

## TÜNEL İNŞAATINDA YAPILAN JEODEZİK ÇALIŞMALAR VE TÜNEL DEFORMASYONLARI

Doç. Dr. Arzu SOYCAN

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Harita Mühendisliği, [topbas@yildiz.edu.tr](mailto:topbas@yildiz.edu.tr)

Harita Müh. Yusuf FASLAK

Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (DESKİ) Genel Müdürlüğü,

Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Öğrencisi, [nirengi20@gmail.com](mailto:nirengi20@gmail.com)

### ÖZET

Bu çalışmada, ulaşım sisteminin ana öğelerinden olan tünel konusu ve tünel deformasyonları ile tüneller için yapılan jeodezik çalışmalar incelenmiştir.

Şehirlerde eğitim, sanayi ve ticaret imkanlarının daha iyi olması, hızlı ve yoğun göç dalgası, plansız yapılaşma, nüfusun hızlı artışı, arazilerin azalması ve yapılaşmanın artışı, kamu kurumlarının hantal yapısı gibi sebeplerle şehirlerimiz yoğun bir trafiğe maruz kalmıştır. Türkiye’de deniz, hava ve demiryolu taşımacılığı ihmal edildiği için ulaşımın tüm yükü karayolu taşımacılığının üzerine kalmıştır. Tüneller, zorlu topoğrafyanın kolay aşılması, fiziki çevreyi tahrip etmemesi, mesafeleri kısaltması, iklim ve çevre şartlarıyla kolay mücadele etmesi, haritacılık ve teknoloji alanındaki gelişmeler sebebiyle farklı amaçlar (su ve kanalizasyon hatları, depolama, enerji, havalandırma vb.) özellikle ulaşım için vazgeçilmez bir unsur olmuştur.

Tünellerde karşılaşılan başlıca hatalar; çekül sapması, refraksiyon hatası, karşılaşma hatası ile tünellerdeki fiziksel sorunlardan bahsedilmiştir.

Klasik tünel açma metotları içerisinde yer alan ve en çok uygulanan yöntemlerden olan Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) anlatılmıştır. Ayrıca, modern tünel açma yöntemlerinden olan TBM (EPBM) makinalarının kazı ve çalışma sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Büyük mühendislik projeleri özellikle tüneller için hayati öneme sahip olan deformasyon kavramı incelenmiştir. Deformasyon ölçümleri için LIDAR, yersel lazer tarama (YLT), yakın mesafe fotogrametrisi, jeodezik ölçümler, lazer interferometri yöntemi ve jeoteknik yöntemler kullanılmaktadır. Tünel deformasyonlarının izlenmesi için periyodik olarak jeodezik ölçülerin yapılması, ölçülerin dengelenmesi, jeodezik ölçülerin diğer ölçü yöntemleriyle desteklenmesi, ölçüm sonuçlarının analiz edilmesi ve analiz sonuçlarına göre gerekli tedbirlerin alınması hususları vurgulanmıştır.

Tünel ve karayolu projeleri için en önemli konu, jeodezik ağların tesis edilmesi ve bu ağlara dayanarak projelerin uygulanmasıdır. Denizli ili Honaz ilçesinde inşaatı devam eden Honaz Tüneli ve bağlantı yolları ile ilave karayolu güzergâhlarını da kapsayan, GNSS ve nivelman

yöntemleriyle üretilen jeodezik ağ noktaları (yatay ve düşey kontrol noktaları) hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, Denizli Honaz Tünelinde belirli kesitlerde deformasyon ölçümleri yapılmıştır. Bu veriler kullanılarak yer değiştirme vektörü ile deformasyon analizi yapılmış, elde edilen veriler (hesaplar, şekiller, çizelgeler ve grafikler) yorumlanmıştır. Tünel ve karayolu projelerinin hazırlanmasından inşaatların bitirilmesine kadar geçen sürede harita mühendisliği ile jeodezik çalışmaların önemi vurgulanmış ve konu hakkında çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tünel, karayolu, çekül sapması, refraksiyon hatası, karşılaşma hatası, TBM, NATM, jeodezik ağ, GNSS, deformasyon, LIDAR, yersel lazer tarama (YLT), yer değiştirme vektörü.

## GEODETIC WORKS IN TUNNEL CONSTRUCTION AND DEFORMATIONS OF TUNNEL

### ABSTRACT

In this study, tunnel subject that is a one of the main items of transportation system and deformations of tunnel with geodetic works for tunnels are examined.

Because of the better education, industry and trade opportunities in cities, rapid and intense migration wave, unplanned urbanization, rapid increase in population, reduction of lands and increase in construction, bulky structure of public institutions etc., our cities are exposed to a heavy traffic. Because marine, air and rail transport is neglected, the entire load of transportation is on the highway transportation system in Turkey. Because of easy crossing of challenging topography, no disruption of physical environment, shortening of distances, easy struggle with climate and environmental conditions, developments in cartography and technology, tunnels become an indispensable element for different purposes (water and wastewater lines, storage, energy, ventilation etc.) especially for transportation.

The main errors encountered in tunnels are plump deflection, refraction error, breakthrough error with physical problems in tunnels have been explained.

One of the most implemented methods moreover the classical tunnelling method "New Austrian Tunnelling Method (NATM) has been explained. Furthermore, information about TBM (EPBM) machines and their excavation and working systems of modern tunnelling method has been given.

In the present study, deformation concept which has a vital importance for major engineering projects especially for tunnels is investigated. In order to get the deformation measurements, LIDAR, terrestrial laser scanning, close distance photogrammetry, geodetic measurements, laser interferometry method and geotechnical methods are employed. For monitoring of tunnel deformations, periodical geodetic measurements, balancing them, supporting the geodetic measurements by other measurement methods, analysis of the results have been implemented and taking necessary precautions issues have been emphasized.

The most important issue for tunnel and highway projects is establishment of geodetic networks and application of the projects based on these networks. Information is given about the geodetic network points (horizontal and vertical control points) produced by GNSS and leveling methods for the Honaz Tunnel ongoing construction in Denizli-Honaz and connection roads with additional highway routes. Additionally, deformation measurements are accomplished at a specific sections of Honaz Tunnel. The deformation analysis using with displacement vector method were performed and the obtained data (calculations, figures, charts and graphics) were interpreted. Over the period from the preparation of tunnel and highway projects to the completion of construction, the importance of geodetic studies with geomatic engineering was emphasized and various proposals on the topic were presented.

**Keywords:** Tunnel, highway, plumb deflection, refraction error, breakthrough error, TBM, NATM, geodetic network, GNSS, deformation, LIDAR, terrestrial laser scanning (TLS), displacement vector.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun var olduğu günden beri çözüm bulmak için uğraştığı karmaşık ve zor konuların başında ulaşım gelmektedir. Nüfusun artması, toprakların azalması, köylerden kentlere hızlı göç, sanayi ve ticaretin şehirlerde daha yoğun oluşu, planlama çalışmalarının yetersizliği, ekonomik gelişmeyle birlikte taşıt sayısındaki artış, demiryolu, havayolu ve deniz taşımacılığının ihmal edilmesi gibi nedenlerden dolayı ulaşım konusuna çözüm bulunamamıştır. Ulaşım sorununa sosyal, kültürel, fiziksel ve ekonomik yönlerden güvenli ve konforlu bir çözüm bulabilmek adına dünyanın gelişmiş ülkeleri çeşitli arayışlara girmiş ve bu arayışlar sonucunda yeraltı/yerüstü taşımacılığı (tünel, metro) konusu gündeme gelmiştir. Ülkemiz tünel ve metro yapımı konularında geç kalmış olmakla birlikte arayış kapatmak için var gücüyle çalışmaktadır. Yoğun çalışmaların sonucunda ülkemizde tünelcilik konusunda dünya çapında projeler bitirilmiş olup bazılarının da proje aşamasında olduğu bilinmektedir.

Değişik amaçlarla (ulaşım, sulama, kanalizasyon, içme suyu, askeri, enerji, havalandırma, depolama, dağıtım, parçacık hızlandırıcı vb.) etrafı kapalı ve iki ucu açık, boyuna eğimi 30° den az olacak şekilde yeraltında farklı jeolojik tabakalar arasında kazı yapıp değişik yöntemlerle kazının desteklenmesi sonucunda oluşan mühendislik yapılarına tünel, bu işlerin tümüne de tünelcilik denilmektedir.

Dünyadaki tarihi tünellere örnek olarak M.Ö. 701 yılında Kudüs'te su temini için açılan ve 533 m uzunluğundaki Gihon Siloam (Hezekiah's) Tüneli [1], Avusturya'daki Neutor Tüneli (Siegmondstor Tunnel) [2], Yunanistan'daki Samos (Sisam) Adasında bulunan 1040 m uzunluğundaki Eupalinos Tüneli sayılabilir [3], [4]. Ayrıca M.S. ikinci yüzyılda Cezayir Saldae'de günümüzün Bougie (Bejaia)'sında bulunan 430 m uzunluğundaki tarihi tünel de önemli tünellerdendir [4].

İngiltere'deki Thames Tüneli, Japonya'daki Seikan Tüneli, İngiltere-Fransa arasında Manş Tüneli ve Çin'deki Shiziyang Tüneli ile İsviçre'deki Yeni Gotthard Base Tüneli de dünyadaki önemli tünellere örnek gösterilebilir [5], [6].

Yurdumuzdaki tarihi tünellere örnek olarak Sinop ili Durağan İlçesine bağlı Terelek Kaya Tüneli [7], M.Ö. 300 yılında yapıldığı tahmin edilen Mersin ili Silifke ilçesindeki 11 km'si tünel olmak üzere toplam 45 km uzunluğundaki Aksıfat Galerisi ile yine aynı bölgede 25 km uzunluğunda olan ve köylere su temini için hala kullanılan Kızılgeçit Galerisi sayılabilir [8]. Mersin'de su ihtiyaçlarını temin için kayalar oyularak yapılan ve Lamas Çayından beslenen iletim tünelleri [9], Antakya'da Roma döneminden kalan, M.S. birinci ve ikinci yüzyıllarda kayalar oyularak yapıldığı tahmin edilen tünel [10] ile Karaköy Tüneli (Beyoğlu-İstanbul) [11] önemli tarihi tünellerimizdendir.

Son yıllarda ülkemizde yapılan önemli tünellere örnek olarak Şanlıurfa Su İletim Tünelleri [12], [13], Bolu Dağı Tüneli [14], Suruç Su İletim Tüneli (Şanlıurfa) [15], Marmaray Metrosu (Ayrılıkçeşme-Kadıköy)-(Kazlıçeşme-Zeytinburnu)-(İstanbul) [16], [17], [18], [19], [20], Ovit Tüneli (Rize-Erzurum) [21], Yeni Zigana Tüneli (Trabzon-Gümüşhane) [22], Avrasya Tüneli (Kazlıçeşme-Zeytinburnu)-(Göztepe)-(İstanbul) [23], [24], [25] sayılabilir.

Türkiye'de bugüne kadar yapımı tamamlanan ve trafiğe açılan (tek tüp tünel sayısı 186 ve çift tüp tünel sayısı 56) toplam tünel sayısı Ocak 2018 itibariyle 242 adettir [26]. Ayrıca inşaatı biten ve yapımı devam eden birçok karayolu tüneli de bulunmaktadır [27], [28].

## 2. TÜNELLERDE KARŞILAŞILAN HATALAR VE FİZİKSEL SORUNLAR

Tünel ve karayolu projelerini gerçekleştirebilmek için Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) (Eski) [29] ve (yeni) [30] a göre oluşturulmuş jeodezik ağlara ihtiyaç vardır. Jeodezik ağlar hem klasik yöntemlerle (total station, nivo) hem de modern yöntemlerle (GNSS) oluşturulabilir.

Ölçüm gerektiren her işte hatalar var olduğu gibi jeodezik ağ oluşumunda ve tünel ölçümlerinde de hatalar söz konusudur. Tünel ölçümlerinde karşılaşılan başlıca hatalar; refraksiyon hatası, çekül sapması ve karşılaşma hatasıdır [31], [32], [33], [34].

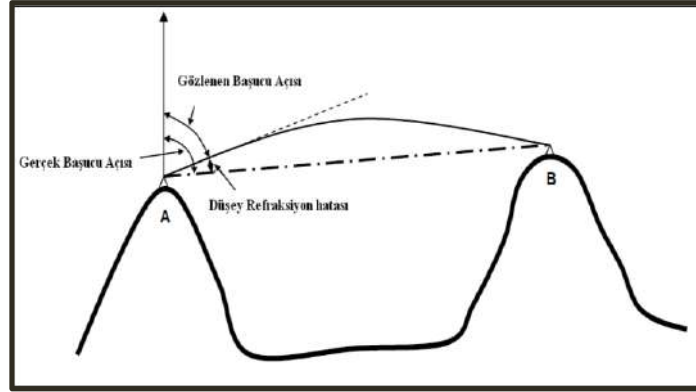
### 2.1 Refraksiyon (Kırılma) Hatası

Işık ışınları, atmosferik şartları farklı olan hava tabakalarından geçerken hız ve açısal olarak değişikliğe uğrar. Işınlardan izlediği güzergahlar doğru değil yay gibi olur. Işınlarda oluşan bu değişiklik, refraksiyon (kırılma) olarak adlandırılır. Kırılmanın etkisiyle özellikle uzun mesafelerde ( $S > 250$  m) refraksiyondan dolayı ölçüm hataları meydana gelir. Refraksiyon hatası, düşey refraksiyon hatası ve yatay (yanal) refraksiyon hatası olmak üzere 2 çeşittir.

#### 2.1.1 Düşey Refraksiyon Hatası

Yükseklik farklarının çok fazla ve meteorolojik koşulların çok farklı olduğu gözlem noktaları arasındaki düşey açı (başucu açısı) ölçümlerinde ortaya çıkar. Sıcak havanın yoğunluğu soğuk havaya göre daha azdır. Yoğunluk, sıcaklıkla ters, basınçla ve enlemle doğru orantılıdır.

Işınlar, hedefe çabuk ulaşmak isteyeceği için yoğunluğu az olan hava tabakalarının olduğu tarafa yönelerek izlediği güzergahı değiştirecek ve düşey refraksiyon hatası oluşacaktır.



Şekil 2. 1 Düşey refraksiyon hatası [31], [33]

Tünel yapım şartlarında (yükseklikte, basınçta, meteorolojik ve atmosferik koşullarda) önemli bir değişiklik olmayacağı için düşey refraksiyon hatası dikkate alınmayacak kadar küçüktür.

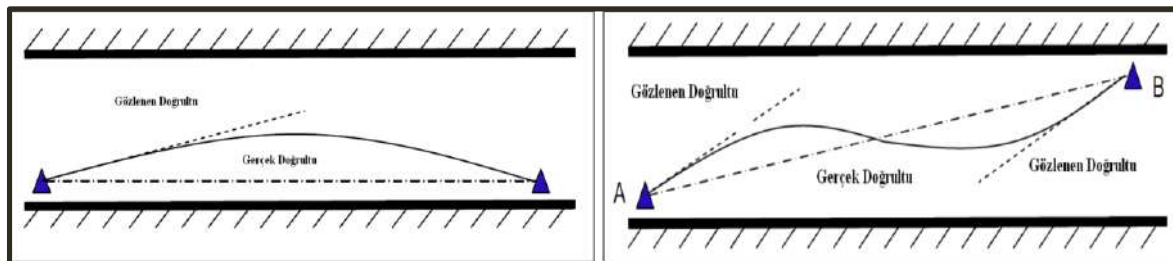
### 2.1.2 Yatay (Yanal) Refraksiyon Hatası

Tünel inşaatları, yeraltında ve farklı jeolojik katmanlar arasında yapıldığı için yan duvarlar ile eksen arasında sıcaklık farkları ve dolayısıyla hava sirkülasyonu oluşur. Soğuk olmasından dolayı tünel duvarlarına doğru hava yoğunluğu artar. Tünel eksenine doğru sıcaklık artacağı için hava yoğunluğu azalır. Jeodezik ağ noktaları aynı duvar kenarında iken ölçüm yapıldığında, ışınlar yoğunluğun az olduğu eksene doğru hareket edecek ve ışının hareketi doğru değil eğri (yay) gibi olacak ve hatalar aynı yönde oluşacaktır (Şekil 2.2). Tünel ekseninden yan duvarlara doğru dik bir şekilde oluşan hatalar yatay refraksiyon hatalarıdır.

Yatay refraksiyon hatasını etkileyen ana etmenler; zeminin jeolojik yapısı, tünel duvarlarındaki malzemeler, tünel içerisindeki makina ve araçların ısısı, havalandırma sistemi, shaft veya bağlantı tünellerinin varlığıdır.

Yatay refraksiyon hatasını minimize etmenin en basit yolu, jeodezik ağ noktalarını aynı duvar tarafına değil karşılıklı duvar kenarlarına tesis etmek, tesislerin yerini duvardan 1-2 m uzağa yerleştirmek ve çaprazlama (karşılıklı duvar kenarlarına doğru) gözlem yapmaktır (Şekil 2.2).

Tünelde refraksiyon etkisini azaltmak için gyro-teodolit ve dispersometre kullanılmalıdır.

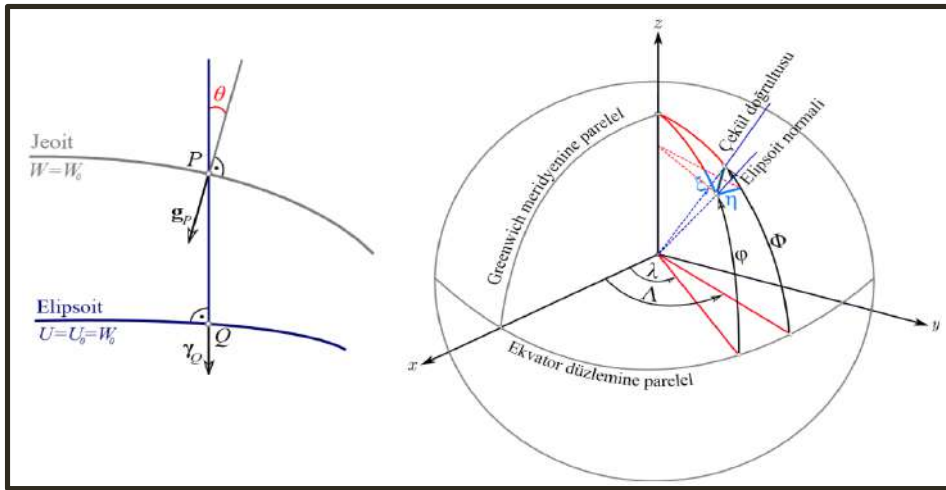


Şekil 2. 2 Yatay refraksiyon hatası (sol) ve çapraz gözlem etkisi (sağ) [31], [33]

## 2.2 Çekül Sapması

Yeryüzündeki tüm nesneler, Newton Çekim Yasasına göre hem birbirlerinin uyguladığı çekim kuvvetinin hem de dünyanın dönme etkisiyle merkezkaç kuvvetinin etkisi altındadır. Yerçekimi kuvveti ve merkezkaç kuvvetinin bileşkesi olan kuvvet, yerçekimi vektörü diğer bir deyişle gerçek gravite vektörü (gravite ivmesi), (yerçekimi ivmesi) [35], [36] olarak da adlandırılır ve “ $g$ ” sembolü ile gösterilir.

Gerçek gravite vektörünün doğrultusu veya ipin ucuna bağlanmış denge halindeki çekül yönü, çekül doğrultusunu (düşey doğrultuyu) gösterir. Gerçek gravite vektörü, yüksekliğe ve coğrafi enleme göre değişiklik gösterir. Yeryüzündeki zemin katmanları ve kitle yoğunlukları ani değiştiğinde gerçek gravite vektörünün yönü (çekül doğrultusu) ve nivo yüzeyleri (jeoid yüzeyi) [37], [38] ani değişime uğrar. Yeryüzeyindeki her noktada çekül doğrultusu jeoide (nivo yüzeyine) diktir. Bu sebeple nivo yüzeyleri doğrusal değil gerçekte eğrisel bir yapıdadır. Zemin katmanlarının yoğunlukları aynı ise jeoidin eğriliği de aynıdır. Çekül doğruları gerçek anlamda doğru değil uzay eğrisi olduğundan çekül doğrusuna çekül eğrisi de denilmektedir. Bu sebeple çekül eğrisi boyunca çekül sapması da değişikliğe uğrar.



Şekil 2. 3 Çekül sapması ve bileşenleri [39], [40]

Yeryüzündeki bir noktadan geçen çekül eğrisi (gerçek gravite vektörü yönü) ile elipsoid normali (elipsoide diktir) arasındaki açıya çekül sapması ya da toplam çekül sapması denir ve " $\theta$ " sembolü ile gösterilir. Çekül sapmasının farklı tanımları yapılabilir. Çekül sapması; astronomik başucu açısı ile jeodezik başucu açısı arasındaki farktır (Şekil 2.3). Jeoid normali olan doğal çekül doğrultusuyla elipsoid normali olan matematiksel çekül doğrultusu arasındaki farktır. Çekül sapması, gerçek gravite vektörünün doğrultusuyla normal (standart) gravite vektörünün doğrultusu arasında oluşan farklılıktır (Şekil 2.3). Gerçek gravite vektörünün yönüne astronomik ayakucu (nadir), bunun ters yönüne de astronomik başucu (zenit) denilmekte olup normal gravite vektörünün yönüne jeodezik ayakucu, bunun ters yönü jeodezik başucu olarak adlandırılır. Matematiksel çekül doğrultusu (elipsoid normali) jeodezik ölçmelerle (GNSS), doğal çekül doğrultusu astronomik gözlemlerle belirlenir. Çekül

sapmasının birbirine dik iki bileşeni vardır (Şekil 2.3). Kuzey-güney bileşeni kuzey yönünde artar ve sembolü " $\zeta$ " ya da " $\xi$ ", doğu-batı bileşeni doğu yönünde artar ve sembolü " $\eta$ "'dir. Çekül sapmasının iki bileşeni birbirine dik olduğu için Pisagor Teoremi ile aşağıdaki formüller yazılabilir [31], [33], [41].

