

KARAYOLU İNŞAATINDA YAPILAN JEODEZİK ÇALIŞMALAR ve KARAYOLU GEOMETRİSİ

Doç. Dr. Arzu SOYCAN

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Harita Mühendisliği, 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

ÖZET

Bu çalışmada, karayolu (tünel) projesi ve inşaatı sırasında yapılan jeodezik çalışmalar ile karayolu geometrisi incelenmiştir.

Plansız ve düzensiz yapılaşma, köylerden kentlere yoğun göç dalgası, nüfusun artması, toprakların azalması, yapılaşma rantları, kamu kurumlarının bürokratik ve hantal yapısı gibi sebeplerle şehirlerimiz fiziksel ve sosyal yönlerden ağır bir baskı altına alınmış ve bu yükü taşıyamamıştır. Nüfus artışı ve ekonomik kalkınmayla birlikte araç sayısı artmış bu da trafik, hava kirliliği, çevre kirliliği ve gürültü kirliliğine neden olmuştur. Ülkemizde ulaşım sorununu hafifletebilmek için son yıllarda hava, deniz ve karayolu ulaşımına önem verilmiş, büyük karayolu ve tünel projelerinin inşaatının tamamlandığı ve bazı karayolu ve tünel projelerinin inşaatının da devam ettiği görülmüştür.

Karayolu (tünel) projelerinin hazırlanması sırasında yapılan jeodezik ve diğer ilgili çalışmalar anlatılmıştır. Proje hızı, yatay kurp, düşey kurp, geçiş eğrisi, boyuna eğim, kamulaştırma genişliği, dever, duruş görüş mesafesi, geçiş görüş mesafesi, yatay eksen, düşey eksen, tipkesit elemanları, topoğrafya, trafik etüdü ve taşıt özellikleri gibi karayolu proje standartlarından bahsedilmiştir.

Karayolu (tünel) projeleri ve inşaatı için düşünülmesi gereken en önemli husus, yatay ve düşey jeodezik ağların tesisidir. Jeodezik ağlar, önceden sadece klasik yöntemlerle tesis edilirken günümüzde hem klasik hem de GNSS yöntemleriyle tesis edilebilmektedir. Denizli ilinde inşaatı devam eden Honaz Tüneli ve bağlantı yolları ile ilave karayolu güzergâhları için GNSS ve nivelman yöntemleriyle oluşturulan jeodezik ağ (yatay ve düşey kontrol noktaları) hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Ayrıca tünel çıkış portalının olduğu zemindeki kaymaları tespit edebilmek için yapılan inklinometre ölçümleri ve sonuçlarından da bahsedilmiştir.

Karayolu proje yapım ve uygulama süreçlerinde harita mühendisliği ve jeodezik çalışmaların önemli olduğu, klasik ve gelişmiş yöntemlerin birlikte kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Konu ile ilgili çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karayolu, tünel, karayolu proje standartları, jeodezik ağ, total station, nivelman, GNSS, inklinometre.

GEODESIC WORKS IN HIGHWAY CONSTRUCTION AND HIGHWAY GEOMETRY

ABSTRACT

In this study, geodesic works during highway (tunnel) construction and project with highway geometry are investigated.

Due to unplanned and irregular urbanization, intense migration to cities, increase in population, reduction of soils, reconstruction rants, bureaucratic and bulky structure of public institutions, our cities are suppresses heavily in physical and social aspects and they cannot carry this load anymore. The increase in population and economic development and vehicles have caused to traffic, air, noise and environmental pollution. In recent years, the air, marine and highway transportation are getting important, major highway and tunnel projects are completed and some of them are still in progress to ease the transportation problem in the country.

The geodesic and other related studies have been described during the highway (tunnel) projects. Project speed, horizontal curve, vertical curve, transition curve, longitudinal slope, expropriation width, super elevation, position visibility distance, transition visibility distance, horizontal axis, vertical axis, type of cross section elements, topography, traffic survey and vehicle properties like from highway project standards have been mentioned.

73

The most important point to be considered is the establishment of horizontal and vertical geodesic networks for highway (tunnel) construction and projects. Previously geodesic networks are established using only the classical methods, but today they can be established using both classical and GNSS methods. In this study, detailed information is given about the geodesic networks (horizontal and vertical control points) which are created using GNSS and leveling methods for the Honaz Tunnel and connection ways with additional highway routes that are ongoing constructions in Denizli. Additionally, to detect the slip in the ground at the tunnel exit portal, inclinometer measurements were completed and results were also mentioned.

The study emphasized the importance of geomatic engineering and geodesic works in highway construction projects and application processes and the employment of both classical and modern methods. Various suggestions have been made about the subject.

Keywords: Highway, tunnel, highway project standards, geodesic network, total station, leveling, GNSS, inclinometer.

1. GİRİŞ

İlk çağlardan günümüze insanlığın çözüm bulmak için uğraştığı en karmaşık ve çözümün en zor olduğu konulardan birisi ulaşımdır. Ulaşım adına ilk yol çalışmaları, M.Ö. 3500’lü yıllarda Mezopotamya’da başlamış, zamanına göre en aydınlık çağını Roma İmparatorluğu devrinde yaşamıştır. Dünyada ve ülkemizde eskilerden kalma pek çok tarihi yol mevcuttur. Dünyadaki tarihi yollardan en önemlileri İtalya Roma’daki “Appian Way” diğer adıyla “Via Appia” [1], [2], [3] ile İtalya Napoli Pompeii Antik Kentindeki tarihi yollardır [1], [4]. İzmir Efes Antik kentindeki tarihi yollar [1], [5], Mersin ili Tarsus ilçe merkezinde bulunan antik yol [6] ile Tarsus sınırları içerisinde Sağlıklı Köyü yakınlarındaki antik Roma Yolu [6] ve Manisa’da M.Ö. sekizinci yüzyıla ait Aigai antik kentinde ortaya çıkarılan Roma döneminden kalma antik yol [7], ülkemizdeki tarihi yollara örnek olarak gösterilebilir.

Ülkemizin en büyük karayolu yatırımlarından olan İzmir-Kocaeli Otoyol Projesinin inşaatı devam etmekte olup bazı kısımları trafiğe açılmıştır. Otoyol projesi; Gebze Dilovası ile Yalova Hersek Burnu arasındaki İzmit Körfezini bağlayan (orta açıklık bakımından dünyanın 4. büyük köprüsü olan ve 2,682 km uzunluğundaki) Osman Gazi Asma Köprüsünü de içine alan, Bursa, Balıkesir, Manisa ve İzmir arasında 384 km otoyol ve 49 km bağlantı yolları olmak üzere toplam 433 km’lik otoyol inşaatını kapsamaktadır [8], [9].

Nüfusun hızlı artışına paralel toprakların azalması, kentlere hızlı ve yoğun göç dalgası, şehirlerde sanayi ve ticaretin yoğun ve canlı oluşu, kentlerimizdeki planlama çalışmalarının yetersizliği, artan taşıt sayısı ve çeşitliliği, demiryolu, havayolu ve deniz taşımacılığına önem verilmemesi gibi nedenlerle ulaşım konusunun tüm yükü karayollarının üzerine bırakılmıştır.

74

Ulaşım konusu, 5 temel başlık altında incelenebilir [1], [10], [11], [12], [13], [14]:

- Kara Ulaşımı (Karayolu, demiryolu),
- Deniz Ulaşımı (Denizyolu, iç su yolu),
- Hava Ulaşımı,
- Boru Hattı Ulaşımı (Doğalgaz, petrol, su, kanalizasyon vb.),
- Kablolu Ulaşım (Teleferik).

