uygun şekilde ve belli sıklıkta yapılması gerekmektedir.

Tünellerin çalışır duruma gelmelerinden önce tünel gabarisinin kontrol edilmesi gerekmektedir. NATM teknik şartnamesinde yapım toleransları, tamamlanmış tünel enkesitindeki tünel ekseninin hesaplanmış tünel enkesitinden (güzergah) planındaki sapması $\pm 50\text{mm}$ 'den fazla olmayacak şekilde tanımlanmış ve dizayn edilen iç beton kaplama nominal kalınlığını sağlamak üzere ön tünel kaplaması nihai gabarisinin dikkatli ve sistematik olarak kontrol edilmesini zorunlu kılmıştır. Şartnameye göre nihai gabari kontrolü ancak tünel çevresindeki herhangi bir pozisyondaki radyal deplasman hızının ayda 2mm 'den daha az olması koşuluyla gerçekleştirilebilir. Nihai gabari profili kontrolü, boyuna istikametteki tavsiye edilen aralıklarda ve tünel çevresi üzerindeki noktalarda kaydedilmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir. [24]

Bu amaçla başta yersel ölçmeler olmak üzere, yakın resim fotogrametrisi, lazer tarama sistemleri gibi birçok ölçme yöntemi kullanılabilir. Ölçmelerin değerlendirilmesi, var olan durumun tasarım ile karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilir. Profil kontrolü çalışması için yapılacak ölçme, hesap ve değerlendirme işlerinin kolaylaştıran ve değerlendirme sürecini hızlandıran kesit ölçmeleri amacıyla üretilmiş özel yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Tünelin yapımında kullanılacak ve tünel geometrisini oluşturan iksa ve prekast elemanların geometrik kontrollerinin yapılmasına gerek duyulmaktadır. İmalatın kontrolü çalışması talep edilen doğruluk ve kontrol yöntemi göz önünde bulundurulursa endüstriyel ölçmelerin uygulama alanına girmektedir. Özellikle TBM metodu ile açılan tünellerde iç kaplamanın montajında tam kilitlenme sağlanmamasına bağlı olarak gerçekleşecek tünel içinde sızma ve stabilitenin bozulması gibi istenmeyen durumlarla karşılaşılması ancak segmanların imalatının tasarımcı tarafından belirlenmiş toleranslara uygun olarak üretilmesi ile mümkündür [26]. Segman üretiminin kontrolü, kalıpların geometrik kontrolü, ilk üretimin kontrolü ve düzenli aralıklarla üretimin kontrolünün yapılması yoluyla gerçekleştirilir. Segman ve segman kalıplarının kontrolünde en yaygın olarak kullanılan yöntem lazer interferometri yöntemidir.

9. UYGULAMA ÖRNEĞİ : KADIKÖY-KARTAL METRO İNŞAATI

Kadıköy-Kartal Metro İnşaatı Projesi İstanbul Anadolu yakasında yapılacak ilk raylı toplu taşıma sistemi projesi olacaktır. Kadıköy-Kartal Metrosu güzergahı toplam 21.7 km uzunluğunda olup, güzergah üzerinde 16 istasyon bulundurmaktadır. Kadıköy-Kartal Metrosu İbrahimağa istasyonunda Marmaray Projesi ile entegre edilecektir. Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İnşaatı kapsamında 21.690 metre uzunluğundaki hattın %28.6'sı (6200 m) NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu – New Austrian Tunelling Method); %50'si (10847m) TBM (Tünel Açma Makinesi – Tunnel Boring Machine); %21.4'ü ise (4643m) EPBM (Zemin Basınç Dengelemeli Makine – Earth Pressure Balance Machine) ile kazılacaktır.

9.1 Kadıköy-Kartal Metro İnşaatı Yatay ve Düşey Jeodezik Kontrol Ağı

Kadıköy-Kartal Metro İnşaatı Projesi kapsamında gerçekleştirilen jeodezik yatay kontrol ağı güzergah boyunca belirli sıklıkta tesis edilen 55 jeodezik kontrol noktası ve 33 poligon noktasından oluşmaktadır. Kontrol noktalarının konumlarının belirlenmesinde statik ve hızlı statik GPS teknikleri kullanılarak ölçmeler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçmelerde, projede elde edilmesi hedeflenen yüksek doğruluk göz önünde bulundurularak ölçme süreleri standart harita üretimine altlık oluşturacak jeodezik kontrol ağlarının GPS gözlem sürelerinden farklı olarak daha uzun tutulmuştur. [35]

İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi Anabilim dalı tarafından hazırlanan “Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İnşaatı Jeodezik Kontrol Ağı Noktalarının Konumlarının Belirlenmesi Projesi Kontrol Ve Değerlendirme Teknik Raporun”da anlatılan Kadıköy Kartal Yatay Kontrol Ağının tasarımı ve tesisinde izlenen strateji aşağıdaki gibidir. Bu stratejinin geliştirilmesinde ayrıca İstanbul'da mevcut olan jeodezik altlıklar ve güncel durumları da göz önünde bulundurulmuştur. [35]

- Öncelikle çalışma alanında ve yakınında bulunan IGNA noktaları belirlenmiştir. Bu noktalar 34070, 34732, 34736, 34327 ve 34111 numaralı noktalardır. Projenin Ana GPS Ağı bu noktalardan ve ayrıca IKAN olarak da bilinen F22G003 numaralı TUTGA noktasından oluşturulmasına karar verilmiştir. GPS gözlemleri en az bir saatlik sürelerde statik GPS tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.
- Ana GPS Ağı, IGNA ölçülerinin yenilenmesi (2005) kapsamında TUTGA'ya bağlı olarak konumları belirlenen 34070, 34111, 34327 ve F22G003 noktalarının koordinatları sabit alınarak dengelenmiştir. Diğer noktaların konumları da buna bağlı olarak belirlenmiştir.
- Proje kapsamında oluşturulan ağdaki diğer kontrol (nirengi) ve poligon noktalarındaki ölçmeler, Ana GPS ağı noktalarından 34732, 34736 ve 34070 numaralı noktaların referans istasyonu olarak kullanılması suretiyle kontrol noktalarında 45 poligon noktalarında 20 dakikalık ölçme süreleriyle statik ve hızlı statik GPS tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.
- Ağın diğer tüm noktalarının ülke nirengi sisteminin datumu olan ED50 datumundaki koordinatlarının belirlenmesi ise, İstanbul genelinde yapılacak harita üretimi ve diğer benzer çalışmalarla bir bütünlük oluşturulmasını sağlamak amacıyla IGNA için üretilen yatay konum dönüşümü eşitlikleri kullanılmıştır.
- Yükseklik bileşeni için, yine IGNA için üretilen ve elipsoid yükseklikleri ortometrik yüksekliklere dönüşümünü sağlayan parametreler kullanılarak ortometrik yükseklikler elde edilmiştir. Bununla beraber IGNA için oluşturulmuş yüksek doğruluklu (± 5 cm) bir lokal geoid olmasına karşılık, bu geoidin sağladığı doğruluk mühendislik projeleri için yeterli değildir. Bu nedenle proje kapsamında nokta yüksekliklerinin prezisyonlu nivelman tekniği kullanılarak belirlenmesinin daha uygun olacağı önerilmektedir.

Yukarıda anılan strateji ile proje kapsamında tesis edilen 88 adet jeodezik noktanın koordinatları TUTGA'ya dayalı olarak ITRF datumunda elde edilmiş, ayrıca ülke sistemi koordinatları da yapılan dönüşümle hesaplanmıştır. [35]

Anılan çalışmanın yanı sıra, ana ağa dayalı olarak, Marmaray Projesi kapsamında tesis edilen N124 ve N507 noktaları ile çalışma alanında bulunan, IGNA'ya bağlı 34722 ve 34739 numaralı noktalarda da ana ağ noktaları referans alınarak ölçmeler yapılmıştır. Ayrıca IGS istasyonlarından biri olan ve Marmaray GPS Jeodezik Kontrol Ağına dâhil edilerek ED50 datumunda koordinatları belirlenen ISTA noktasının da değerlendirmeye alınabilmesi olasıdır. [35]

2006 Mayıs ayında proje kapsamında gereksinim duyulan ve ağa dahil edilen 24 adet nirengi noktasında GPS tekniği kullanılarak ölçmeler gerçekleştirilmiş ve nokta konumları ana çalışmada olduğu gibi ITRF ve ED50 datumlarında hesaplanmıştır. Ağa dahil edilen noktaların konumlarının belirlenmesinde dayanak noktası olarak İstanbul GPS Nirengi Ağına (IGNA) ait 34070, 34732 ve 34736 numaralı noktalar kullanılmıştır. Ölçmelerde jeodezik amaçlı çalışmalar için üretilmiş çift frekanslı Leica SR399 ve SR399E GPS alıcıları kullanılmıştır. Gerek bu noktadaki ölçmelerde, gerekse de tesis edilen jeodezik noktalardaki ölçmelerde aşağıdaki ölçme prosedürü izlenmiştir. [36]

Uydu sayısı	: En az 4
Kayıt aralığı	: 10 saniye
Minimum uydu yüksekliği	: 15°
Maksimum GDOP	: 8

BÖHNBÜY'de GPS ölçmeleri için tanımlanan standartlar ve kurallar C3 derece noktalarda, iki sabit referans istasyonundan çıkış alınarak 20 dakikalık ölçmelerle, C4 derece noktalarda ise 8 dakikalık statik ölçme yapılarak nokta koordinatları belirlenmesini öngörmektedir. Ancak yüksek doğruluk gerektiren bu önemli mühendislik projesi için ölçme süreleri, ilk ölçme kampanyasında olduğu gibi daha uzun tutulmuştur. Bu projede C3 dereceli noktalarda 45 dakika C4 dereceli noktalarda ise 20 dakika ölçme süresi uygulanmıştır. [36]

GPS gözlemleri SkiPro V.2.1. yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Referans noktası olarak kullanılan noktalardan diğer jeodezik noktalara olan bazların çözülmesinin ardından hesaplanan bazlar ITRF96 datumunda dengelenmiştir. [36]

ITRF96 sisteminde elde edilen koordinatların ED50 datumuna bağı koordinat sistemine dönüştürülmesi IGNA Ağı'nın oluşturulması sonrasında İstanbul ili sınırları içerisinde gerçekleştirilecek çalışmalarda kullanılmak üzere üretilmiş dönüşüm eşitliklerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu dönüşüm eşitlikleri yatay konum bilgileri için dönüşüm ve ortometrik yüksekliklerin belirlenmesi için dönüşüm olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Değerlendirme sonucunda elde edilen nokta koordinatları, ITRF96 datumunda coğrafi ve kartezyen koordinatlar ile elipsoid yükseklikler; ülke sistemi ED50 datumunda coğrafi koordinatlar ve sağa ve yukarı koordinat değerleri ile deniz yüzeyinden yükseklikleri ifade eden ortometrik yükseklikler olarak sunulmuştur. [36]

Kadıköy/Kartal Düşey Kontrol Ağı, toplam 51 nivelman noktası ve gidiş dönüş olmak üzere 124 nivelman ölçüsünü içermektedir. Nivelman ara uzaklıkları ile alet kurma sayıları belirlenmiştir. Dengeleme hesabında ağırlıkların belirlenmesinde alet kurma sayıları esas alınmıştır. Dengeleme hesabı, dolaylı ölçüler dengelemesi (Gauss Markoff modeli) yöntemi ile yapılmıştır. Dengeleme hesabı BÖHYY hükümleri uyarınca iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Önce uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi için serbest dengeleme yapılmış ve ardından sonuç dengeleme gerçekleştirilmiştir. Sonuç dengelemenin ardından ortalama yükseklik doğruluğu +4.7mm olarak belirlenmiştir. [37]

9.2 Tünel İçi Jeodezik Kontrol Ağı'nın Tesisi

İstasyon tünellerinin inşası çalışmalarında jeodezik altlık olarak kullanılacak kontrol noktaları zorunlu merkezlendirme sistemli olarak tasarlanmış ve tünel yan duvarları üzerine monte edilmiş konsollar şeklindedir. Konsolların tünel yan duvarları üzerinde tesis edilmeleri, ve açılıp kapanan yapıları tünel trafiği nedeniyle konsolların kırılmasını ve bozulmasını kısmen engellemektedir. [38]

Noktaların koordinatlandırılması çalışması tek hat kazılan tünellerde açık poligon ve çift hat kazılan tünellerde şaftın konumu da dikkate alınarak kapalı veya bağlı poligon yöntemine göre gerçekleştirilmektedir. [38]

Tünel ilerlemesine paralel olarak tünel içi konsolların tesisi ve yatay konum bilgileri üretilmesi çalışması şaft içinde tesis edilen poligon noktalarına dayalı olarak açık

poligon yöntemiyle poligon ağı sıklaştırması ile gerçekleştirilir. Şekil 9.1’de uygulanan tünel içi kontrol noktaları tesis tipleri görülmektedir. [38]



Şekil 9.1 : Tünel içi kontrol noktaları [38]

9.3 Tünel Jeodezik Kontrol Ağının Datumunun Belirlenmesi

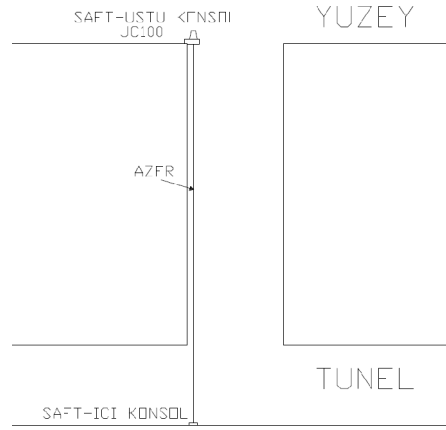
Proje kapsamında tünele giriş yapıları şaftlar olarak belirlenmiştir. Bu amaçla her istasyon tüneli için bir ya da birden fazla şaft açılmıştır. Tünel jeodezik kontrol ağının proje kontrol ağına göre datumunun belirlenmesi çalışmasında şaft üzerine tesis edilen ve proje jeodezik kontrol ağına bağlı yada kontrol ağının sıklaştırılmasıyla oluşturulan nirengi/poligon noktalarından yararlanılmıştır. Bu noktalar Şekil 9.2’de görüldüğü gibi konsol biçiminde tesis edilmişlerdir. Şaft üstü noktalarının açı ve kenar gözlemleri yapılarak konumlarının belirlenmesinin ardından bu noktaların tünele izdüşürülmesi çalışmasına başlanmıştır. [38]



Şekil 9.2 : Şaft üstü kontrol noktaları [38]

Şaft üstünde tesisi ve koordinatlandırılması tamamlanan poligon noktaları, şaft içine JC-100 Lazer çekül kullanılarak izdüşürülmüştür. (Şekil 9.3) İzdüşürme işlemi bir seri ve dört durumda gerçekleştirilmiştir. İzdüşürme işleminin ilk kontrolü, şaft içine izdüşürülen noktalara Leica TC-1202 aleti kurularak, dirsek yardımıyla şaft üstü

noktaların gözlenmesi yoluyla kabaca gerçekleştirilmektedir. Şaft içine izdüşürülen poligon noktaları arasında ve şaft üstü noktaları arasında açı ve kenar gözlemleri yapılmaktadır. Şaft üstünde okunan açı kenar ölçmeleri şaft içine izdüşürülen noktalarda yapılan ölçmelerle karşılaştırılarak şaft üstü ve şaft içindeki noktaların geometrilerinin uyumları kontrol edilir. Ancak şaft üstünde ve şaft içinde tanımlanan bu geometrilerin birbirlerine göre uyumlulukları bu noktalar arasında doğrudan gözlem yapılamadığı için belirlenememektedir. Buna bağlı olarak bu yöntemin en büyük dezavantajı alet doğruluğuna ve yapılan çalışmaya güvenilerek izdüşürülen noktaların konum doğruluğu hakkında alet doğruluğu dışında herhangi bir fikir sahibi olunamamasıdır. [38]



Şekil 9.3 : Şaft Üstü Noktalarının Tünel İçine İzdüşürülmesi [38]

Düşey konum bilgisinin transferi yatay konum bilgisinin transferinde olduğu gibi şaft üstüne ve şaft içine tesis edilen noktalar aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Şaft üstüne ve şaft içine tesis edilen nivelman noktaları arasındaki yükseklik farkı çelik şerit metre kullanılarak ölçülmüştür. [38]

9.4 Tünel Yapım Çalışmaları

Şaftların açılmasında ve istasyon kazılarının yönlendirilmesinde yersel ölçmelerle yapılan kutupsal aplikasyon yöntemi kullanılmıştır. NATM kazılarının yönlendirilmesi ayna çizimi, iksa aplikasyonunun yapılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. İstasyon tünellerinin alıyman olmaları nedeniyle kazılarda

sürekli ölçme ekibinin bulunması gerekmemiştir. Aplikasyonlar yarım seri ölçmelerle gerçekleştirilmiştir.