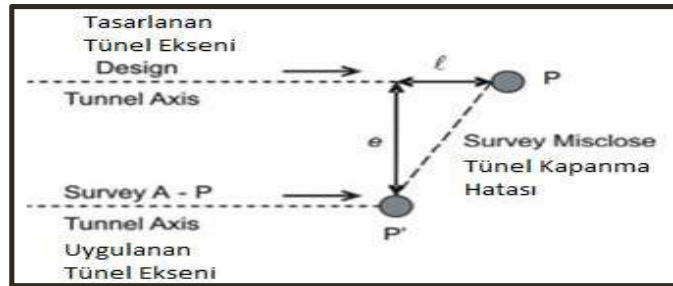
$$\theta^2 = \zeta^2 + \eta^2, \quad \zeta = \xi = \theta \cdot \cos \alpha_\theta, \quad \eta = \theta \cdot \sin \alpha_\theta, \quad \alpha_\theta = \arctan(\eta / \xi) \quad (2.1)$$

Burada;  $\alpha_\theta$ ; toplam çekül sapmasının yerel dik koordinat sistemindeki azimutudur.

Çekül sapmasını belirlemek için 3 yöntem kullanılır: 1) Astro-jeodezik yöntemle belirlenen astro-jeodezik çekül sapması, 2) Gravimetrik yöntemle belirlenen gravimetrik çekül sapması, 3) Topoğrafik-izostatik yöntemle belirlenen topoğrafik-izostatik çekül sapması.

### 2.3 Karşılaşma Hatası

Tüneller, hızlı ve ekonomik olması için genellikle çift taraftan açılır. İki farklı jeodezik ağdan açılmış iki farklı tünelin birbirlerine kavuştukları nokta karşılaşma noktasıdır. Hiçbir hata olmadığında karşılaşma noktası tek ve aynı nokta olacaktır. Fakat yapılan hatalar ve hataların yayılması kuralı gereği çift taraftan açılan tünellerde karşılaşma noktası farklılaşır ve karşılaşma hatası meydana gelir (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Karşılaşma noktası ve hatası [33]

Şekil 2.4'de;  $l = (\sigma_l)$ ; tünel ekseni boyunca yapılan hatadır ve tünelin boyuna doğrultu hatası (boyuna hata) diye adlandırılır.  $e = (\sigma_e)$ ; tünel eksenine dik olan hatadır ve tünelin enine doğrultu hatası (enine hata-yanal hata) diye adlandırılır. Boyuna doğrultu hatası ve enine doğrultu hatasının yanında yükseklik hatası ( $\sigma_H$ ) da vardır [32]. Enine doğrultu hatası ve yükseklik hatası tüneller için önemli iken boyuna doğrultu hatasının önemi daha azdır. ( $P$  ve  $P'$ ) noktaları, tünelin iki tarafındaki farklı jeodezik ağlardan elde edilen karşılaşma noktaları olup ( $P$  ve  $P'$ ) noktaları arasındaki mesafe, karşılaşma hatası/kapanma hatası/tünel doğrultu hatası/hizalama hatası/atılım hatası olarak da adlandırılır.

### 2.4 Tünellerde Karşılaşılan Fiziksel Sorunlar

Tünel inşaatı, fiziki çevreyle alakalı olduğu, yeraltında ve farklı jeolojik tabakalar içinde gerçekleştiği için pek çok fiziksel sorun meydana gelir. Tünellerde karşılaşılan fiziksel sorunlara örnek olarak gaz sorunu, ısı sorunu, su ve nem sorunu, kaya patlaması (kapak atma, kaya fırlaması), sökülme/dökülme ve kemerlenme sayılabilir [8], [42], [43], [44], [45]. Bu

sorunlarla baş edebilmek için tünellerde iyi bir havalandırma sistemi olmalı, sürekli gaz ölçümleri yapılmalı, mümkünse tüneller yeraltı su seviyesinin üzerinde inşa edilmeli veya iyi bir drenaj sistemi kurulmalıdır. Gerilmelerin oluşumunda kazı kesitinin şekli de çok etkilidir. Köşeli kazı kesitlerinde gerilmeler daha kuvvetli ve köşelerde daha sert, dairesel kazı kesitlerinde gerilmeler daha az ve daha yumuşak olmaktadır.

### 3. TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

Tünel açma metotları, uyguladıkları inşaat tekniklerine göre 5 gruba ayrılır [31], [32], [42], [43], [44], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54]: 1) Aç-Kapa metoduyla açılan tüneller, 2) Klasik metotla inşa edilen tüneller (Delme-Patlatma, NATM), 3) Tünel delme makinasıyla açılan tüneller (TBM, EPBM), 4) Batırma tünel (Immersed Tube) metodu ile açılan tüneller, 5) Pipe-jacking (Boru İtme) yöntemi ile açılan tüneller (Tünel çapı<4-4,5 m).

Tünellerin yönlendirilmesinde (aplikasyonunda) hem klasik yöntemler (total station, lazer cihazı) hem de klasik yöntemlerle desteklenen tünel açma makinaları (Road-header, TBM, EPBM) kullanılmaktadır [32], [46], [47], [49], [52].

Hem tünel açma yöntemleri hem de tünellerin yönlendirilmesinde geçmişte olduğu gibi günümüzde de jeodezik ölçmeler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

#### 3.1 Aç-Kapa Yöntemi

Aç-kapa yöntemi, derin kazı gerektirmeyen ve yüzeye yakın olan işlerde uygulanır. Zeminde kazı yapıp destekleme ve beton işleri bitirildikten sonra tünelin üstü kapatılarak eski haline getirilir (Şekil 3.1). Yöntemin artıları; kolay olması, ucuz olması ve zeminde çökme olmamasıdır. Yöntemin eksileri; şehir içindeki binalar için tehlike oluşturması, trafik sıkışıklığı ve gürültüye sebep olmasıdır. Şehir içlerindeki içme suyu iletim ve kanalizasyon boşaltım tünelleri bu yöntemle yapılmaktadır. Kütahya Simav Tüneli ve Adana Metrosu bu yöntemle inşa edilmiştir.

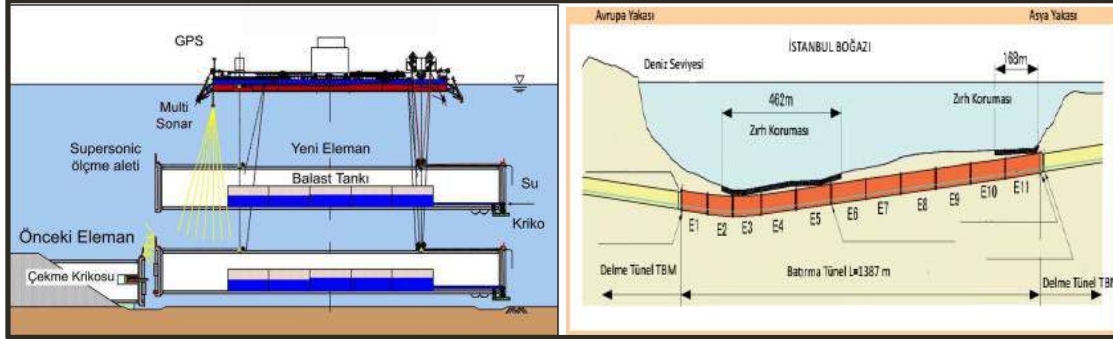


Şekil 3. 1 Aç-kapa metoduyla yapılan bir tünel [31]

#### 3.2 Batırma Tüp Tünel (Immersed Tube) Yöntemi

Bu yöntemde, denizin altında inşaat yapılacağı için hidrografik ölçmeler, GNSS ölçümleri, batimetri ölçümleri, echosounder ve akustik algılayıcıların kullanıldığı komplike bir sistem olan APS (Acoustic Positioning Systems) Akustik Konumlandırma Sistemleri kullanılmaktadır [49]. Öncelikle batimetri ve hidrografik ölçümlerle deniz tabanının haritası çıkarılır [55], [56]. Çelik tüpler deniz tabanına indirilir. Echosounder'ın konumu, GNSS/RTK

teknolojisi ile belirlenir. Echosounder tarafından gönderilen akustik ses dalgaları, çelik tüpler üzerindeki akustik ses dalgası algılayıcıları tarafından algılanır. Diğer algılayıcılardan gelen sinyaller ile kontrol edilip tüpler olması gereken konumlarına yerleştirilir. Tüpler, birbirleriyle kenetlenir ve üzerleri kapatılır.

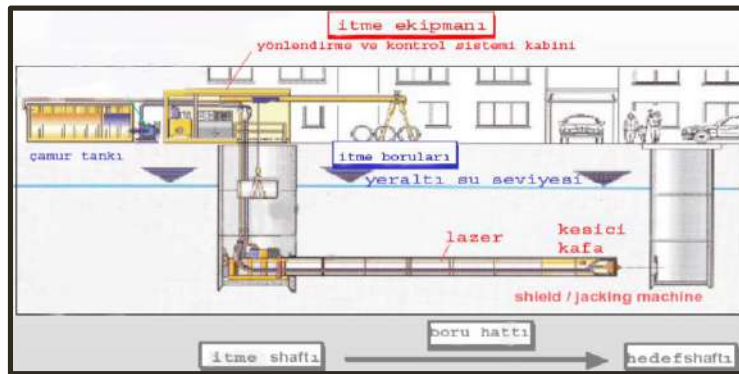


Şekil 3. 2 Batırma tüp tünel ölçümü (sol) ve profil şeması (sağ) (Marmaray) [17], [46], [49]

Bu yöntem, ilk defa 1893 yılında A.B.D.'nin Massachusetts eyaletinin başkenti Boston'daki kanalizasyon inşaatında ülkemizde ise Marmaray metro hattında uygulanmıştır. Marmaray'da tüp tünellerin yerleştirileceği en derin nokta, deniz yüzeyinin 58 m altındadır. Marmaray inşaatında 8,75 m yüksekliğinde 15,5 m genişliğinde ve çeşitli uzunluklarda 11 adet tüp tünel (1387 m) deniz tabanına yerleştirilmiştir (Şekil 3.2).

### 3.3 Pipe-Jacking (Boru İtme) Yöntemi

Çapı 4-4,5 m altındaki tüneller mikro tünel olarak adlandırılır. Sistem bileşenleri; kazı makinası, itme boruları, itme birimi, malzeme çıkış ünitesi ve kontrol sistemidir. Şaft diplerine kazı makinası, makinayı itecek hidrolik pistonlar ve elektronik lazer ölçüm sistemi konumlandırılır. Hidrolik pistonlar sayesinde kazı makinası ileriye itilirken borular da itme sistemi yardımıyla birbiri ardına kazı yapılan boşluklara yerleştirilir. Döşenen borular aynı zamanda destekleme görevini üstlenir. Kazı makinasının konumu, elektronik lazer ölçüm sistemi tarafından sürekli ölçülerek kontrol kabinindeki ana bilgisayara gönderilir. Ana bilgisayarda yüklü bulunan proje ve makinanın anlık konumu karşılaştırılarak kazı makinasının proje içinde kalması sağlanır. Kazı yapılan pasa, borular yardımıyla dışarı atılır.



Şekil 3. 3 Pipe-jacking yönteminin genel görünümü [50]

### 3.4 Klasik Metotla (NATM) Açılan Tüneller

Şartlara göre çabuk adapte olabilen ve Avusturyalı mühendis Prof. Ladislaus Von Rabcewics tarafından 1948 yılında ortaya atılan bir yöntem olan Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu “New Austrian Tunneling Method” (NATM), en çok kullanılan klasik tünel açma metotlarındandır [44], [57], [58], [59]. Kazı işlemi; üst yarı kazısı, alt yarı kazısı ve taban (invert) kazısı olmak üzere 3 kısımdır. Yöntemin temeli, ince birincil destekleme yapılarak kayanın enerjisini atması, kendi kendini tutması, yükün bir kısmını kayanın bir kısmını da destekleme elemanlarının taşıması sağlandıktan sonra ince ikincil (kalıcı) destekleme yapılarak hem maliyetlerden hem de zamandan tasarruf sağlanması ilkesine dayanır. Her türlü kazı kesitinde (10 m<sup>2</sup>-1500 m<sup>2</sup>) uygulanabilir. Geçici (birincil) destekleme elemanları olarak çelik hasır, çelik iksa, kafes iksa, püskürtme beton, kaya bulonu/ibo bulon, sürgü çubuğu, zemin çivisi, şemsiye borusu, geçici desteklemeden sonra kalıcı destekleme olarak donatılı/donatısız kemer betonları kullanılır (Şekil 3.4). Beton döküm sırası kazının tersine sırasıyla taban (invert) betonu, kiriş betonu, keçe ve membran, kemer betonu ve kablo kanal betonudur. Son olarak mekanik ve elektronik sistemler monte edilir. Kalıcı destekleme için deformasyonların yok denecek kadar az olması (aylık  $d < 2$  mm) gerekir [60].



Şekil 3. 4 Tünellerde kazı ve destekleme elemanları (NATM) (Honaz Tüneli)

NATM yönteminde, kazı sırasında yapılan deformasyon ölçümlerine (jeodezik ölçümler ve jeoteknik ölçümler) ve zemin durumuna göre proje detayları gözden geçirilerek en ekonomik en güvenli ve en ideal (optimum) durum elde edilir.

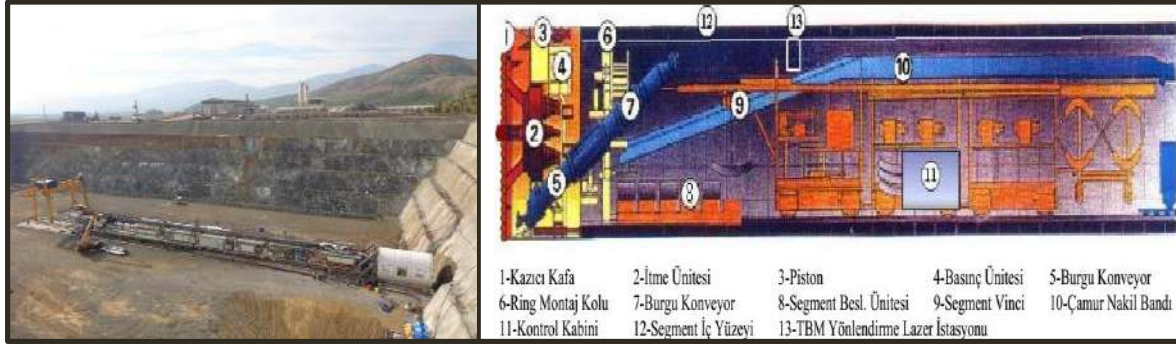
NATM tekniğiyle tünel inşaatındaki en önemli konu, zemin ve kaya kütlelerinin durumunu belirlemektir. Kaya kütlelerinin durumunu belirlemek için çeşitli kaya sınıflandırma sistemleri (RQD, RMR, Q) geliştirilmiştir [42], [43], [45], [61]. Tünel inşaatlarında kullanılan kazı destek tipleri (A, B, C)-(sert zeminden yumuşak zemine doğru); zemin jeolojisi, yeraltı suyu, tünel üzerindeki yapılaşma, tünel geometrisi ve örtü kalınlığına bağlı olarak belirlenir.

### 3.5 Tünel Delme Makinası (TBM, EPBM) ile Açılan Tüneller

TBM (Tunnel Boring Machine), silindirik formları sebebiyle tam cephe kazı yapabilen ve kazdığı zemini destekleyen ayrıca tünel inşaatında kullanılan sistemleri üzerinde barındıran bir teknolojiye sahip inşaat makineleridir. Zemin durumuna göre farklı tipleri mevcuttur.

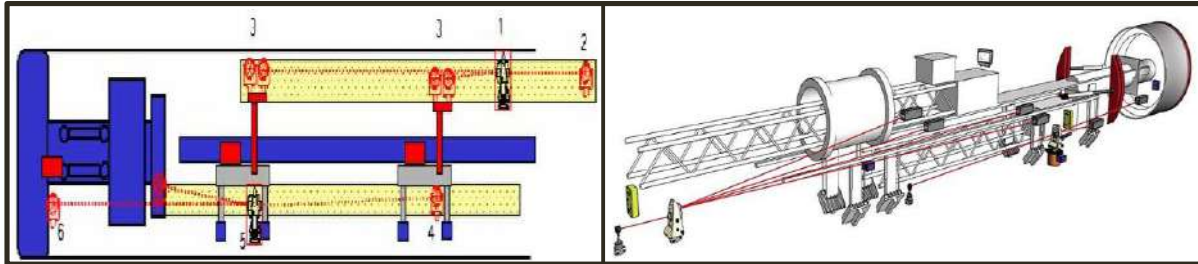
EPBM (Earth Pressure Balance Machine) (Zemin Basıncı Dengeleme Makinası), yumuşak ve akıcı yapıdaki zeminlerde kazı imkanı sağlayan ve değişik türde üretilen TBM makineleridir. Zemin formasyonuna bağlı olarak kazıcı kafada, kazıcı kafadaki keski türlerinde, tahkimat sistemlerinde ve pasayı taşıma sistemlerinde çeşitlilik görülür. Klasik makineler gibi tek bir parçadan oluşmazlar. Makinaların özelliği ve büyüklüğü tamamen proje ve tünel verilerine

(zeminin jeolojik ve jeomorfolojik yapısı, üst tarafta yapılaşma olup olmadığı, tünelin uzunluğu ve genişliği, tünelin geometrisi vb.) göre tasarlanır.



Şekil 3. 5 TBM ve şematik görünümü [46], [47], [52], [62]

TBM; gripper, schreitwerk, naclaüfer ve schild (kalkan) olmak üzere 4 ana kısımdan oluşur ve bu kısımların kendine özel lokal koordinat sistemleri mevcuttur. TBM (EPBM) makinalarının kazıya başlaması için montajı yapıldıktan sonra makina bileşenlerinin geometrisi lokal koordinat sisteminde tanımlanır. Farklı koordinat sistemleri 2 tane lazer penceresi yardımıyla birbirine bağlanır. TBM (EPBM) sistem bileşenlerini özetlersek lazerli ve motorlu total station, geri bağlantı prizması, sanayi bilgisayarı, kablo veya radyo dalgalarıyla veri iletimi, inklinometre (boyuna ve enine eğimölçer), motor prizması (aktif lazer hedef ünitesi), büro iletişim hattı ve büro bilgisayarı sayılabilir.



Şekil 3. 6 TBM ölçme düzeninin şematik görünümü [63]

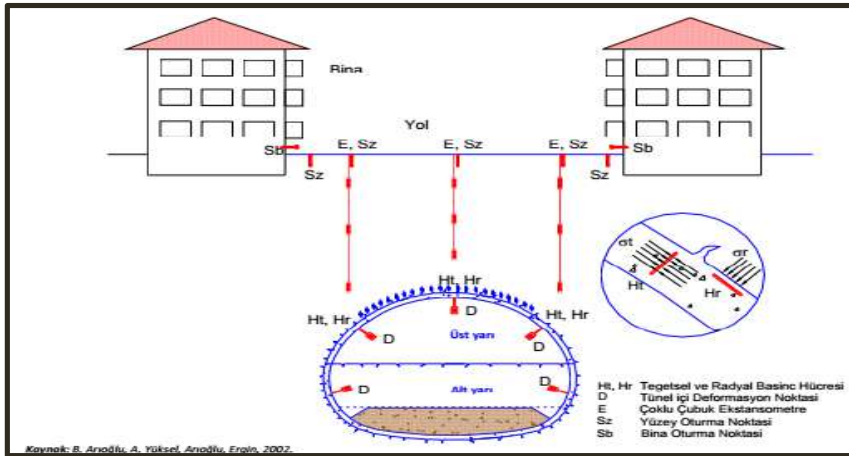
#### 4. TÜNEL DEFORMASYONLARI

İnsan eliyle veya depremler, gel-gitler, volkanik ve tektonik hareketler sebebiyle meydana gelen suni olaylar nedeniyle tünel, köprü, baraj vb. büyük mühendislik yapılarında veya etraflarında meydana gelen yatay ve düşey yönlerde oluşan burulma, çökme, oturma, yükselme, açılma, dönme, genişleme, bükülme gibi şekil bozukluklarına deformasyon (deformation) denilmektedir. Deformasyonlar etkilerine göre kalıcı deformasyonlar (kayma, çökme, dönme, genişleme, sünme, uzama) ve geçici deformasyonlar (burkulma, bükülme, eğilme) olarak 2 gruba ayrılır [64], [65], [66]. Kalıcı ve geçici deformasyonları izlemek amacıyla büyük yapıların üzerine ve çevresine sabitlenen noktaların jeodezik ve jeoteknik yöntemlerle periyodik olarak izlenmesi için yapılan çalışmaların tümü deformasyon ölçümlerini oluşturur.

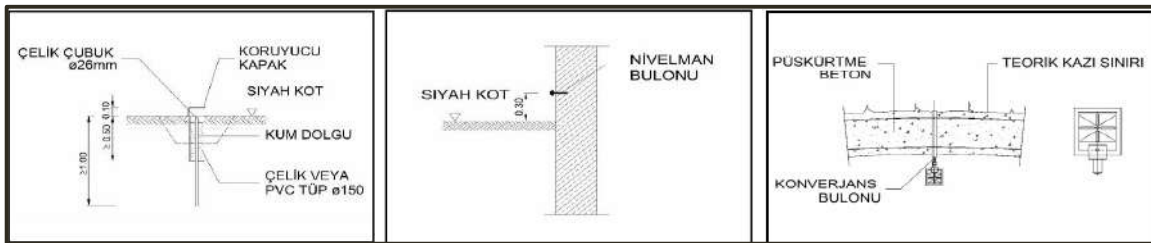
Tünellerde oluşan deformasyonlar, kazıdan sonra ortaya çıkan gerilmelere karşı zeminin göstermiş olduğu reaksiyondur. Deformasyonların sebebi ve büyüklüğü birkaç faktöre bağlıdır. Bu faktörler; tünel açma metodu, tünel geometrisi, kesit özellikleri, zeminin jeolojik ve hidrojeolojik durumu ile kaya ve destekleme sınıflarıdır. “Deformasyon, kazı aynasından uzaklaşılsa dahi küçük oranlarda olsa da devam eder. Buna zeminin sürünmesi ya da zamana bağlı etkisi” denir [67]. Kazıdan sonra deformasyon oluşmasının 2 sebebi vardır [67]:

- (1) Zemine bağlı olarak kazıdan sonra oluşan gerilmelerin etkisi (kazı aynası ilerleme etkisi),
- (2) Zamana bağlı özelliklerin etkisi (yer sürünme etkisi).