Çeşitli karışımlar kullanılarak yapılan, taşıtların ve bazı durumlarda yayaların kullanımı için ayrılan her türlü sanat yapılarını da kapsayan ve kamunun kullanımına tahsis edilen belirli uzunluk, genişlik, kalite ve sınıflardaki arazi bölümleri karayolu olarak adlandırılır.

2. KARAYOLU GEOMETRİSİ

2.1 Karayolu ve Tünel Projelerinin Hazırlanması

Tünel, baraj, havaalanı, santral, liman gibi mühendislik yapılarının proje yapımından inşaatın tamamlanmasına kadar geçen süre zarfında bazı adımlar söz konusudur [15]. Birinci adım “karar aşaması” olup bu aşamada projenin bölgeye ve ülkeye sosyal, çevresel, siyasi ve ekonomik yönlerden pozitif ve/veya negatif getirileri tartışılır. Projenin yapılmasına karar

verildikten sonra “ön etüt ve fizibilite aşaması” için veri toplama çalışmalarına başlanır. Toplanan veriler ışığında büroda ve arazide gerekli etütlerin yapıldığı ve alternatiflerin belirlendiği “etüt aşamasına” geçilir. Etüt aşamasından sonra alternatifler arasından proje yerinin kesinleştirildiği ve uygulama projelerinin hazırlandığı “proje aşamasına” başlanır. Daha sonra kesin projelere göre inşaatın başladığı “inşaat aşaması”, yapım sırası ve sonrasında ise “bakım ve kontrol aşaması” takip eder.

Karayolu ve buna bağlı diğer sanat yapılarının bütüncül bir anlayışla planlanıp yapılması amacıyla 11/2/1950 tarihli ve 5539 sayılı kanunla Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) kurulmuştur. 25/6/2010 tarihli ve 6001 sayılı (13/7/2010 tarih ve 27640 sayılı Resmi Gazete) Karayolları Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun ile KGM’nün kurum mevzuatı güncellenmiştir [16], [17]. KGM, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığına bağlıdır.

Karayolu ve tünel projeleri ile inşaat çalışmaları için en önemli kaynakların başında Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı-Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Terimleri Sözlüğü [18], KGM-Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ) (2013) [19], KGM-Karayolu Tasarım El Kitabı [20], KGM-Karayolları Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (Birim Fiyat) [21], KGM-Standart Kutu Menfez Tipleri [22] ile 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu gelmektedir.

Karayolu proje standartları (karayolu geometrik elemanları), karayolu ile tünel yatay ve düşey geçkileri, projeler ve uygulamalarla alakalı pek çok çalışma yapılmaktadır [10], [11], [14], [16], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35]. Karayolu projelerinin yatırım programına alınabilmesi için T.C. Başbakanlık D.P.T. Müsteşarlığı ve Kalkınma Bakanlığı Yüksek Planlama Kurulunun onayı gerekir.

75

Ön etüt ve fizibilite safhasında proje alanını kapsayan mevcut halihazır haritalar, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar, 1/100000 ölçekli jeolojik haritalar, hava ve uydu fotoğrafları, orman sınırları, sit sınırları, altyapı haritaları, imar planları, kadastral mülkiyetler, iklim ve çevresel veriler, drenaj durumları, heyelan alanları, askeri saha ve tarım arazilerinin sınırları gibi sayısal ve sözel tüm veriler toplanır. Yerleşim merkezleri, havaalanı, demiryolları, garaj, liman, sanayi ve ticaret alanları, turistik ve kültürel yerler, dere ve nehirler, önemli kavşak ve köprü alanları, karayolu için zorunlu noktalar, karayolu başlangıç/bitiş noktaları, malzeme alınacak ocak yerleri, muhtemel depo yerleri ve daha önce tesis/tescil edilen jeodezik yatay ve düşey noktaları gibi verilerin tümü 1/25000 ölçekli güncel haritalar üzerine işlenir. Başlangıç/bitim noktalarını da içeren ve 10 km genişliğinde bir alanın koridor etüt planı ile raporu ve zemin elverişlilik etüdü de hazırlanır [21].

Etüt aşamasında büro işleri ve arazide gerekli istikşaf çalışmaları yapılır. Yerleşim alanları, tehlikeli alanlar, tünel, viyadük/köprü ile menfez yapılacak yerler, akarsu ve dere geçişleri, hemzemin geçitler, tepe ve çukur noktalar, muhtemel eş düzey ve katlı kavşak yerleri, proje açısından kritik değerde olan noktalar gözlemlenerek yerinde çözümler üretilir. Güzergah boyunca yol eksenine dik şekilde (tünel varsa tünel alanını kapsayacak şekilde) sondaj çalışmaları, fay hatları, jeolojik/jeoteknik araştırmalar yapılır. Ayrıca önceden tesis edilen

jeodezik kontrol noktaları zeminde kontrol edilir. Yeni tesis edilecek yatay ve düşey kontrol noktalarının muhtemel yerleri belirlenir ve tüm noktalar istikşaf kanavalarında gösterilir. Yapılan çalışmaları detaylı bir şekilde anlatan istikşaf raporu hazırlanır. Sondajlar, jeolojik/jeoteknik çalışmalar, fay hatları, zemin durumu, heyelanlar, iklim ve çevre koşulları ile laboratuvar çalışmalarının sonucunda karayolu ve tünel güzergahı boyunca zemin ve kaya sınıflandırmaları yapılır. Zemin ve kaya sınıflandırmalarına bağlı olarak da karayolu ve tünel için kazı ve destekleme yöntemleri, elemanları ve bunların detayları belirlenir.

Proje alanının halihazır haritaları/plankoteleri yoksa veya güncelliğini yitirmişse jeodezik ağ yardımıyla güzergah boyunca klasik, fotogrametrik ve LIDAR/YLT (yersel lazer tarama) yöntemleriyle şeritvari halihazır haritalar, plankoteler ve sayısal arazi modelleri (SAM) üretilir. Halihazır harita ve SAM üretebilmek için çok sayıda 3 boyutlu (3B) konumu (y, x, z) bilinen noktalara ihtiyaç vardır. 3B konumu bilinen noktaları üretebilmek için geçmişten günümüze çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [24]. Bu yöntemler;

Klasik Yöntem: Total station, reflektör, nivo, mira, poligon, nirengi, RS noktaları kullanılarak noktasal bazda ölçümlerin yapıldığı, çok zaman alıcı ve zahmetli olan bir veri toplama yöntemidir.

Sayısallaştırma Yöntemi: Pafta, harita ve rasterların, üzerinde kot/koordinat değerleri bilinen detay, grid, RS, nirengi ve poligon noktalarına göre sayısallaştırılmasından sonra harita üzerindeki diğer detay objelerine kot ve koordinat verilmesi işlemi olup hassasiyeti düşüktür.

Uydu/GNSS Ölçme Yöntemi: Çok sayıda uydu ve farklı modellerde uydu alıcıları kullanılarak anlık 3B konum verileri elde edebilmek için sabit ve hareketli platformlardan yapılan modern ölçme ve veri toplama yöntemidir.

Uzaktan Algılama Yöntemi: Proje alanında LIDAR ve YLT teknolojisi kullanılarak çok kısa sürede milyolarca 3B konum verisi olan nokta kümesi (nokta bulutu) elde edilir.