TBM tünellerinin yapım çalışmaları projenin önemli bir ayağını oluşturması ve günümüzde gittikçe yaygınlaşan yeni bir teknoloji olması nedeniyle bilgi paylaşımı amacıyla detaylandırılacaktır. TBM tünel kazılarının temel iş adımları TBM'lerin tasarlanması, üretimi ve sahada montajlarının yapılarak kazıya hazır hale gelmesi, proje gereksinimlerine ve makine üretimine bağlı olarak segmanların tasarımı ve üretimi, makinenin güzergah boyunca yönlendirilmesi ve yönetimi, segmanların halka şeklinde montajları yapılarak tüp şeklinde tünel inşası, kazı süresince deformasyonların takibi, açılan tünelin kontrol ölçmeleridir.

Toplam 10 adet olan kalıpların imalat sahasına ulaşması ve her iki sahada kontrol ölçmelerinin gerçekleştirilmesinin ardından segman üretime başlanmıştır. TBM tüneli kaplama sistemi olarak 5+1 üniversal halka kullanılmaktadır. Üniversal halka tek bir kalıp takımı ile her yöne yönelimli tünel inşasına izin vermektedir. [39]

Segman üretim doğruluğu için belirlenen toleranslar Tablo-9.1'de gösterilmiştir. Kalıp üretim doğruluğu için belirlenen tolerans değerleri Tablo-9.2'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi beklenen üretim doğruluğu mm'nin altında kalmaktadır. Bu prezisyonda ölçme yapılabilmesi hassas sistemlere gereksinim duymaktadır. Günümüzde bu hassasiyetin karşılanması amacıyla en yaygın olarak lazer interferometri yöntemi olan endüstriyel lazer ölçme aletleri ve bunun yanı sıra yakın resim fotogrametrisi, çoklu teodolit sistemleri (multi-teodolit) ve kumpaslar kullanılmaktadır.

Tablo 9.1: Segman Üretim Toleransları

Segment kalınlığı	$\pm 1,50\text{mm}$
Segment eni (tünel boyuna)	$\pm 0,50\text{mm}$
Conta - yiv derinliği	$\pm 0,20\text{mm}$
Conta - yiv eni	$\pm 0,20\text{mm}$
Tünel iç çapı	$\pm 6,00\text{mm}$
Boylamsal mafsalsal - aralık (gap)	$\pm 0,50\text{mm}$

Tablo 9.2: Segman Kalıp Üretim Toleransları

Tolerances
4.1. Tolerance on the width $\pm 0,5$ mm
4.2. Tolerance on the developed length between the lateral surface ± 1.0 mm
4.3 Tolerance of the thickness ± 1.0 mm
4.4 Tolerance J between the radial face and supports of the angle template J 0,2 mm
4.5 Maximum distortion $\frac{1}{2}$ for inner surfaces in relation to the theoretical surface of the cylinder $\pm 1,0$ mm
4.6 Tolerance on roundness of the mould bottom R $\pm 1,0$ mm
4.7 Diagonal cord $\pm 1,5$ mm
4.8 Angle deviation - Segment partition $\pm 0,02^\circ$ - Radial joint $\pm 0,04^\circ$
Flatness
5.1 Safe deflection on the mould bottom steel plate $\pm 1,5$ mm
5.2 Flatness tolerance on longitudinal and radial face $\pm 0,3$ mm
Inserts
6.1 Inserts and block-outs between rings and segments will be located at $\pm 1,0$ mm
6.2 Grasp bushing will be located at $\pm 1,0$ mm
6.3 The position of the inserts used for second-phase grouting will present a tolerance of $\pm 1,0$ mm
Metal Construction - Tolerance of positioning ± 3 mm
Gasket Grove - Tolerance on grove bottom due to a rotation or buckling of the face $\pm 0,2$ mm - Depth $\pm 0,3$ mm

TBM kesici baş (Cuterhead), ön kalkan (Front Shield), orta kalkan (Middle Shild), kuyruk kalkanı (Tail Shield), köprü ve beş parçalı geri ekipman sisteminden (gantry'lerden) meydana gelmektedir. TBM 80 cm kesici baş ve 831 cm kalkan olmak üzere toplam uzunluğu 9.11 metre ve geri ekipman sistem ile beraber toplam boyu yaklaşık 97 metre'dir. Kesici baş kazı çapı 6570 mm kuyruk kalkanı çapı 6540 mm ve halka iç çapı 5700 mm'dir. [39]

TBM'i oluşturan parçalar tek tek şafta indirilmiş ve montajlanmıştır. TBM tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli parçalardan biri kesici başın kazı çapının arka kısma doğru daralması gerekliliğidir. Aksi takdirde TBM kazı içerisinde rahat hareket edemeyecek ve sıkışacaktır. Ön ve orta kalkan imalatı bu şartı sağlamaktadır. Fakat kuyruk kalkanı şafta indirilip orta kalkana puntalandığında deforme olduğu ve yerine oturmadığı tespit edilmiştir. Kuyruk kalkanının

daireselliğini yitirdiği tespitinden sonra bu değişimi toleranslar içerisinde kalıp kalmadığının ölçme yoluyla tespit edilmesine gerek duyulmuştur. [39]

TBM yönlendirmesinde SLS-T APD (Segmental Lining System – Tunnel Absolute Posititon Determination – Segman Kaplamalı Tünellerde Mutlak Konum Belirleme Sistemi) yazılımı kullanılmaktadır. Sistem gerideki sabit referans noktasına bağlanılarak TBM üzerine yerleştirilmiş aktif lazer ünitesine yapılan ölçmelerle TBM pozisyonunun tespiti ilkesine dayanmaktadır. [39]

TBM sürüşünün sürekli izlenmesi ve eksene bağlı sapmaların gerek sayısal gerek grafik formda gösterilmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde güzergâha uygun kazı gerçekleştirilebilecektir. Diğer yandan kazının takibi için dokümantasyonu sağlanması ileriki süreçler ve olası bir hata durumunda önemli yer tutmaktadır. Bu amaçla VMT tarafından geliştirilen yönlendirme sistemi TBM sürüşünün takibinin yanı sıra, halka hesaplaması, dokümantasyon, düzeltme eğrisinin tanımlanması ve protokollerin hazırlanması amacıyla kullanılmaktadır. Bahsi geçen yönlendirme sisteminin temelini koordinat sistemleri oluşturmaktadır. Sistemde kullanılan başlıca koordinat sistemleri proje koordinat sistemi, TBM koordinat sistemi, DTA (Designed Tunnel Axis – Tasarlanmış Tünel Ekseni) sistemidir. Sistemin amacı proje koordinat sistemi ve TBM koordinat sistemi kullanılarak TBM referans noktalarının DTA sistemi içerisinde SLS-T programı ile sapmalar olarak hesaplanması ve gösterilmesidir. [39]

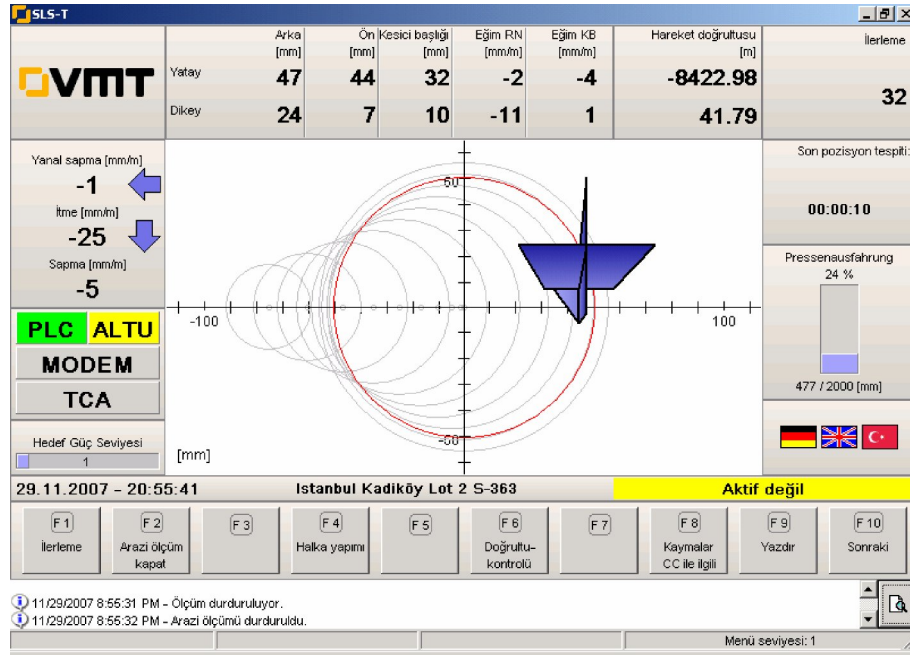
TBM sürüşü esnasında meydana gelecek başlıca hareketler güzergâhtan düşey ve yatay sapmalar, TBM'in yanal sapması ve itme hareketidir. Yanal sapma ve itme hareketi çift eksenli inklonometre ile yatay ve düşey sapmalar ise açı ve kenar ölçmeleriyle belirlenmektedir. [39]

TBM'in güzergah boyunca hareketinin izlenmesi, sapmaların belirlenmesi, TBM pozisyonuna göre halkaların seçilmesi amacıyla kullanılan SLS-T programı üç ayrı seviyeden oluşmaktadır. İlk seviye, TBM ilerlemesinin ve halka montajının gerçekleştirildiği seviyedir. İkinci seviye, TBM'e ait eski verilerin görüldüğü, raporların çıktı formatında üretildiği seviyedir. Üçüncü seviye, TBM ile ilgili

editörlerin ve TBM yönlendirilmesinde kullanılacak olan lazer istasyonuna (yönlendirme poligon noktası) yapılacak müdahalelerin yapılabildiği, güzergah editörünün de bulunduğu seviyedir. Program şifre korumalıdır. [39]

SLS-T programının açılmasıyla ekrana gelen “Seviye I” ilerleme ve halka yapımı için kullanılmaktadır. Şekil 9.4’te görülen ekranda TBM hareketine altlık oluşturacak tüm veriler yer almaktadır. TBM pozisyonu güzergâhtan mm biriminde sapmalarla ifade edilmektedir. Ekranın üstünde yatay ve düşey geometri için TBM ön, arka ve kesici başlığına ait güzergâhtan sapma değerleri görülmektedir. Eğim TBM’in yönelimini ifade etmektedir. “Eğim RN” TBM arka referansı ile TBM ön referansının değerlendirilmesiyle, “Eğim KB” ise TBM arka referansı ile, TBM kesici başlığı arasındaki güzergâhtan sapmaların değerlendirilmesiyle elde edilmektedir. [39]

Sapmaları gösteren değerler yatay geometri için negatif değer aldıklarında TBM’in güzergahın solunda olduğu; pozitif değerler aldığında ise sağında olduğu anlaşılmaktadır. Düşey geometri için negatif değer TBM’in güzergahın altında olduğunu pozitif değer ise üstünde olduğunu ifade etmektedir. Yatay geometride eğimin negatif olması, TBM’in, ilgili referanslara göre sola yöneldiğini, pozitif olması ise TBM’in sağa yöneldiğini göstermektedir. Düşey geometride negatif bir eğim TBM’in aşağıya yöneldiğini pozitif eğim ise yukarıya yöneldiğini göstermektedir. [39]



Şekil 9.4 : SLS-T Seviye – I

Sapmalar ve eğimler yanı sıra aynı ekranda TBM sürüşüne ait kilometre bilgisine ve ilerleme bilgisine ulaşılabilmektedir. Kilometre bilgisi ilk satırda TBM'in güzergah üzerindeki mevcut km'sini ifade etmektedir. Bu kilometre kesici başa aittir. İkinci satırda başlangıç pozisyonu sıfır kabul edilerek kazı kilometresi gösterilmektedir. [39]

Ekranın solunda bulunan sütunda, TBM'e ait diğer ölçmeler yer almaktadır. Yanal sapma (Roll), itme (Pitch) ve sapma başlıkları ile ifade edilen bu değerler mm/m birimindedir. Yanal Sapma TBM'in eksenini etrafında dönmesini, itme ise TBM'in ön ve arkasında meydana gelen aşağı yukarı hareketi ifade etmektedir. Bu değerler TBM üzerine monte edilmiş iki eksenli inklinometreden alınmaktadır. Sapma TBM konumunun belirlenmesinde kullanılan lazer ışınının ALTU (Aktif Lazer Hedef Ünitesi – Active Laser Target Unit)'ya geliş açısı ile ilgilidir. Bu değer ölçme hassasiyetini etkilediğinden, 110 mm/m'ye ulaşmadan, yönlendirme poligonunun yenilenmesi gerekmektedir. [39]

Sol aşağıda verilen butonlar, yazılımlar ve donanımlar arası iletişimi göstermektedir. "PLC" TBM bilgisayarını ifade etmektedir, "ALTU" lazer hedefi hakkında bilgi

verir. “MODEM”, ofis bilgisayarı ile olan bağlantıyı göstermektedir, “TCA”, TBM ölçmesinde kullanılan alet hakkında bilgi vermektedir. “INC”, Yanal Sapma ve itme değerlerinin elde edilmesinde kullanılan inklonometre hakkında bilgi verir. [39]