Deformasyon noktaları, şehir içi yapılaşmanın olduğu yerlerde hem tünel içine hem yüzeye hem de bina cephelerine tesis edilmelidir. Yüzeyler için uzun çelik çubuklar sağlam bir şekilde yere sabitlenmeli, binalar için nivelman bulonları bina cephelerine oturtulmalıdır (Şekil 4.1), (Şekil 4.2). Tünel içindeki deformasyon noktaları, belirli mesafelerde oluşturulan kesitler halinde ve her kesitte tüneli temsil edebilecek yerlere ve tüneli temsil edebilecek sayıda olmalı, en az zarar görecekt bölümlere genellikle tünelin üst yarı ve alt yarı duvarlarına tesis edilmelidir (Şekil 4.2), (Şekil 4.3). Jeodezik ölçümler ve deformasyon ölçümlerinde kullanılan reflektör çeşitleri Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 Tünel içinde ve dışında kullanılan deformasyon noktaları [68]



Şekil 4. 2 Yüzey (solda), bina (ortada), tünel içi (sağda) deformasyon tesisleri [34]



Şekil 4. 3 Tünel içinde kullanılan deformasyon noktaları (Denizli Honaz Tüneli)



Şekil 4. 4 Reflektör çeşitleri [69]

Tünelde kazı yapılp birincil desteklemeler (çelik hasır, çelik iksa, çelik kafes, püskürtme beton, kaya/ibo bulonu) yerleştirildikten sonra tünel üst yarı ve alt yarı duvarlarına deformasyon noktaları tahkim edilir. İlk hafta günlük, ikinci hafta 2 kez, üçüncü hafta 1 kez, dördüncü hafta 1 kez sonra ayda 1 defa olmak üzere deformasyon olmadığı anlaşılan kadar ( $d < 2$  mm/ay) jeodezik ölçümler yapılır [60]. Deformasyonun arttığı kesitlerde sayıya bağlı kalmaksızın ölçümler sıklaştırılarak deformasyon hızına göre günde en az 1 defa yapılmalıdır.

#### 4.1 Tünel Deformasyonlarını Belirleme Yöntemleri

Tünellerde mutlak deformasyonları belirlemek için jeodezik yöntemler, bağıl deformasyonları belirlemek için de jeoteknik yöntemler kullanılır.

##### 4.1.1 LIDAR ve Yersel Lazer Tarama (YLT) Yöntemi

LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging) (Lazerle görüntüleme algılama ve mesafe tayini) yöntemi; yersel ve hareketli platformlardan GPS-IMU (İnertial Measurement Unit-Sabit Ölçüm Ünitesi)/INS (İnertial Navigation Systems-Sabit Navigasyon Sistemleri) sistemleri ve lazer tarama teknolojisinin beraber kullanılmasıyla yüksek doğruluklu ve çok sayıda 3B (y, x, z) konum verisinin hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edildiği bir sistemdir. LIDAR hava sisteminin bileşenleri; lazer tarayıcı, IMU/INS sistemleri ve GPS sistemidir (Şekil 4.5).

LIDAR yöntemi, günümüzde arkeoloji, mimari, arşivcilik, yatırım kararları, endüstri, modelleme, şehircilik, planlama, cadde/sokak silüetleri, numarataj, tarihi binalar, madencilik, orman işleri, heyelan çalışmaları, enerji hatları, köprüler, harita yapımı, adli tıp, kalite kontrolü, olay yeri, CBS ve tünelcilik çalışmaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [70], [71]. Lazer tarama cihazları, yersel ve hareketli ortamlarda kullanılarak farklı LIDAR görüntüleri elde edilebilmektedir [72]: Bu ortamlar;

- 1) Yersel lazer tarama (YLT),
- 2) Mobil (kara-deniz taşıtları),

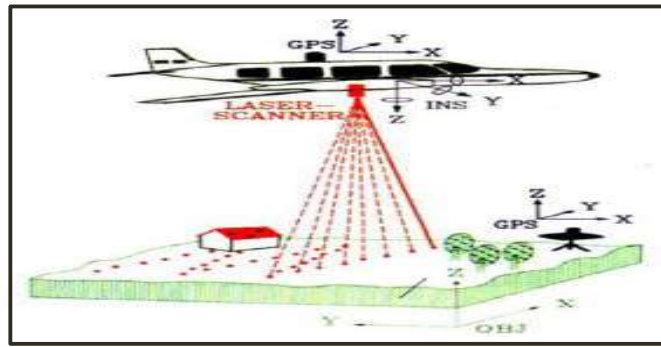
3) Uzay (uydular),

4) Hava araçları (uçak-helikopter).

LIDAR sisteminin bileşenlerinden **lazer tarayıcı**; ışın gönderici, ışın alıcı, ışın tarama aynası ve kontrol ünitesinden meydana gelmekte olup farklı tipte tarama aynaları mevcuttur [73].

LIDAR sisteminin diğer bileşeni **IMU/INS birimi**; üzerindeki ivmeölçerler ve jiroskop sayesinde LIDAR tarayıcısının y, x, z eksenleri boyunca meydana gelen açısal sapmalarını (eğiklik, dönüklük, titreşim) anlık olarak ölçen ve kaydeden bir sistemdir [73].

LIDAR sisteminin bir diğer bileşeni **GPS birimi**; hava araçlarına monte edilen GPS alıcıları ve CORS/RTK yöntemleri kullanılarak yine hava araçlarına takılan LIDAR tarayıcısının anlık ve gerçek zamanlı 3B konum bilgilerini ölçen bir sistemdir [73].



Şekil 4. 5 LIDAR hava ölçme sistemi [73]

72

Şekil 4.5’de görüleceği üzere belirli yükseklikte ve güzergahta uçuş yapan hava aracındaki lazer tarayıcıdan yüzeye lazer ışınları gönderilerek aşağıdaki topoğrafya belirli açılarda ve yoğunlukta taranır. Aynı anda GPS birimi tarafından lazer tarayıcının 3B konum bilgisi sürekli kaydedilir. Eksenler boyunca oluşan açısal sapmalar da IMU/INS birimi tarafından belirli aralıklarla ölçülür. 3 farklı bileşenden gelen datalar (lazer tarayıcıdan lazer ışınlarının tarama açıları, lazer ışınlarının mesafeleri ve yoğunlukları, IMU/INS’den lazer ışınlarının açısal sapmaları, GPS’den konum bilgileri) bilgisayar ortamında ve ilgili programlarda işlenir. Sonuçta araziye ait milyonlarca noktanın 3B konum bilgileri, kısa sürede, ekonomik ve yüksek doğrulukta elde edilmiş olur. Sistemin hassasiyetini etkileyen temel faktörler; hava aracının uçuş güzergahı, hava aracının uçuş hızı ve uçuş yüksekliği, lazer ışınlarının hızı, lazer tarayıcının kalitesi ve özellikleri, lazer tarama açısı ve tarama hızı, GPS doğruluğu, açısal sapmalar, atmosferik şartlar, lazer ışınlarının çoklu yansıma kayıt özelliği, filtreleme yöntemleri ve veri işleminde kullanılan yazılımlardır.

**Yersel Lazer Tarama (YLT) (Terrestrial Laser Scanning) (TLS) yöntemi**; LIDAR yönteminin yersel olarak uygulanmasıdır. YLT sistemi, aşağıdaki bileşenlerden oluşur [74], (Şekil 4.6): 1) Lazer tarayıcı (tarama ünitesi), 2) Kontrol ünitesi, 3) Güç kaynağı, 4) Tripod/sehpa.



Şekil 4. 6 Yersel lazer tarayıcı (YLT) ve bileşenleri [75], [76]

Lazer tarayıcıların özellikleri değişiklik göstermekle birlikte genellikle yatayda 360° ve düşeyde 270°'lik bir alan taranabilmektedir. Bazı tarayıcı modellerinde sayısal kameralar mevcuttur. Bu kameralar sayesinde ölçülen noktalara renk değerleri RGB (kırmızı, yeşil, mavi) verilerek renkli nokta kümeleri elde edilebilmektedir. Değişik alanlarda kullanılabilen farklı türde ve özellikte lazer tarayıcılar mevcuttur [77], [78]. Çalışmanın büyüklüğü, zaman, hız ve hassasiyete göre uygun bir lazer tarayıcı seçilmelidir. YLT cihazlarının bazıları total station mantığıyla çalışmamaktadır. Bu tip cihazlarla elde edilen noktalar, cihaz merkezine göre ve her istasyon noktasında herhangi bir doğrultuya yönlendirilmiş olarak elde edilen lokal koordinatlı verilerdir. Tek bir noktadan nesnenin lazer taraması yapılamıyorsa farklı istasyonlardan elde edilen lazer taramalar uygun yöntemlerle birleştirilerek bütün oluşturulmalı ve oluşturulan bütün jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmelidir.

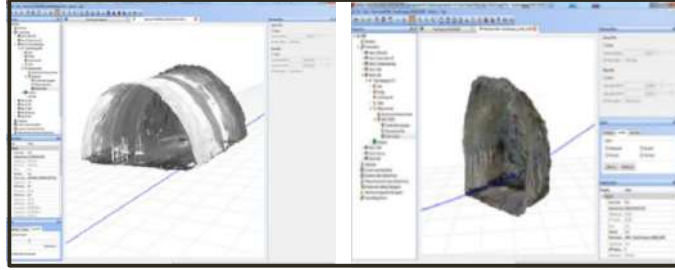
73

YLT yöntemiyle ölçülen nokta bulutlarının doğruluğunu etkileyen faktörler; ölçüm yapılan objenin nitelikleri (rengi, pürüzlülüğü ve geçirgenliği), ortamdaki manyetik alan, ortamın nemi ve sıcaklığı, ortamdaki toz miktarı, lazer tarayıcının açısı ve mesafe doğruluğu, tarayıcının çözünürlüğü, ışın kalınlığı ya da kenar etkisi, yansıyan ışının gücü ve objenin YLT cihazına olan uzaklığı sayılabilir. Beyaz renge yakın tonlarda ışın yansıması fazla olduğu halde siyah renge yakın tonlarda ışın yansıması daha azdır. Obje yüzeyinin düz ve pürüzsüz olduğu durumlarda 3B nokta kümeleri bozuk ve düzensizdir. Tarama yoğunluğu yükseltilerek veri kalitesi artırılabilir gibi lazer tarayıcı ile obje arasındaki mesafe kısaltılarak da veri kalitesi yükseltilebilir.

YLT sistemi, son yıllarda yersel olarak özellikle tünel ölçümlerinde sıkça kullanılmaktadır. YLT yönteminde tünelin tamamı taramaz. Özel olarak belirlenmiş ve tüneli temsil edebilecek kesitlerde tarama yapıp tarama yapılmayan diğer kesitlerde enterpolasyon yapılarak tünelin tamamı için 3B nokta bulutları çok kısa bir sürede elde edilir (Şekil 4.7). Elde edilen nokta verileriyle yazılımlar sayesinde her türlü filtreleme (bölümleme temelli filtreleme, yüzey temelli filtreleme, morfolojik filtreleme, ilerleyen sıklaştırma), sınıflandırma ve enterpolasyon işlemleri hızlıca yapılabilmektedir [76], (Şekil 4.8). Kesitlerde enterpolasyon yapıldığı için farklı hatalara yol açması ve doğruluğunun diğer tekniklere göre düşük olması (100 m'de  $\pm 1$  cm'nin altında mesafe/konum doğruluğu) yöntemin eksi taraflarını oluşturur [79].

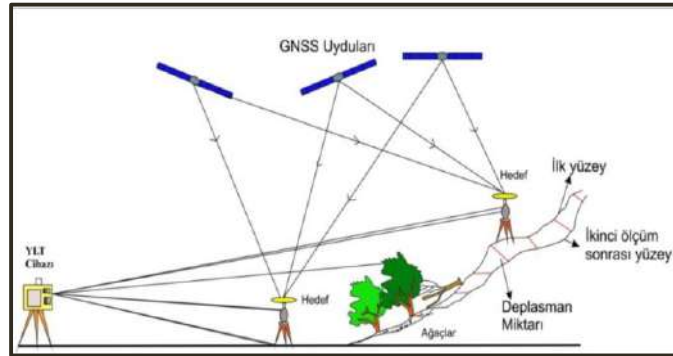


Şekil 4. 7 Yüksek çözünürlüklü YLT ve tünel taramaları [32], [80]



Şekil 4. 8 YLT ile üretilen tünel görüntüleri [77]

YLT yöntemi ile GNSS sistemi birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışabilmekte ve istenilen ölçümler gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4. 9 YLT ve GNSS teknolojisi [75]

YLT cihazlarıyla elde edilen lokal koordinatlı nokta bulutlarının birleştirilmesini (bütünün oluşturulmasını) ve lokal koordinatlı nokta bulutlarının jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesini sağlayan yöntemler mevcuttur [81], [82], [83], [84], [85].

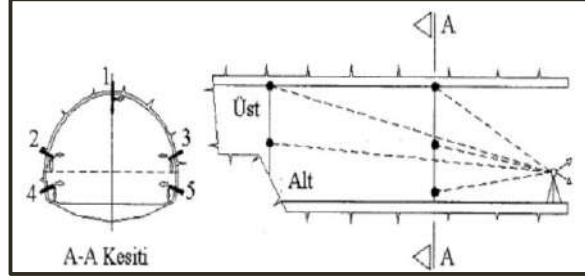
#### 4.1.2 Yakın Mesafe Fotogrametrisi

Yakın mesafe fotogrametri yönteminde, yüzeyi/objeyi/tüneli temsil edebilecek uygun bir dağılımda ve yeterli sayıda referans noktasına gereksinim vardır. Fotoğraflama yapılacağı için yüzeyin/objenin/tünelin çok iyi aydınlatılmasına ve fotoğraflar ile referans noktalarının kıymetlendirilebilmesi için de 2 ayrı istasyondan çekilmiş stereo görüntülere (çift görüntülere) ihtiyaç duyulur. Yöntemin doğruluğu  $\pm 2,5$  mm kadardır [79].

#### 4.1.3 Jeodezik Ölçü Yöntemi

Tünel deformasyonlarını belirleyebilmek için tünel kazısı gerçekleştirilip geçici (birincil) destekleme yapıldıktan sonra belirli mesafelerde tünel tavanı ve yan duvarlarında tüneli temsil

edebilecek sayıda ve uygun yerlere deformasyon noktaları tesis edilir. Tesis edilen noktaların 3B koordinatları (y, x, z), jeodezik ağ yardımıyla ve total station cihazlarıyla ölçülür (Şekil 4.10). Mümkün olan durumlarda düşey deformasyonları belirlemek için geometrik/hassas geometrik nivelman yapılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 4. 10 Total station ile deformasyon ölçümü [52]

Tünel deformasyonları için değişik zamanlarda periyodik olarak jeodezik ölçümler yapılır. ( $t_0$ ) periyodundaki ilk ölçümler ( $y_0, x_0, z_0$ ) referans ölçüsü olarak kabul edilir. ( $t_i$ ) periyotlarında gerçekleştirilen sonraki ölçümler ( $y_i, x_i, z_i$ ), referans ölçümleriyle karşılaştırılarak ( $y_i - y_0, x_i - x_0, z_i - z_0$ ) noktaların deformasyonları (yer değiştirmeleri) belirlenir [54], [86]. Noktaların (y) ve (x) koordinat farkları yatay yöndeki yer değiştirmeleri, (z) koordinat farkları da düşey yöndeki yer değiştirmeleri göstermektedir.

#### 4.1.4 Lazer İnterferometri Sistemi (Laser Interferometry System) (LIS)

75

TBM (EPBM) makinaları ile tünel açılmasında segmentler, segment kalıpları ve segmentlerin imalatı gündeme gelmektedir. Segment kalıplarının imalatı çok hassas yapılmalıdır ki segmentlerin imalatı da minimum hatayla gerçekleştirilebilsin [34]. Hatalı üretilen segmentler, tünel inşaatında birbirleriyle tam bağlanamayacak, segmentlerin mukavemeti azalacak ve tünel içine yeraltı sularının sızmasına sebep olacaktır. Segmentlerin üretimi ve montajlarının kontrolünde kullanılan en etkili yöntemler; Lazer İnterferometri Sistemi [87], [88], [89], yakın resim fotogrametrisi [79] ve çoklu teodolit yöntemidir. Lazer interferometri yönteminde bu iş için özel olarak üretilmiş lazer interferometri cihazları ve kutupsal koordinat ölçü yöntemi kullanılır (Şekil 4.11).



Şekil 4. 11 Segment kalıbı ve segmentlerin ölçümü [47]

#### 4.1.5 Jeoteknik Yöntemler

Tünel ve çevresindeki deformasyonları belirlemek için kullanılan birçok jeoteknik yöntem mevcuttur [44], [49], [52], [54], [86], [90], [91], [92], [93], [94]. Bu yöntemlere örnek olarak Şerit (Tape) ekstansometre ölçümleri, çubuk ekstansometre ölçümleri, inklinometre ölçümleri, yüzey ve bina oturma ölçümleri, ankraj yük hücre ölçümleri, kaya bulonu yük hücre ölçümleri sayılabilir. Ayrıca hidrolik basınç hücre ölçümleri, tiltmetre (eğimölçer), strain-gage (strengç), piezometre, manyetik oturma kolonları gibi yöntemler de mevcuttur. Manometre (basınçölçer), manyetometre, radon ölçer, sismograf, gravimetre, voltmetre ve ring konverjans ölçüm sistemleri de kullanılan jeoteknik yöntemlerdendir.

## 5. DEFORMASYON ANALİZİ

Deformasyon analizi; deformasyonları belirlemek için yapılan ölçümlerin belirli hassasiyetler içinde yapılması, yatay ve düşey hareketlerin belirlenmesi, hareketlerin anlamlı hareketler olup olmadığına karar verilebilmesi için uyumsuz ve hatalı ölçülerin ayıklanması, ölçülerin gerektiğinde yenilenmesi, matematiksel model oluşturulup dengeleme yapılması, ortaya çıkan sonuçların istatistik bilimi yardımıyla yorumlanması ve yorumlara göre gereken tedbirlerin alınması süreçlerinin bütünüdür.

Deformasyon ölçme ve modelleme teknikleri olarak yüzeyin/objenin/tünelin fiziksel özelliklerine (büyüklüğüne, geometrisine), çevre şartlarına (zemin durumu, sıcaklık, basınç, rüzgar, yağış vb.) ve objede/tünelde beklenen hareketlerin özelliği ve büyüklüğüne göre 3 yöntem söz konusudur [64], [65], [66], [95]. Bu yöntemler; statik yöntemler, dinamik yöntemler ve kinematik yöntemlerdir.

### 5.1 Deformasyon Analiz Yöntemleri

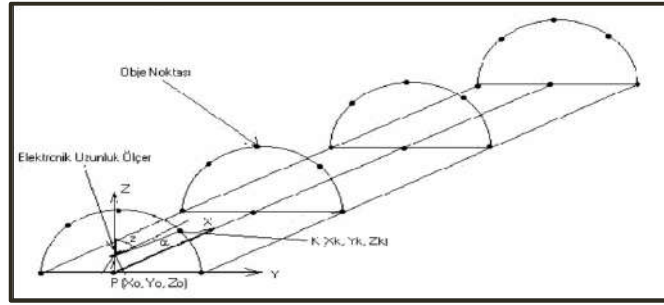
Deformasyon ölçümü ve analizinde kullanılan pek çok yöntem mevcuttur [54], [65], [67], [79], [86], [96], [97], [98]. Bu yöntemler; En Küçük Kareler Yöntemi, Serbest Ağ Dengelemesi (Tüm İz Minimum-Kısmi İz Minimum), Ortalama Aykırılıklar Yöntemi (Teta Kare  $\theta^2$ ), Kalman Filtreleme Yöntemi, Mierlo Yöntemi, Cholesky Çarpanlara Ayırma Yöntemi, Analitik Yöntemle Deformasyon Analizi, Bağlı Güven Elipsleri Yöntemi, Yükseklik Farkları ile Deformasyon Analizi, Helmert Varyans Bileşen Tahmin (HVB T) Yöntemi, MINQUE Varyans Bileşen Tahmin Yöntemi, S-Transformasyonu (Dönüşümü) Yöntemi, Eğri Kümelenmesi Yoluyla Deformasyon Analizi, Zamana Bağlı Deformasyonların Tünel Yakınsamasına Etkisi, Yer Değiştirme Vektörü ve Yer Değiştirme Vektör Yönelimi, Yer Değiştirme Vektörüyle Deformasyon Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemidir.

Deformasyon analiz yöntemlerinden yer değiştirme vektörüyle deformasyon analizi yöntemi anlatılmış ve bu yöntemle Denizli Honaz Tünelinde deformasyon uygulaması yapılmıştır.