Karayolu ve tünel projeleri, dere, göl, akarsu veya denizle irtibatlı ise hidrografik yöntemler kullanılır [16], [36], [37], [38], [39]. Hidrografik ölçümlerle ortalama deniz seviyesi, su altı topoğrafyası, med-cezir miktarı, ölçüm yapılan deniz aracının enine ve boyuna hareketleri ile ölçüm yapan cihazların yatay ve düşey konumları belirlenerek su altı topoğrafyası ölçülür. Hidrografik ölçümler için kullanılan klasik ve modern yöntemler mevcuttur: **İskandil latası yöntemi;** derinliğin 5 m'yi geçmediği küçük ve sığ sularda 4-6 m uzunluğundaki miralar kullanılarak yapılır. Yöntemin inceliği $\pm 5-10$ cm civarındadır. **İp iskandili yöntemi;** sentetik lifler, keten veya kenevirden yapılmış iplerin ucuna 2,5-10 kg ağırlık takılarak uygulanan bir yöntemdir. Derinliği 30 m'yi geçmeyen sularda uygulanan yöntemin inceliği ± 10 cm'dir. **Mekanik (tel) iskandil yöntemi;** derinliği 30-1200 m aralığındaki sularda uygulanır. Yöntem, ucuna 0-20 kg ağırlık bağlanmış ve makara yardımıyla sarılan düşey konumda uzun bir metre (tel) tertibatı kullanılarak uygulanır. Yöntemin hassasiyeti derinliğe bağlı olup $\pm 0,01$ H m'dir. **Akustik iskandil yönteminde** echosounder tarafından gönderilen akustik ses dalgaları tabandan yansıyarak geri döner. Ses dalgalarının su altındaki yayılma hızlarından

derinlikler hesaplanarak deniz tabanının topoğrafyası çıkarılır. Yöntemin inceliği, ölçüm yapılan klasik aletlerde $\pm 0,01$ H m iken hassas aletlerde $\pm (0,001-0,0025)$ H m'dir. **Airborne lazer iskandil yöntemi**; helikopter, uçak, INS ve GNSS teknolojileri, uzaktan algılama ve lazer tarayıcının birlikte kullanıldığı modern bir metottur. Lazer tarayıcının gönderdiği ışık ışınlarının deniz tabanından geri yansmasıyla mesafeler hesaplanarak kısa sürede çok sayıda 3B konum verisi olan nokta kümesi elde edilerek deniz tabanı taranır.



Şekil 2. 1 Hidrografik Ölçmeler [16], [38]

Farklı yöntemler kullanılarak araziye ait yeterli sıklıkta 3B noktalar (y, x, z) elde edildikten sonra değişik yazılımlar, veri modelleme metotları ve farklı algoritmalarla sahip enterpolasyon yöntemleri kullanılarak araziye en uygun SAM oluşturulur [24]. Gelişmiş yazılımlar ve eldeki tüm veriler kullanılarak karayolu/tünel projeleri kolay, hızlı ve alternatifli bir şekilde üretilir.

77

Zemin ve kaya sınıfları, teknik hususlar, hesaplar, proje standartları ve tüm datalar gözden geçirilip fayda/maliyet analizleri ve güncelleştirme (aktüalizasyon) yapılarak optimum seçenek belirlenir. Tünel ve karayolunun önce avan projeleri ve detaylı bir avan proje raporu sonra düzeltmeler yapılarak aşağıda verilen kesin projeler, raporlar, cetveller ve detaylar hazırlanarak onaylanır [19], [20], [21]. **Karayolu projelerinin yapımı ve onayı**;

Değişik koridor etütleri ile raporlarının hazırlanması ve uygun olan geçkinin onayı,

Yatay/düşey hatların ve raporlarının hazırlanması ve onayı,

İstenilen aralıkta enkesitlerin çıkarılması ve onayı,

Hidrolik ve hidrolojik etütlerin/raporların hazırlanması ve onayı,

Üst yapı projelendirme raporunun hazırlanması,

Kavşak projelerinin hazırlanması ve onayı,

Proje hacimsel elemanlarının çizimi, hesaplanması ve onayı,

Kübaj, Brükner diyagramı ve taşıma cetvellerinin hazırlanması ve onayı,

Proje geometrik elemanlarının, raporlarının hazırlanması ve onayı,

Drenaj projelerinin hazırlanması ve onayı,

Metraj dosyasının hazırlanması ve onayı,
Plankotelerin hazırlanması ve onayı,
Jeolojik/jeoteknik etütler yapılması, rapor hazırlanması ve onayı,
Trafik güvenliği ve işaretleme projelerinin yapılması ve onayı,
Toprak satırlarının tasarımı, peyzaj ve sulama projelerinin hazırlanması ve onayı,
İksa ve istinat duvarı projelerinin hazırlanması ve onayı,
Kavşaklarda trafik akım sayımlarının yapılması ve onayı,
Kamu kurumlarına ait altyapı deplasman projelerinin hazırlanması ve onayı,
Zayıf zemin kazısı, heyelan önleme, derivasyon, tahkimat, dayanma yapıları vb. projelerinin hazırlanması ve onayı,
Aydınlatma projelerinin hazırlanması ve onayı,
Deniz ve akarsu kıyı ve yataklarındaki tahkimat ve korumaların projeleri ve onayı,
ÇED raporlarının hazırlanması ve onayı [40],
Küçük/büyük sanat yapılarının projelendirilmesi ve onayı,

Tünel projelerinin yapımı ve onayı;

Tünel güzergah jeolojik planı,
Tünel jeolojik/jeoteknik profili,
Tünel jeolojik enkesiti,
Tünel tip kesiti,
Tünel kaya sınıfı için kazı ve destekleme aşamaları,
Tünel kaya destekleme sınıfı detayları,
Tünel sığınma cebi ve trafo odası plan ve tip kesitleri,
Tünel sığınma cebi, trafo odası kaya destekleme sınıfı detayları,
Tünel sığınma cebi ve trafo odası donatı yerleşim detayları,
Tünel bağlantı tüneli tip kesiti,
Tünel bağlantı tüneli kaya sınıfı için kazı ve destekleme aşamaları,
Tünel bağlantı tüneli kaya destekleme sınıfı detayları,
Tünel tip kesiti iç kaplama donatı yerleşim detayları,
Tünel kaya sınıfları için destekleme detayları,
Tünel destekleme sınıfları toleranslar tablosu ve ölçüm detayları,

Tünel kapak ve ızgara detayları,

Tünel yeraltı suyu drenajı yapım sırası ve detayları,

Tünel sağ tüp ve sol tüp ano yerleşim planı ve boykesiti,

Tünel sağ tüp ve sol tüp yangın, telefon ve elektrik nişleri kesit ve detayları.

Kesin uygulama projelerinin inşaatına jeodezik ölçü aletleri ve jeodezik ağ yardımıyla başlanır. Kazı, dolgu, altyapı, üstyapı, sanat yapıları (tünel ve diğerleri), şev kazıkları, hendekler, asfaltlama, trafik işaretleri, trafik aksesuarlarının yapımı kısacası karayolu/tünel inşaatları tamamlandıktan sonra yapılan, değişiklikleri kapsayan ve son durumu gösteren iş sonu (AS-BUILT) projeleri hazırlanır.

Karayolu ve tünel projelerinin toplam maliyetini etkileyen temel faktörler; karayolunun uzunluğu, toprak işleri (yarma/dolgu), altyapı/üstyapı, kamulaştırma bedelleri, some noktalarının sayısı ve yeri, yatay/düşey kurp sayısı, tünel maliyetleri ve proje standartlarıdır [41]. Arazi topoğrafyasına uyumlu, uygun sayıda yatay ve düşey kurbu olan, asgari proje standartlarını karşılayan, sürüş emniyeti ve konfordan taviz vermeyen kısacası fayda/maliyet analizleri ve güncelleştirme (aktüalizasyon) işlemlerinin yapıldığı optimum karayolu/tünel projeleri uygulanmalıdır [11], [23], [32], [34], [41].

Karayolu ve tünel inşaatları tamamlandıktan sonra kontrol ve bakımları da periyodik olarak yerine getirilmelidir.