Sağ sütunda yukardan aşağıya sırasıyla, son konum tespiti yapıldığı zaman ve itme silindirlerinin ortalama açıklığı gösterilmektedir. Silindir açıklığı hakkındaki bilgi doğrudan PLC bilgisayarından gelmektedir. 1700 mm’nin geçilmesiyle, halka montajı için gerekli açıklık elde edilmiş olur. İlerleme süresince her 10 saniyede bir ALTU ve her 600 saniyede bir geri hedef ölçümü ilerleme modunda otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu süreler programda belirtilmiştir. İlerlemeye geçilmesiyle ölçme başlamaktadır. [39]

Program enteraktif olarak çalışmaktadır. Ekranın altında yer alan kısımda kullanıcı komutları ve programın cevapları görülmektedir. Buradaki tüm veriler Programın Log dosyasında sistem klasörüne otomatik olarak kaydedilip dosyalanmaktadır. Herhangi bir problemle karşılaşıldığında ilgili günün sistem dosyasının incelenmesi gerekmektedir. [39]

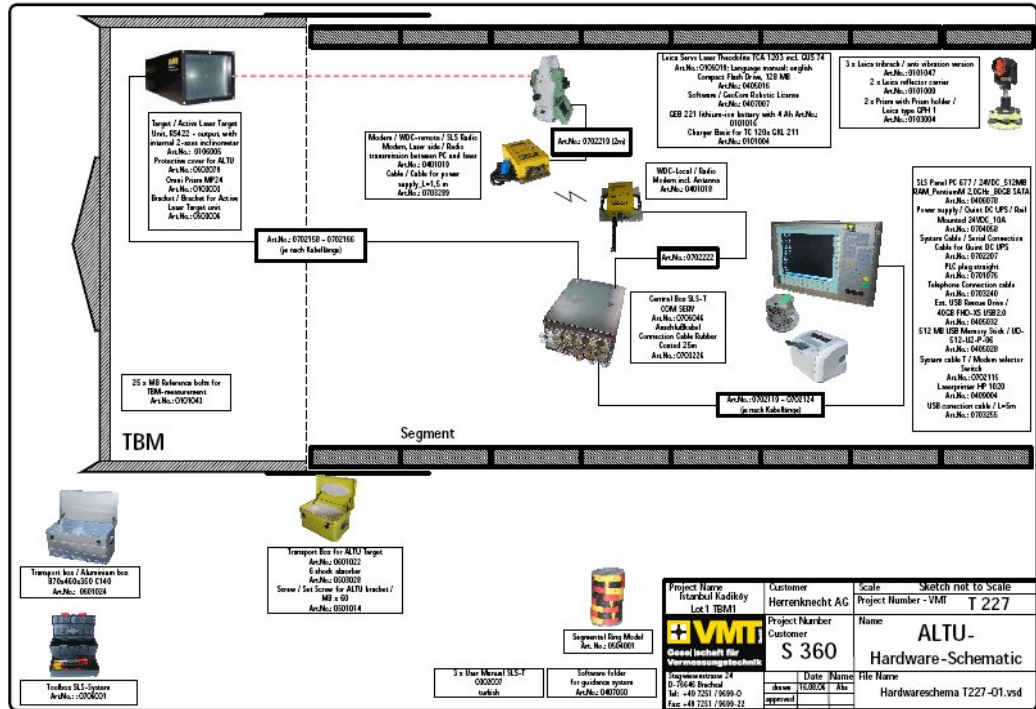
Grafik gösterim, TBM arka, ön ve kesici başlığa ait sapmaları perspektif ile göstermektedir. Program, güzergâhtan sapıldığı durumlarda güzergaha dönüş için en uygun eğriyi hesaplar. Düzeltme eğrisi adı verilen bu eğrinin tanımlanması için gerekli parametreler projeden sisteme girilmiştir. Bu parametreler, sapmaların 10 mm üzerinde olması, eğimin 4 mm/m’yi geçmesi, her beş ilerlemede bir olarak belirlenmiştir. Düzeltme eğrisinin oluşturulmasında yatay ve dikey minimum yarıçap dikkate alınır ve düzeltme eğrisi program tarafından otomatik tanımlanır. Minimum yarıçapın belirlenmesinde TBM dizaynı kısıtlamaları rol oynamaktadır. Projede kullanılan TBMler için üretici firma tarafından bildirilen TBM back-up sistemlerinin geçebileceği minimum yarıçap 300 metredir. [39]

”Seviye II”, TBM’e ait geçmişe dönük verilerin görüntülenmesini sağlar, ayrıca halka protokollerinin ve raporlarının üretildiği seviyedir. [39]

“Seviye III”, TBM parametrelerinin yönetildiği ve saklandığı seviyedir. Her menü şifre ile korunmaktadır. TBM parametreleri editörde saklanmaktadır. Editör,

mafsallar, sınırlar, lazer istasyonu, kurulum, TBM parametreleri, lazer hedefi, inklinometre hakkında bilgilerin saklandığı kısımdır. Editöre sadece ölçme ekibi tarafından müdahale edilmelidir. “Seviye III”, ayrıca güzergah verisinin saklanmasına ve gerekli düzenlemelerin yapılmasına olanak sağlayan DTA menüsünü bulundurmaktadır. Mevcut durumda tüm güzergah programa girilmiştir. Lazer istasyonunun hareketi, yönlendirme, hidrolik kaldırıcı editörü yine bu seviyededir ve ölçme ekibinin sorumluluğundadır. [39]

Şekil-9.5’te yönlendirme sisteminin parçaları ve birbirleriyle olan ilişkileri gösterilmiştir. Sistemin en temel bileşeni sabit nokta (kontrol noktası, yönlendirme poligonu) tesisleridir. Bu tesislerin sabit ve güvenilir tesisler olması çok önemlidir. TBM tasarımı sırasında TBM hedefinin ve geri ekipman sisteminin durumuna göre lazer penceresi (laser window) tanımlanmıştır. Konsol tasarımında ve tesisinde bu tanımlanan pencerenin içinde kalınması şiddetle tavsiye edilmektedir. Konsolların tesisine ilişkin detaylı bilgi jeodezik çalışmalar kısmında verilecektir. [39]



Şekil 9.5 : TBM Yönlendirme Donanım Şeması

Başlıca bileşenler ALTU, merkezi kutu, inklonometre, TCA 1203, GUS74, prizma, radio modemler ve kablolardır. Leica TCA1203, SLS-T programı ile bilgisayardan kontrol edilebilmektedir. GUS74, TCA1203'e monte edilmiş durumda sahaya getirilmiştir. GUS74 de bilgisayarla kontrol edilmektedir. TBM kafasına monte edilen ALTU ve inklonometre tarafından elde edilen veriler kablolarla merkezi kutuya aktarılmaktadır. TCA tarafından yapılan ölçmeler TCA'dan bir kablo ile radyo modeme aktarılmaktadır. Bir diğer radyo modem ise merkezi kutuya bir kablo ile bağlanmıştır. İki radyo modem arasındaki veri aktarımı ile TCA'dan alınan veriler merkezi kutuya ulaşmaktadır. Merkezi kutuda toplanan tüm veriler bir kablo vasıtasıyla TBM kumanda kabinine monte edilen bilgisayara aktarılmaktadır. TBM üzerinde yanal sapmanın ve itmenin belirlenebilmesi için çift eksenli inklonometre kullanılmaktadır. Biri ALTU içerisinde diğeri harici olmak üzere iki adet inklonometre sisteme bağlanmıştır. Her iki inklonometre de gerekli bilgiyi sağlamakla beraber konumu ve tesisi itibariyle titreşimden daha az etkilenmesi nedeniyle aktif olarak harici inklonometre kullanılmaktadır. [39]

Aletlerin düzenli aralıklarla kontrol ve kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. TCA kontrolü yüzeyde yapılacak ölçmelerle gerçekleştirilmektedir. GUS74 kontrol ve kalibrasyonu optik eksen ile lazer ekseni arasındaki mesafenin kontrolü amacıyla kullanım kılavuzuna uygun olarak en az yılda bir olmak üzere ihtiyaç duyulan sıklıkta gerçekleştirilmektedir. ALTU her 20000 saatlik çalışma süresinden sonra kalibre edilecektir. [39]

Sistemin yapılandırılması, yönlendirme sistemi ile elde edilen TBM pozisyon değerlerinin TBM ölçmesi ile elde edilen pozisyon değerlerine göre düzenlenmesidir. Sistemin yapılandırılmasında gerekli olan bilgiler DTA'den TBM ön ve arka referans noktasının kilometre ve sapma değerleri, TBM'in yanal sapması ve itmesidir. Bu değerler TBM ölçmesi yoluyla elde edilmektedir. Bunun yanı sıra editörün düzenlenmesi gerekmektedir. Sabit noktaların konum bilgileri, itme silindirlerinin açılal pozisyonları, limit değerleri, sabitler, bilgisayar iletişim portları, TBM boyutları, ALTU'ya ait bilgiler gerekli yapılandırma bilgilerini oluşturmaktadır. [39]

TBM ilerlemeye başlamadan önce TBM'in konumlandırılması ve Tünel Yönlendirme Sistemi'nin makinenin başlama pozisyonuna bağlı olarak yapılandırılması gerekmektedir. Bu amaçla TBM üzerinde montajı gerçekleştirilmiş referans noktaları ölçülüp tünel eksenine (DTA) transfer edilmektedir. Ölçmeler TBM pozisyonunun hassas bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır. TBM pozisyonunun SLS-T ekranında doğru gösterilmesi için yazılımın sahada gerçekleştirilen TBM ölçmesine bağlı olarak yapılandırılması gerekmektedir. [39]

İlerleme esnasında TBM pozisyonunun yönlendirme sisteminde mümkün olduğunca doğru gösterilmesi gerekmektedir. İlerleme süresince yönlendirme, Aktif Lazer Hedef Ünitesi'ne yapılan açı ve mesafe ölçmeleri ile sağlandığından, ALTU, yönlendirme sisteminin önemli bir parçasıdır ve TBM hareketinin doğru gösterimi ALTU'nun TBM eksenine göre rölatif konumunun hassas olarak belirlenmesine bağlıdır. [40]

TBM ölçmesi, daire merkezlerine göre tanımlanmış olan makine koordinat sisteminde ALTU pozisyonunun, makinenin dönme ve itme açılarının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu bileşenlerin doğru tespiti, makinenin yönlendirme sisteminde görüldüğü gibi hareket ettiğini garanti eder. TBM ölçmesi çalışmasında kalkanda işaretlenmiş olan referans noktalarının saha koordinat sisteminde ölçmeleri gerçekleştirilmektedir. Bu noktalar TBM'in tekrar kurulmasında ve TBM pozisyonunun tekrar belirlenmesinde kontrol noktaları olarak kullanılmaktadır. [40] Ölçme sonuçlarının bir diğer kullanımı kalkanın daireselliğinin yada deformasyonunun belirlenmesi olabilir. Bu kalkan çapının kesici başta kalkanın arkasına göre daha geniş olması durumunu kesinleştirir. Bu durum sağlanmazsa TBM kurb da sıkışacaktır. [40]

TBM koordinat sistemi, koordinat sisteminin merkezi TBM kesici başı merkezinden geçen +X yönü ilerleme yönünde olacak şekilde sağ el koordinat sistemi olarak tasarlanmıştır. Referans noktalarının TBM koordinat sisteminde koordinatlarının belirlenmesi, TBM koordinat sisteminin tanımlanmasında kullanılacak olan kalkan üzerinde iki dairenin lokal koordinat sistemde (Orta kalkanın başlangıcında ölçülen

birinci daire ve Orta kalkanın bitiminde yer alan ikinci daire) ölçülmesi yoluyla yapılmıştır. Ölçmelerin analizleri TbmMess programı kullanılarak yapılmıştır. [40]

TBM ölçmesi ve hesapları tamamlanıp sistem yapılandırılmasının tamamlanmasına kadar geçecek zamanda TBM de herhangi bir hareketin olmaması çok önemlidir. Bu amaçla saha çalışma programına uygun bir zaman dilimi seçilmektedir. [39]

Ölçme, TBM üzerine monte edilmiş ve fabrikada VMT tarafından gerçekleştirilen ölçme çalışmasıyla TBM lokal koordinat sisteminde konum bilgileri belirlenmiş olan toplam 19 adet noktadan en fazla sayıda ve en iyi geometrik dağılımı gösterecek noktaların proje koordinat sisteminde ölçülmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir. İstasyon noktasının seçiminde, tek alet kurulumu ile ölçmenin tamamlanması gerekliliği göz önünde bulundurulmuştur. Her iki TBM için yapılan çalışmada en uygun görüşü sağlayan yerin TBM köprü kısmı olduğu tespit edilmiştir ve köprü üzerinde sadece ölçmeyi yapacak kişinin durması yoluyla meydana gelecek titreşimin en aza indirilmesi sağlanmış ve tesisi gerçekleştirilen bu izafi istasyon noktasının konum bilgisi geriden kestirme yolu ile belirlenmiştir. [39]

İstasyon noktasının konum bilgileri elde edildikten sonra TBM üzerindeki referans noktalarının ölçmelerine başlanmaktadır. Her iki TBM ölçmesinde de Leica TCA 1202 kullanılmıştır. Referans noktalarının ölçmesinde ilk konum bilgilerinin tespitinde kullanılmış olan Leica normal prizma ve adaptör kullanılmıştır. Prizma ilgili noktaya takıldıktan sonra nokta kanavas ve TBM üzerinde yazılı nokta adı göz önünde bulundurularak nokta numarası operatöre söylenmiş ve her referans noktası aletin iki durumda da ölçülmüştür. Referans noktaların ölçmesinin tamamlanmasından sonra ALTU köşe koordinatları tek durum okuması ile ölçülmüştür. ALTU köşe koordinatlarının ölçülmesinde ALTU köşelerine açı ölçmeleri yapılmış ve ardından köşeye yerleştirilen mini prizmaya mesafe ölçmeleri yapılmıştır. [39]

TBM pozisyonunun hesabında kullanılacak yazılım VMT tarafından geliştirilen TbmMess yazılımıdır. Yazılım her iki hat için programlanmıştır. Transformasyon programı olarak kullanılan bu yazılımın içerisinde güzergah parametreleri

bulunmaktadır. Referans noktalarının lokal konum bilgileri ve saha koordinat sistemindeki konum bilgileri sistemin içerisine çağrılarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle ölçme sırasında noktaların doğru adlandırılması önem kazanmaktadır. [39]

Hesap sonucunda TBM'e ait ilk konum bilgisi, ölçme raporu elde edilmektedir. Bu veriler sistemin yapılandırılmasında kullanılmaktadır. Ölçme ve hesaplamaların ardından belirlenen TBM pozisyonunun SLS-T'ye aktarılması gerekmektedir. Bu çalışma belli bir hiyerarşik sıra izlenerek gerçekleştirilmektedir. Öncelikle yapılan hesaplarda ALTU'nun TBM koordinat sisteminde belirlenmiş yeni lokal koordinatları eskileri ile değiştirilmektedir. Her yapılan değişikliğin ardından ilerlemeye geçilip ölçmenin tekrarlanması gerekmektedir aksi takdirde değişikliğin TBM pozisyonuna etkisi görülememektedir. İnklinometreden gelen yanal sapma ve itme değerleri TBM ölçmesi yoluyla elde edilen değerlerle karşılaştırılıp, görülen fark yanal sapma ve itme için kayma değerleri girilerek elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu işlem değerlerin tam sayı kısmının elde edilmesine kadar devam ettirilmektedir. Sistemde biri ALTU'nun içinde diğeri TBM üzerinde harici olarak yerleştirilmiş olan her iki inklinometre için ölçmelerin doğru değeri göstermesi sağlanana kadar işlem devam ettirilmektedir. Yanal sapma ve itmenin ayarlanmasının ardından arka ve ön referans noktalarının güzergahtan sapma değerleri maksimum 3mm lik bir yaklaşımla ayarlanmalıdır. [39]