#### 5.1.1 Yer Değiştirme Vektörüyle Deformasyon Analizi

Tünellerde belirli aralıklarda kesitler (profiller) oluşturulur. Bu kesitler üzerinde tavan ve yan duvarlarda deformasyon analizinde kullanılmak üzere tüneli en iyi şekilde temsil edecek sayıda ve uygun dağılımda deformasyon noktaları tesis edilir. Deformasyon noktalarının

koordinatları, tünel içindeki jeodezik ağdan ve jeodezik ölçüm aletleriyle periyodik olarak ölçülür (Şekil 4.10), (Şekil 5.1). Çeşitli periyotlarda ölçülmüş koordinatlar yardımıyla oluşan yer değiştirmeler belirlenir [54], [86]. ( $t_0$ ) zamanındaki ilk yapılan ölçüm değerleri ( $y_0, x_0, z_0$ ) başlangıç değerleri olarak kabul edilir. Tüm deformasyon noktalarında ( $t_i$ ) zamanındaki ( $y_i, x_i, z_i$ ) koordinatlarından ( $t_0$ ) zamanındaki ilk ölçülen ( $y_0, x_0, z_0$ ) koordinatları çıkarılır ( $y_i - y_0, x_i - x_0, z_i - z_0$ ).



Şekil 5. 1 Tüneldeki deformasyon noktalarının jeodezik ölçümü [54], [86]

Koordinat farkları, nokta hareketlerini gösteren yer değiştirme vektörü, noktaların ölçü periyotlarındaki genel ortalama hatası, kesitin genel ortalama hatası, koordinat farklarının ortalama hatası, deformasyon vektörünün ortalama hatası ve test büyüklüğü aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır [54], [86].

Farklı zamanlarda ( $j$ ) noktasındaki koordinat farkları;

$$dy_j = y_{t_1} - y_{t_0}, \quad dx_j = x_{t_1} - x_{t_0}, \quad dz_j = z_{t_1} - z_{t_0} \quad (5.1)$$

( $j$ ) noktasındaki yer değiştirme (hareket) (deformasyon) vektörü;

$$d_j = \sqrt{dy_j^2 + dx_j^2 + dz_j^2} \quad (5.2)$$

Kesitte bulunan ( $j$ ) noktasının ölçü periyotlarındaki tüm koordinatlarına göre bulunan genel ortalama hatası;

$$m_{0_j} = \sqrt{\frac{(\nu_{y_i}^2 + \nu_{x_i}^2 + \nu_{z_i}^2)}{3 \cdot (n-1)}}, \quad (i=1, 2, 3, \dots, n), \quad (j=1, 2, 3, \dots, k) \quad (5.3)$$

Burada; ( $\nu_{y_i}, \nu_{x_i}, \nu_{z_i}$ ); nokta koordinatlarının ortalama koordinat değerlerinden olan farklar ( $\nu_i = X_{ort} - \ell_i$  düzeltmeler),  $n$ ; ölçü periyodu sayısı,  $k$ ; kesitteki nokta sayısıdır.

Kesit için bulunan genel ortalama hata;

$$m_0 = \frac{\sum_{j=1}^k m_{0_j}}{k} \quad (5.4)$$

Koordinat farklarının ortalama hatası;

$$m_{dy}, m_{dx}, m_{dz} = m_0 \cdot \sqrt{2} \quad (5.5)$$

(5.2) denkleminde nokta koordinatları arasındaki korelasyon dikkate alınmadan hata yayılma kuralı uygulandığında aşağıdaki formülde belirtilen deformasyon vektörünün ortalama hatası bulunur [54].

Deformasyon vektörünün ortalama hatası;

$$m_{d_j}^2 = \frac{(dy_j)^2}{dy_j^2 + dx_j^2 + dz_j^2} \cdot m_{dy}^2 + \frac{(dx_j)^2}{dy_j^2 + dx_j^2 + dz_j^2} \cdot m_{dx}^2 + \frac{(dz_j)^2}{dy_j^2 + dx_j^2 + dz_j^2} \cdot m_{dz}^2 \quad (5.6)$$

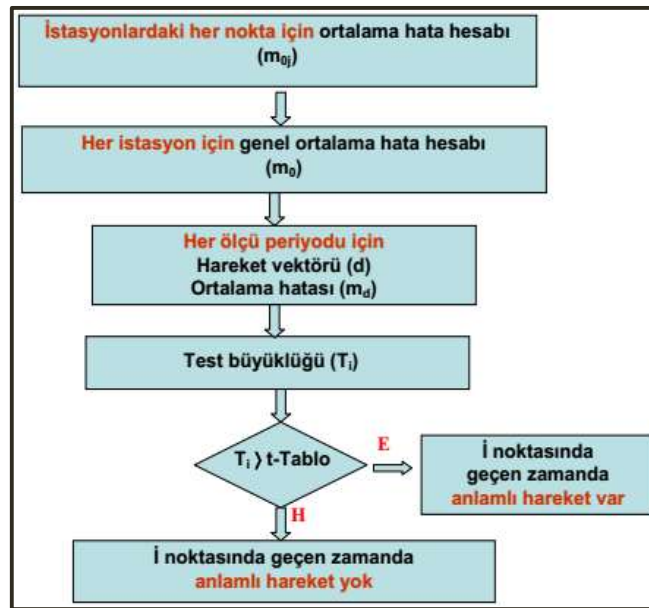
Test büyüklüğü; serbestlik derecesi;

$$T_j = \frac{|d_j|}{m_{d_j}}, \quad f = n - u \quad (5.7)$$

Eşitliklerde;  $d_j$  ; nokta hareketini gösteren yer değiştirme vektörünü,  $T_j$  ; test büyüklüğünü,  $m_{d_j}$  ;  $d_j$  vektörünün ortalama hatasını,  $f$  ; serbestlik derecesini,  $n$  ; bir kesitin tüm periyotlarındaki toplam ölçü sayısını,  $u$  ; kesitteki toplam nokta sayısını ( $k$ ) göstermektedir.

$T_j$  değeri,  $t_{tablo}$  değeriyle karşılaştırılır.  $T_j > t_{f,0.975}$  ise noktanın geçen süre esnasında hareket ettiğine [54], [86],  $T_j < t_{f,0.975}$  ise noktanın geçen süre zarfında hareket etmediğine hükmedilir.

Yukarıda anlatılan deformasyon ölçümleri ve analiz süreci, Şekil 5.2’de özetlenmiştir.



Şekil 5. 2 Jeodezik ölçülerle yapılan deformasyon analizi [54]

## 6. DEFORMASYON UYGULAMASI (DENİZLİ HONAZ TÜNELİ)

### 6.1 Tünel ve Bağlantı Yolları Genel Durumu

Denizli ili Honaz İlçesi Ovacık Mahallesi sınırları içerisinde bulunan Honaz Tüneli ve bağlantı yolları; Denizli Çevre Yolları Projesinin Denizli-Ankara Karayolunu (Kale Kavşağından) Denizli-Antalya Karayoluna (Cankurtaran Kavşağına) bağlayacak yaklaşık 14 km'den oluşan 2. etabını oluşturmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Denizli çevre yolları ile Honaz Tüneli ve bağlantı yolları

Tünel inşaatının yapılmasıyla 22500 ağacın kesilmesi ve 554000 m<sup>2</sup> arazinin kamulaştırılması önlenmiş olup 4200000 m<sup>3</sup> kazı yerine 1700000 m<sup>3</sup> kazı yapılması sağlanmıştır. Ayrıca trafik güvenliği, hava ve gürültü kirliliği, ekonomik ve çevre etkenler ile seyahat süresinin kısalması gibi pek çok olumlu etkisi de mevcuttur.

Honaz Tüneli, sağ tüp uzunluğu 2530 m ve sol tüp uzunluğu 2540 m olmak üzere çift tüpten oluşmaktadır (Şekil 6.2). Sağ tüpün başlangıç/bitiş kilometreleri (10+595/13+125), sol tüpün başlangıç/bitiş kilometreleri (10+585/13+125). Tüplerin çapları 6,5 m olup tüp genişlikleri 11 m'dir. Tüplerin içinde 5'er adet sığınma cebi ve tüpler arasında 5 adet bağlantı tüneli mevcuttur. Tünelin üst kotu ile yüzey arasındaki maksimum örtü kalınlığı 226 m olup tüplerin eksenleri arasındaki mesafe de 28 m'dir. Tüneler, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (New Austrian Tunnelling Method) (NATM) ile inşa edilmektedir. Kazı işlemi için sert zeminlerde dinamit, diğer zemin türlerinde kırıcı ve taşıma için de kamyonlar kullanılmaktadır. Geçici (birincil) destekleme elemanları olarak zemin sınıflarına göre çelik hasır, 0,50-1 m aralıklarla çelik iksa ve 3 m'de bir çelik kafes, püskürtme beton, ibo bulonu, keçe, membran, kalıcı destekleme olarak kemer betonları kullanılmaktadır (Şekil 6.3).



Şekil 6.2 Honaz Tüneli giriş portalı (sol) ve çıkış portalı (sağ)



Şekil 6. 3 Honaz Tüneli inşaatından görünümeler

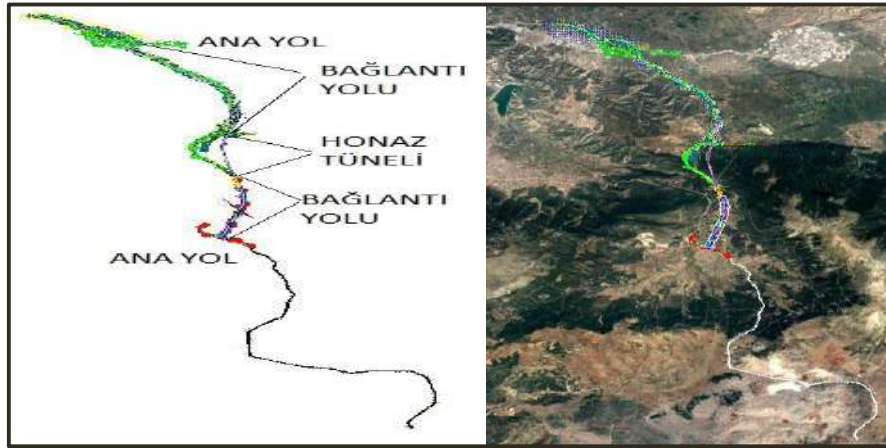
Tünel ölçmelerinde Leica TS09 Plus total station ile Casio FX 880P hesap makinası, tünel yazılımlı Leica Viva TS16 robotik total station, Bosch Gol 20 D model nivo, Amberg Tunnel 2.0 yazılımı ve çeşitli CAD yazılımları kullanılmaktadır (Şekil 6.11). Bağlantı yollarının yapımında Topcon GR5 model GNSS alıcıları, Bosch Gol 20 D model nivo ve çeşitli CAD yazılımları kullanılmaktadır.

Denizli ili, 50 km uzunluğunda ve 24 km genişliğinde KB-GD uzanımlı çöküntü havzasında kalmakta, tektonik olarak 1. derece deprem bölgesinde bulunmakta olup Gediz, Çürüksu ve Büyük Menderes grabenlerinin kesişim noktasında yer almaktadır [99]. Honaz Tünelinin yapıldığı arazinin zemin yapısı, B3i-C2-C3 kaya sınıflarından meydana gelmekte olup yaklaşık %80'lik kısmı C2, yaklaşık %16'lık kısmı C3 ve yaklaşık %4'lük kısmı da B3i zemin sınıfından oluşmaktadır.

## 6.2 Karayolu ve Tünel İçin Döşenen Jeodezik Ağ

80

Bağlantı yolları ve Honaz Tünelini içine alacak ve yaklaşık 17 km'lik ilave güzergahı da (Şekil 6.4) kapsayacak şekilde jeodezik ağ tesis edilmiş olup [29] a göre ölçümleri ve hesapları yapılmış, Karayolları 2. Bölge Müdürlüğünün isteğiyle Denizli Tapu ve Kadastro 18. Bölge Müdürlüğünce 2007 yılı sonunda kontrolü ve tescili yapılmıştır [100]. İş kapsamında 4 adet tescilli C1 noktası, 1 adet tescilli C2 noktası ve 4 adet tescilli TUTGA noktası kullanılarak 2 adet yeni C2 (SGA) noktası, 10 adet C3 (ASN) noktası ve 268 adet C4 (poligon) noktası GNSS tekniğiyle üretilmiştir (Şekil 6.5), (Şekil 6.6), (Şekil 6.7). Baz mesafelerinin C2 noktalarında 15 km'yi, C3 noktalarında 10 km'yi ve C4 noktalarının üst dereceli noktalara uzaklıklarının da 5 km'yi aşmadığı görülmüştür. Nivelman işlemi için 1 adet HGK (Harita Genel Komutanlığı) noktası ve 2 adet TCK (Türkiye Cumhuriyeti Karayolları) noktası kullanılmış, 2 etap halinde gidiş-dönüş nivelmanı ile serbest ve dayalı dengeleme yapılmış ve 25 adet AN (Ana Nivelman) noktası üretilmiştir (Şekil 6.8). C4 noktalarının kotları AN noktalarından geometrik nivelmanla verilmiş, 7 adet C4 noktasının kotu diğer C4 noktalarından trigonometrik nivelmanla taşınmıştır (Şekil 6.9). GNSS ölçümleri için çift frekanslı Leica SR 500 ve Leica SYSTEM 1200 alıcı cihazları ve baz çözümleri için Leica Geo Office yazılımı kullanılmıştır. C2 noktaları için serbest ve dayalı dengeleme, C3 noktaları ve C4 noktaları için dayalı dengeleme yapılmıştır [100].



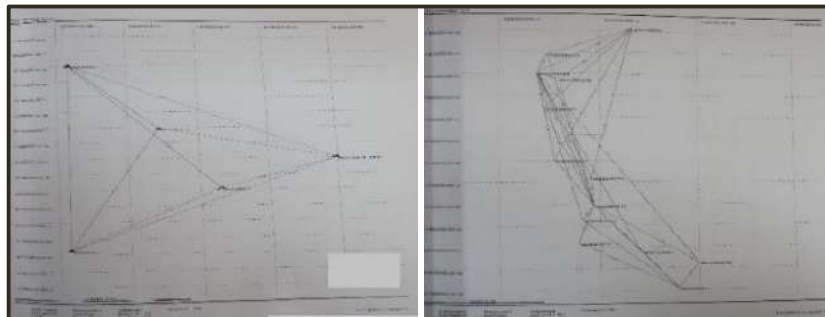
Şekil 6. 4 Jeodezik ağ güzergahı (Honaz Tüneli, bağlantı yolları ve ana yollar)



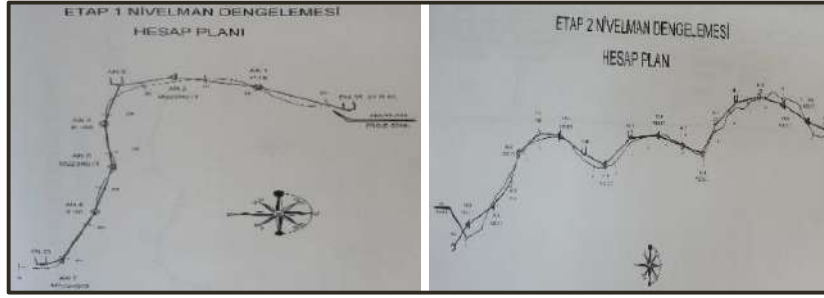
Şekil 6. 5 Honaz Tüneli giriş portalındaki pilyeler



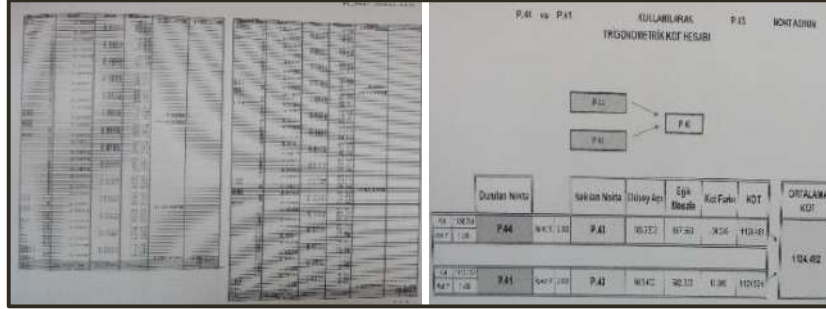
Şekil 6. 6 Honaz Tüneli çıkış portalındaki pilyeler



Şekil 6. 7 C2 (sol) ve C3 noktalarının ölçüm kanavaları (Honaz Tüneli bağlantı yolları) [100]



Şekil 6. 8 Nivelman kanvası 1. etap (sol) ve 2. etap (Honaz Tüneli bağlantı yolları) [100]



Şekil 6. 9 Geometrik (sol) ve trigonometrik nivelman (Honaz Tüneli bağlantı yolları) [100]

### 6.3 Deformasyon Uygulaması (Denizli Honaz Tüneli)

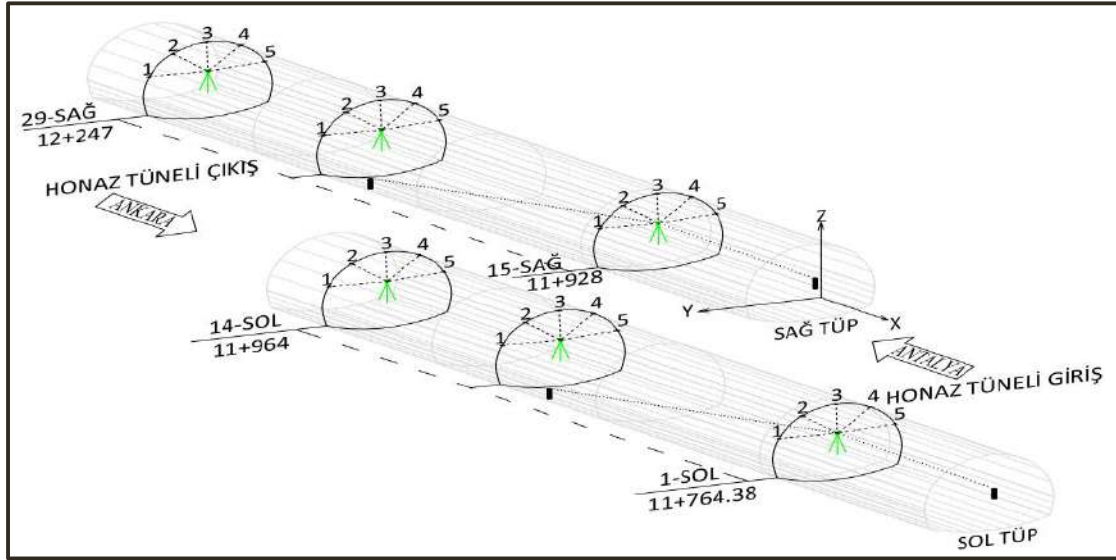
Denizli Honaz Tünelinde gerçekleştirilen deformasyon uygulamasında sol tüpte 1-SOL (11+764.38 km) ile 14-SOL (11+964.00 km) arasında 14 kesit (profil), sağ tüpte 15-SAĞ (11+928.00 km) ile 29-SAĞ (12+247.00 km) arasında 15 kesit olmak üzere toplam 29 kesitte tünel üst yarısına sabitlenen 5'er adet deformasyon noktası (Şekil 4.3), ilk gün ve diğer günlerde total station cihazıyla periyodik olarak tünel içindeki jeodezik ağdan ölçülmüştür (Şekil 6.10), (Şekil 6.11). 1 nolu nokta sol üst yarıya, 2 nolu nokta sol omuza, 3 nolu nokta eksene, 4 nolu nokta sağ omuza ve 5 nolu nokta sağ üst yarıya monte edilmiştir (Şekil 6.12). 1-SOL kesitinde 5 nolu nokta ve 23-SAĞ kesitinde 2 nolu nokta mevcut değildir.



Şekil 6. 10 Honaz Tüneli içindeki pilyeler ve konsol (sağ)



Şekil 6. 11 Total station ile yapılan jeodezik ölçümlerden görüntüler (Honaz Tüneli)



Şekil 6. 12 Honaz Tünelinde deformasyon uygulaması yapılan kesitler ve noktalar

Deformasyon nokta tesislerinin duvarlara tahkim edildiği gün yapılan ölçümler referans ölçümü kabul edilmiş, diğer günlerde yapılan ölçümler referans ölçümünden çıkarılarak koordinat farkları bulunmuş ( $dy$ ,  $dx$ ,  $dz$ ) ve ölçüm periyotları için ayrı ayrı olmak üzere noktaların yer değiştirmelerini gösteren deformasyon vektörleri ( $d_j$ ) hesaplanmıştır. Noktaların tüm periyotlarda ölçülen koordinatlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır ( $Y_{ort}$ ,  $X_{ort}$ ,  $Z_{ort}$ ). Aritmetik ortalama koordinatlarından periyotlardaki koordinatların sırasıyla farkları alınarak periyotlardaki koordinatların düzeltmeleri ( $v_i$ ) hesaplanmıştır. Noktaların ortalama hataları ( $m_{oj}$ ), kesitin genel ortalama hatası ( $m_0$ ), koordinat farklarının ortalama hataları ( $m_{dy}$ ,  $m_{dx}$ ,  $m_{dz}$ ) ve deformasyon vektörünün ortalama hatası ( $m_{dj}$ ) bulunmuştur. Noktalardaki hareketlerin anlamlı olup olmadığını saptayabilmek için deformasyon vektörü ve deformasyon vektörünün ortalama hatasından periyotların test büyüklükleri ( $T_j$ ) hesaplanmıştır. Hesaplanan test büyüklükleri ( $1-\alpha/2$ ,  $\alpha=0,05$ ) güven aralığında ( $t_{f,0.975}$ ) tablo değerleriyle karşılaştırılmıştır. Test büyüklüğünün ( $t_{f,0.975}$ ) tablo değerinden büyük olduğu periyotlardaki deformasyon noktalarında anlamlı hareketler olduğu sonucuna varılmıştır [54], [86]. Ayrıca her kesit için periyotlarda oluşan deformasyon vektörlerinin zamana göre değişimlerini gösteren grafikler çizilmiştir. 29 adet kesit için söz konusu tüm büyüklüklerin hesabında, Bölüm 5.1.1'deki eşitlikler kullanılmıştır.

Uygulama yapılan sol ve sağ tüplerdeki kesitlerde, ölçüm yapılan günleri, ölçüm yapılan günlerin toplam sayılarını ve kesitlerin kilometrelerini gösteren çizelgeler aşağıda sunulmuştur (Çizelge 6.1), (Çizelge 6.2).