2.2 Karayolu Proje Standartları (Karayolu Geometrik Elemanları)

79

2.2.1 Proje Hızı (V_p)

Karayolu projesinin en önemli unsurlarından birisi olan proje hızı, araçların konforlu ve güvenli bir şekilde seyahat edebilmeleri için belirlenen maksimum hızı (V_p =km/h) belirtir. Kurp yarıçapı, dever, duruş görüş mesafesi (DGM) ile geçiş görüş mesafesi (GGM), geçiş eğrisinin uzunluğu, boyuna eğim gibi birçok büyüklük proje hızına bağlıdır. Proje hızı da topoğrafya, karayolu sınıfı, trafik hacmi ve ekonomik duruma göre belirlenir.

2.2.2 Minimum Yatay Kurp Yarıçapı (R_{min})

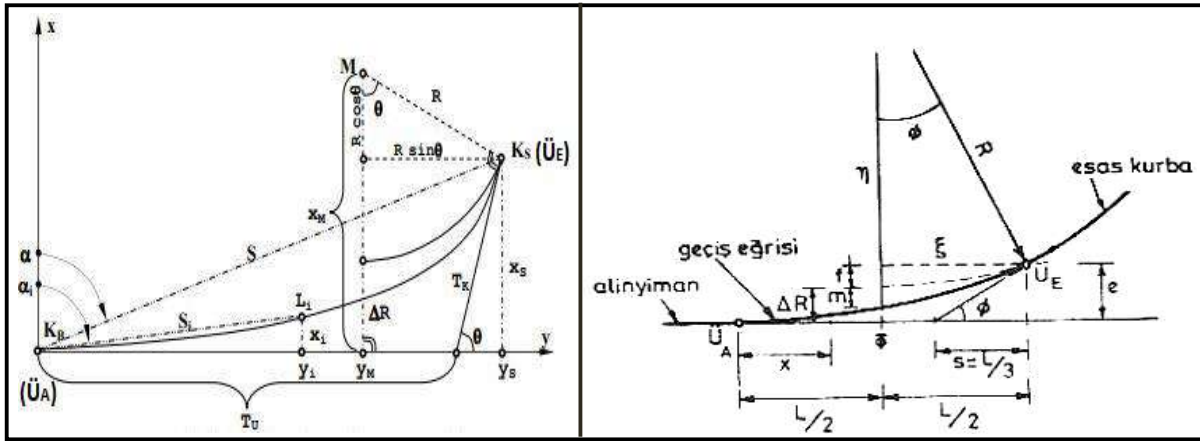
Taşıtların alıymandan kurba güvenli ve konforlu bir şekilde girebilmeleri ve kurbu güvenli bir şekilde geçebilmeleri için kurp yarıçapının proje hızı, dever, sürtünme katsayısı, geçiş eğrisi gibi proje elemanlarıyla uyumlu ve minimum değerden büyük olması gerekir. Ayrıca DGM, GGM, dever, rakortman boyu, enine ivme, geçiş eğrisi, yatay ve düşey kurp elemanları, merkezkaç kuvveti, savrulmaya ve devrilmeye neden olan hızlar, yanal görüş açıklığı (YGA) ve sademe gibi birçok elemanın hesaplanmasında minimum yatay kurp yarıçapı etkilidir. Minimum yatay kurp yarıçapını veren denklem aşağıdadır.

$$R_{min} = \frac{V_p^2}{127,14 \cdot (\mu_e + d)} \quad (2.1)$$

Burada; $R_{\min}$; minimum yatay kurp yarıçapı (m), V_p ; proje hızı (km/h), d ; maksimum dever (%), μ_e ; maksimum enine sürtünme katsayısıdır.

2.2.3 Minimum Geçiş Eğrisi Parametresi (A)

Geçiş eğrisi olarak genelde klotoid kullanılmakla beraber kübik parabol, kübik spiral, yumurta eğrisi ve lemniskat da kullanılır (Şekil 2.2). Klotoidin tek bir şekli olup parametre değerine göre sadece büyüklüğü değişir. Şekline ilişkin açı ve oran değerleri değişmez. Aynı klotoidin tek bir parametresi vardır ve klotoid üzerindeki tüm noktaların parametresi aynıdır. Klotoid parametresi, dairedeki yarıçapa benzer bir işlev görür ve ölçek faktörünü ifade eder. Parametrenin sembolü (A) ve birimi metredir (m). Klotoid, standardı ve sınıfı yüksek olan yollarda kullanılır. Kurp yarıçapı çok büyük ve karayolu standardı düşük yollarda geçiş eğrisi uygulanmayabilir.



Şekil 2. 2 Klotoid (sol) ve kübik parabol (sağ) elemanları [28], [32]

Klotoid ile birleşeceği yatay kurbun uyumlu olması ve klotoid parametresinin belirlenmesi için bazı kontrollerin yapılması ve birtakım şartların yerine getirilmesi gerekir.

2.2.4 Maksimum Boyuna Eğim

Yolun belirli bir bölümündeki yükselme/alçalma miktarı veya boykesit üzerindeki kırmızı çizginin eğimidir. Araçların emniyetli bir şekilde yukarı çıkabilmeleri veya aşağıya inebilmeleri için maksimum eğim değeri doğru belirlenmeli ve olabildiğince küçük olmalıdır. Maksimum eğim değerine göre yatay ve düşey geometri belirlenir. Maksimum boyuna eğim; trafik hacmi, kaplama cinsi, topoğrafya ve karayolu sınıfına göre tespit edilir.

2.2.5 Minimum Boyuna Eğim

Karayolu kaplamasına zarar vermemesi ve yol güvenliği adına suların platformdan uzaklaştırılması için yola boyun eğim verilmeli ve bu eğim değeri, boyuna eğimin minimum değerinden (%0,5) küçük olmamalıdır.

2.2.6 Kamulaştırma Genişliği ve Kamulaştırma Planı

Karayolu boyunca yolun her iki tarafını da kapsayan, karayolu sınıfı ve şerit sayısına göre değişiklik gösteren ve belirli bir genişliği temsil eden alan kamulaştırma genişliğidir. Karayolu kesin projesinden sonra yol boyunca kamulaştırılması gerekli tüm özel mülkler ile tahsisi istenecek kamuya ait taşınmazların gösterildiği genelde 1/2000 ölçekli çizilen ve kamulaştırma cetvellerine altlık teşkil eden plan kamulaştırma planıdır.

2.2.7 Dever (d)

Dever, bir kısmı alıymanda bir kısmı da kurp boyunca uygulanan, kurba giren araçların dışı doğru savrulmasını ve devrilmesini önlemek, güvenlik ve konfor için yatay kurplarda merkeze doğru tek taraflı ve enlemesine verilen, alıymanda eksenden her iki yanlara doğru uygulanan ve yatayla yapılan açıdır. Dever değeri (%) olarak ifade edilir. İki şeritli yollarda alıymandaki eğime çatı eğimi (bombe) denir ve genellikle eğim değeri (-%2)'dir.