TBM kazısının başlaması ve TBM ilerlemesine bağlı olarak yönlendirme istasyonlarının ileri taşınması, jeodezik kontrol ağının tesisi ve kontrol ağı kullanılarak yönlendirme poligonlarının kontrolünün ve düzeltmelerinin yapılması, aletlerin düzenli aralıklarla kontrol ve kalibrasyonlarının yapılması, verilerin saklanması ve yönetimi, sistemin kontrolü ve takibi, yüzey deformasyonların izlenmesi ölçme ekibi tarafından gerçekleştirilmesi gereken başlıca işlerdir. [39]

TBM ilerlemesiyle yönlendirme amacıyla kullanılan lazer istasyonunun görüşünün kesilmesi, sapma nedeniyle iş göremez olması yada radyo modemler arasındaki mesafenin artması nedeniyle veri aktarımının kesilmesi söz konusudur. TBM pozisyonunun sürekli takibinin yapılması gerekliliği lazer istasyonunun ihtiyaca bağlı ileriye taşınmasını gerektirmektedir. Lazer ışının tünel içerisinde davranışı,

segmanlara olan mesafeleri takip edilerek ve sapma değeri de göz önünde bulundurularak lazer istasyonunun taşınmasına karar verilmektedir. [39]

Lazer istasyonunun taşınması SLS-T içerisinde bulunan yazılım tarafından gerçekleştirilmektedir. “Seviye III”de yer alan ve şifre ile korunan lazer hareketi yazılımı çalışma prensibi, geriye bağlanılıp ileriye tesisi gerçekleştirilmiş yeni yönlendirme noktasına yerleştirilen prizmaya doğrultu ve kenar ölçümleriyle konumunun belirlenmesi ve prizma ile TCA’nın yerlerinin değiştirilmesi yoluyla yeni yönlendirme poligonunun lazer istasyonu olarak kullanılması, eski yönlendirme poligonunun ise arka taraf hedefi olarak kullanılması biçimindedir. Bu çalışma esnasında dikkat edilmesi gereken temel nokta ölçmeyi etkileyecek herhangi bir yansıtıcı yüzeyin olmamasıdır. Tesisi gerçekleştirilecek olan yeni noktanın ALTU ve istasyon noktası arasında olması nedeniyle ALTU prizmasının yüzeyinin yansıtıcı olmayan bir malzeme ile kapatılması gerekmektedir. [39]

Lazer istasyonunun düzeci ve yönlendirmeden sonra meydana gelen doğrultu kontrolleri ile belirlenen sapmalar ölçme ekibi tarafından sürekli izlenmektedir. Bahsi geçen sapmalar hareket doğrultusu sapması, yatay sapma ve dikey sapmadır. [39]

TBM pozisyonu yönlendirme sisteminden bağımsız olarak TBM ölçmesi yoluyla tespit edilebilmektedir. Genel olarak TBM pozisyonunun doğru tespit edilemediğinin düşünüldüğü durumlarda ya da sistemin kontrolünün sağlanması istendiği takdirde bu ölçmeler gerçekleştirilmektedir. [39]

TCA dışında düzenli aralıklarla kontrollerinin yapılması gereken aletler ALTU ve GUS74’dür. TCA’nın sürekli tünel içerisinde bulunması nedeniyle kontrolünün gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kontrol üretici firma tarafından belirlenen her altı aylık periyotlarda yapılacağı gibi, birinci ve ikinci durum okumalarının farklarında artış tespit edildiği ya da TCA’nın belli bir süre kullanılmayacağı durumlarda da tekrarlanmalıdır. Kontrol çalışmaları üretici firma tarafından belirlenen yönergelerle uyularak gerçekleştirilmektedir. GUS74 için yapılacak kontrol ve düzenlemeler yine üretici firmanın yönergeleri dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir. [39]

ALTU'nun kalibrasyonu sadece yetkili firma tarafından yapılabilir. Belli bir kullanım süresi tamamlandıktan sonra ALTU'nun yetkili firmaya gönderilmesi gerekmektedir. Bu sırada kazının yürütülebilmesi için yetkili firmadan yedek ALTU'nun sahaya ulaştırılması beklenir ve ancak yedek ALTU sahaya ulaştıktan sonra söz konusu gönderim gerçekleştirilebilir. ALTU'nun 20000 saatlik bir çalışmadan sonra kalibre edilmesi gerekmektedir. ALTU yerinden çıkarılırken sabitleme vidaları kullanılır böylece değiştirilen ALTU aynı pozisyonda tekrar yerleştirilebilir. [39]

Ayrıca tünel içerisinde kazı ve zaman ile meydana gelecek toz oluşumunun prizma yüzlerini kaplaması ve sağlıklı ölçmeyi engellemesi söz konusudur. Bu nedenle günlük periyotta bu parçaların temizlenmesi gerekmektedir. ALTU ekranı üzerinde koruyucu cam plaka kullanılması ALTU ekranının çizilmesini ve gelebilecek darbelerden etkilenmesini önlemektedir. [39]

Yazılımın günlük dosyaları ve veritabanı günlük periyotta yedeklenmektedir. Böylece tüneldeki durum SLS-T programının kurulu olduğu herhangi bir bilgisayarda simüle edilebilir. Ayrıca olası bir aksaklıkta geçmişe yönelik verilerin büyük oranda korunması sağlanmaktadır. Günlük dosyalar meydana gelebilecek olası bir hatanın tespitinde de kullanılabilir. Sistemin tüm yedeklenmesi, kendi yedekleme ünitelerine altı aylık periyotta ya da sistemde gerçekleştirilecek köklü bir değişiklik öncesi yapılmaktadır. ALTU yazılımının ihtiyaç duyulduğu zamanlarda, ALTU'dan gelen hata mesajlarına bağlı olarak güncellenmesi gerekmektedir. [39]

Sistemde düzenli aralıklarla piston boyları kontrol edilmektedir. İtme silindirlerinin uzantıları içerisine monte edilmiş sensörlü bir ölçme sistemi ile ölçülmektedir. Bu ölçme donanımının çalışması silindir boylarının kalibre edilmiş çelik şerit metre ile ya da lazer uzaklık ölçer (Disto) ile ölçülmesi yoluyla kontrol edilmektedir. [39]

TBM kazısı süresince bir takım sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunlara değinilecektir. TBM ölçmesi ve sistem yapılandırılması çalışmaları sırasında TBM'in hareket ettirilmemesi, makinede ölçmeyi etkileyecek herhangi bir titreşimin olmaması gerekmektedir. Bu şartlar ancak TBM içerisindeki diğer çalışmaların durdurulmasını ve TBM'e sadece ölçme ile yetkili kişilerin alınmasını

gerektirmektedir. Aksi takdirde TBM pozisyonu hatalı belirlenmiş ve sistem hatalı kurulmuş olacaktır. Kozyatağı – Yenisahra Sol Hat Tüneli ölçmesi çalışmasında karşılaşılan temel sorun tünelin ölçme işlemi için teslim alınamaması olmuştur. Ancak sistem harici dört halkanın montaj çalışmasının tamamlanmasının ardından tünel ölçme ekibine terk edilmiştir. Bu nedenle sistem ve gerçekteki durum arasında halka sayısının gösterilmesinde uyumsuzluk söz konusu olmuştur. Sitemdeki ilk halka tünelde inşa edilen beşinci halkadır. Bu fark kazı sonuna kadar böyle devam edecektir. Tünel içi halka isimlendirmesi yazılıma uygun olarak gerçekleştirilmektedir. [39]

TBM ilk montaj çalışmasından sonra dayama yapısına basmaktadır. Kesici baş tünel aynasına ulaşınca kadar halka montajı yapılmakta ve TBM montajı yapılan bu halkalara basarak ilerlemektedir. Aynaya ulaşıldığında TBM kazıya başlamakta ve makinenin tamamı tünelin içine girene kadar yine TBM NATM A1 tüneli içerisinde yaptığı halkalara basarak ilerlemektedir. Kazı başladıktan sonra söz konusu halkaların yeterince desteklenememesinden dolayı halkalarda kayma meydana gelmektedir. Bu durum birçok açıdan sorun olarak karşımıza çıkmıştır. Öncelikle sol hat tünelinde kazıya güzergâhın sağında başlayan TBM güzergâha yaklaşmak için sağ pistonların daha fazla basılması yoluyla ilerletilmeye çalışılmıştır. Yeterince desteklenmeyen halkalar itme silindirlerinden gördükleri baskıya göre sağa doğru dönme eğilimi göstermişler ve bu durum halkaların kuyruk kalkanı içerisinde sıkışmaları riskini ortaya çıkarmıştır. Çözüm halkaların tünel içinde montajlarının yapılabileceği duruma gelinceye ve geri halkaların sağlamlaştırılması sağlanıncaya kadar TBM güzergâha yaklaştırmaya çalışılmaması ve TBM'in halkaların sıkışmasını önleyecek kuyruk kalkanı açıklıklarına dikkat edilerek sürülmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu esnada halka seçim programında kuyruk kalkanı açıklıklarının hesaba katılma ağırlıkları %100 olarak değiştirilmiştir. Benzer bir sorun sağ hat tünelinde de gerçekleşmiştir. Halka montajının ardından TBM ilerlemesi sırasında halkaların hareket ettikleri gözlemlenmiştir. Daha çok kilit taşında görülen bu hareket yukarı ve dışarı yönde olmaktadır. Halka montajında bir önceki halka üzerinde meydana gelen basamaklar bir sonraki halkanın düzgün montajını engellemektedir. Bu durum halka yüzeyinden geçecek en düzgün yüzeyin belirlenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu amaçla önceki halka segman köşeleri

ölçülmüş ve autocad kullanılarak bu noktalardan geçen en uygun düzlem belirlenmiştir. Düzlemin belirlenmesinde sadece paketleme ihtiyacının görülmesi ve en az paketleme yapılması göz önünde bulundurulmuştur. İlk 5 halka için yapılan hesaplar sahada uygulanmıştır. TBM'in ölçmeye imkan vermeyecek kadar ilerlemesi söz konusu olduğunda ise itme silindirlerinin açıklıklarından yola çıkılarak halka nominal düzleminin hesaplanması gerekmiştir. Elimizde bu hesabı yapacak uygun algoritma olmaması nedeniyle hesap VMT tarafından gerçekleştirilmiştir. Sonuç sahada uygulanmaya çalışılmış fakat başarı sağlanamamıştır. Halkada meydana gelen bu düzensizliğin dayama yapısının durumu ile ilişkili olduğu görüşü ortaya atılmıştır. Dayama yapısının tesisinde nelere dikkat edilmesi gerektiği sorusu halen çözülemeyen bir problem olarak karşımızda durmaktadır. [39]

TBM kazısı sırasında sürekli ölçmenin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sistem her 10 saniyede bir ALTU'ya ve her 600 saniyede bir geri hedefe ölçme yapmaktadır. Işın yolunun kesilmesi bu ölçmelerin yapılamamasına ya da hatalı yapılmasına neden olmaktadır. Başta yönlendirme noktaları tesisleri ile ilgili olan bu konu ALTU'ya yapılan ölçmelerde ve geri hedefe yapılan ölçmelerde karşılaşılan engelleri kapsamaktadır. TBM tasarımında ALTU konumu tespit edilirken makinenin geri sisteminde herhangi bir engelle karşılaşmayacak şekilde bir lazer penceresi tanımlanmıştır. Bu pencereden en iyi yararlanma ancak projeye uygun olarak tesisi gerçekleştirilecek olan yönlendirme poligonları ile söz konusu olacağı sistem kullanım kılavuzunda belirtilmiştir. [39]



Şekil 9.6 : Yönlendirme Poligonu Konsol Tesisi

Projede kullanılan TBM yönlendirme poligonu tasarımı Şekil 9.6'da görülmektedir. Güzergaha bağlı olarak yönlendirme konsollarının görüşü sıklıkla kesilmekte ve

konsolun ileri taşınması ihtiyacı doğmaktadır. Bu nedenle TBM ilerlemesi süresince lazer yolu üzerinden belli noktalarda tünel duvarına olan mesafeler periyodik olarak ölçülmekte ve lazer ışınının tünel duvarına çarpması beklenmeden yeni yönlendirme poligonu tesisi yapılmaktadır. Konsol tasarımı ile ilgili karşılaşılan bir diğer sorun konsolların TBM back up sistemine takılmaları ve sökülmesidir. Konsolları TBM sisteminden kurtulmadan sökülmeleri kontrol ölçmelerinin gerçekleştirilememesine neden olmaktadır. Konsollara ulaşımın neredeyse imkansız olması nedeniyle TBM geri platformu konsolun altına geldiğinde kontrol ölçmeleri gerçekleştirilebilmektedir. Eğer TBM bu esnada herhangi bir nedenle duraklamamışsa kontrol ölçmeleri yapılamamaktadır. Kontrol ölçmesi kontrol noktalarından istasyon noktasına yapılacak ölçmeleri kapsamaktadır. Sağ ve sol tünel duvarına tesis edilen kontrol noktalarından çoğunlukla yönlendirme noktasına bakış açısı geometrik anlamda zayıf kalmaktadır. Özellikle sağ tünel duvarı üzerine tesis edilen noktalar havalandırma tüpü görüşü engellediği için kullanılamamaktadır. [39]

SLS-T sistemi, TCA arka taraf hedefine yönlendirildikten sonra, ilerleme yapıldığı sırada kullanıcı tarafından belirlenen aralıklarla (600 saniye) doğrultu kontrolü yapmaktadır. Bu kontrolde program, yatay ve düşey açıları ve iki nokta arasındaki kenarı ölçerek ilk yönlendirmeye ve noktaların koordinatlarına göre yatay/düşey konumdaki sapmaları ve hareket doğrultusundaki sapmaları belirlemektedir. Bu sapmaların hesaplanmasından sonra program elde edilen değerlerin kullanıcı tarafından tanımlanan sınırlar içinde yer alıp yer almadığını kontrol etmekte ve bu aralık dışında farklar elde edildiğinde operatörü uyarmaktadır. Yönlendirme poligonları aynaya yakın kurulduğunda (en yakın tesis aynanın altı ring gerisinde yapılmıştır) bahsi geçen uyarılara daha sık rastlandığı gözlenmiştir. Ayrıca yine bu noktalarda TCA düzecinin çok sık kaçtığı/bozulduğu görülmüştür. Tünelin NATM yöntemiyle inşa edilen kısmında yönlendirme poligonlarının tesis edildiği duvarlarda ölçme doğruluğunu etkileyecek deformasyonlar olmadığı bilinmektedir. Ancak tünelin TBM ile kazılan bölümünde kurulan halkaların, TBM ilerlemesine ve halkaların arkasına yapılan enjeksiyona bağlı olarak hareket edip etmedikleri bilinmemektedir. Doğrultu kontrollerinde bahsedilen sınırların aşılması ve düzekte meydana gelen kaçıklıkların segmentlerin olası hareketleri nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmüştür. Bu nedenle yönlendirme poligonlarının mümkün olduğunca aynanın

gerisine tesis edilmesine ve bu şekilde tünel duvarında meydana gelebilecek olası yer değiştirmelere bağlı hareketlerin etkisinin azaltılmasına çalışılmaktadır. Bu şekilde makinenin neden olabileceği titreşimlerin etkisi de azaltılabileceği düşünülmektedir. [39]