Çizelge 6. 1 Honaz Tüneli SOL tüpünde uygulama yapılan kesitlerin ölçüm periyotları

| KESİT NO<br>(SOL TÜP) | KM        | PERİYOTLAR                                  | PERİYOT<br>SAYISI | PERİYOT SAYISI<br>TOPLAMI |
|-----------------------|-----------|---------------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| 1-SOL                 | 11+764.38 | 2017 TEMMUZ 21-22-25-28                     | 4                 | 10                        |
|                       |           | 2017 AĞUSTOS 8-17                           | 2                 |                           |
|                       |           | 2017 EYLÜL 6-15                             | 2                 |                           |
|                       |           | 2017 EKİM 20                                | 1                 |                           |
|                       |           | 2017 KASIM 20                               | 1                 |                           |
| 2-SOL                 | 11+778.00 | 2017 EYLÜL 10-11-12-13-15-16-18-20-25       | 9                 | 11                        |
|                       |           | 2017 KASIM 10-20                            | 2                 |                           |
| 3-SOL                 | 11+791.00 | 2017 EYLÜL 15-16-18-19-20-25                | 6                 | 10                        |
|                       |           | 2017 EKİM 2-16                              | 2                 |                           |
|                       |           | 2017 KASIM 10-20                            | 2                 |                           |
| 4-SOL                 | 11+805.00 | 2017 EYLÜL 10-11-12-13-15-16                | 6                 | 11                        |
|                       |           | 2017 EKİM 2-16                              | 2                 |                           |
|                       |           | 2017 KASIM 10-20                            | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 MART 12                                | 1                 |                           |
| 5-SOL                 | 11+820.00 | 2017 EYLÜL 20-21-22-23-24-25-26             | 7                 | 12                        |
|                       |           | 2017 EKİM 2                                 | 1                 |                           |
|                       |           | 2017 KASIM 10                               | 1                 |                           |
|                       |           | 2017 ARALIK 20                              | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 ŞUBAT 26                               | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 MART 12                                | 1                 |                           |
| 6-SOL                 | 11+840.00 | 2017 EKİM 10-11-12-13-14-16-17-18           | 8                 | 14                        |
|                       |           | 2017 KASIM 10-20                            | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 ŞUBAT 9-26                             | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 MART 12-20                             | 2                 |                           |
| 7-SOL                 | 11+860.00 | 2017 KASIM 1-2-3-4-5-6-8-15-20              | 9                 | 16                        |
|                       |           | 2018 ŞUBAT 9-19-26                          | 3                 |                           |
|                       |           | 2018 MART 12-20-28                          | 3                 |                           |
|                       |           | 2018 NİSAN 5                                | 1                 |                           |
| 8-SOL                 | 11+870.00 | 2018 ŞUBAT 10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-26 | 11                | 16                        |
|                       |           | 2018 MART 10-20-25-28                       | 4                 |                           |
|                       |           | 2018 NİSAN 5                                | 1                 |                           |
| 9-SOL                 | 11+885.00 | 2018 ŞUBAT 10-11-12-13-14-15-16-17-19-26    | 10                | 14                        |
|                       |           | 2018 MART 12-20-28                          | 3                 |                           |
|                       |           | 2018 NİSAN 5                                | 1                 |                           |
| 10-SOL                | 11+900.00 | 2018 MART 1-2-3-4-5-6-7-8-9-12-20           | 11                | 14                        |
|                       |           | 2018 NİSAN 28                               | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 MAYIS 10-22                            | 2                 |                           |
| 11-SOL                | 11+911.00 | 2018 MART 15-16-17-18-19-20-21-23-28        | 9                 | 12                        |
|                       |           | 2018 NİSAN 2-20                             | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 MAYIS 22                               | 1                 |                           |
| 12-SOL                | 11+940.00 | 2018 MART 25-26-27-28-29-30-31              | 7                 | 12                        |
|                       |           | 2018 NİSAN 1-2-26                           | 3                 |                           |
|                       |           | 2018 MAYIS 4-22                             | 2                 |                           |
| 13-SOL                | 11+953.00 | 2018 NİSAN 25-26-27-28-29-30                | 6                 | 11                        |
|                       |           | 2018 MAYIS 1-2-4-15                         | 4                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |
| 14-SOL                | 11+964.00 | 2018 NİSAN 28-29-30                         | 3                 | 10                        |
|                       |           | 2018 MAYIS 1-2-3-4-15                       | 5                 |                           |
|                       |           | 2018 HAZİRAN 12                             | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |

Çizelge 6. 2 Honaz Tüneli SAĞ tüpünde uygulama yapılan kesitlerin ölçüm periyotları

| KESİT NO<br>(SAĞ TÜP) | KM        | PERİYOTLAR                                  | PERİYOT<br>SAYISI | PERİYOT SAYISI<br>TOPLAMI |
|-----------------------|-----------|---------------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| 15-SAĞ                | 11+928.00 | 2017 EYLÜL 25-26-27-28-29-30                | 6                 | 14                        |
|                       |           | 2017 EKİM 2-10-20                           | 3                 |                           |
|                       |           | 2017 KASIM 20                               | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 ŞUBAT 26                               | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 MART 12-20                             | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 NİSAN 5                                | 1                 |                           |
| 16-SAĞ                | 11+960.00 | 2017 KASIM 1-2-3-4-5-7-10                   | 7                 | 14                        |
|                       |           | 2018 OCAK 15                                | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 ŞUBAT 19-26                            | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 MART 12-20-28                          | 3                 |                           |
|                       |           | 2018 NİSAN 5                                | 1                 |                           |
| 17-SAĞ                | 11+978.00 | 2018 ŞUBAT 10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-26 | 11                | 16                        |
|                       |           | 2018 MART 12-20-25-28                       | 4                 |                           |
|                       |           | 2018 NİSAN 5                                | 1                 |                           |
| 18-SAĞ                | 12+000.00 | 2018 MART 15-16-17-18-19-20-21-23-25-28     | 10                | 12                        |
|                       |           | 2018 NİSAN 5                                | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 MAYIS 22                               | 1                 |                           |
| 19-SAĞ                | 12+017.00 | 2018 MART 15-16-17-18-19-20-21-23-25-28     | 10                | 12                        |
|                       |           | 2018 NİSAN 10                               | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 MAYIS 22                               | 1                 |                           |
| 20-SAĞ                | 12+034.00 | 2018 MART 25-26-27-28-29-30                 | 6                 | 10                        |
|                       |           | 2018 NİSAN 30                               | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 MAYIS 2                                | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 HAZİRAN 4                              | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |
| 21-SAĞ                | 12+051.00 | 2018 MART 25-26-27-28-29-30-31              | 7                 | 12                        |
|                       |           | 2018 NİSAN 1-2-26                           | 3                 |                           |
|                       |           | 2018 HAZİRAN 12                             | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |
| 22-SAĞ                | 12+064.00 | 2018 NİSAN 25-26-27-28-29-30                | 6                 | 12                        |
|                       |           | 2018 MAYIS 1-2-3-4                          | 4                 |                           |
|                       |           | 2018 HAZİRAN 12                             | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |
| 23-SAĞ                | 12+079.00 | 2018 NİSAN 25-26-27-28-29-30                | 6                 | 12                        |
|                       |           | 2018 MAYIS 1-2-3-4                          | 4                 |                           |
|                       |           | 2018 HAZİRAN 12                             | 1                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |
| 24-SAĞ                | 12+094.00 | 2018 NİSAN 28-29-30                         | 3                 | 10                        |
|                       |           | 2018 MAYIS 1-2-3-4                          | 4                 |                           |
|                       |           | 2018 HAZİRAN 12-30                          | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |
| 25-SAĞ                | 12+110.00 | 2018 MAYIS 10-11-12-13-14-15-17             | 7                 | 10                        |
|                       |           | 2018 HAZİRAN 12-30                          | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |
| 26-SAĞ                | 12+128.00 | 2018 MAYIS 10-11-12-13-14-15-17             | 7                 | 10                        |
|                       |           | 2018 HAZİRAN 12-30                          | 2                 |                           |
|                       |           | 2018 TEMMUZ 15                              | 1                 |                           |
| 27-SAĞ                | 12+210.00 | 2018 TEMMUZ 5-6-7-8-9-10-11-12-15           | 9                 | 9                         |
| 28-SAĞ                | 12+228.00 | 2018 TEMMUZ 5-6-7-8-9-10-11-12-15           | 9                 | 9                         |
| 29-SAĞ                | 12+247.00 | 2018 TEMMUZ 5-6-7-8-9-10-11-12-15           | 9                 | 9                         |

Çizelge 6. 3 Honaz Tüneli 12-SOL kesiti uygulama değerleri

| DENİZLİ HONAZ TÜNELİ                           |   |                                         |     |     |     |     |                                |                |                | KESİT NO : 12-SOL TÜP |                |                                                                                                             |        |       |       |       |                      |   |   | <div><div><div>Z</div><div>Y</div><div>X</div></div><div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div><div>5</div></div><div>UST YARI</div><div>TUNEL (SOL)</div></div> |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------|---|-----------------------------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|----------------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--|--|--|---|----------------|---|---|---|--|------------------------------|--|--|--|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KM : 11+940.00                                 |   |                                         |     |     |     |     |                                |                |                |                       |                |                                                                                                             |        |       |       |       |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| DEFORMASYON NOKTASI MONTAJ TARİHİ : 25.03.2018 |   |                                         |     |     |     |     |                                |                |                |                       |                |                                                                                                             |        |       |       |       |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| PERİYOT                                        | Z | KOORDİNAT FARKLARI<br>(dy, dx, dz) (mm) |     |     |     |     | DEFORMASYON<br>VEKTÖRLERİ (mm) |                |                |                       |                | DÜZELTMELER<br>V <sub>y</sub> <sup>2</sup> , V <sub>x</sub> <sup>2</sup> , V <sub>z</sub> <sup>2</sup> (mm) |        |       |       |       | m <sub>oj</sub> (mm) |   |   |                                                                                                                                                                            |   | m <sub>o</sub><br>(mm) | m <sup>2</sup> dy<br>m <sup>2</sup> dx<br>m <sup>2</sup> dz<br>(mm <sup>2</sup> ) | m <sub>dj</sub> (mm) |  |  |  |   | T <sub>j</sub> |   |   |   |  | (t <sub>i</sub> ,0.975=2.00) |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| TARİH                                          | Z | 1                                       | 2   | 3   | 4   | 5   | d <sub>1</sub>                 | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | d <sub>4</sub>        | d <sub>5</sub> | 1                                                                                                           | 2      | 3     | 4     | 5     | 1                    | 2 | 3 | 4                                                                                                                                                                          | 5 |                        |                                                                                   |                      |  |  |  | 1 | 2              | 3 | 4 | 5 |  |                              |  |  |  | AÇIKLAMA |                                                                                                                                                         |
| 25.03.18<br>(İLK OKUMA)                        | Y | 0                                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                              | 0              | 0              | 0                     | 0              | 68.1                                                                                                        | 41.2   | 35.0  | 64.0  | 15.3  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          | T <sub>j</sub> > t <sub>f</sub> DURUMU OLUŞAN KOYU KIRMIZI RENKLERİN OLDUĞU PERİYOTLAR VE NOKTALARDA ANLAMLILI HAREKETLER MEDYANA GELİDİĞİ GÖRÜLMÜŞTÜR. |
|                                                | X | 0                                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                              | 0              | 0              | 0                     | 0              | 7.6                                                                                                         | 162.6  | 28.4  | 142.0 | 58.8  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | 0                                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                              | 0              | 0              | 0                     | 0              | 784.0                                                                                                       | 1072.6 | 774.7 | 860.4 | 765.4 |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -6                                      | 0   | 0   | 0   | 0   |                                |                |                |                       |                | 5.1                                                                                                         | 41.2   | 35.0  | 64.0  | 15.3  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 26.03.18                                       | X | 0                                       | -5  | 0   | -10 | -7  | 8.5                            | 8.6            | 7.0            | 11.2                  | 9.9            | 7.6                                                                                                         | 60.1   | 28.4  | 3.7   | 0.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -6                                      | -7  | -7  | -5  | -7  |                                |                |                |                       |                | 484.0                                                                                                       | 663.1  | 434.0 | 592.1 | 427.1 |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -6                                      | 0   | -4  | -3  | -3  |                                |                |                |                       |                | 5.1                                                                                                         | 41.2   | 3.7   | 25.0  | 0.8   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 27.03.18                                       | X | 0                                       | -9  | 0   | -10 | -7  | 10.0                           | 17.5           | 14.6           | 15.9                  | 15.1           | 7.6                                                                                                         | 14.1   | 28.4  | 3.7   | 0.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -8                                      | -15 | -14 | -12 | -13 |                                |                |                |                       |                | 400.0                                                                                                       | 315.1  | 191.4 | 300.4 | 215.1 |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -7                                      | -7  | -4  | -3  | -3  |                                |                |                |                       |                | 1.6                                                                                                         | 0.3    | 3.7   | 25.0  | 0.8   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 28.03.18                                       | X | 0                                       | -9  | -3  | -12 | -7  | 19.3                           | 25.7           | 22.6           | 21.8                  | 19.5           | 7.6                                                                                                         | 14.1   | 5.4   | 0.0   | 0.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -18                                     | -23 | -22 | -18 | -18 |                                |                |                |                       |                | 100.0                                                                                                       | 95.1   | 34.0  | 128.4 | 93.4  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -7                                      | -7  | -4  | -9  | -3  |                                |                |                |                       |                | 1.6                                                                                                         | 0.3    | 3.7   | 1.0   | 0.8   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 29.03.18                                       | X | 0                                       | -14 | -3  | -12 | -7  | 26.0                           | 32.1           | 25.5           | 27.5                  | 24.2           | 7.6                                                                                                         | 1.6    | 5.4   | 0.0   | 0.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -25                                     | -28 | -25 | -23 | -23 |                                |                |                |                       |                | 9.0                                                                                                         | 22.6   | 8.0   | 40.1  | 21.8  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -7                                      | -7  | -4  | -9  | -3  |                                |                |                |                       |                | 1.6                                                                                                         | 0.3    | 3.7   | 1.0   | 0.8   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 30.03.18                                       | X | -3                                      | -14 | -3  | -12 | -7  | 31.0                           | 35.6           | 30.4           | 31.8                  | 29.0           | 0.1                                                                                                         | 1.6    | 5.4   | 0.0   | 0.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -30                                     | -32 | -30 | -28 | -28 |                                |                |                |                       |                | 4.0                                                                                                         | 0.6    | 4.7   | 1.8   | 0.1   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -7                                      | -7  | -5  | -9  | -3  |                                |                |                |                       |                | 1.6                                                                                                         | 0.3    | 0.8   | 1.0   | 0.8   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 31.03.18                                       | X | -3                                      | -14 | -7  | -12 | -7  | 32.9                           | 39.3           | 31.2           | 35.3                  | 31.0           | 0.1                                                                                                         | 1.6    | 2.8   | 0.0   | 0.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -32                                     | -36 | -30 | -32 | -30 |                                |                |                |                       |                | 16.0                                                                                                        | 10.6   | 4.7   | 7.1   | 5.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -7                                      | -7  | -8  | -9  | -3  |                                |                |                |                       |                | 1.6                                                                                                         | 0.3    | 4.3   | 1.0   | 0.8   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 01.04.18                                       | X | -3                                      | -14 | -7  | -12 | -7  | 34.8                           | 41.1           | 31.8           | 37.2                  | 32.9           | 0.1                                                                                                         | 1.6    | 2.8   | 0.0   | 0.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -34                                     | -38 | -30 | -34 | -32 |                                |                |                |                       |                | 36.0                                                                                                        | 27.6   | 4.7   | 21.8  | 18.8  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -7                                      | -10 | -8  | -11 | -3  |                                |                |                |                       |                | 1.6                                                                                                         | 12.8   | 4.3   | 9.0   | 0.8   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 02.04.18                                       | X | -7                                      | -14 | -7  | -12 | -7  | 37.3                           | 44.5           | 33.7           | 40.4                  | 34.8           | 18.1                                                                                                        | 1.6    | 2.8   | 0.0   | 0.4   |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -36                                     | -41 | -32 | -37 | -34 |                                |                |                |                       |                | 64.0                                                                                                        | 68.1   | 17.4  | 58.8  | 40.1  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -13                                     | -10 | -10 | -13 | -8  |                                |                |                |                       |                | 22.6                                                                                                        | 12.8   | 16.7  | 25.0  | 16.7  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 26.04.18                                       | X | -7                                      | -18 | -10 | -17 | -12 | 49.3                           | 60.6           | 48.1           | 56.2                  | 49.2           | 18.1                                                                                                        | 27.6   | 21.8  | 25.8  | 18.8  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -47                                     | -57 | -46 | -52 | -47 |                                |                |                |                       |                | 361.0                                                                                                       | 588.1  | 330.0 | 513.8 | 373.8 |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -16                                     | -11 | -12 | -14 | -9  |                                |                |                |                       |                | 60.1                                                                                                        | 21.0   | 37.0  | 36.0  | 25.8  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 04.05.18                                       | X | -5                                      | -19 | -12 | -17 | -12 | 51.8                           | 62.0           | 50.9           | 58.3                  | 51.2           | 5.1                                                                                                         | 39.1   | 44.4  | 25.8  | 18.8  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -49                                     | -58 | -48 | -54 | -49 |                                |                |                |                       |                | 441.0                                                                                                       | 637.6  | 406.7 | 608.4 | 455.1 |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Y | -16                                     | -11 | -12 | -16 | -9  |                                |                |                |                       |                | 60.1                                                                                                        | 21.0   | 37.0  | 64.0  | 25.8  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
| 22.05.18                                       | X | -5                                      | -23 | -12 | -17 | -12 | 53.7                           | 63.4           | 52.8           | 61.6                  | 53.2           | 5.1                                                                                                         | 105.1  | 44.4  | 25.8  | 18.8  |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |
|                                                | Z | -51                                     | -58 | -50 | -57 | -51 |                                |                |                |                       |                | 529.0                                                                                                       | 637.6  | 491.4 | 765.4 | 544.4 |                      |   |   |                                                                                                                                                                            |   |                        |                                                                                   |                      |  |  |  |   |                |   |   |   |  |                              |  |  |  |          |                                                                                                                                                         |

DEFORMASYON Vektörü (mm)

Seri 1

Seri 2

Seri 3

Seri 4

Seri 5

25.03.18  
(İLK OKUMA)

26.03.18

27.03.18

28.03.18

29.03.18

30.03.18

31.03.18

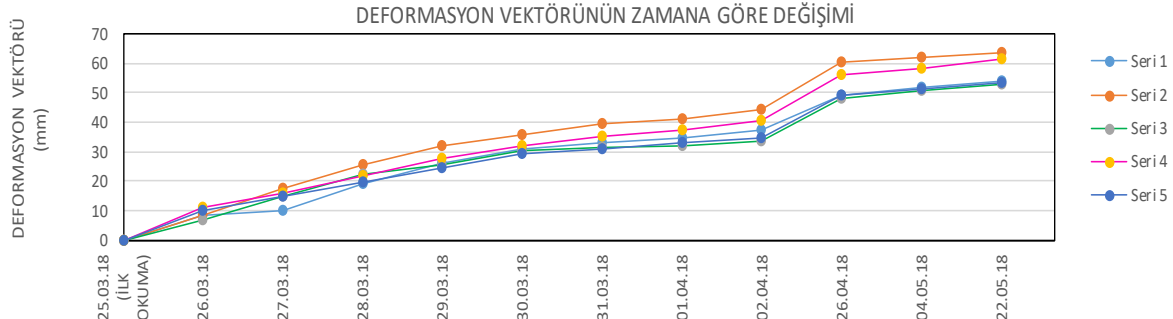
01.04.18

02.04.18

26.04.18

04.05.18

22.05.18



12-SOL kesitinde (11+940.00), 25 Mart-22 Mayıs 2018 tarihleri arasında 12 periyotta 5 nokta ölçülmüştür. 5. periyotta (29 Mart), 2 nolu noktada anlamlı hareket başlayıp devam etmiştir. 6. periyotta (30 Mart), 1-3-4 nolu noktalarda anlamlı hareketler başlayıp devam etmiş, 7. periyotta (31 Mart), 5 nolu noktada anlamlı hareket başlamış ve devam etmiştir. Son periyotta (22 Mayıs) en çok değişim, 2-4-1-5-3 noktalarında ve sırasıyla 63,4-61,6-53,7-53,2-52,8 mm görülmüştür (Çizelge 6.3). Tüm periyotların genel ortalama özet değerlerine göre 1 noktası Y ekseninde (-9,0) mm, X ekseninde (-3,0) mm, Z ekseninde (-30,5) mm, 2 noktası Y ekseninde (-7,0) mm, X ekseninde (-13,9) mm, Z ekseninde (-35,7) mm hareket etmiştir. 3 noktası Y ekseninde (-6,5) mm, X ekseninde (-5,8) mm, Z ekseninde (-30,4) mm, 4 noktası Y ekseninde (-8,7) mm, X ekseninde (-13,0) mm, Z ekseninde (-32,0) mm hareket etmiştir. 5 noktası Y ekseninde (-4,3) mm, X ekseninde (-8,4) mm, Z ekseninde (-30,2) mm hareket etmiştir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6. 4 Honaz Tüneli 17-SAĞ kesiti uygulama değerleri

| DENİZLİ HONAZ TÜNELİ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | KESİT NO : 17-SAĞ TÜP |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div></div></div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