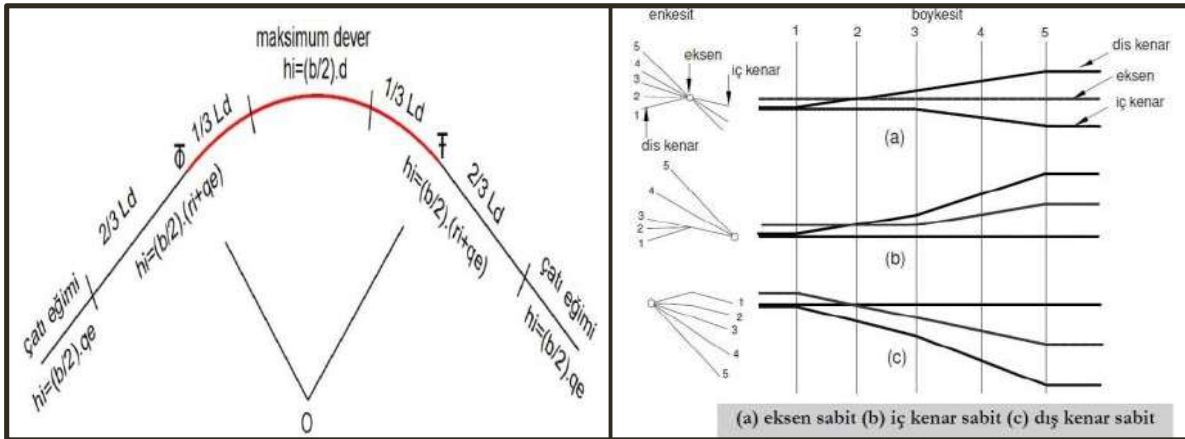
$$d = 0,00443 \cdot \frac{V_p^2}{R} \quad , \quad d_{\max} = d - q_e \leq 0.10 \quad , \quad L_d = 0,0354 \cdot \frac{V_p^3}{R} \geq 45 \text{ m} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_i = \frac{L_d}{\% d_{\max}} \quad , \quad q_i = r_i + q_e \quad , \quad h_i = \frac{b}{2} \cdot q_i = \frac{b}{2} \cdot (r_i + q_e) \quad (2.3)$$

Burada; $d_{\max}$; maksimum dever, d ; dever, V_p ; proje hızı (km/h), R ; kurp yarıçapı (m), ε_i ; (%1)'lik dever artım değerinin uygulanacağı mesafe (m), r_i ; (ε_i) aralığının bitimindeki dever artım değeri, q_i ; (ε_i) nci aralığın bitimindeki yarı yolun enine eğimi, h_i ; (ε_i) nci aralığın bitimindeki yarı yola verilen dever yüksekliği, q_e ; platform çatı eğimi (-0,02), b ; platform genişliği (m), L_d ; rakortman boyudur (m).

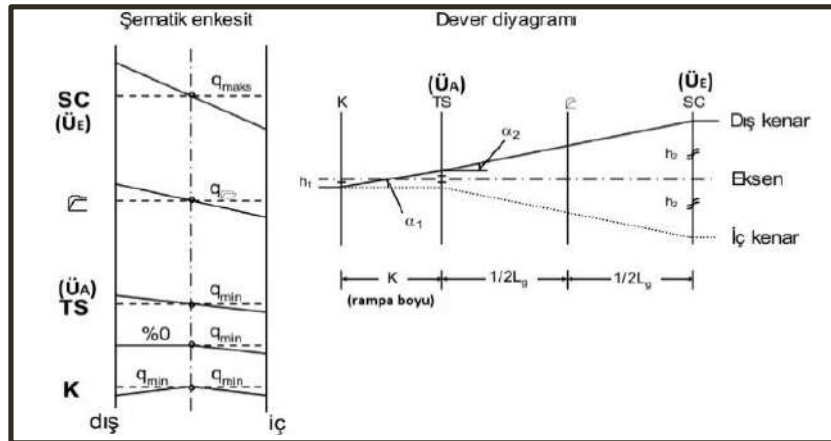
Dever uygulaması; geçiş eğrisiz kurplarda dever uygulaması (dever rakortmanı) (Şekil 2.3) ve geçiş eğrili kurplarda dever uygulaması (Şekil 2.4), (Şekil 2.5), (Şekil 2.6) olmak üzere 2 türdür.

Dever rakortmanı, platform üzerinde iç kenar, dış kenar ve eksen çizgilerinin sabit ve hareketliliğine göre 3 farklı şekilde uygulanabilir (Şekil 2.3) [11], [23], [25], [26], [30], [32], [42], [43], [44].

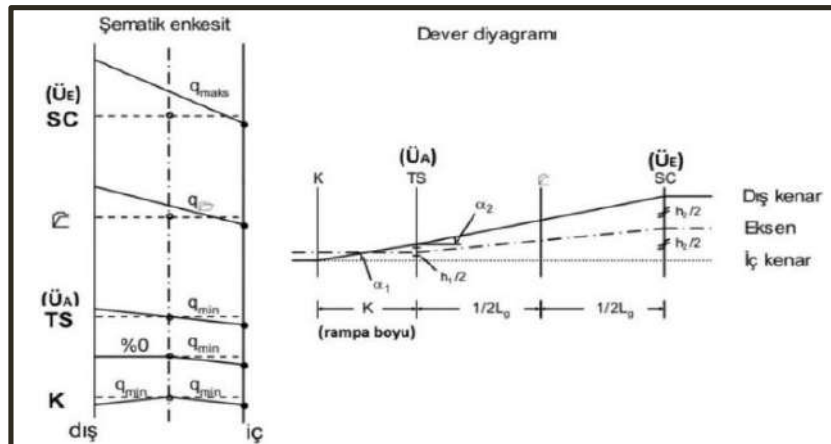


Şekil 2. 3 Geçiş eğrisiz kurpta dever uygulaması [31], [42]

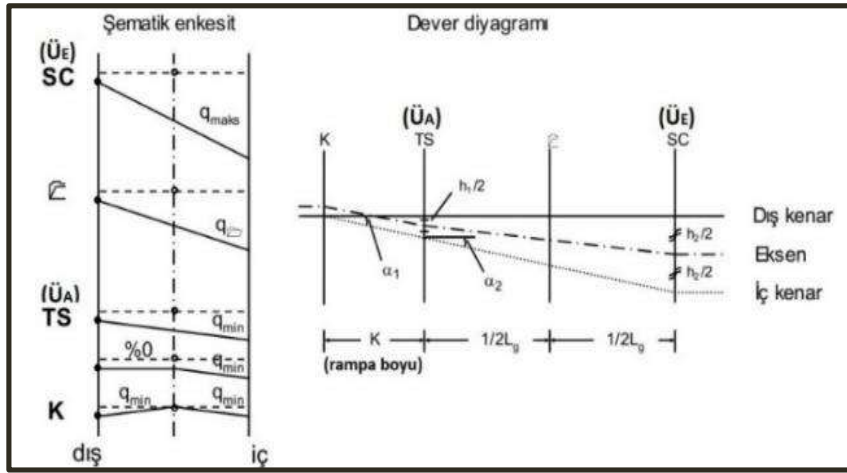
Aliymandaki çatı eğiminden üniform (tek) dever eğimine geçmek için gerekli olan uzunluk rampa boyudur ve (k) harfi ile belirtilir. Dever, geçiş eğrisi boyunca uygulanır ve geçiş eğrisi boyunca lineer olarak artar. Geçiş eğrili kurpta dever uygulaması üç türdür ve bunlar; eksen çizgisi sabit (Şekil 2.4), iç kenar çizgisi sabit (Şekil 2.5) ve dış kenar çizgisi sabit dever uygulamasıdır (Şekil 2.6), [23], [26], [31], [32], [43], [44].



Şekil 2. 4 Geçiş eğrili kurpta dever uygulaması (eksen sabit) [44]



Şekil 2. 5 Geçiş eğrili kurpta dever uygulaması (iç kenar sabit) [44]



Şekil 2. 6 Geçiş eğrili kurpta dever uygulaması (dış kenar sabit) [44]

2.2.8 Düşey Kurp Uzunluğu (L)

Düşey düzlemde aliymanları birleştiren eğrisel veya dairesel kısımlardır. Düşey kurp uzunluğu arttıkça konfor, görüş mesafeleri, estetik, güvenlik ve drenaj konularında iyileşmeler de artar. Düşey kurp uzunluğunun 200 m'den büyük olması gerekir. Tepe noktalarında oluşan düşey kurplar kapalı (tepe) düşey kurp, çukur noktalarında oluşan düşey kurplar da açık (dere) düşey kurp olmak üzere 2 türlü düşey kurp mevcuttur [20], [25], [28], [30], [31].