Karşılaşılan bir diğer önemli sorun SLS-T ve PLC (TBM bilgisayarı) arasında iletişim problemidir. SLS-T ekranında iletişim portları görülmektedir. Bunlar PLC, ALTU, Inklonometre, Modem ve TCA'dır. Normal şartlar altında bu hücrelerin gri ve yeşil renkte oluşu düzgün çalıştıklarını ifade etmektedir. PLC, TCA, ALTU ya da Inklonometre göstergesinden herhangi biri kırmızı renk alırsa bu veri aktarımının kesildiğini, bir sorun olduğunu gösterir ve sürüşe devam edilmemesi gerekmektedir. Sol hat tüneline PLC bağlantısı kesilmesine rağmen sürüşe devam edilmiştir. Bu durum neticesinde operatör TBM takibini gerçekleştirememiş ve hesap yoluyla elde edilen kesici baş sapmaları ekrana yansımamıştır. Durum düzeltildiğinde beş santimetre güzergah üzerine çıkıldığı tespit edilmiştir. Bir diğer iletişim sorunu sağ hat tüneline görülmüştür. İtme silindirleri uzantıları TBM yönlendirme sisteminde güzergah ile ilgili hesaplar için kullanılmaya da SLS-T programında halka seçimi için kullanılmaktadır. İlerleme silindirleri gruplar halinde ayrılmıştır ve her bir grubu karakterize eden pistonların açıklıkları üzerlerinde bulunan sensörler yardımıyla ölçülmektedir. Bu ölçüler önce PLC bilgisayara buradan da SLS-T programına aktarılmaktadır. SLS-T programı bu verileri kullanarak uygun bir düzlem hesabı yaparak kalkan açıklıklarını da kullanarak kullanıcıya uygun halka modelini önermektedir. Karşılaşılan olayda 10. halkanın montajında PLC'den alınan piston ölçüleri ile SLS-T de halka seçimi için kullanılan piston ölçülerinin farklı olduğu, PLC bilgisayarından SLS-T bilgisayara gönderilen piston uzunluklarının SLS-T programında doğru grup ile eşleşmediği görülmüştür ve program yeniden düzenlenmiştir. [39]

Bir diğer iletişim problemi Yönlendirme konsolunda yer alan radio modem ve merkezi kutunun yanında yer alan radio modem arasında yaşanmıştır. Ara mesafenin 65 metreden fazla açılmasıyla SLS-T iletişim portlarından TCA düzensiz aralıklarla uyarı vermeye başladı. Tünel içi şartlar kontrol edildiyse de sorunun kaynağı bulunamadı. Yapılan çalışmaların sonunda tünel içindeki nem oranı ve sinyalin tünel duvarları nedeniyle observe edilmesi, TBM gürültüsünün modem frekansıya

enterferans yapması nedeniyle modemler arasında iletişim kopukluğu olduğu tespit edildi. [39]

TBM yönlendirilmesinde kullanılan TCA 1203 ve veri aktarımında kullanılan Radio Modem için gerekli enerjinin sağlanması amacıyla bir kablo vasıtasıyla şafttan çekilen elektrik ile kullanılmaya başlanmıştır. Fakat TBM ilerlemesine paralel olarak elektriğin şaft altından alınması kullanışsız bir çözüm olmuştur. Elektriğin TBM üzerinden sağlanmasına karar verilmiştir. Bu durum kablonun sürekli takibine gereksinim duymuştur. Takibin ihmal edildiği zamanlarda kablo gerilmelerinin alet düzecini bozduğu tespit edilmiştir. Batarya kullanılmasına karar verilmiştir. Bataryalar 36 saat dayanmaktadır. Bu nedenle her üçüncü vardiyada akünün değiştirilmesine karar verilmiştir. [39]

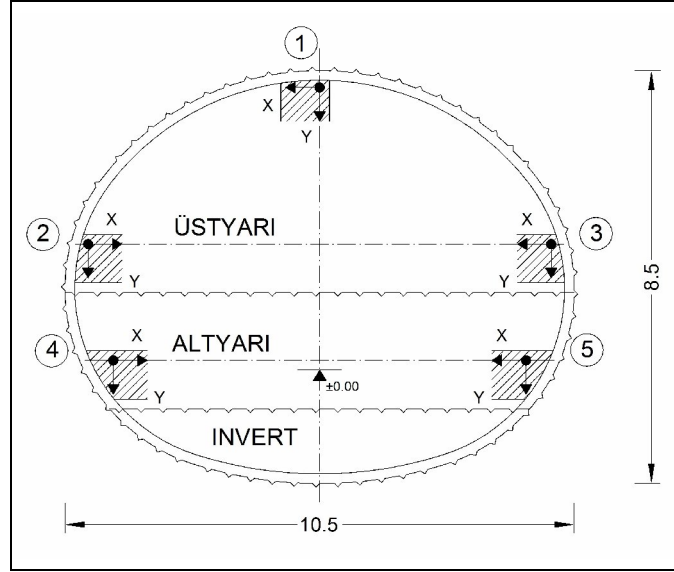
Yönlendirme konsollarının tünel duvarına çok yakın tesis edilmeleri ve o sırada hareket halinde bulunan makinenin farklı ısıtım yapan kısımlarının konsolun yakınından geçiyor oluşu bu durumdan ölçmenin nasıl etkilendiği sorusunu gündeme getirmektedir. Tünel içi atmosferik koşulların ölçmeye etkisinin tespiti amacıyla kontrol kabini civarına termometre ve barometre yerleştirilmiş ve tünel içi atmosferik koşulların değişimi takip edilmeye başlanmıştır. Çalışma sonuçlandırılmamıştır. [39]

Karşılaşılan sorunlar önerilen çözüm yolları sürekli raporlanmaktadır. Böylece aynı sorunların tekrarı engellenmiş ve daha kullanışlı sistemlerin geliştirilmesi sağlanmış olmaktadır. [39]

9.5 Deformasyonların İzlenmesi Çalışması

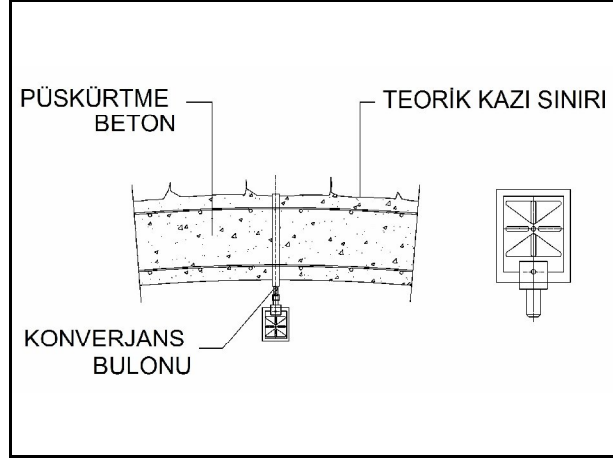
Kadıköy-Kartal Metro Projesinde aynı anda birkaç istasyonda birden kazı çalışması yapılmakta ve her istasyonda 2-3 kazı aynası birlikte yürütülmektedir. Bu durum hem yüzeyde hem de tünel içinde çok sayıdaki ölçüm kesitinde deformasyonların ölçülmesini ve izlenmesini gerektirmektedir. Böylesi yüklü ve yoğun miktardaki ölçüm işlerinin yapılması için, doğrudan yapılan jeoteknik ölçümler yerine, konum verisinin elde edilmesi yoluyla yapılan jeodezik ölçüm yöntemi benimsenmiştir. Elde edilen verilerin işlenmesi, değerlendirilmesi ve raporlanması işlerinin aynı program

içerisinde hızlı bir şekilde yapılabilmesini sağlayan Tunnel Monitor adlı özel yazılım kullanılmaktadır. [33]

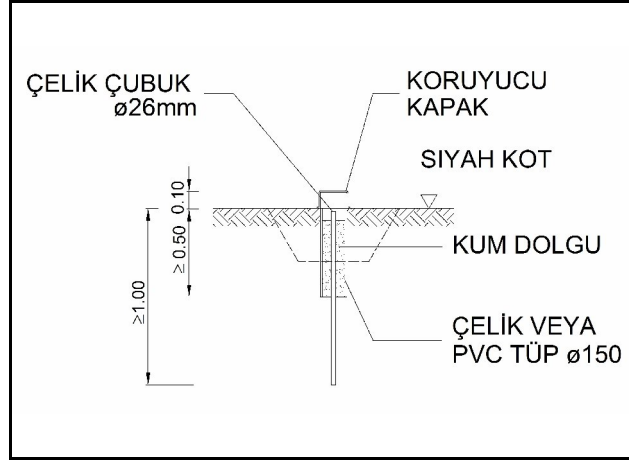


Şekil 9.7 : P1 kesiti tünelde deformasyon noktalarının yerleşimi

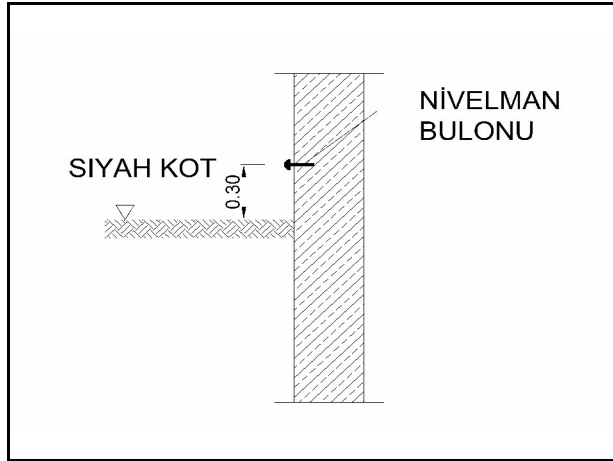
Deformasyonlarının belirlenmesinde kullanılacak deformasyon noktaları, yapıyı karakterize edecek ve yapının performansı hakkında bilgi verecek şekilde uygulanmaktadır. Tüm tünel tipleri için deformasyon noktaları, uygulama yerleri ve tesis tipleri, projelendirilmiştir. Şekil 9.7’de örnek olarak platform tüneli olarak tasarlanmış tünel kesitinin üzerinde deformasyon noktalarının yerleri görülmektedir. Tünel deformasyon noktaları nokta konumu değiştirilmeksizin nokta merkezi etrafında dönebilecek şekilde tasarlanmıştır. (Şekil 9.8) Böylece, ölçüm hedefi, deformasyon gibi algılanabilecek yanıltıcı bir yer değiştirme olmadan tünelin her iki yönünden de ölçülebilmektedir. Tünel kazısının yüzeye etkisinin belirlenmesi amacıyla proje ile belirlenmiş kilometrelerde yüzey ve bina deformasyon noktaları tesis edilir. Aşağıdaki şekilde yüzey ve bina deformasyon noktalarının tesis tipleri gösterilmektedir.(Şekil 9.9 ve Şekil 9.10)



Şekil 9.8 : Tünel içi deformasyon noktası detayları [33]

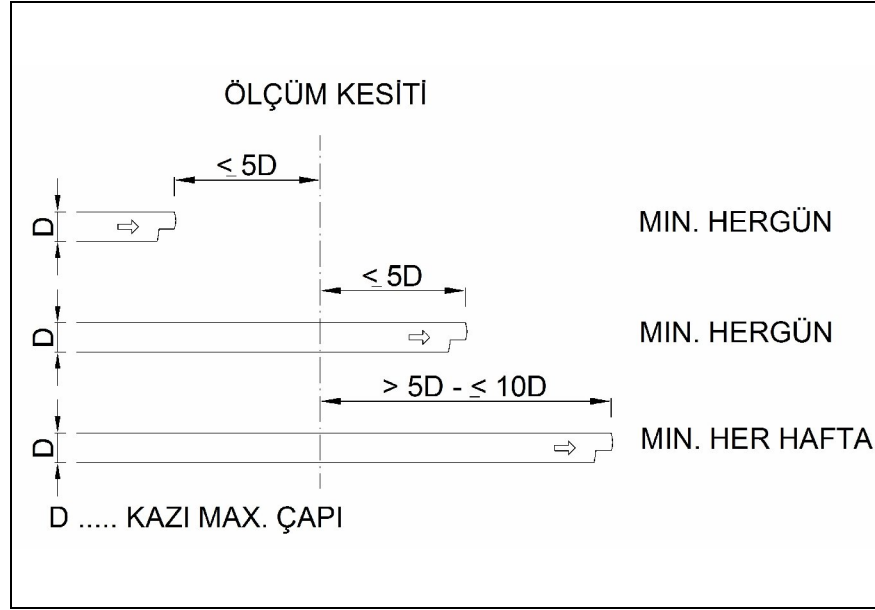


Şekil 9.9 : Yüzey deformasyon noktası-arazi tipi [33]



Şekil 9.10 : Yüzey deformasyon noktası-bina tipi [33]

D maksimum kazı çapını göstermek üzere tünel aynasının ölçüm kesitine uzaklığına bağlı olarak uygulanan ölçme sıklığı, Şekil 9.11’de gösterilmiştir. Ölçme sıklığı, projenin çevre şartları ve jeoteknik koşullara göre değişkenlik gösterebilir. [33]



Şekil 9.11 : Deformasyon Ölçme Sıklığı

Yüzey deformasyonlarının ölçülmesinde “Leica DNA03” model sayısal nivo aleti ve barkotlu “invar” mira kullanılmaktadır. Yüzey deformasyonlarının belirlenmesindeki prezisyonlu nivelman yönteminde ölçme gidiş-geliş olarak gerçekleştirilir. Jeoteknik ölçüm yerleşim planları üzerinde belirtilmiş olan yüzey deformasyon kesitleri ve deformasyon noktalarının araziye aplikasyonlarının yapılmasıyla deformasyon ölçmelerine başlanmaktadır. Bir defalık olmak üzere yüzey deformasyon noktalarının yatay konum bilgileri-koordinatları yersel ölçme teknikleri ile elde edilir. Bundan sonra yapılacak ölçmelerde noktaların düşey konum bilgileri prezisyonlu nivelman yöntemiyle ölçülmektedir. Yersel ölçmelerle ve prezisyonlu nivelman yöntemleriyle elde edilen ilk konum bilgileri yüzey deformasyon noktalarının başlangıç değerlerini oluşturmaktadır. [33]