17-SAĞ kesitinde (11+978.00), 10 Şubat-05 Nisan 2018 tarihleri arasında 16 periyotta 5 nokta ölçülmüştür. 5. periyotta (14 Şubat), 1-2-3 nolu noktalarda anlamlı hareketler başlayıp devam etmiştir. 9. periyotta (18 Şubat), 4 nolu noktada anlamlı hareket başlayıp devam etmiş, 10. periyotta (19 Şubat), 5 nolu noktada anlamlı hareket başlamış ve devam etmiştir. Son periyotta (05 Nisan), en çok değişim 3-1-2-5-4 noktalarında ve sırasıyla 33,5-33,3-31,7-31,1-29,2 mm görülmüştür (Çizelge 6.4). Tüm periyotların genel ortalama özet değerlerine göre 1 noktası Y ekseninde (-2,6) mm, X ekseninde (-1,7) mm, Z ekseninde (-20,3) mm, 2 noktası Y ekseninde (-1,9) mm, X ekseninde (-1,6) mm, Z ekseninde (-19,5) mm hareket etmiştir. 3 noktası Y ekseninde (-1,6) mm, X ekseninde (-1,8) mm, Z ekseninde (-21,1) mm, 4 noktası Y ekseninde (-3,3) mm, X ekseninde (-4,7) mm, Z ekseninde (-15,7) mm hareket etmiştir. 5 noktası Y ekseninde (-5,7) mm, X ekseninde (-7,1) mm, Z ekseninde (-12,0) mm hareket etmiştir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6. 5 Uygulama yapılan 29 kesitin genel özet sonuçları

| KESİT NO            | KESİTTEKİ PERİYOTLARIN ORTALAMALARI (dy, dx, dz) (mm) |       |       |       |       | KESİTİN SON PERİYODUNDAKİ DEFORMASYON VEKTÖRLERİ (mm) |      |      |      |      | m <sub>o</sub> (mm) | KESİT NO            | KESİTTEKİ PERİYOTLARIN ORTALAMALARI (dy, dx, dz) (mm) |       |       |       |       | KESİTİN SON PERİYODUNDAKİ DEFORMASYON VEKTÖRLERİ (mm) |      |      |      |      | m <sub>o</sub> (mm) |
|---------------------|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|---------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|---------------------|
|                     | 1                                                     | 2     | 3     | 4     | 5     | 1                                                     | 2    | 3    | 4    | 5    |                     |                     | 1                                                     | 2     | 3     | 4     | 5     | 1                                                     | 2    | 3    | 4    | 5    |                     |
| SOL TÜP             |                                                       |       |       |       |       |                                                       |      |      |      |      | KESİT               | SAĞ TÜP             |                                                       |       |       |       |       |                                                       |      |      |      |      | KESİT               |
| 1-SOL               | dy                                                    | -2.2  | 2.0   | -2.0  | 1.0   |                                                       |      |      |      |      | 2.9                 | 15-SAĞ              | 13.5                                                  | -10.1 | -4.4  | -1.8  | -9.0  | 34.2                                                  | 22.5 | 22.3 | 22.4 | 28.7 | 4.7                 |
|                     | dx                                                    | -0.8  | -3.2  | -1.8  | -1.2  | 14.6                                                  | 14.1 | 16.6 | 11.4 |      |                     |                     | 2.5                                                   | 3.2   | -1.8  | -3.7  | -7.1  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -8.6  | -7.8  | -8.2  | -7.0  |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -19.2                                                 | -10.6 | -13.2 | -13.3 | -16.0 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 2-SOL               | dy                                                    | 1.5   | -2.3  | -4.4  | -2.0  |                                                       |      |      |      |      | 3.0                 | 16-SAĞ              | 6.4                                                   | -0.5  | -5.8  | -6.0  | -6.4  | 26.7                                                  | 30.9 | 29.3 | 28.0 | 31.7 | 4.9                 |
|                     | dx                                                    | -2.0  | 0.2   | -1.6  | -0.6  | 12.3                                                  | 12.4 | 16.7 | 16.5 | 15.6 |                     |                     | 0.0                                                   | -5.7  | -3.2  | -6.2  | -6.0  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -6.2  | -6.5  | -7.8  | -8.3  |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -16.2                                                 | -18.9 | -18.6 | -16.5 | -18.3 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 3-SOL               | dy                                                    | -3.2  | -1.7  | 0.0   | -1.6  |                                                       |      |      |      |      | 3.1                 | 17-SAĞ              | -2.6                                                  | -1.9  | -1.6  | -3.3  | -5.7  | 33.3                                                  | 31.7 | 33.5 | 29.2 | 31.1 | 5.3                 |
|                     | dx                                                    | -3.7  | -2.6  | -5.3  | -2.6  | 16.1                                                  | 11.9 | 10.8 | 18.4 | 15.8 |                     |                     | -1.7                                                  | -1.6  | -1.8  | -4.7  | -7.1  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -7.3  | -4.9  | -4.2  | -9.9  |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -20.3                                                 | -19.5 | -21.1 | -15.7 | -12.0 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 4-SOL               | dy                                                    | 4.0   | 0.4   | -2.6  | 2.4   |                                                       |      |      |      |      | 3.0                 | 18-SAĞ              | -3.2                                                  | -8.9  | -0.5  | -7.1  | -4.6  | 29.8                                                  | 24.4 | 25.2 | 26.6 | 28.0 | 5.0                 |
|                     | dx                                                    | 0.6   | 5.0   | -2.0  | -5.2  | 15.6                                                  | 15.8 | 15.8 | 13.5 | 15.7 |                     |                     | -2.5                                                  | -2.5  | -6.3  | -1.3  | -7.1  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -7.2  | -7.6  | -10.0 | -6.8  |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -19.4                                                 | -12.2 | -13.7 | -16.0 | -13.9 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 5-SOL               | dy                                                    | -12.5 | -11.7 | -7.3  | -3.2  |                                                       |      |      |      |      | 7.3                 | 19-SAĞ              | -4.9                                                  | -5.1  | -2.3  | -8.2  | -5.2  | 42.4                                                  | 40.9 | 43.0 | 39.6 | 44.6 | 7.4                 |
|                     | dx                                                    | -2.5  | -8.0  | -3.8  | -0.7  | 40.0                                                  | 39.0 | 33.5 | 30.5 | 40.5 |                     |                     | -2.0                                                  | -3.2  | -5.6  | -4.0  | -3.6  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -25.5 | -24.8 | -23.4 | -21.6 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -22.4                                                 | -21.8 | -22.0 | -19.8 | -22.0 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 6-SOL               | dy                                                    | 8.8   | -2.0  | -6.8  | -5.5  |                                                       |      |      |      |      | 5.0                 | 20-SAĞ              | -4.4                                                  | -12.6 | -4.0  | -10.6 | -4.8  | 47.5                                                  | 46.9 | 43.6 | 44.7 | 51.7 | 9.7                 |
|                     | dx                                                    | 6.7   | -3.7  | -1.5  | -6.4  | 29.8                                                  | 23.9 | 24.4 | 24.9 | 29.8 |                     |                     | -9.0                                                  | -5.4  | -9.1  | -8.2  | -6.7  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -19.1 | -14.9 | -15.2 | -14.2 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -28.1                                                 | -29.1 | -28.2 | -26.2 | -33.3 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 7-SOL               | dy                                                    | 3.7   | -3.8  | -1.0  | -1.3  |                                                       |      |      |      |      | 5.6                 | 21-SAĞ              | -8.9                                                  | -10.3 | -4.4  | -9.7  | -11.2 | 61.1                                                  | 57.3 | 48.1 | 61.9 | 61.6 | 11.4                |
|                     | dx                                                    | 1.0   | -3.0  | -0.1  | -3.1  | 34.2                                                  | 30.0 | 32.1 | 33.7 | 33.9 |                     |                     | -9.4                                                  | -4.4  | -12.5 | -4.2  | -13.8 |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -20.3 | -18.5 | -19.5 | -21.3 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -31.5                                                 | -28.3 | -27.6 | -33.3 | -32.1 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 8-SOL               | dy                                                    | -0.5  | -0.4  | -0.2  | 0.6   |                                                       |      |      |      |      | 8.6                 | 22-SAĞ              | -4.5                                                  | -2.3  | -1.7  | -5.2  | -2.9  | 40.7                                                  | 21.8 | 41.0 | 32.3 | 36.9 | 5.6                 |
|                     | dx                                                    | -0.8  | -0.3  | -1.9  | -1.3  | 48.4                                                  | 51.0 | 59.7 | 44.6 | 50.7 |                     |                     | -4.5                                                  | -2.1  | 0.0   | -2.4  | -8.1  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -30.1 | -34.1 | -36.3 | -29.4 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -30.1                                                 | -17.1 | -31.8 | -25.2 | -29.3 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 9-SOL               | dy                                                    | -12.8 | -6.2  | -9.5  | -0.2  |                                                       |      |      |      |      | 7.6                 | 23-SAĞ              | -6.0                                                  |       | -0.8  | -4.8  | -3.5  | 36.8                                                  |      | 26.3 | 30.1 | 24.9 | 4.9                 |
|                     | dx                                                    | -1.8  | -1.2  | -1.3  | -2.3  | 40.4                                                  | 41.9 | 36.9 | 36.2 | 45.1 |                     |                     | -2.4                                                  |       | -12.0 | -17.6 | -7.0  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -23.7 | -26.5 | -20.5 | -24.5 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -24.7                                                 |       | -17.8 | -12.8 | -18.2 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 10-SOL              | dy                                                    | -0.3  | -3.5  | -2.4  | -2.2  |                                                       |      |      |      |      | 6.6                 | 24-SAĞ              | -4.6                                                  | -8.8  | -3.2  | -10.6 | -8.9  | 35.1                                                  | 39.3 | 36.6 | 32.2 | 39.9 | 7.0                 |
|                     | dx                                                    | -4.0  | -3.5  | -1.6  | -7.5  | 41.5                                                  | 35.3 | 45.6 | 35.7 | 38.4 |                     |                     | -4.7                                                  | -2.4  | -0.8  | -8.7  | -10.1 |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -26.2 | -22.5 | -27.9 | -21.3 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -24.1                                                 | -28.8 | -26.1 | -19.2 | -26.8 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 11-SOL              | dy                                                    | -7.8  | -1.5  | -9.9  | -5.1  |                                                       |      |      |      |      | 8.7                 | 25-SAĞ              | -6.1                                                  | -2.3  | -0.6  | -9.8  | -3.1  | 24.1                                                  | 25.6 | 25.7 | 29.8 | 36.1 | 5.5                 |
|                     | dx                                                    | -3.7  | -7.3  | -4.5  | -2.6  | 44.9                                                  | 51.1 | 51.0 | 49.8 | 57.2 |                     |                     | -3.2                                                  | -5.7  | -4.4  | -7.6  | -7.1  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -23.7 | -25.7 | -23.4 | -26.4 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -15.8                                                 | -14.6 | -20.7 | -19.1 | -26.9 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 12-SOL              | dy                                                    | -9.0  | -7.0  | -6.5  | -8.7  |                                                       |      |      |      |      | 10.7                | 26-SAĞ              | 4.6                                                   | -7.0  | -4.1  | -7.1  | -6.1  | 26.6                                                  | 26.9 | 30.0 | 30.1 | 37.7 | 5.7                 |
|                     | dx                                                    | -3.0  | -13.9 | -5.8  | -13.0 | 53.7                                                  | 63.4 | 52.8 | 61.6 | 53.2 |                     |                     | -4.8                                                  | -2.4  | -5.8  | -5.6  | -7.0  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -30.5 | -35.7 | -30.4 | -32.0 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -17.9                                                 | -18.0 | -21.2 | -22.9 | -24.6 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 13-SOL              | dy                                                    | -8.9  | -2.0  | -9.5  | -12.9 |                                                       |      |      |      |      | 5.0                 | 27-SAĞ              | -4.5                                                  | -3.0  | -5.9  | -6.6  | -1.3  | 18.5                                                  | 14.3 | 17.7 | 12.0 | 22.8 | 3.4                 |
|                     | dx                                                    | -1.8  | -1.6  | -0.4  | -2.8  | 37.2                                                  | 25.3 | 28.0 | 27.4 | 32.8 |                     |                     | -1.3                                                  | -3.0  | -1.4  | -3.1  | -2.1  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -27.5 | -19.3 | -21.3 | -18.3 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -12.9                                                 | -8.2  | -11.9 | -1.8  | -15.1 |                                                       |      |      |      |      |                     |
| 14-SOL              | dy                                                    | -3.0  | -17.1 | -3.9  | -11.7 |                                                       |      |      |      |      | 7.8                 | 28-SAĞ              | -2.6                                                  | -7.3  | -0.5  | -3.8  | -5.5  | 26.9                                                  | 19.5 | 15.4 | 13.5 | 19.1 | 3.7                 |
|                     | dx                                                    | -4.1  | -0.4  | -1.9  | -4.8  | 41.6                                                  | 51.5 | 23.7 | 28.3 | 49.8 |                     |                     | -3.7                                                  | -1.2  | -5.0  | -2.8  | -3.0  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -31.2 | -32.7 | -16.3 | -15.6 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -18.9                                                 | -11.9 | -8.7  | -5.4  | -9.1  |                                                       |      |      |      |      |                     |
| KESİTLER ORTALAMASI | dy                                                    | -3.0  | -4.0  | -4.7  | -3.6  |                                                       |      |      |      |      | 6.1                 | KESİTLER ORTALAMASI | -2.0                                                  | -6.2  | -3.0  | -6.5  | -6.0  | 33.8                                                  | 30.5 | 30.6 | 30.1 | 34.7 | 5.9                 |
|                     | dx                                                    | -1.4  | -3.1  | -2.4  | -3.9  | 33.6                                                  | 33.3 | 32.0 | 30.9 | 36.8 |                     |                     | -3.4                                                  | -2.7  | -4.7  | -5.8  | -6.5  |                                                       |      |      |      |      |                     |
|                     | dz                                                    | -20.5 | -20.1 | -18.9 | -18.3 |                                                       |      |      |      |      |                     |                     | -21.2                                                 | -18.2 | -19.7 | -17.2 | -20.7 |                                                       |      |      |      |      |                     |

Çizelge 6.5’de, kesitlerdeki 5’er adet deformasyon noktasının kesit periyotlarındaki (dy, dx, dz) koordinat farklarının aritmetik ortalamaları, kesitlerdeki noktaların son periyotlarına göre deformasyon vektörleri ve kesite ait genel ortalama hatalar verilmiştir. Ayrıca sol tüpte 14 ve sağ tüpte 15 adet kesitin koordinat farklarının (dy, dx, dz) tekrar aritmetik ortalamaları, deformasyon vektörlerinin tekrar aritmetik ortalamaları ve kesitin genel ortalama hatalarının tekrar aritmetik ortalamaları alınmış olup sonuçta deformasyon noktalarının eksenlere göre yapmış oldukları genel ortalama yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5’e göre 12-SOL kesitinde 5 nolu sağ üst yarı noktasının dy ortalaması (-4,3) mm, dx ortalaması (-8,4) mm, dz ortalaması (-30,2) mm, aynı kesitte son periyottaki deformasyon

vektörünün (53,2) mm olduğu, kesitin genel ortalama hatasının (10,7) mm olduğu, 5 nolu sağ üst yarı noktalarının genel aritmetik ortalamalarının  $dy$  (-3,8) mm,  $dx$  (-3,4) mm,  $dz$  (-21,8) mm olduğu, deformasyon vektörlerinin genel aritmetik ortalamasının (36,8) mm olduğu, (1-14)-SOL kesitlerinin genel ortalama hatalarının aritmetik ortalamasının (6,1) mm olduğu görülmektedir.

Noktaların ilk ölçümleri ile Çizelge 6.5'e bakıldığında Y ve X eksenlerine göre (-) yönde, Z eksenine göre (-) yönde (aşağıya doğru) (oturma) yer değiştirdikleri anlaşılmaktadır.

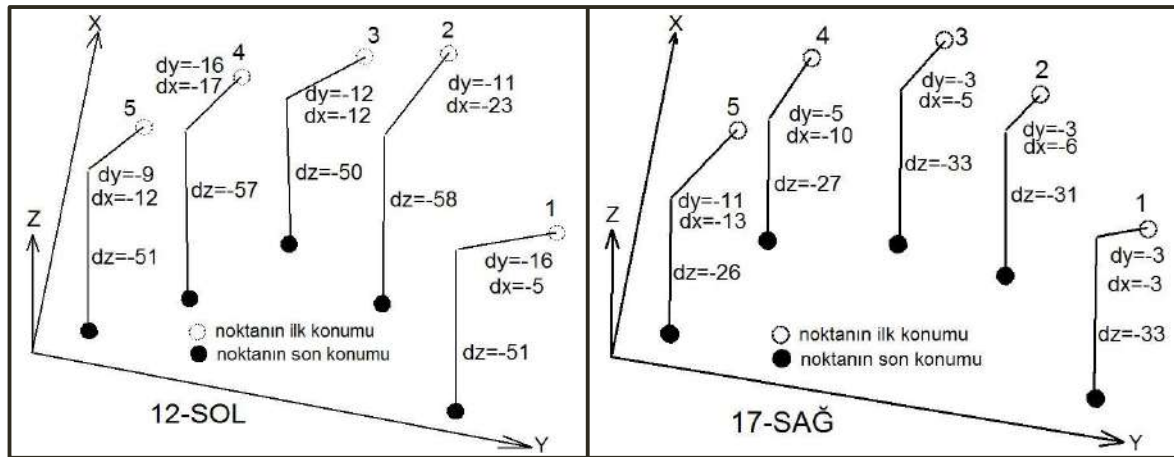
Çizelge 6. 6 Uygulama yapılan 29 kesitin anlamlı hareket özet sonuçları