Düşey kurbu oluşturan aliyman parçalarının eğimleri (g_1, g_2) ise yüksek standartlı karayollarında (1. 2. ve 3. sınıf yollarda);

$$G = |g_1 - g_2| > 0,005 \text{ ise düşey kurp yerleştirilir.} \quad (2.4)$$

Düşük standartlı karayollarında;

$$G = |g_1 - g_2| > 0,01 \text{ ise düşey kurp yerleştirilir.} \quad (2.5)$$

$$G = g_1 - g_2 > 0 \text{ ise kapalı (tepe) düşey kurp oluşur.} \quad (2.6)$$

$$G = g_1 - g_2 < 0 \text{ ise açık (dere) düşey kurp oluşur.} \quad (2.7)$$

2.2.9 Duruş Görüş Mesafesi (DGM) ve Geçiş Görüş Mesafesi (GGM)

DGM, karayolu üzerindeki objenin fark edilmesinden sonra algılama ve frene basana kadar geçen sürede (algılama ve reaksiyon süresi) aracın aldığı mesafe (algılama ve reaksiyon mesafesi) ile frene basıldıktan sonra taşıtın durmasına kadar geçen sürede taşıtın kat ettiği mesafenin (fren mesafesi) toplamıdır. DGM değerini gösteren eşitlikler aşağıdadır [12], [13], [14], [20], [23], [25], [35]:

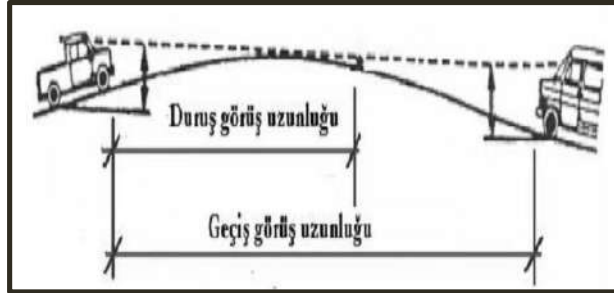
$$DGM = S = L_d = 0,278 \cdot V \cdot t_{a-r} + 0,039 \cdot \frac{V^2}{a} \quad (2.8)$$

$$DGM = S = L_d = \underbrace{0,278 \cdot V \cdot t_{a-r}}_{\text{algılama ve reaksiyon süresince alınan yol}} + \underbrace{0,00394 \cdot \frac{V^2}{(f+s)}}_{\text{fren mesafesi}}$$

Burada; V ; taşıt hızı (km/h), $S = L_d$; minimum DGM (m), t_{a-r} ; algılama ve reaksiyon süresi (sn) (AASHTO-2,5 sn), a ; yavaşlama ivmesi (AASHTO-3,4 m/sn²), s ; eğim, $f = a / 9,81$; sürtünme katsayısıdır.

GGM, bölünmemiş, iki/üç şeritli ve iki yönlü karayollarında öndeki taşıtı sollamak için sinyal verme ve diğer şeride geçme, hızlanıp öndeki taşıtın önüne geçme, sinyal verip tekrar şerit değiştirerek aracın önüne geçmek için alınan mesafe süresince karşı yönden gelen araçla karşılaşmamak için gerekli olan minimum mesafedir.

Taşıtların birbirini güvenli bir şekilde sollayabilmeleri ve platform üzerindeki objeleri önceden fark edebilmeleri için düşey kurp tasarımında DGM ve GGM değerleri mutlaka düşünülmelidir (Şekil 2.7), [11], [12], [13], [14], [20], [23], [25], [26], [30], [32], [34], [35], [45]. Kapalı ve açık düşey kurplarda düşey kurp uzunluğu (L) ile görüş uzunluğunun (S) birbirlerine göre farklı durumları ve hesaplamaları söz konusudur.



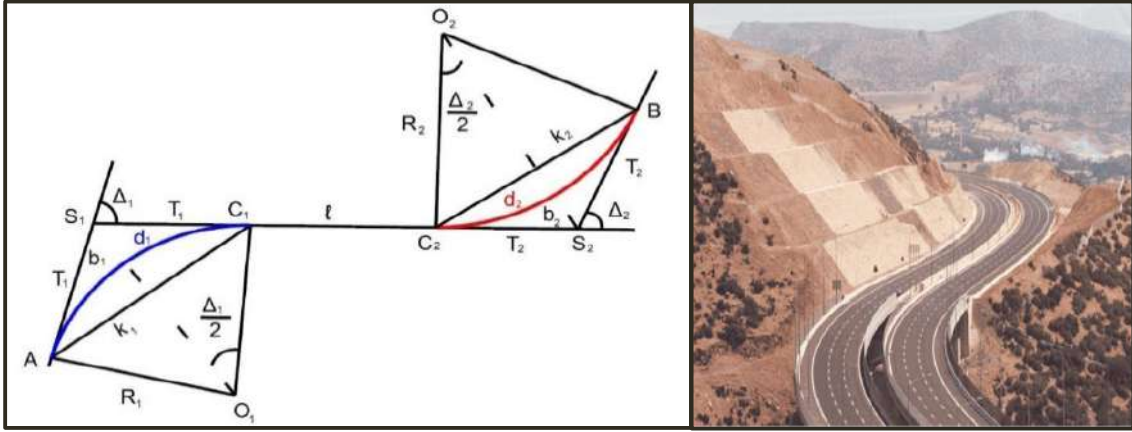
Şekil 2. 7 Düşey kurpta duruş görüş ve geçiş görüş mesafeleri [35], [45]

2.2.10 Yatay ve Düşey Geometri

Karayolu ile tünele ait yatay ve düşey geometri; yolu kullanacak ve yoldan etkilenecek nüfus yapısına, trafik yapısı ve hacmine, iklim ve çevre şartlarına, karayolu sınıfına, topoğrafyaya, yol güvenliğine, tünel özelliklerine, sanat yapılarına, jeolojik duruma, ekonomik duruma ve proje hızına göre değişiklik gösterir. Karayoluna ait yatay ve düşey geometri oluşturulurken tünele ait yatay ve düşey geometri de dikkate alınmalıdır. **Yatay geometri**; aliymanlar ve aralarına yerleştirilen yatay kurplardan (dairesel/eğrisel kısımlar) oluşur. Yatay kurplar; basit daireysel yatay kurplar (Şekil 2.8), birleşik daireysel yatay kurplar (Şekil 2.9) ve ters daireysel yatay kurplardan (Şekil 2.10) meydana gelir. Yatay geometri tasarlanırken dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıdadır [11], [16], [20], [21], [24], [26], [30], [32], [33]:

- ❖ Tünel giriş ve çıkışlarına mümkünse yatay kurp konulmamalıdır,

- ❖ Karayolu yatay geçkisi tasarlanırken tünel yatay geçkisi de dikkate alınmalı, yatay eksen geçirilirken düşey eksen de mutlaka hesaba katılmalıdır,
- ❖ Karayolu geçkisi, düşünülen ve belirlenen amaca uygun ve hizmet ömrünün sonundaki trafik hacmine göre oluşturulmalıdır,
- ❖ Karayolu geçkisi, arazi jeolojisi dikkate alınarak sağlam zeminlerden geçirilmeye çalışılmalı, düzlüklerde ve nehir kenarlarında daha yüksekte geçirilmeli, akarsu, dere, nehir yataklarına dik olacak şekilde ve en dar yerlerinden geçirilmelidir,
- ❖ Demiryolu ve diğer yollarla eş düzey kavşak oluşturulmamalı, kavşak yakınlarında büyük yarıçaplı yatay kurplar kullanılmalıdır,
- ❖ Malzeme ocak yerleri dikkate alınarak ortalama taşıma mesafeleri kısa tutulmalıdır,
- ❖ Topoğrafya ile iklim ve çevre şartlarına uyulmalıdır,
- ❖ Karayolu geçkisi, yarmalar/dolgular eşit ve toprak işleri az olacak şekilde geçirilmeli, kamulaştırma işleri mümkün mertebe en aza indirilmelidir,
- ❖ Yatay kurplar arasına çok uzun ve çok kısa aliyman uzunlukları konulmamalıdır (proje hızının 20 katı kadar olan aliymanlar uzun aliyman, proje hızının 6 katı kadar olan aliymanlar kısa aliymandır),
- ❖ Yatay kurplar büyük yarıçaplı ve büyük developmanlı olmalı, developmanın minimum uzunluğu, devlet yollarında proje hızının 3 katı, otoyollarda proje hızının 6 katı olmalıdır,
- ❖ Uzun aliymanlardan sonra küçük yarıçaplı kurplar konulmamalı ve büyük yarıçaplı kurplardan sonra aniden küçük yarıçaplı kurplara girilmemelidir,
- ❖ Güneş etkisine maruz kalmamak için doğu-batı yönlü uzun aliymanlar tasarlanmamalı, aliymanlar için gözlerde oluşacak gece farlarının yorucu etkisi ve gündüz vakti güneşin kamaşma etkisi düşünülmelidir,
- ❖ Yatay kurpların sapma açıları küçük belirlenmeli ve kurplar keskin olmamalıdır,
- ❖ Birbiri ardına sert ve ters yatay kurplar konulmamalı, ardışık ters kurplar arasına kısa aliyman bırakılmamalıdır,
- ❖ Birleşik kurplar kullanılacaksa yandaki kurp yarıçap şartı sağlanmalıdır ($1,5 \cdot R_1 \leq R_2$).
- ❖ Yatay kurp tasarımında görüş mesafeleri ve yanal görüş açıklığına dikkat edilmelidir,
- ❖ Mümkün mertebe yatay ve düşey kurplar iç içe olmamalı eğer olacaklarsa kurp boyu uzunlukları eşit, başlangıç/bitiş noktaları aynı ve some noktaları çakışık olmalıdır,
- ❖ Köprü geçişlerinde yatay ve düşey kurplar birlikte tasarlanmalıdır,
- ❖ Uygun bir aliymandan sonra sürpriz niteliğinde olan keskin kurplar konulmamalıdır,
- ❖ Yeraltı ve yerüstü drenajı kolay sağlanabilecek şekilde tasarım yapılmalıdır,



Şekil 2. 10 Ters dairesel yatay kurp [16], [28], [32], [42]

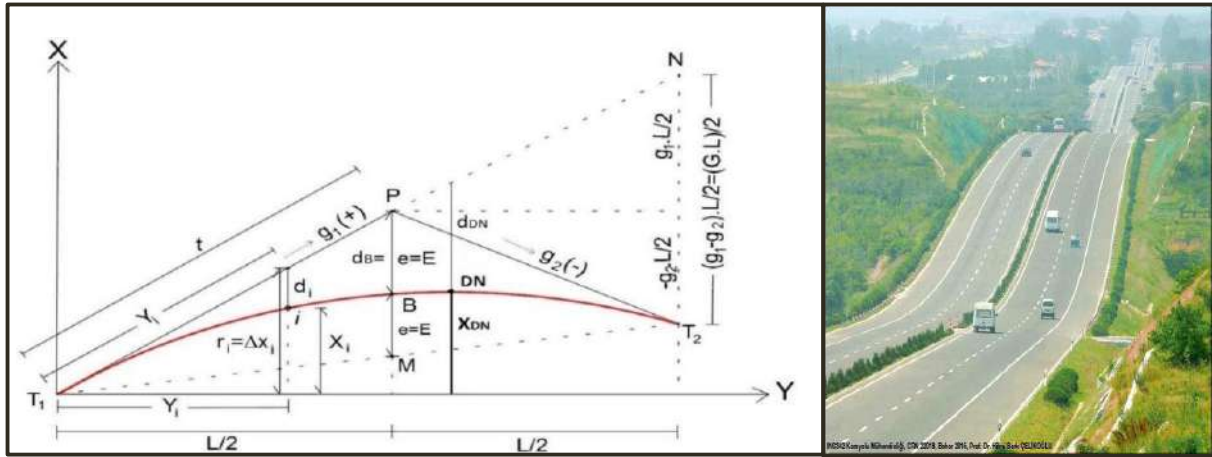
Düşey geometri; düşey düzlemdeki eğimli alıymarlardan ve onları birleştiren dairesel/eğrisel kısımlardan oluşur. En çok tercih edilen düşey kurp elemanı, kısa mesafede iyi bir görüş imkanı sunan paraboldür (Şekil 2.11). Yarıçapı çok büyük olan daire yayları da düşey kurp elemanı olarak kullanılabilir.

Düşey geometri belirlenirken dikkat edilecek hususlar aşağıda sıralanmıştır [11], [16], [20], [21], [24], [25], [26], [29], [32], [33]:

- Karayolu düşey eksen tasarlanırken tünel geometrisi ve tünel eğimi dikkate alınmalı, düşey eksen tasarlanırken yatay eksen de mutlaka hesaba katılmalıdır,
- Boyuna eğim minimum (%0,5) olmalı, yağışın fazla olduğu ve düz arazi bölgelerinde boyuna eğim arttırılmalıdır (%0,35).
- Karayolunun hiç bir yerinde maksimum eğim aşılmamalı, bunu sağlamak için some noktaları kaydırılarak kırmızı hat çizilmelidir,
- Düşey some noktaları, seçenek varsa dolguya değil yarmaya yerleştirilmeli, dere düşey kurplar yarmada oluşturulmaya çalışılmalıdır,
- Tünel giriş ve çıkışlarına mümkünse düşey kurp konulmamalıdır,
- Kırmızı çizgi çizilirken karayolu sınıfı, topoğrafya, trafik hacmi, drenaj ve kaplama cinsine dikkat edilmelidir,
- Karayolu boyunca yarma/dolgu birbirini dengeleyecek şekilde ve topoğrafya ile maliyet dikkate alınarak kırmızı hat geçirilmeli, kamulaştırma ve toprak işleri az olmalıdır,
- Sanat yapıları özellikle tünel kotları dikkate alınarak kırmızı hat geçirilmelidir,
- Nehir, akarsu ve dere varsa maksimum su tutma seviyeleri ve yeraltı suları da dikkate alınarak kırmızı çizgi geçirilmelidir,
- Kırmızı kot, tabii zeminin düz olduğu yerlerde tabiat şartlarına karşı siyah kota göre daha yüksekten geçirilmelidir,
- İklim ve çevre şartları dikkate alınmalıdır,