Deformasyon noktalarının ölçülmesinde projelendirme esnasında belirlenmiş nokta isimleri kullanılır. Nokta belirlenmesi ve tesisi sırasında bu nokta isimleri kaybolmayacak şekilde noktaya yakın uygun bir yere yazılır. Böylece veri karmaşası önlenirdi gibi farklı zamanlarda farklı ekiplerce yapılacak ölçmelerde nokta isimlendirilmesi konusunda da birliktelik sağlanmış olur. Kullanışlı bir diğcr yöntem

ise noktaları gösteren krokilerinin oluşturulmasıdır. Uzun bir çalışma dönemini kapsayabilen tünel inşaatında, bu noktalara sürekli gereksinim duyulacağı gözönünde bulundurulursa böyle bir arşivleme yapılmasının pratik bir çözüm olacağı belirtilebilir. [33]

Tünel deformasyonları, kesit oluşturulduktan sonra tünel içi sabit referans noktalarından yapılan yersel ölçmelerle takip edilir. Referans noktalarının deformasyon alanı dışında olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, referans noktalarının ve konverjans noktalarının tünel çalışmaları sırasında darbe almaması veya tünel deformasyonu dışında dış etmenlerle deforme olmamalarına dikkat edilmelidir. Tünel içi trafiği dolayısıyla tünel içi noktalarının korunması ayrı bir özen gerektirmektedir. Tünel içi referans ağının tasarımında, tünel içerisinde yer alan havalandırma, kablolar, panolar tesis edilen noktaların ölçülmesinde engel teşkil edeceği göz önünde bulundurulmalı ve ölçme sırasında en az engel ile karşılaşılacak şekilde sabit nokta tesisi gerçekleştirilmelidir. [33]

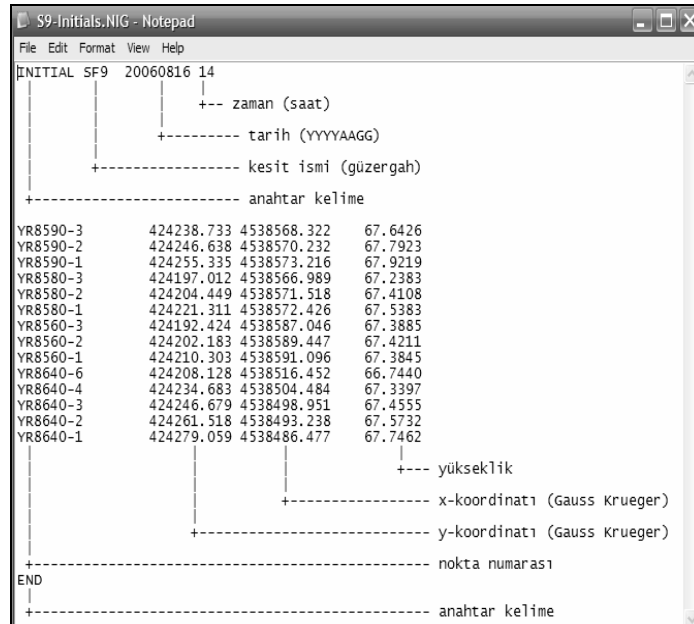
Kazı ilerlemesine ait grafiklerin oluşturulabilmesi için, kazı ilerlemesi verilerinin toplanması gerekir. Kazı ilerleme km'lerinin takibinde iksa aplikasyon föyleri yeterli bilgi sağlamaktadır. Bu formlarda, kazı ilerlemesinin takibinde kullanılmak üzere yeterli veri olan iksanın ait olduğu yer (Bölge, tünel adı, kazı yönü), uygulama kilometresi, tesisin gerçekleştirildiği tarih ve saat bilgileri yer almaktadır. [33]

Projede değerlendirilecek verinin yoğunluğu nedeniyle veri değerlendirme programına gereksinim duyulmuştur. Veri işlenmesi adımı, toplanan veriler, değerlendirme programına uygun veri formatına dönüştürülmektedir. Bu amaçla XML (Genişletilebilir veri etiketleme Dili) kullanılmaktadır. Ölçme verileri, Leica GSI programı kullanılarak GSI formatından ortak veri formatı olan XML formatına ve XML formatından dönüştürme programları kullanılarak programın gerektirdiği veri formatına dönüştürülür. Program tünel deformasyonları için PRP formatını ve yüzey deformasyonları için NigraWin formatını kullanmaktadır. İsimlendirme kurallarını içeren bir şablon, XML formatından NigraWin'e geçişte verilerin istenen formatta yeniden düzenlenmesini sağlar. Böyle bir şablonun varlığı, ölçme esnasında kullanılan nokta adı ile programda kullanılan nokta adının aynı olması zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır. Programda isimlendirme birliğinin sağlanması için kullanılan

bir takım örneklerin ölçme yapılırken kullanılmaması ölçme süresini ve hataları azaltacaktır. [33]

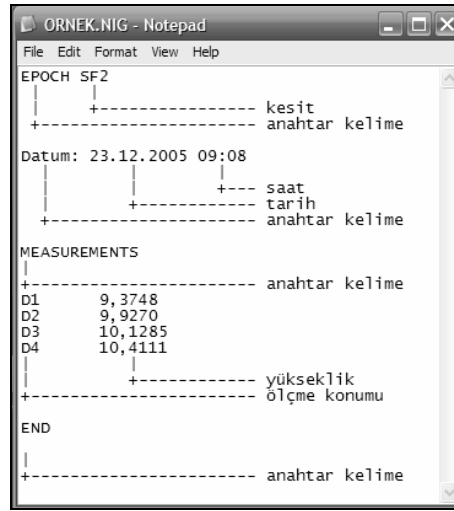
Şekil 9.12’de yüzey deformasyon noktaları için başlangıç (initial) ölçmeleri ve Şekil 9.13’te sistematik deformasyon ölçmeleri için kullanılan NigraWin dosya yapısı görülmektedir. Tünel deformasyonları için gerekli PRP dosyası ölçmelerin ait olduğu tünel, nokta adı, ölçmenin yapıldığı tarih ve saat, konum bilgisini kapsamaktadır. Şekil 9.14’te örnek bir PRP dosyası görülmektedir. PRP dosyasında bir tünele ait bütün deformasyon ölçmelerini içeren veriler birlikte saklanabilmektedir. [33]

Tunnel Monitor programı kazı ilerlemesine ait veri girişi için iki alternatif sunmaktadır. Bunlardan biri kazı ilerlemesine ait verinin ASCII formatında (uzantısı .BPH olan) düzenlenmesidir. (Şekil 9.15) Kazı ilerlemesinin takibinin bir diğer yöntemi ise program içerisinden kazı aşamasına ait kilometre, kazının yapıldığı tarih ve saat bilgilerinin tek tek girilmesidir. [33]

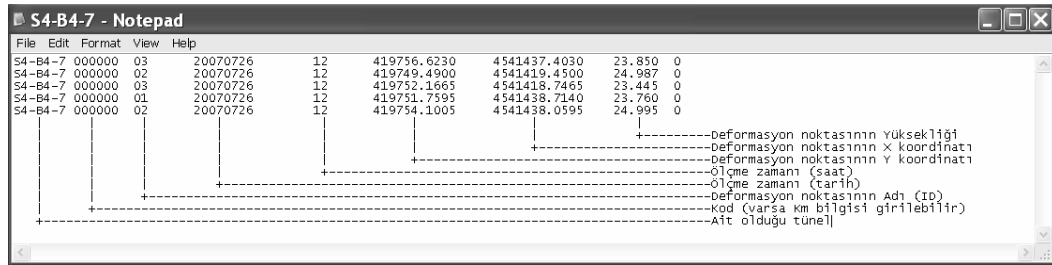


	zaman (saat)	tarih (YYYYAAAGG)	kesit ismi (güzergah)	anahtar kelime
YR8590-3	424238.733	4538568.322	67.6426	
YR8590-2	424246.638	4538570.232	67.7923	
YR8590-1	424255.335	4538573.216	67.9219	
YR8580-3	424197.012	4538566.989	67.2383	
YR8580-2	424204.449	4538571.518	67.4108	
YR8580-1	424221.311	4538572.426	67.5383	
YR8560-3	424192.424	4538587.046	67.3885	
YR8560-2	424202.183	4538589.447	67.4211	
YR8560-1	424210.303	4538591.096	67.3845	
YR8640-6	424208.128	4538516.452	66.7440	
YR8640-4	424234.683	4538504.484	67.3397	
YR8640-3	424246.679	4538498.951	67.4555	
YR8640-2	424261.518	4538493.238	67.5732	
YR8640-1	424279.059	4538486.477	67.7462	
			yükseklik	
			x-koordinatı (Gauss Krueger)	
			y-koordinatı (Gauss Krueger)	
			nokta numarası	
END				anahtar kelime

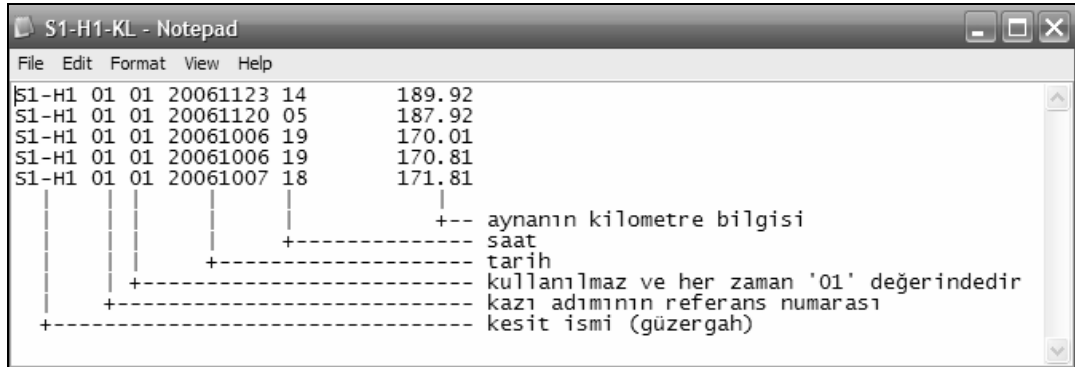
Şekil 9.12 : Başlangıç NigraWin Dosyası



Şekil 9.13 : NigraWin Dosyası



Şekil 9.14 : PRP dosyası



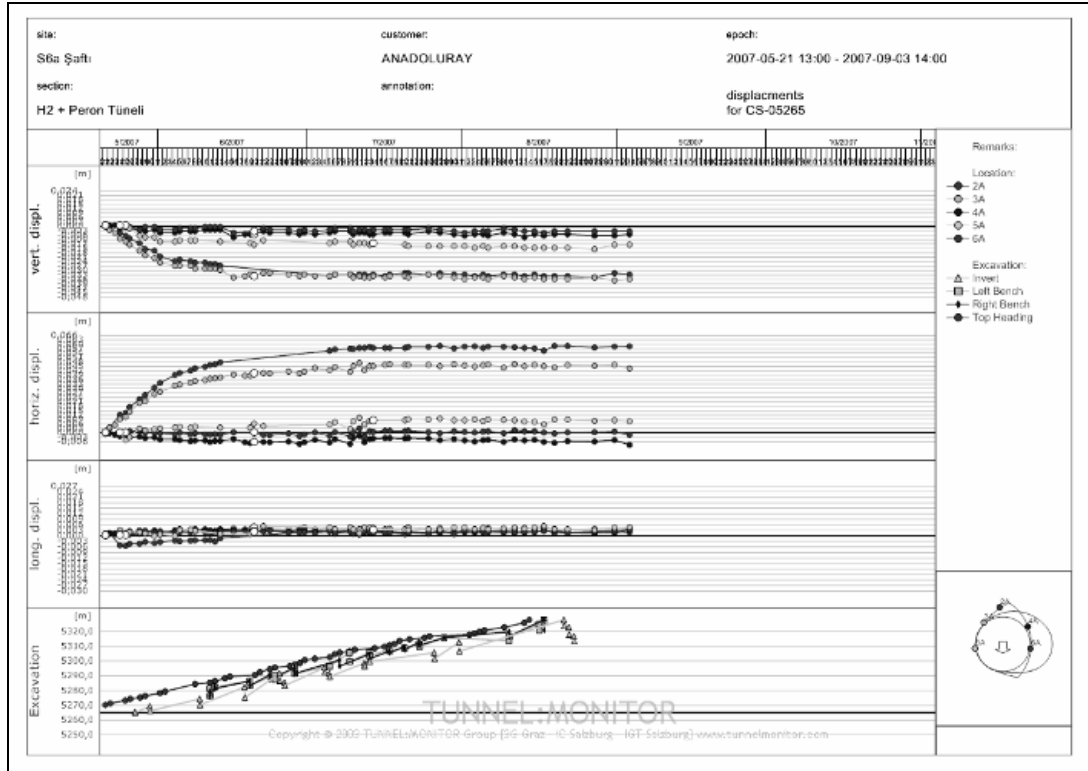
Şekil 9.15 : BPH dosyası

Proje koordinat sisteminde konum bilgileri elde edilmiş noktaların değerlendirilmesi için tünel koordinat sistemine çevrilmesi gerekir. Transformasyon hesaplarının ardından girilen veriler (nokta koordinatları) ilgili kesitlere otomatik olarak eklenir. Program her saat epochu (ölçme aralığı) tanımaktadır. Yapılan deformasyon

ölçmesinin sıklığına bağlı olarak epoch değeri-zaman aralığı belirlenebilmektedir. Günlük beklenen maksimum deformasyon veri girişinden önce belirtilebilir. Bu durumda beklenen maksimum deformasyonun üstündeki yer değiştirmeler program tarafından aynı kesitte aynı isimde fakat yeni bir noktanın olduğu şeklinde yorumlanacaktır. PRP dosyalarında belirtilen kısıtlamalar söz konusu ise veri girişi kısıtlamalar dikkate alınarak gerçekleştirilir. [33]