| KESİT NO            | KESİTTEKİ ANLAMLI PERİYOTLARIN ORTALAMALARI ( $dy, dx, dz$ ) (mm) |       |       |       |       |       | KESİT NO            | KESİTTEKİ ANLAMLI PERİYOTLARIN ORTALAMALARI ( $dy, dx, dz$ ) (mm) |       |       |       |       |  |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--|
| SOL Tüp             |                                                                   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | SAĞ Tüp             | 1                                                                 | 2     | 3     | 4     | 5     |  |
| 1-SOL               | $dy$                                                              | -2.4  | 2.0   | -2.0  | 1.0   |       | 15-SAĞ              | 13.5                                                              | -11.0 | -5.6  | -3.0  | -10.8 |  |
|                     | $dx$                                                              | -0.6  | -4.4  | -2.8  | -1.5  |       |                     | 2.5                                                               | 4.6   | -3.0  | -5.5  | -8.0  |  |
|                     | $dz$                                                              | -12.0 | -10.4 | -12.0 | -10.7 |       |                     | -19.2                                                             | -13.8 | -17.9 | -16.2 | -18.2 |  |
| 2-SOL               | $dy$                                                              | 2.0   | -2.8  | -8.0  | -4.0  | -5.2  | 16-SAĞ              | 6.6                                                               | -0.5  | -6.0  | -6.9  | -7.0  |  |
|                     | $dx$                                                              | -2.0  | 0.5   | -2.8  | -1.0  | -4.4  |                     | 0.0                                                               | -5.8  | -4.2  | -7.2  | -7.3  |  |
|                     | $dz$                                                              | -10.0 | -10.5 | -11.2 | -12.4 | -10.6 |                     | -19.4                                                             | -21.1 | -21.6 | -18.8 | -21.4 |  |
| 3-SOL               | $dy$                                                              | -4.5  | -4.0  | 0.0   | -2.8  | -0.8  | 17-SAĞ              | -3.0                                                              | -2.3  | -2.0  | -4.2  | -8.3  |  |
|                     | $dx$                                                              | -8.0  | -4.0  | -6.0  | -4.4  | -4.0  |                     | -2.1                                                              | -2.0  | -2.3  | -7.4  | -11.3 |  |
|                     | $dz$                                                              | -11.0 | -10.0 | -7.7  | -13.8 | -12.2 |                     | -23.5                                                             | -22.3 | -24.4 | -20.5 | -16.9 |  |
| 4-SOL               | $dy$                                                              | 4.0   | 0.0   | -2.9  | 4.0   | -6.4  | 18-SAĞ              | -3.5                                                              | -13.6 | -1.0  | -8.0  | -6.3  |  |
|                     | $dx$                                                              | 1.0   | 5.0   | -2.0  | -6.0  | -6.4  |                     | -3.4                                                              | -4.8  | -9.0  | -2.0  | -10.3 |  |
|                     | $dz$                                                              | -11.5 | -11.4 | -12.3 | -8.2  | -9.4  |                     | -23.1                                                             | -16.4 | -18.0 | -20.1 | -18.8 |  |
| 5-SOL               | $dy$                                                              | -16.0 | -12.9 | -8.0  | -3.9  | 12.9  | 19-SAĞ              | -10.0                                                             | -6.0  | -3.1  | -13.0 | -6.8  |  |
|                     | $dx$                                                              | -3.4  | -9.6  | -4.1  | -1.1  | 0.0   |                     | -2.0                                                              | -5.4  | -7.7  | -4.0  | -6.4  |  |
|                     | $dz$                                                              | -30.7 | -30.1 | -28.3 | -26.7 | -33.6 |                     | -31.8                                                             | -30.8 | -27.7 | -28.0 | -31.8 |  |
| 6-SOL               | $dy$                                                              | 9.5   | -2.3  | -8.2  | -6.0  | -11.4 | 20-SAĞ              | -6.0                                                              | -15.8 | -4.8  | -13.0 | -5.0  |  |
|                     | $dx$                                                              | 7.4   | -4.5  | -2.1  | -8.3  | -7.2  |                     | -13.0                                                             | -7.3  | -12.6 | -12.6 | -9.0  |  |
|                     | $dz$                                                              | -21.5 | -19.2 | -18.6 | -17.6 | -18.6 |                     | -38.6                                                             | -36.3 | -37.8 | -35.2 | -42.3 |  |
| 7-SOL               | $dy$                                                              | 4.0   | -4.7  | -1.0  | -1.7  | -8.3  | 21-SAĞ              | -11.3                                                             | -14.3 | -7.0  | -12.5 | -12.0 |  |
|                     | $dx$                                                              | 1.0   | -3.0  | -0.2  | -3.6  | -5.5  |                     | -12.5                                                             | -6.0  | -16.0 | -6.0  | -18.3 |  |
|                     | $dz$                                                              | -24.5 | -23.5 | -25.0 | -25.4 | -21.7 |                     | -45.0                                                             | -48.3 | -37.5 | -46.5 | -42.1 |  |
| 8-SOL               | $dy$                                                              | -0.8  | -0.5  | -0.2  | 0.9   | -3.2  | 22-SAĞ              | -4.5                                                              | -3.0  | -1.7  | -5.5  | -2.9  |  |
|                     | $dx$                                                              | -1.2  | -0.3  | -2.4  | -1.7  | -5.5  |                     | -4.5                                                              | -4.2  | 0.0   | -2.4  | -8.1  |  |
|                     | $dz$                                                              | -38.2 | -39.3 | -41.7 | -36.1 | -36.5 |                     | -30.1                                                             | -19.8 | -31.8 | -26.2 | -29.3 |  |
| 9-SOL               | $dy$                                                              | -16.8 | -7.3  | -12.5 | -0.4  | 0.3   | 23-SAĞ              | -6.0                                                              |       | -0.9  | -4.8  | -3.5  |  |
|                     | $dx$                                                              | -2.7  | -1.7  | -2.1  | -2.3  | -1.1  |                     | -2.4                                                              |       | -12.7 | -17.6 | -7.4  |  |
|                     | $dz$                                                              | -29.4 | -32.9 | -27.5 | -32.4 | -34.7 |                     | -24.7                                                             |       | -18.4 | -12.8 | -18.8 |  |
| 10-SOL              | $dy$                                                              | -0.4  | -4.1  | -2.9  | -2.9  | -4.4  | 24-SAĞ              | -5.0                                                              | -9.6  | -4.3  | -12.0 | -9.0  |  |
|                     | $dx$                                                              | -4.6  | -4.2  | -1.9  | -8.6  | -6.5  |                     | -4.9                                                              | -2.6  | -1.2  | -9.0  | -12.9 |  |
|                     | $dz$                                                              | -30.7 | -27.0 | -32.6 | -24.8 | -28.1 |                     | -27.7                                                             | -33.1 | -31.2 | -23.8 | -30.3 |  |
| 11-SOL              | $dy$                                                              | -11.2 | -2.8  | -13.2 | -6.3  | -8.4  | 25-SAĞ              | -7.2                                                              | -4.0  | -1.3  | -11.0 | -3.4  |  |
|                     | $dx$                                                              | -4.3  | -10.4 | -7.8  | -4.8  | -6.0  |                     | -3.3                                                              | -7.2  | -4.6  | -8.4  | -7.6  |  |
|                     | $dz$                                                              | -30.0 | -36.0 | -33.4 | -34.2 | -38.0 |                     | -18.5                                                             | -20.2 | -23.3 | -22.0 | -28.9 |  |
| 12-SOL              | $dy$                                                              | -10.4 | -8.7  | -8.4  | -11.6 | -5.8  | 26-SAĞ              | 4.3                                                               | -8.0  | -4.4  | -7.6  | -6.5  |  |
|                     | $dx$                                                              | -4.7  | -16.2 | -8.3  | -14.1 | -9.5  |                     | -5.0                                                              | -3.7  | -6.0  | -5.8  | -7.5  |  |
|                     | $dz$                                                              | -39.9 | -43.5 | -38.0 | -42.0 | -40.5 |                     | -21.3                                                             | -21.8 | -24.1 | -24.4 | -26.5 |  |
| 13-SOL              | $dy$                                                              | -8.9  | -2.0  | -9.5  | -12.9 | -8.2  | 27-SAĞ              | -4.9                                                              | -5.0  | -6.3  | -8.0  | -1.4  |  |
|                     | $dx$                                                              | -1.8  | -1.8  | -0.4  | -2.8  | -1.8  |                     | -1.4                                                              | -4.0  | -1.8  | -4.0  | -2.4  |  |
|                     | $dz$                                                              | -27.5 | -19.9 | -21.3 | -18.3 | -25.8 |                     | -13.9                                                             | -10.5 | -14.0 | -6.0  | -16.6 |  |
| 14-SOL              | $dy$                                                              | -3.6  | -21.3 | -8.0  | -14.5 | -10.0 | 28-SAĞ              | -2.8                                                              | -8.7  | -1.3  | -5.0  | -7.0  |  |
|                     | $dx$                                                              | -4.4  | -0.6  | -4.0  | -5.7  | -1.3  |                     | -4.3                                                              | -1.7  | -6.7  | -6.0  | -4.5  |  |
|                     | $dz$                                                              | -35.7 | -38.0 | -22.0 | -21.5 | -40.6 |                     | -22.3                                                             | -13.2 | -12.0 | -9.5  | -13.0 |  |
| KESİTLER ORTALAMASI |                                                                   |       |       |       |       |       | 29-SAĞ              | -2.3                                                              | -9.0  | -6.0  | -3.3  | -14.3 |  |
|                     | $dy$                                                              | -4.0  | -5.1  | -6.1  | -4.4  | -4.5  |                     | -4.0                                                              | -1.2  | -1.2  | -7.0  | -3.0  |  |
|                     | $dx$                                                              | -2.0  | -3.9  | -3.4  | -4.7  | -4.6  |                     | -19.5                                                             | -21.0 | -17.0 | -13.7 | -16.0 |  |
| KESİTLER ORTALAMASI |                                                                   |       |       |       |       |       | KESİTLER ORTALAMASI | -2.8                                                              | -7.9  | -3.7  | -7.9  | -7.0  |  |
|                     | $dy$                                                              | -4.0  | -5.1  | -6.1  | -4.4  | -4.5  |                     | -4.0                                                              | -3.7  | -5.9  | -7.0  | -8.3  |  |
|                     | $dx$                                                              | -2.0  | -3.9  | -3.4  | -4.7  | -4.6  |                     | -25.3                                                             | -23.5 | -23.8 | -21.6 | -24.7 |  |

Çizelge 6.6'da, tünelin sol tüpünde uygulama yapılan 14 profil ve sağ tüpünde uygulama yapılan 15 profile yer alan 5'er adet deformasyon noktasının kesitlerde anlamlı hareketlerinin olduğu periyotlardaki koordinat farklarının ( $dy, dx, dz$ ) aritmetik ortalamaları alınmıştır. Ayrıca soldaki 14 ve sağdaki 15 adet profilin anlamlı hareketlerine ait kesit koordinat farklarının ( $dy, dx, dz$ ) ayrı ayrı tekrar aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır.

Çizelge 6.6'da uygulama yapılan 29 adet profilde anlamlı hareketlerin olduğu periyotlardaki koordinat farklarının ( $dy$ ,  $dx$ ,  $dz$ ) aritmetik ortalamalarının tüm kesitlere göre tekrar aritmetik ortalamaları alındığında, 1 nolu sol üst yarı noktalarının Y eksenine göre (-4,0) mm, X eksenine göre (-2,0) mm ve Z eksenine göre (-25,2) mm hareket ettikleri görülmüştür. 2 nolu sol omuz noktalarının Y eksenine göre (-5,1) mm, X eksenine göre (-3,9) mm ve Z eksenine göre (-25,1) mm hareket ettikleri görülmüştür. 3 nolu eksen noktalarının Y eksenine göre (-6,1) mm, X eksenine göre (-3,4) mm ve Z eksenine göre (-23,7) mm hareket ettikleri görülmüştür. 4 nolu sağ omuz noktalarının Y eksenine göre (-4,4) mm, X eksenine göre (-4,7) mm ve Z eksenine göre (-23,1) mm hareket ettikleri görülmüştür. 5 nolu sağ üst yarı noktalarının Y eksenine göre (-4,5) mm, X eksenine göre (-4,6) mm ve Z eksenine göre (-26,9) mm yer değiştirdikleri görülmüştür.

Noktaların ilk pozisyonları, Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6 incelendiğinde Y eksenine göre (-) yönde, X eksenine göre (-) yönde ve Z eksenine göre (-) yönde (aşağıya doğru) (oturma) yer değiştirdikleri görülmektedir. Periyotları değişik olmakla birlikte her kesitte anlamlı hareketlerin meydana geldiği dikkate değer bir husustur.



Şekil 6. 13 SOL ve SAĞ tüp kesitlerindeki noktaların ilk/son periyottaki hareketleri (ölçeksiz)

Şekil 6.13'de 12-SOL ve 17-SAĞ kesitlerindeki 5'er adet deformasyon noktasının son periyotlardaki konumları ile ilk periyotlardaki konumları ölçeksiz bir şekilde gösterilmiştir.

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Plansız şehirleşme ve yapılaşma, kentlerin yoğun göç baskısı altında kalması, nüfusun artmasıyla beraber toprakların azalması gibi sebeplerden dolayı şehirlerimiz bu değişime hazırlıksız yakalanmış ve ayak uyduramamıştır. Nüfusun artması ve ekonomik anlamdaki iyileşmeye bağlı olarak araç sayısı ve çeşitliliği artarken ulaşım konusunun çözümünde yeterince başarı elde edilememiştir. Ülkemizde ulaşım alanında büyük pay karayolu taşımacılığında olduğu için trafik sorunu günden güne büyüyerek devam etmiştir. Ulaşım sorununu hafifletebilmek adına karayolu ve tünel projelerine önem verilmiş ve büyük çapta karayolu ve tünel projelerinin inşaatı gerçekleştirilmiştir. Tünel inşaatı, zorlu topoğrafyanın kolay aşılması, mesafeleri kısaltması, fiziki çevreyi tahrip etmemesi, iklim ve çevre şartlarıyla

kolay mücadele etmesi, haritacılık ve teknolojik anlamdaki hızlı gelişmeler nedeniyle birçok alanda özellikle ulaşım, su, kanalizasyon vb. yapımında çok fazla kullanılmaya başlanmıştır.

Honaz Tünelinde deformasyon uygulaması yapılmış ve uygulamada SOL tüpte (1-14), SAĞ tüpte (15-29) olmak üzere toplam 29 kesitte üst yarıya tahkim edilen 5'er adet deformasyon noktası, ilk gün ve sonraki günlerde jeodezik ağıdan total station cihazıyla periyodik olarak ölçülmüştür. 1 nolu nokta sol üst yarıya, 2 nolu nokta sol omuza, 3 nolu nokta eksene, 4 nolu nokta sağ omuza ve 5 nolu nokta sağ üst yarıya tesis edilmiştir.

Tesis edilen deformasyon noktalarının koordinat farkları ( $dy$ ,  $dx$ ,  $dz$ ), deformasyon vektörleri ( $d_j$ ), düzeltmeleri ( $v_i$ ), noktaların genel ortalama hataları ( $m_{0j}$ ), koordinat farklarının ortalama hataları ( $m_{dy}$ ,  $m_{dx}$ ,  $m_{dz}$ ), kesitlerin genel ortalama hatası ( $m_0$ ), deformasyon vektörünün ortalama hataları ( $m_{dj}$ ) ve test büyüklükleri ( $T_j$ ) hesap edilmiştir. Test büyüklükleri ( $t_{tablo}$ ) değerleriyle karşılaştırılarak anlamlı hareketlerin olduğu periyotlar belirlenmiştir. Kesitlerde yapılan ölçümler, ölçüm yapılan günler, deformasyon vektörlerine ait grafikler, tüm kesitlerin genel özet çizelgesi, tüm kesitlerdeki anlamlı hareketlerin özet çizelgesi ile ilk ve son periyotlardaki ölçülere göre bazı kesitlerdeki noktaların hareketlerini gösteren grafikler de çizilmiştir.

Kesitlere ait genel özet çizelgesinde de görüleceği üzere 1 nolu noktaların Y eksenine göre (-3,0) mm, X eksenine göre (-1,4) mm ve Z eksenine göre (-20,5) mm yer değiştirdiği görülmüştür. 2 nolu noktaların Y eksenine göre (-4,0) mm, X eksenine göre (-3,1) mm ve Z eksenine göre (-20,1) mm, 3 nolu noktaların Y eksenine göre (-4,7) mm, X eksenine göre (-2,4) mm ve Z eksenine göre (-18,9) mm hareket ettikleri görülmüştür. Ayrıca 4 nolu noktaların Y eksenine göre (-3,6) mm, X eksenine göre (-3,9) mm, Z eksenine göre (-18,3) mm yer değiştirdikleri, 5 nolu noktaların Y eksenine göre (-3,8) mm, X eksenine göre (-3,4) mm ve Z eksenine göre (-21,8) mm yer değiştirdikleri görülmüştür.

Genel özet çizelgesine bakıldığında kesitlerin son periyotlarındaki deformasyon vektörlerinin aritmetik ortalamalarına göre 1 nolu noktaların (33,6) mm, 2 nolu noktaların (33,3) mm, 3 nolu eksen noktalarının (32,0) mm, 4 nolu noktaların (30,9) mm ve 5 nolu noktaların (36,8) mm hareket ettikleri görülmüştür.

Tüm kesitlerin anlamlı hareket özet çizelgesine göre 1 nolu noktaların Y eksenine göre (-4,0) mm, X eksenine göre (-2,0) mm ve Z eksenine göre (-25,2) mm yer değiştirdikleri görülmüştür. 2 nolu noktaların Y eksenine göre (-5,1) mm, X eksenine göre (-3,9) mm ve Z eksenine göre (-25,1) mm hareket ettikleri, 3 nolu noktaların Y eksenine göre (-6,1) mm, X eksenine göre (-3,4) mm ve Z eksenine göre (-23,7) mm hareket ettikleri görülmüştür. 4 nolu noktaların Y eksenine göre (-4,4) mm, X eksenine göre (-4,7) mm ve Z eksenine göre (-23,1) mm hareket ettikleri görülmüştür. 5 nolu noktaların Y eksenine göre (-4,5) mm, X eksenine göre (-4,6) mm ve Z eksenine göre de (-26,9) mm yer değiştirdikleri görülmüştür.

Kesitlerin genel özet çizelgesi ve anlamlı hareket özet çizelgesine göre noktaların ilk konumlarına kıyasla Y ve X eksenlerine göre (-) yönde yer değiştirme ve Z eksenine göre de

(-) yönde yani aşağıya doğru (oturma) hareket ettikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan jeodezik ölçülere göre her kesitte anlamlı hareketlerin olduğu görülmüştür.

Tünelcilik ve karayolu konusunda önem verilmesi gereken noktalar ve öneriler aşağıdadır:

- ✓ Jeodezik ağ ve deformasyon ölçümlerinde hataları minimum seviyede tutmak için ölçü sayıları (silsileleri) arttırılmalı, aletlerin eksen hataları giderilmeli, cihazların bakım ve kalibrasyonları yapılmalıdır,
- ✓ Ağ ve deformasyon noktalarının tesisinde tünel içindeki araç gereçlerin (kablolar, havalandırma tertibatları, elektrik panoları vb.) yerleşimine dikkat edilmelidir,
- ✓ Ölçümler, atmosferik tesirlerin en az olduğu zamanlarda, kenar ve açı ölçme duyarlılığı yüksek aletlerle ve zorunlu merkezleştirme tertibatları kullanılarak yapılmalıdır,
- ✓ Düşey deformasyonlar için hassas gravite ölçümleri yapılmalı ve gravite ölçümleri hatalardan arındırılmalıdır,
- ✓ Karayolu ve tünel projelerinin yapımından önce kamu kurumları ve sivil toplum örgütleri bilgilendirilmeli, vatandaşların talep ve ihtiyaçları dikkate alınmalıdır,
- ✓ Karayolu projelerinin yapımında altlık için güncel sayısal arazi modelleri (SAM) ve halihazır haritalar kullanılmalıdır,
- ✓ Projeler (karayolu ve tünel), topoğrafyaya, ihtiyaçlara, trafik durumuna, iklim ve çevre şartları ile ekonomik duruma uygun yapılmalıdır,
- ✓ Projelerin yapım sürecinde tarihi, kültürel, sosyal, ekonomik ve insan faktörü gibi hususlar dikkate alınmalıdır,
- ✓ Tünel ve karayolu için döşenen jeodezik ağ, karayolu güzergahı boyunca ve tüneli içine alacak şekilde tasarlanmalıdır,
- ✓ Ağ için öngörülen hata miktarları belirlenmeli, ağ kurulumu ve hesapları mevzuata uygun yapılmalı ve jeodezik ağ mutlaka tescil ettirilmelidir,
- ✓ Projeye ve beklenen hata miktarına uygun ölçme yöntemi ve ölçme cihazları, donanım/yazılım ve tecrübeli personeller seçilmelidir,
- ✓ Karayolu projelerinde yatay ve düşey eksenlerin optimizasyonu yapılmalı, karayolu sınıfı, topoğrafya, proje elemanları ve karayolu üstyapısı birbirleriyle uyumlu olmalıdır,
- ✓ Projeler (karayolu ve tünel projeleri) için fayda/maliyet analizleri ile aktüalizasyon işlemleri yapılmalıdır,
- ✓ Kamu kurumları ile müteahhit firmalar, teknik donanım, ölçme yöntemleri, nitelikli yardımcı personel ile fiilen işlerin başında bulunacak ve/veya kontrollük yapacak harita mühendisi bulundurmaları konusunda teşvik edilmeli, şartnamelere ve kurum kültürlerine yerleştirilmelidir,

- ✓ Müteahhit firmaların, tünel ve karayolu yazılımlarına sahip total stationlar, GNSS cihazları ve bilgisayar yazılımı kullanmaları mecburi tutulmalıdır,
- ✓ Tünel inşaatına ait ölçümlerde refraksiyon etkisini azaltmak için dispersometre, gyro-teodolit gibi gelişmiş ve hassasiyeti arttıran teknolojik donanımlar kullanılmalı, çekül sapması ve karşılaşma hatası ciddiye alınmalıdır,
- ✓ Tünel deformasyonu için periyodik olarak jeodezik ölçümler yapılmalı, ölçümler gerektiğinde jeoteknik yöntemlerle desteklenmeli ve sonuçlar bilimsel yollar ve diğer mesleki disiplinlerle analiz edilip kazı esnasında ve sonrasında gereken tedbirler alınmalıdır,
- ✓ Tünel inşaatı tamamlandıktan sonra da periyodik olarak deformasyon ölçümleri mutlaka yapılmalıdır,
- ✓ Karayolu ve tünel çalışmalarında klasik ölçme yöntemleri ve gelişmiş ölçme yöntemleri (GNSS teknolojisi, LIDAR ve YLT teknolojileri, hidrografik ölçümler, akustik ölçü sistemleri, fotogrametri ve uzaktan algılama) ile mesleki yazılım ve bilişim teknolojileri mutlaka kullanılmalıdır,
- ✓ Eğitim kurumlarımızdaki ders müfredatları gelişen teknoloji ve iş alanları dikkate alınarak güncellenmeli, okulların eğitim/öğretim ve yazılım/donanım kalitesi mutlaka artırılarak öğrencilerin mezuniyetten önce pratikle teoriyi buluşturması sağlanmalıdır,
- ✓ Geçmişten günümüze inşaatı gerçekleştirilen büyük mühendislik yapılarında özellikle tünellerde önemli teknik hatalar yapılmış olmasına rağmen ciddiye alınmadığı ve bu hataların yazılı ve görsel kaynaklara yansımadağı görülmüştür. Yapılan teknik hatalar yazılı ve görsel kaynaklarda yer almalı ve ilgili kesimlerle paylaşılmalıdır,
- ✓ Araştırmacılara (lisans, yüksek lisans ve doktora öğrencilerine), kamu kurumlarının uhdesindeki işlerde (karayolu, tünel, baraj, santral, havaalanı vb.) çalışma, tez hazırlama, araştırma ve teknik verilere ulaşım konusunda gereken kolaylık sağlanmalı ve araştırmacılar bu konularda teşvik edilmelidir. Bu hususlar, kamu kurumları ve müteahhit firmalardaki kişilerin inisiyatifine bırakılmadan şartname ve mevzuatla güvence altına alınmalıdır,
- ✓ Büyük mühendislik projelerinin özellikle tünel ve karayolu projelerinin başlangıcından sonuna kadar harita mühendisliği ve jeodezik çalışmaların önemli olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Regarding Recent Suggestions Redating the Siloam Tunnel, <https://www.biblicalarchaeology.org/daily/biblical-sites-places/jerusalem/regarding-recent-suggestions-redating-the-siloam-tunnel/>, 07 Ocak 2019.
- [2] Connecting Salzburg: Sigmundstor Tunnel, <http://www.visit-salzburg.net/sights/neutor.htm>, 01 Mayıs 2016.

- [3] Panoramia.com, Eupalinos Tüneli, Yunanistan, <http://www.panoramio.com/photo/1791681>, 01 Mayıs 2016.
- [4] Stathis, C. Stiros, (2009). "Alignment and Breakthrough Errors in Tunneling", Tunnelling and Underground Space Technology, 24 (2009):236–244.
- [5] Marmaray'ın Kardeşleri, <http://www.trthaber.com/foto-galeri/marmarayin-kardesleri/5223/sayfa-1.html>, 01 Mayıs 2016.
- [6] Haberler.com, Rönesans, Avrupa'da Dünyanın En Büyük Tünelini Açacak, <http://www.haberler.com/ronesans-holding-avrupa-nin-kalbine-dunyanin-en-5855212-haberi/>, 02 Mayıs 2016.
- [7] Terelek.blogcu.com, Terelek Kaya Tüneli, <http://terelek.blogcu.com/terelek-kaya-tuneli/319497>, 03 Mayıs 2016.
- [8] Vural, İ., Tüneller ve Tünel Jeolojisi, <http://slideplayer.biz.tr/slide/9139948>, 03 Mayıs 2016.
- [9] Arısoy Y., Öziş Ü. ve Kaya B., Lamas Havzası Tarihi Su İletim Sistemleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova-İzmir, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/13606.pdf>, 03 Mayıs 2016.
- [10] Öziş, Ü., (2002). "Dört Bin Yıl Boyunca Türkiye'de Su Yapıları", Türkiye Mühendislik Haberleri, 2002/3 (419):17-28.
- [11] İETT Genel Müdürlüğü, Dünyanın En Eski İkinci Metrosu Tünel, Bu Yıl 139. Yılına Kutluyor, <http://www.iett.istanbul.tr/main/news/dunyanin-en-eski-ikinci-metrosu-tunel-bu-yil-/1389>, 08 Ekim 2017.
- [12] Doğu İnşaat, Urfa Su İletim Tünelleri Şanlıurfa, [http://www.dogusinsaat.com.tr/DOGUSINSAAT/dogusinsaat\\_files/2012839522193\\_Image2.jpg](http://www.dogusinsaat.com.tr/DOGUSINSAAT/dogusinsaat_files/2012839522193_Image2.jpg), 05 Mayıs 2016.
- [13] DSİ, (2005). DSİ Teknik Bülteni, Sayı:100, Ankara.
- [14] KGM, Otoyol Tüneli, Bolu Dağı Tüneli, <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Galeri/OtoyolTuneli.aspx>, 05 Mayıs 2016.
- [15] Gap Eylem Planı, Dünyanın En Uzun 5. Su Tüneli Sुरुç'ta, <http://www.gapep.gov.tr/haberler.php?lang=tr&cat=1&news=24>, 05 Mayıs 2016.
- [16] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı TCDD Genel Müdürlüğü, Marmaray, <http://www.marmaray.gov.tr/icerik/marmaray/Marmaray-Teknik-%C3%96zellikleri/56>, 07 Ekim 2017.
- [17] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı TCDD Genel Müdürlüğü, Marmaray, 153 Yıllık Rüya Gerçek Oldu, [http://www.marmaray.gov.tr/content/hayal\\_gercek\\_oldu.pdf](http://www.marmaray.gov.tr/content/hayal_gercek_oldu.pdf), 07 Ekim 2017.
- [18] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı TCDD Genel Müdürlüğü, Marmaray, Tüneller ve Depremler, <http://www.marmaray.gov.tr/icerik/marmaray/T%C3%BCneller-ve-Depremler/55>, 06 Mayıs 2016.

- [19] Uzman Tv, Marmaray Tüp Geçidinin Yapımında Hangi Teknolojiler Kullanıldı?, <http://www.uzmantv.com/marmaray-tup-gecidinin-yapiminda-hangi-teknolojiler-kullanildi>, 26 Ocak 2017.
- [20] Arıoğlu, E., (2011), Tünel Dersi 1.Bölüm Genişletilmiş Genel Giriş, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Merkezi AR&GE Bölümü İstanbul, [http://www.yildiz.edu.tr/~sahin/tuneller/1.BOLUM\\_Genel%20Giris Genisletilmis.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~sahin/tuneller/1.BOLUM_Genel%20Giris%20Genisletilmis.pdf), 24 Ekim 2015.
- [21] Ovit Tünelinde Kazının Yüzde 80'i tamamlandı, [http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMImages/Root/BasindaKGM/Aralik2015/TICARI\\_HAYAT\\_20151217\\_11.jpg](http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMImages/Root/BasindaKGM/Aralik2015/TICARI_HAYAT_20151217_11.jpg), 05 Mayıs 2016.
- [22] Yeni Zigana Tüneli Trabzon-Gümüşhane, <http://www.karayoluhaber.com/2014/zigana-tuneli-ihalesi-yapildi/>, 05 Mayıs 2016.
- [23] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı AYGM Genel Müdürlüğü, Avrasya Tüneli, <https://www.avrasyatuneli.com/kurumsal/ne/hakkinda>, 08 Ekim 2017.
- [24] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı AYGM Genel Müdürlüğü, Avrasya Tüneli, <http://www.avrasyatuneli.com.tr/tr/basin-odasi/foto-galeri>, 07 Mayıs 2016.
- [25] Bayındır, C. A., (2016). “Avrasya Tüneli Özel Sunumu”, 1. Ulusal Tünelcilik ve Yeraltı Yapıları Kongresi, 26-28 Mayıs 2016, Congressium, Ankara, <http://www.utyayk.org/files/Presentations/Day-1/12.00-12.30-Ceren-ALACA-BAYINDIR.pdf>, 21 Ekim 2017.
- [26] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, KGM, Tünel Envanter Bilgileri, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/KoprueTunelBilgileri/tunelenvanterbilgileri.pdf>, 29 Mart 2018.
- [27] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, KGM, 2017 Faaliyet Raporu, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Kurumsal/FaaliyetRaporu/2017Faaliyet.pdf>, 24 Mart 2018.
- [28] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ulaşan ve Erişen Türkiye 2017 Karayolu, <http://www.udhb.gov.tr/images/faaliyet/e4b907f8f006296.pdf>, 28 Mart 2018.
- [29] T.C. Resmi Gazete, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY-Eski). (25876), 15 Temmuz 2005.
- [30] T.C. Resmi Gazete, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY-Yeni). (30460-Mükerrer), 26 Haziran 2018.
- [31] Gengeç, N. E., (2010). Tünel Açma Çalışmalarında Yatay Yönlendirme Doğruluğunun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Koç, İ., Tünel Ölçmeleri (Ders Notları), <http://yarbis.yildiz.edu.tr/common/uploads/ea7ce1b484/T%C3%BCnelaplikasyonu.pdf>, 18 Eylül 2015.

- [33] Fowler, S., (2006). Design and Preamalysis of Underground Control Networks for Tunnel Construction, Lisans Tezi, Otago Üniversitesi, Survey Department, New Zealand.
- [34] Ademoğlu, Y., (2008). Modern Tünelcilikte Jeodezik Çalışmaların Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] T.C. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü, Yerçekimi İvmesi, [http://physics.comu.edu.tr/library/ekitap/yercekimi\\_ivmesi.pdf](http://physics.comu.edu.tr/library/ekitap/yercekimi_ivmesi.pdf), 13 Şubat 2017.
- [36] Pektaş, A., Jeofizik Ders Notları, İnönü Üniversitesi, [https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwik3\\_nf0IHUAhUKEJoKHcyBTkQFgg7MAQ&url=https%3A%2F%2Fcms.inonu.edu.tr%2Fuploads%2Fcontentfile%2F1597%2Ffiles%2F231%2520JEOF%25C4%25B0Z%25C4%25B0K%25201%2520DERS%2520NOTLARI%25202015.doc&usg=AFQjCNHAdtQAZeOTa9DdzMSvQDIbqANRuA&ad=rja](https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwik3_nf0IHUAhUKEJoKHcyBTkQFgg7MAQ&url=https%3A%2F%2Fcms.inonu.edu.tr%2Fuploads%2Fcontentfile%2F1597%2Ffiles%2F231%2520JEOF%25C4%25B0Z%25C4%25B0K%25201%2520DERS%2520NOTLARI%25202015.doc&usg=AFQjCNHAdtQAZeOTa9DdzMSvQDIbqANRuA&ad=rja), 21 Mayıs 2017.
- [37] Erkaya, H., (2006), Yükseklik Ölçmeleri (Ders Notları), YTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, [https://iujfk.files.wordpress.com/2012/03/yuksekkolcmeleri\\_halilerkaya.pdf](https://iujfk.files.wordpress.com/2012/03/yuksekkolcmeleri_halilerkaya.pdf), 11 Ekim 2015.
- [38] Tiryakioğlu, İ., Jeoid ve Jeoid Belirleme Ders 7, Afyon Kocatepe Üniversitesi, [http://ibrahimtiryakioglu.com/dersler/ozel-olcmeler/jeoid\\_belirleme\\_ders7.pdf](http://ibrahimtiryakioglu.com/dersler/ozel-olcmeler/jeoid_belirleme_ders7.pdf), 11 Şubat 2017.
- [39] Türen, Y., (2010). Astrojeodezik Nivelman ile Yerel Jeoid Belirleme: Konya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [40] Türen, Y. ve Üstün, A. (2013). “Astrojeodezik Çekül Sapması Bileşenlerinin ve Jeoid Yükseklik Farklarının Kern DKM3A ile Belirlenmesi: Konya Örneği”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 MAYIS 2013, Ankara.
- [41] Ceylan, A. ve Akkul, M., (2009). “GPS ve Nivelman Ölçüleri ile Çekül Sapması Bileşenlerinin Hesaplanması Üzerine Bir Çalışma”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs 2009, Ankara.
- [42] T.C. İstanbul Teknik üniversitesi, Tünel Jeolojisi, <http://ninova.itu.edu.tr/tr/dersler/insaat-fakultesi/770/ins-251/ekkaynaklar?g322791>, 08 Aralık 2015.
- [43] Arkoç, O., Genel Jeofizik ve Jeoloji, Bölüm 11 Tünel Jeolojisi, [http://personel.klu.edu.tr/dosyalar/kullanici/orhan.arkoc/dosyalar/dosya\\_ve\\_belgeler/Sunu11\\_t%C3%BCnel\\_jeo.pdf#page=1&zoom=auto,-10,-164](http://personel.klu.edu.tr/dosyalar/kullanici/orhan.arkoc/dosyalar/dosya_ve_belgeler/Sunu11_t%C3%BCnel_jeo.pdf#page=1&zoom=auto,-10,-164), 10 Ekim 2017.
- [44] T.C. Balıkesir Üniversitesi, Metro, <http://w3.balikesir.edu.tr/~atufan/xcrs/metro.doc>, 18 Eylül 2015.
- [45] Vardar, M., (2013). “Dünyada ve Türkiye’de Tünelcilik ve Yeraltı Geçişleri”, Türkiye Tünelcilik Semineri, 13 Haziran 2013, Ankara.

- [46] Abdioğlu, A., (2007). Karayolları Fiziksel Yapıları ve Ölçü Yöntemleri Üzerine İncelemeler, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [47] Ünlütepe, A. ve Messing, M., (2005). “Tünel Ölçme Uygulamalarında Son Yenilikler”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul.
- [48] Ayış, H. İ., (2010). Tünel Açma Sistemlerinde Çelik Lifli Püskürtme Betonun Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [49] Eren, M., (2014). İki Farklı Yöntemle (Natm-Tbm) ile Açılan Bir Tünelde Düşey Deformasyon/Deplasman’ların Belirlenmesi: M5 Metro Örneği, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [50] Yavuz, E. ve Ersoy, N., (2005). “Pipe Jacking Yöntemi ile Açılan Mikro Tünel Projelerinde Jeodezik Çalışmalar”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul.
- [51] Ayaydın, N., Tünel Açma Yöntemlerinin Karşılaştırılması, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12782.pdf>, 24 Ekim 2015.
- [52] Seydanlıoğlu, A., (2009). Metro Tünellerinde Deformasyon Ölçmeleri 4.Levent-Ayazağa Metro Hattı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [53] Yavuz E., Hoşbaş G. ve Ersoy N., Tünellerde Modern Ölçme Sistem ve Yöntemlerin Kullanılması, [http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/12H4\\_6bff625bdb03939\\_ek.pdf](http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/12H4_6bff625bdb03939_ek.pdf), 09 Aralık 2015.
- [54] Satır, B., (2007). Tünel Deformasyonlarının Jeodezik, Geoteknik ve Sonlu Eleman Yöntemleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [55] Atlıhan Harita, Batimetrik Harita Üretimi, <http://www.atlihanharita.com/uygulama-batimetrik-harita-uretimi.php>, 22 Mart 2017.
- [56] Batimetrik, Batimetrik, Hidrografik ve Oşinografik, Su Altı Ölçme ve Araştırmaları, <http://www.batimetrik.com/>, 22 Mart 2017.
- [57] Kahyaoğlu, H., Tag Otoyolu Üzerinde Tünel İşleri ve Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11658.pdf>, 24 Ekim 2015.
- [58] KGM, Tünel Projelendirme ve Yapımı, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Otoyollar/YeraltiYapiIslGuvSemineri/7Ekim/TunelProjelendirmeveYapimi.pdf>, 22 Ekim 2017.
- [59] Rabcewicz, L. V., ve Golseb, J., (1973). “Yeni Avusturya Yöntemi İle Tünel Açımında Tahkimat Sisteminin Boyutlandırma Esasları”, Water Power Dergisi, Mart 1973; Çeviren: Pakel, M., [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/496bf24afe7fab6\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/496bf24afe7fab6_ek.pdf), 16 Ekim 2017.
- [60] KGM, (2013). Karayolu Teknik Şartnamesi (KTS), (Yol Altyapısı, Sanat

Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler), Ankara.

- [61] Kılıç, R. ve Ulaş, K., (2009), JEM 302 Mühendislik Jeolojisi Uygulama Notları (A Grubu), Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, <http://80.251.40.59/eng.ankara.edu.tr/ulamis/JEM302UYG-A.pdf>, 11 Ekim 2017.
- [62] Tünel Teknolojisi, Belören Tünelini Herrentknecht TBM'si "Zeugma" Açacak, <http://www.tunelteknolojisi.com/haberler/haberdetay/53>, 12 Ekim 2017.
- [63] Reinhard, D., Das Steurleitsystem Im Teilabschnitt Bodio Des Gotthardbasistunnel, Consorzio TAT, Tunnel Alp Transit-Ticino; Çeviren: Koç, İ., İnşaat Makinelerinin Yönlendirilmesi (Tünel Örneği), <http://yabis.yildiz.edu.tr/common/uploads/ea7ce1b484/in%C5%99Faatmak.y%C3%B6nlendirilmesi1.pdf>, 18 Eylül 2015.
- [64] Bülbül, S., (2013). Yatay Yöndeki Deformasyonların Belirlenmesinde Bağlı Güven Elipsleri ve Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yönteminin Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [65] Doğanalp S., (2005). Kinematik Modelde Kalman Filtreleme Yöntemi ile Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [66] Atasoy, V. ve Öztürk, E., Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Sonuçların Yorumu, Karadeniz Üniversitesi, [http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/V5F5\\_810ccd41bf26faa\\_ek.pdf](http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/V5F5_810ccd41bf26faa_ek.pdf), 10 Kasım 2015.
- [67] Kontogianni V., Psimoulis P. ve Stiros S., (2006). "What is The Contribution Of Time-Dependent Deformation in Tunnel Convergence?", Engineering Geology 82: 264-267.
- [68] Arioğlu, E., (2009), Tünel Dersi 6.Bölüm Klasik Kazı Yöntemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Merkezi AR&GE Bölümü, İstanbul, [http://www.yildiz.edu.tr/~sahin/tuneller/6.BOLUM\\_DERS\\_NOTLARI.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~sahin/tuneller/6.BOLUM_DERS_NOTLARI.pdf), 18 Eylül 2017.
- [69] Sistem A.Ş., Reflektörler, <http://sistemas.com.tr/urun-detay?ktg=totaltation&alt=aksesuar&k=1&ak=reflektörler&syf=1>, 25 Mayıs 2018.
- [70] Zf-laser.com, Laser Measurement Technology, <http://www.zf-laser.com/Home.91.0.html?&L=1>, 27 Aralık 2006.
- [71] Kıvılcım C. Ö., Lidar ve Yersel Lazer Tarayıcı Sistemleri, <http://docplayer.biz.tr/6216880-Lidar-ve-yersel-lazer-tarayici-sistemleri-yersel-lazer-tarayici-hakkinda-genel-bilgi.html>, 15 Ekim 2017.
- [72] Emi Grup, Lidar, <http://www.emigrup.com/index.php/cozumler2/lidar>, 15 Aralık 2016.
- [73] Tunalioglu, N., (2011). Yol Geçkisi Tasarımında Alternatif Yaklaşımlar, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [74] Gümüş, K. ve Erkaya, H., (2007). "Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 11.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2-6 Nisan 2007, Ankara.

- [75] Zeybek, M., Şanlıoğlu, İ. ve Özdemir, A., (2016), Modern Jeodezik Yöntemlerle Heyelanların İzlenmesi: Konya Taşkent Heyelanı, [https://www.researchgate.net/publication/301771949\\_Modern Jeodezik\\_Yontemlerle\\_Heyelanlarin\\_Izlenmesi\\_Konya\\_Taskent\\_Heyelani](https://www.researchgate.net/publication/301771949_Modern_Jeodezik_Yontemlerle_Heyelanlarin_Izlenmesi_Konya_Taskent_Heyelani), 30 Aralık 2016.
- [76] Zeybek, M., Şanlıoğlu, İ. ve Genç A., (2015). “Yüksek Çözünürlüklü Yersel Lazer Tarama Verilerinin Filtrelenmesi ve Filtrelemelerin Heyelan İzlemeye Etkisi”, Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1 (1-2): 11-20, Temmuz 2015.
- [77] Sistem A.Ş., Lazer Tarayıcılar, <http://www.sistemas.com.tr/urunler?ktg=lazer-tarayicilar&syf=1>, <http://www.sistemas.com.tr/urunletay?czm=tunel&alt=amberg-tunel-cozumleri&k=1&urn=amberg-tunnelscan&syf=1>, 26 Mayıs 2018.
- [78] 3blazertarama.net, Faro, <http://www.3blazertarama.net/urunler.html>, 28 Aralık 2016.
- [79] Ordóñez, C., Argüelles, R., Ablanado E. S. ve Pardiñas, J. R., (2015). “Deformation Analysis in Tunnels Through Curve Clustering”, Applied Mathematical Modelling, 000 (2015): 1-8.
- [80] Faro Technologies, Inc., Anderson & Associates, Laser Scanner Kullanarak Tünel İç Ölçümü İçin Gereken Süreyi %60 Oranında Azaltıyor, [http://www.faro.com/tr-tr/case\\_study/anderson-associates-laser-scanner-kullanarak-tunel-ic-olcumu-icin-gereken-sureyi-oraninda-azaltiyor/](http://www.faro.com/tr-tr/case_study/anderson-associates-laser-scanner-kullanarak-tunel-ic-olcumu-icin-gereken-sureyi-oraninda-azaltiyor/), 1 Haziran 2016.
- [81] Yıldız, F., ve Altuntaş, C., (2008). ”Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi”, Hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2008/1 (98): 20-27.
- [82] Altuntaş, C.,(2017). “Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi ve Jeodezik Koordinat Sistemine Dönüştürülmesi: Literatür Araştırması”, Selçuk Teknik Dergisi, 16 (1): 12-43.
- [83] Yıldız, F. ve Altuntaş, C., (2009). “Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutlarının Jeodezik Koordinat Sistemine Dönüştürülmesi”, Harita Dergisi Temmuz 2009 (142): 51-58.
- [84] Scaioni, M., (2005). “Direct Georeferencing of TLS in Surveying of Complex Sites”, The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciencies, Vol.36, Part 5/W17, s. on CD.
- [85] Elektrikport.com, Inertial Measurement Unit (IMU) Nedir?, [http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/imu-\(inertial-measurement-unit\)-nedir/17369#ad-image-0](http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/imu-(inertial-measurement-unit)-nedir/17369#ad-image-0), 29 Aralık 2016.
- [86] Yalçınkaya M. ve Satır B., (2005). “Tünellerde Oluşan Hareketlerin Farklı Ölçü Yöntemleri ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul.
- [87] Renishaw, Interferometry Explained, <http://www.renishaw.com.tr/tr/interferometry-explained--7854>, 16 Mayıs 2017.

- [88] Zygo.com, Laser İnterferometers, <https://www.zygo.com/?/met/interferometers/&gclid=CLTZiu3itdICFYEV0wodpx0Dvg>, 01 Mart 2017.
- [89] Keysight Technologies, Laser Interferometer Position Measurement Systems, <http://www.keysight.com/en/pc-1000000394%3Aeapsg%3Aapgr/laser-interferometer-position-measurement-systems?cc=TR&lc=eng>, 01 Mart 2017.
- [90] Özcan, D., (2005). Karadiken Köyü/Tarsus Kalker İşletme Şevlerindeki Deformasyonların Ölçülmesi ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [91] İnanır, O. E., (2015). “Geoteknik Mühendisliğinde Aletsel Gözlem ve Uygulama Teknikleri”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 2015-1, (484):20-30.
- [92] Yücer, G., (2012). “Barajlarda Yapı Performansı”, Jeofizik Bülteni, Kasım 2012: 52-56.
- [93] Kalkan, Y., Alkan, R. M., Baykal, O., Yanalak, M., Erden, T. ve Yıldırım, H., “Heyelanların Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle İzlenmesi: Ambarlı Liman Bölgesinde Bir Uygulama”, [http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/41F5\\_260\\_ek.pdf](http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/41F5_260_ek.pdf), 15 Nisan 2017.
- [94] Yalçınkaya, M. ve Teke, K., (2006). “San Andreas Fayında Yapılan Jeodezik ve Yer Dinamiği Çalışmaları”, TUJK 2006 Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı 2, [http://www.yerdurumu.org/makaleler/kaliforniya\\_g%C3%B6zlem\\_ist.pdf](http://www.yerdurumu.org/makaleler/kaliforniya_g%C3%B6zlem_ist.pdf), 16 Nisan 2017.
- [95] Doğanalp S. ve Turgut B., (2009). “Statik ve Kinematik Modelde Deformasyon Analizi”, Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Derg., 24: 31-44.
- [96] Kalkan, Y. ve Alkan, R. M., (2005). “Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ-İstanbul.
- [97] Erol, S. ve Ayan, T., (2009). “Mühendislik Yapılarının İzlenmesinde Jeodezik Yöntemlerin Kombinasyonu”, İTÜ Dergisi/d Mühendislik, Haziran 2009, 8 (3): 15-28.
- [98] Özbek A., (2005). “Yeraltı Kazılarında (Tünellerde) Yerdeğiştirme Vektörünün İzlenmesi ve Ayna İlerisindeki Ortamların Tahmini”, İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 18 (2): 171-181.
- [99] KGM 2. Bölge Müdürlüğü, TTS Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Ltd. Şti., (2014). Denizli Honaz Tüneli Kesin Proje Jeoloji-Jeoteknik Raporu.
- [100] KGM 2. Bölge Müdürlüğü, Körfez Haritacılık Planlama Ltd. Şti., (2008). (Denizli-Dinar D.Y) Ayr.-Denizli II. Kısım Devlet Yolu, Jeodezi ve Fotogrametrik Müh. Hizmetleri Yersel Yöntemle Sayısal Harita Üretimi Hesap Cildi.