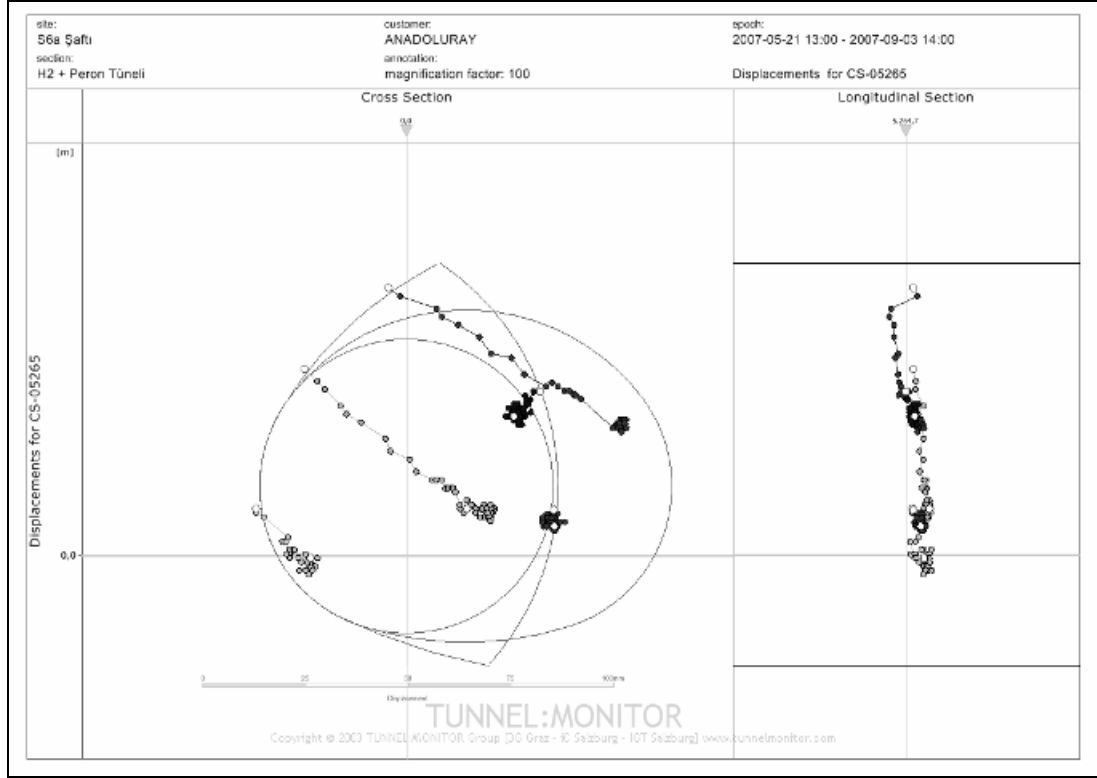
Yapılan ölçmeler sonucu elde edilen sayısal değerler yorumlamayı ve anlaşılabilirliği kolaylaştırmak için uygun grafik formatına dönüştürülmektedir. [33]

Program Q, S, H değerlerini kullanarak deformasyon ve enkesit grafiklerini çizmektedir. Değerlendirme programı, yer değiştirmeleri, düşey yer değiştirme, yatay yer değiştirme ve boyuna yer değiştirme grafiklerinde ayrı ayrı görüntüleyebilmesinin yanı sıra bu grafikleri kompakt formda görme imkanı sağlar. Deformasyon grafiğinin kompakt hali Şekil. 9.16’da görülmektedir. Rapor formatına getirilen grafikler, yer değiştirmeler ile beraber kazı ilerlemesi, tünel tipi, tünel kesiti üzerinde nokta yerleri, lejant, kesit adı ve ölçme zamanı ile ilgili bilgi vermektedir. [33]



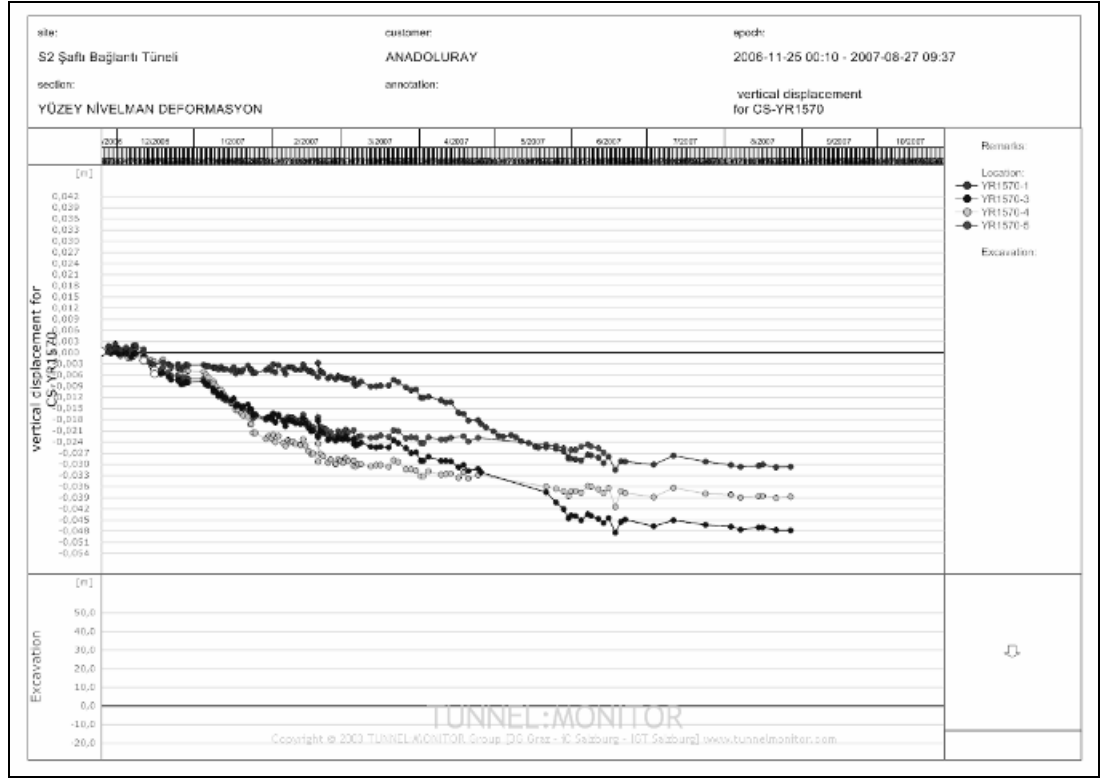
Şekil 9.16 : Tünel İçeri Deformasyon Grafiği

Şekil. 9.17’de en kesit diyagramı görülmektedir. Tünel açıklığına göre gözlenen deformasyonun çok küçük olması nedeniyle, grafik çiziminde büyültme faktörü kullanılır. Üretilen raporda kesitin ait olduğu km noktaların uzaysal yer değiştirmeleri ve ölçme zamanı gösterilmektedir. Bu grafikten tünel deformasyonunun vektörel olarak ne yönde geliştiği kolaylıkla izlenebilmektedir. [33]

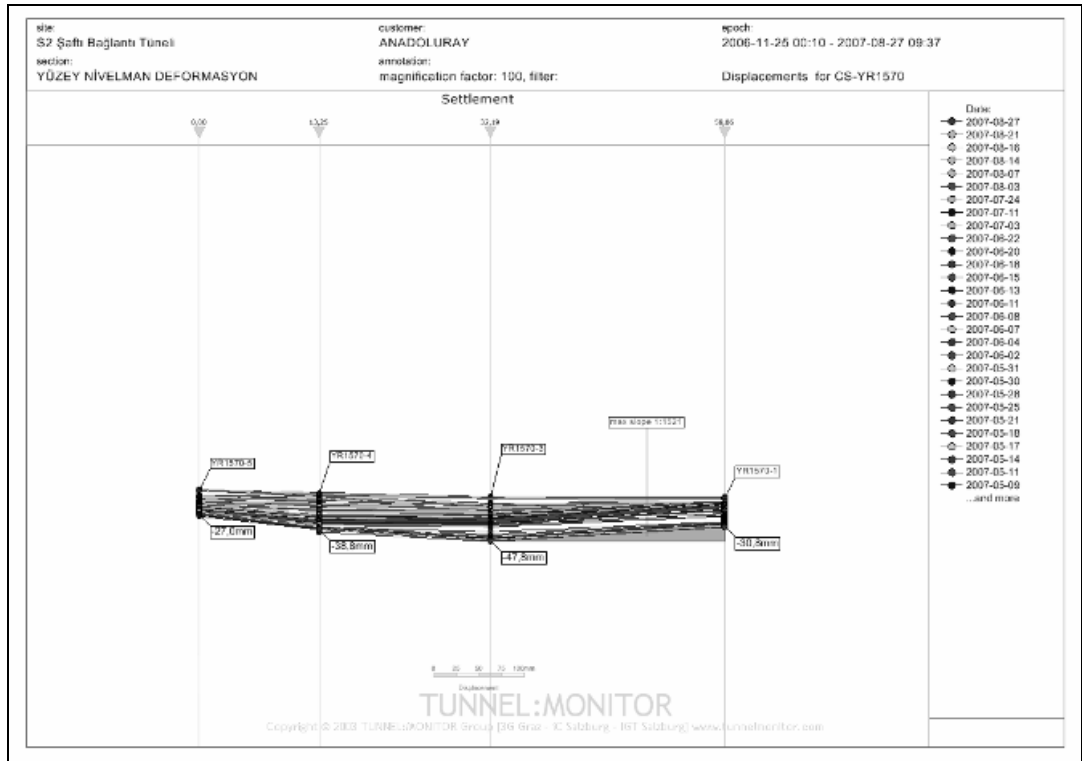


Şekil 9.17 : En Kesit Diyagramı

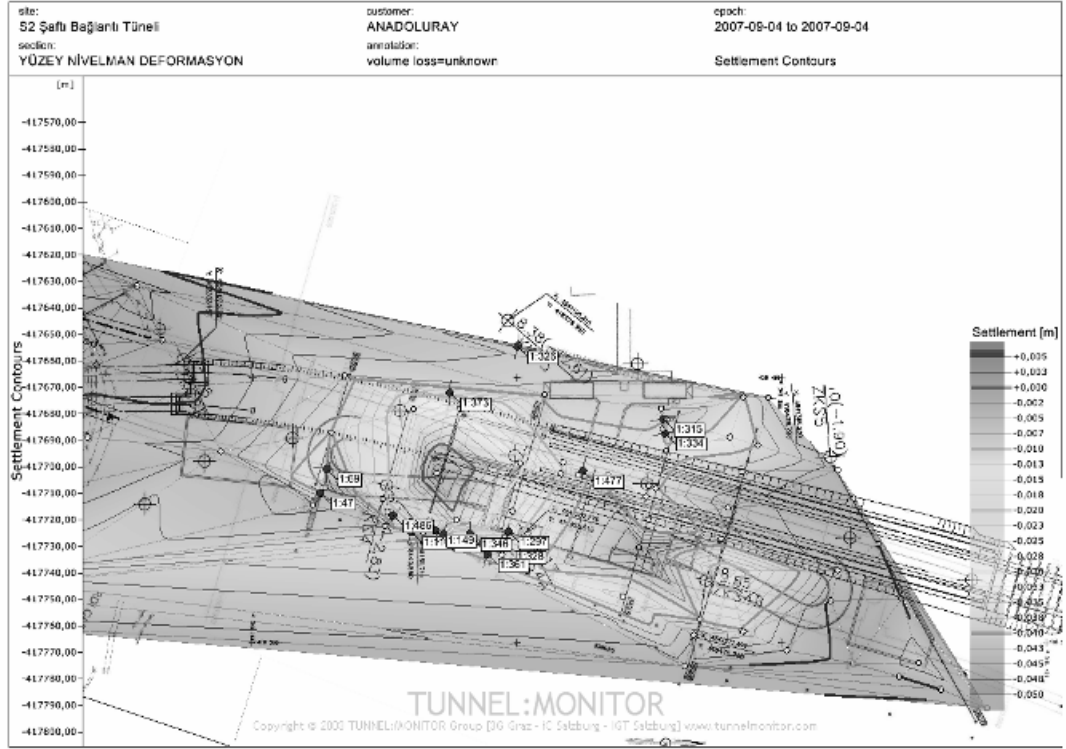
Yüzey deformasyonu için elde edilen grafikler; oturma grafiği, oturma kontur grafiği ve yer değiştirme grafiğidir. Şekil 9.18’de belirli zaman aralıklarında belli bir en kesite ait deformasyon noktalarının düşey hareketi gözlemlenebilmektedir. Şekil 9.19’da deformasyon kesitine ait oturma grafiği ve Şekil 9.20.’de ise oturma kontur grafiği görülmektedir. Bu grafikte ayrıca üst yarı-kalot, sağ ve sol alt yarı-stross ve taban-invert kazılarının yerleri de görülmektedir. Böylece meydana gelen deformasyonların kazı aşamaları ile ilintisi kurulabilmektedir. Deformasyon ölçmelerine bağlı eş düşüş eğrileri program tarafından otomatik olarak oluşturulur.



Şekil 9.18 : Deformasyon Noktalarının Düşey Hareketi



Şekil 9.19 : Deformasyon Kesitlerine Ait Oturma Grafiği



Şekil 9.20 : Yüzey Oturma Kontor Grafiği

Deformasyon çalışmasında ölçmeyi yapan ve uygulayan kişilerin farklı olması, verilerin programa girildikten sonra tekrar ulaşılabilir olması gibi nedenlerle dosyalamada uygun isimlendirme kuralları kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan dosya adlandırılması “Saft Adı – Aitlik - Tarih” şeklinde yapılmaktadır. Örneğin S2 İbrahimağa İstasyonunda 12/05/2006 tarihinde gerçekleştirilen bir yüzey deformasyon ölçme verisi, S2-YUZEY-060512 olarak ve aynı gün Hat-2’de yapılmış ölçme S2-H2-060512 olarak adlandırılacaktır. Bu adlandırma ham verinin sistematik olarak saklanabilmesine imkan sağlamaktadır. İhtiyaç duyulduğunda ilgili günün ölçme dosyasına bu şekilde ulaşılabilir.

10. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

İstanbul'da ulaşım probleminin çözülmesi ancak toplu taşımacılığın geliştirilmesi mümkündür. Toplu taşımacılığın tercih edilebilir olması ancak güvenli, hızlı ve konforlu ulaşımın sağlanması ile mümkündür. Metrolar ve metro ağları büyük şehirlerdeki ulaşım problemleri büyük ölçüde çözmektedirler. İstanbul'un nüfus yoğunluğu göz önüne alındığı yapılan metro çalışmalarının yetersizliği ortaya çıkmaktadır. En kısa zamanda İstanbul metro ağının tasarlanması ve hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Metro yapım süreci çok kritik kararlar gerektiren, birçok disiplinin de içinde bulunduğu bir süreçtir. Metro yapımının yüksek maliyetli ve riskli olduğu göz önünde bulundurulursa bu çok disiplinli yapının en iyi şekilde işletilmesi gerektiği görülecektir. Ölçme mühendisi (jeodezi ve fotogrametri mühendisliği eğitim programından mezun olmuş), tünel yapım sürecinin her aşamasında tasarım, planlama ve üretim ile ilgili önemli görevler üstlenmektedir. Bu durumun başta ölçme mühendisleri olmak üzere tünel yapım sürecine katılan tüm disiplinlerce kabul görmesi gerekmektedir. Ölçme mühendisi, ölçme teknik ve teknolojilerinde var olan değişimleri ve gelişimleri takip etmeli ve uygulayıcısı olmalıdır. Emek yoğun bir iş olan ölçme çalışmalarının, tünel yapım sürecine katılan tüm diğer disiplinlerle ara kesiti vardır ve en temel veri konum bilgisinin üretimi ve paylaşımı rolünü üstlenmektedir.

Halen ülkemizde resmi olarak kullanılan koordinatlar ED50 datumundadır. ED50 datumu 1954 yılı itibariyle dengelemesi tamamlanmış olan ülke nirengi ağının datumudur. Tektonik hareketler ve deprem nedeniyle oluşan kabuk hareketleri, kabuğun üzerinde bulunan bu jeodezik noktaların zaman içinde fiziksel yer değiştirmelerine neden olmuştur ve olmaktadır. Bununla beraber 1954 yılında hesabı yapılan ülke nirengi ağı koordinatları değişmez kabul edilmektedir. Bu kabul beraberinde birçok sorunu getirmekte, harita ve harita çalışmalarına bağlı yapılan çalışmalarda doğruluk kaybına da neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle yüksek

doğruluk gerektiren mühendislik çalışmalarında konum belirleme teknolojilerinin sağladığı yüksek doğruluktan en iyi biçimde yararlanabilmek amacıyla ITRF datumunun proje datumu olarak seçilmesi daha doğru olacaktır. ITRF datumu hem GPS teknolojisine doğrudan altlık oluşturan hem de yeryüzünün dinamik yapısını göz önüne alan bir datum özelliği taşımaktadır. Dolayısıyla bu projenin uygulanma aşamasında ITRF datumunun proje datumunun kullanılması tarafımızca önerilmektedir. Böylece teknolojiye elde edilen sonuçların projeye katkısı doğrudan sağlanabilecek ve oluşabilecek teknolojiye elde edilen sonuçların projeye katkısı doğrudan sağlanabilecek ve oluşabilecek bir çok sorunu ve konum doğruluğu kaybının önüne geçilebilecektir. Bununla beraber herhangi bir nedenle ED50 datumundaki koordinatlara gereksinim duyulduğunda IGNA'nın dönüşüm fonksiyonları kullanılarak ağ noktalarının ED50 datumundaki koordinatları hızlı ve kolay bir biçimde elde edilebilecektir. [35]

Metro tünellerinin yüksek doğruluk gerektiren projeler olması, yüksek maliyetli projeler olması nedeniyle talep edilen doğruluğun sağlanması amacıyla tünel çalışmalarına başlanmadan önce yüzey ve tünel kontrol ağları tasarlanmış, test edilmiş olmalıdır. Tasarımlar ön analiz programları kullanılarak istatistik modellerle gerçekleştirilebilir. Delme doğruluğunun ön hesabı ve üretim toleranslarının sağlanması için jeodezik altyapıda gerekli iyileştirmelerin önceden tespit edilmesi önemlidir ve ölçme mühendisleri tarafından yapılmalıdır.

Ölçme yöntemlerinin seçilmesinde doğruluk, zaman ve ekonomi parametreleri göz önünde bulundurulur. Talep edilen doğruluğun karşılanması metro tünel çalışmalarının en önemli parametresidir, talep edilen doğruluğun karşılanabileceği ölçme yöntem ve teknikleri arasından tercih yapılması durumunda zaman ve ekonomi parametreleri belirleyici olacaktır. Tünel delme doğruluğunu doğrudan etkileyen sistematik hatalar tünel ölçme çalışmalarından en önemli sorunu teşkil etmektedir. Bu temel sistematik hatalar refraksiyon ve çekül sapmasıdır. Sistematik hataların tünel yapım ve ölçme çalışmaları süresince dikkate alınması, çalışmaların bu hataların en aza indirgenmesine yönelik gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bir çok kamusal ve özel kuruluş bu hataların belirlenmesi ve eliminasyonu üzerine çalışmaktadır. Refraksiyon etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla geliştirilen dispersometreler, açıklık açısının doğrudan gözlenebilirliği amacıyla geliştirilen

gyro-teodolitler tünel çalışmalarında uygulanmaya başlanmıştır. Bu sistemler, yeni teknolojiler olmaları ve gelişme aşamasında olmalarından dolayı pahalı sistemlerdir. Ne var ki tünel yapım maliyeti dikkate alındığında bu sistemlerin maliyeti önemsenmeyecek derecede azalmaktadır.

Raporlama ve dokümantasyon çalışmaları, yapılan çalışmaların alınan kararların belgelenebilir olması, paylaşımı kolaylaştırması, bilginin ulaşılabilirliği ve elde edilebilirliği, kişisel gelişim gibi sayılabilecek bir çok nedenden dolayı özellikle büyük yatırımlar isteyen projelerde dikkatle uygulanması gereken çalışmalardır.

Mekanize tnelciliğin gelişmesine paralel olarak makinelerin navigasyonu, yönlendirmesi ve kontrolü biraz daha önem kazanmaktadır. Güvenilir yönlendirme sistemlerin tasarlanması makine yönlendirilmesi konusunda çalışmaların yapılması ve geliştirilmesini gerektirmektedir.

Deformasyon izlenmesi özellikle şehir içinde yapılan tünel çalışmalarında çok önemli bir yer tutmaktadır. Deformasyon alışmaları önemi dikkate alınarak özenli bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Deformasyonun izlenmesi ve belirlenmesi çalışmaları da çok disiplinli çalışmalar arasındadır. lme, deformasyonun ölçülerek sayısal ve grafik olarak sunulmasını sağlayan birim olması nedeniyle deformasyonun doğru belirlenmesinde en temel iş adımlarından birini üretmektedir. Deformasyon izlenmesinin amacı ve gerekliliği tüm ekip tarafından kavranılmış olması gerekmektedir. Tünel çalışmalarında deformasyonların sürekli takibi gerekmektedir. Bunun için proje gereksinimlerine uygun lme yöntem ve donanımlarının seçilmesi gerekir. Her yer değiştirme deformasyon olarak yorumlanmamalıdır. Yer değiştirmenin lme standart sapması ile karşılaştırılması, söz konusu değişimin lme hatası olup olmadığını gösterir. lme verisinin ve işlenen sonuç verisinin organizasyonunda, depolanmasında ve tekrar erişilebilmesinde veri yönetimi araçları, genel yazılımlar, veritabanları ve şema yazılımları kullanılmalıdır.

Metro tünel teslim aşamasında ve imalat sırasında gerçekleştirilecek olan profil kontrol ölçmeleri bu işler için tasarlanmış ve sunulmuş teknolojilerden yararlanılarak gerçekleştirilebilir. Lazer tarayıcılar ve fotogrametri sistemleri profil kontrolünü yanı sıra tam dokümantasyon sağlayan sistemler olmaları nedeniyle hızla tünelcilik alanında kullanılmaya başlamıştır.

Metro tünellerinin tamamlanması ile mevcut durumun hâlihazır durumu ve planları hazırlanacaktır. Bu süreçte henüz kullanıma başlanmayan alt-yapı kadastronun gerekliliği göz ardı edilemez bir konudur ve mümkün olan en kısa zamanda üzülmesi metro çalışmaları sırasında yaşanan bir çok vakadan sonra kaçınılmaz bir ihtiyaç halini almıştır. Günümüzde her alanda hızla kullanılmaya başlayan coğrafi bilgi sistemleri tünel tasarım, yapım ve imalat süresince bir çok avantajıyla beraber kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Yavuz, E., Ersoy, N.,** 2005. Pipe jacking yöntemi ile açılan mikro tünel projelerinde jeodezik çalışmalar, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 23-25 Kasım 2005, 133-140.
- [2] **EM 1110-2-2901,** 1997. Engineering and design tunnels and shafts in rocks, Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers, Washington.
- [3] **Fowler, S.,** 2006. Design and preanalysis of underground control networks for tunnel Construction, *lisans Tezi*, OTAGO, Survey Department, New Zealand.
- [4] **IGT-SBG** tarafından “TBM Tüneli Kurbta Gabari ve Geometri” isimli bilgi amaçlı hazırlanmış çizim.
- [5] **Chrzanowski, A.,** 1981. Optimization of the Breakthrough Accuracy in Tunneling Surveys, The Canadian Surveyor, Vol. 35, No. 1, Canada, 5-16.
- [6] **Kuşcu, Ş.,** Mühendislik ölçmeleri nedir? Ne olmalıdır?.
- [7] **Arslan, E.,** Ülke Ölçmeleri Ders Notları, 2005. İTÜ.
- [8] **Ayan, T., Deniz, R., Gürkan, O., Öztürk, E., Çelik, R. N.,** 2003. Ulusal Jeodezik Referans Sistemleri ve CBS, *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, 24-25-26 Eylül 2003, Konya.
- [9] **Aliosmanoğlu, Ş., Çelik, R. N.,** 2002. Depremler Nedeniyle Oluşan Jeodezik Altyapı Hasarlarının Büyük Ölçekli Harita Çalışmalarına Etkisi, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, 16-18 Ekim 2002, Konya.
- [10] **Ayan, T., Aksoy, A., Deniz, R., Arslan, E., Çelik, R. N., Özşamlı, C., Denli, H., Erol, S., Erol (Özöner), B.,** 1999. İstanbul GPS Nirengi Ağı (IGNA) Teknik Raporu, 1997/3882, İstanbul teknik üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [11] **Üstün, A., Demirel, H.,** 2003. Düşey Kontrol Açısından GPS/Nivelman Kontrol Noktalarının Önemi, *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, 24-25-26 Eylül 2003, Konya.

- [12] **Gürdal, M.A, Ceylan, S.**, 2005. Büyük ölçekli çalışmalarda güncellenmiş Türkiye Jeoidinin (TG99A) doğrudan kullanılabilirliğinin araştırılması, *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- [13] **Pırtı A.**, 2005. Klasik yöntemlerle üretilmiş kontrol noktalarının (poligon noktalarının) GPS koordinatları ile karşılaştırılmasına ilişkin bir uygulama, *Jeodezi ve Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, **93**.
- [14] **Celik, R.N.**, Geodetic Network Design Ders Notları, 2005.
- [15] **Ayan, T.**, 1981. Jeodezik Ağların Optimizasyonu, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Schafer, M., Weithe, G.**, Survey solution on the Construction sites North Downs Tunnel and midway crossing bridge -high speed-railway from London to the Euro Tunnel.
- [17] **Ingensand, H., Ryf, A., Stengele, R.**, The Gotthard Base Tunnel – a challenge for geodesy and geotechnics.
- [18] **Glaus, R., Ingensand, H.**, 2002. Tunnel survey for new cern particle accelerators, *FIG XXII International Congress*, 19-26 2002, Washington, USA.
- [19] **Greening, W. J. T., Robinson, G. L., Robbins, J. S., Ruland, R. E.**, 1993. Control survey for underground Construction of the supperconducting Super Collider, *3rd International Workshop on Accelerator Alignment*, 9/28/1993-10/1/1993, Annecy, London.
- [20] **Böckem, B., Flach, P., Weiss, A., Hennes**, 2000. M., Refraction influence anlaysis and investigations on automated elimination of reffraction effects on geodetic measurements, *XVI IMEKO Worl Congress*, 25-28 September 2000, Vienna.
- [21] **VMT**, 2007. SLS-T APD sunumu, İstanbul.
- [22] http://en.wikipedia.org/wiki/New_Austrian_Tunnelling_method, 10.12.2007
- [23] **Ünlütepe, A.**, 2002. Monitoring vertical and horizontal displacements during the Construction Izmir LRTS “NATM” and “EPBM” Tunnels, *Doktora Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi.
- [24] **Geoconsut, Ges. m. H.**, 1994. NATM uygulamalı yeraltı tünel İşleri teknik şartnamesi, Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü.

- [25] **Baykal, O., Tari, E., oşkun, M. Z., Erden, T.,** 2005. Kutupsal Koordinatlarla Nokta Aplikasyonunda Doğruluk, 2. *Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 23-25 Kasım 2005, İstanbul.
- [26] **Ünlütepe, A., Messing, M.,** 2005. Tünel Ölçme Uygulamalarında Son Yenilikler, 2. *Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul, 148-160.
- [27] **Bilgin, N., Balcı, C., opur, H.,** 2007. TBM seçiminde ve performans tahmininde uygulamalı Laboratuar çalışmaları, UYAK II, 17 kasım 2007, İstanbul.
- [28] **Lee., A. H. S., Kong, H.,** 2007. Engineering Survey System for TBM (Tunnel Boring Machine) Tunnel Construction, *TS 4F – Engineering Applications*, 13-17 May 2007.
- [29] **Tari, E.,** 2007. mühendislik ölçmeleri ders notları, www.atlas.cc.itu.edu.tr/~tari/muholc.
- [30] **EM11100,** 2002. Structural Deformations Surveying, *US Army Corps of Engineer Manual*, Washington, DC.
- [31] **Arioğlu B., Yüksel A., Arioğlu E.,** 2002. İstanbul Mevhibe İnönü tüneline tasman (yüzey oturması) eğrisi dönüm noktasının belirlenmesi, *VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü, Konya, s305-316.
- [32] **Kalkan, Y., Alkan R. M.,** 2005. Mühendislik yapılarında deformasyon ölçmeleri, 2. *Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, s.64-74.
- [33] **Ademoğlu, Y., Akal, A., Yüksel, A.,** 2007. Kadıköy-Kartal Metro İnşaatı NATM Tünel Kazılarında Deformasyon Ölçmeleri ve Veri Yönetimi Çalışmaları, 2. *Ulaşımında Yer Altı Kazıları Sempozyumu*, İTÜ; İstanbul, 15-17 Kasım 2007, s. 455-466.
- [34] **Gölal, E., Deniz, R.,** 2005. Elektronik ölçme aletlerinin kontrol ve kalibrasyonu, 2. *Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 23-25 Kasım 2005, İstanbul, 213-224
- [35] **elik, R.N., Özlüdemir, T.,** 2005. Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İnşaatı Jeodezik Kontrol ağı noktalarının konumlarının GPS tekniği ile belirlenmesi projesi kontrol ve değerlendirme teknik raporu İTÜ İnşaat Fakültesi 1441/16.05.2005, *Teknik Rapor*, , İTÜ, İstanbul.

- [36] **Aliosmanoğlu, Ş.**, 2006, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İnşaatı çalışmaları kapsamında Özen Harita Ltd. Şti tarafından ölçülen ve hesaplanan Kontrol Noktaları GPS değerlendirme sonuçları, İstanbul, Türkiye.
- [37] **Martı Harita**, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İnşaatı Projesi Nivelman Teknik raporu, 2005. *Teknik Rapor*, Martı Harita, İstanbul.
- [38] **Çelik, R.N., Akal, A., Ademoglu, Y.**, 2007. Ölçme Teknik Raporu 01, *Teknik Rapor*, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İnşaatı Projesi Anadoluay Yapı merkezi – Doğuş – Yüksel – Yenigün – Belen ortak girişimi, Haziran 2007, İstanbul.
- [39] **Çelik, R.N., Akal, A., Ademoglu, Y., Gengeç, N. E.**, 2007. Ölçme Teknik Raporu 03, *Teknik Rapor*, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İnşaatı Projesi TC İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Raylı Sistem Müdürlüğü Anadoluay Yapı merkezi – Doğuş – Yüksel – Yenigün – Belen ortak girişimi, Ocak 2008, İstanbul.
- [40] **VMT**, SLS-T APD kullanım kılavuzu, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Yelda Ademoğlu 01 Kasım 1982’de İstanbul’da doğdu. İlköğretimini Alibeyköy İ.Ö. Okulunda, Şehremini Y.D.A. Lisesinde başladığı orta öğretimini Fatoş Abla Kolejinde (2000) tamamlamıştır. 2000 yılında yüksek öğrenimine İTÜ jeodezi ve fotogrametri mühendisliğinde başlamıştır. 2005 yılında lisans programından mezun olmuş ve aynı yıl İTÜ geomatik yüksek lisans programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen Kadıköy-Kartal metro inşaatı projesi AnadoluRay Ortak Girişiminde jeodezi ve fotogrametri mühendisi olarak çalışmaktadır.