- Demiryolu ve diğer bağlantı yolları dikkate alınarak kırmızı çizgi geçirilmeli, demiryolu ve diğer kavşaklara düşey kurp konulmamalı ve eğim düşürülmeli, düşey kurp konulacaksa dere tipi düşey kurp konulmalıdır,
- Özellikle düşey kurplarda duruş görüş mesafesi (DGM) ve geçiş görüş mesafesi (GGM) dikkate alınmalı, düşey kurp boyu görüş mesafesine eşit veya görüş mesafesinin 0,6 katı olmalıdır,
- Yatay kurp ve düşey kurp üst üste olmamalı, üst üste olacaksa iki kurbun uzunlukları eşit, başlangıç/bitiş noktaları aynı ve some noktaları çakışık olmalı, düşey kurp yarıçapı (R_d) ile yatay kurp yarıçapı (R_y) arasında yandaki yarıçap şartı sağlanmalıdır ($R_d \geq 6 \cdot R_y$),
- Kapalı ve açık düşey kurpların başlangıç veya dönüm noktalarında sert yatay kurplar olmamalıdır,
- Uzun aliymanlar bıktırıcılık hissi uyandırdığından tek düzelik olmayacak şekilde güzergah tasarlanmalıdır,
- Kavşak yakınlarındaki düşey kurplar büyük yarıçaplı olmalıdır,
- Büyük yarıçaplı ve az eğrili kurplar tasarlanmalıdır,
- Kırmızı çizgi olabildiğince uzun ve yumuşak eğimlerden oluşmalı, kısa aliymanlardan kaçınılmalıdır,
- Ardışık şekilde gelen yatay ve düşey kurplarda, birisinin bitiş noktası ile diğerinin başlangıç noktası arasına en az 60 m mesafe bırakılmalıdır,
- Aynı yönlü ve ardışık iki düşey kurp arasına kısa aliyman konulmamalı ayrıca iki aliyman arasına dere tipi kısa düşey kurp konulmamalıdır,
- Topoğrafyaya bağlı olarak ihtiyaç varsa tırmanma şeridi kullanılmalı ve düşey hat çok uzun iniş eğimli olacak şekilde tasarlanmamalıdır.

Geometrik standartları yakalayabilmek ve optimum düşey geçkiyi belirleyebilmek için karayolu düşey geçki optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Düşey geçki optimizasyon yöntemleri olarak Tüm Olasılıkların Denenmesi Yöntemi, Dinamik Programlama Yöntemi, Lineer Programlama Yöntemi ve Sayısal Araştırma Yöntemi kullanılmaktadır. Düşey geçki optimizasyon yöntemleri yatay geçki optimizasyon yöntemlerine göre daha hızlı gelişim göstermiş olup yatay geçki optimizasyon yöntemlerine göre daha sade ve daha az veriye ihtiyaç duymaktadır [24].



Şekil 2. 11 Parabolik kapalı düşey kurp [30], [31], [35]

2.2.11 Tipkesit Elemanları

Karayolu tipkesit elemanları olarak şerit genişliği, platform genişliği, banket (akotman) genişliği, hendekler, yarma/dolgu şevleri, refüj ve diğer detaylar, enine eğim, üstyapı malzemelerinin kalınlığı ve cinsleri, park alanları, dayanma yapıları (iksa ve istinat duvarları), kırmızı ve siyah kotlar sayılabilir.



Şekil 2. 12 Şev, palve ve hendekler (Honaz Tüneli bağlantı yolları)

2.2.12 Topoğrafya

Karayolu topoğrafik yapısı; düz arazi, dalgalı arazi ve dağlık arazi olarak sınıflandırılır [19], [20]. Her arazi grubunun maliyeti ve geometrik standartları farklıdır. Topoğrafya; tip kesitleri, iklimi, jeolojik yapıyı, drenajı, yatay ve düşey eksenleri direkt olarak etkiler.

2.2.13 Trafik Etüdü ve Trafik Hacmi

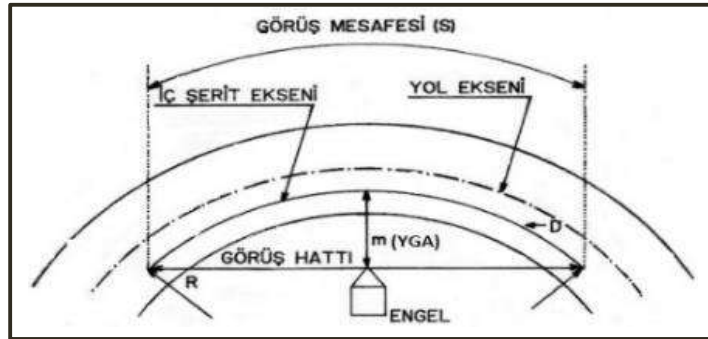
Trafik etüdü; taşıt sayıları, taşıt cinsleri, taşıtların hızları ve ağırlıkları, zamana göre trafik hareketleri ile trafik değişimlerinin tespit edilmesidir. Proje zamanındaki ve yolun hizmet ömrünün sonundaki muhtemel trafik etütlerinin yapılması gerekir. Sonraki yıllarda trafik hacmini etkileyebilecek sosyal, kültürel, turizm, sanayi, ticaret vb. durumlar mutlaka dikkate alınmalıdır. Karayolunu projelendirmek ve gelecekteki trafik hacmini belirleyebilmek için Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT), Proje Saatlik Trafiği (PST), en yüksek PST ve ortalama PST kavramları proje trafiğinin hesaplanmasında yeterli olmamış ve 30. Saat Trafiği (30.ST) kavramı oluşturulmuştur [14], [23], [26].

2.2.14 Taşıt Özellikleri

Karayolunu kullanacak taşıtların uzunlukları, ağırlıkları, yükseklikleri, dingil aralıkları, tekerlek dönüş yarıçapları, tekerlekler arası mesafeleri gibi büyüklükleri önceden bilinmelidir.

2.3 Yatay Kurplarda Yanal Görüş Açıklığı (YGA)

Karayolunda seyir halinde iken yolun ilerisindeki engelleri görebilmek, sollama yapabilmek ve emniyetli duruş sergileyebilmek için yanal görüş açıklığı sağlanmalıdır (Şekil 2.13). Karayolunun engele yakın olan iç şerit eksenine engel arasında en az ($m=M=YGA$) kadar bir yatay uzunluğun bulunması gerekir (taşıt ve yoldaki engelin dıştaki engele yakın olan iç şeritte olduğu varsayılır). Yanal görüş açıklığını sağlamak için engellerin (bariyer, ağaç, duvar, bina, yarma şevleri vb.) kaldırılması gerekir. Engelleri kaldırmak mümkün değilse karayolu eksenini kaydırılıp kurp yarıçapı büyütülmelidir.



Şekil 2. 13 Yatay kurplarda yanal görüş açıklığı [20], [34], [42]

90

Yanal görüş açıklığını veren eşitlik aşağıdadır.

$$m = M = YGA = R \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{400^g \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot R} \right) \right) = R \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{31,8310^g \cdot S}{R} \right) \right) \quad (2.9)$$

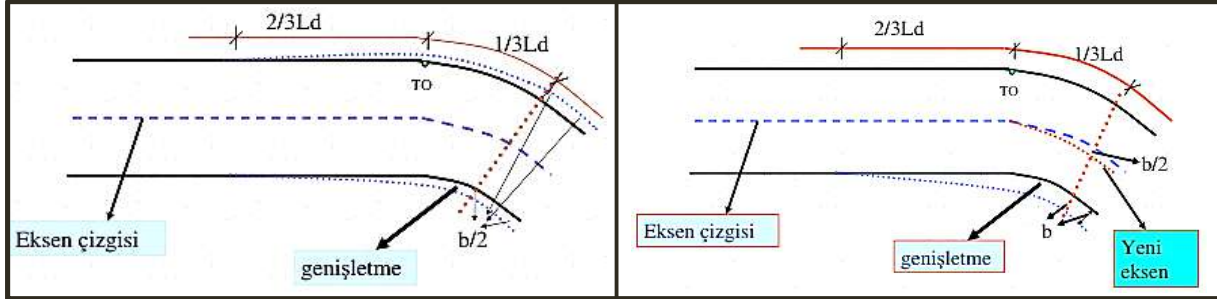
Burada; $m = M = YGA$; yanal görüş açıklığı (öteleme mesafesi) (m), S ; duruş görüş mesafesi (DGM) (m), R ; yatay kurp yarıçapı (m), V_p ; proje hızı (km/h), t_{a-r} ; algılama ve reaksiyon süresi (sn) (AASHTO-2,5 sn), a ; eğim, f ; yavaşlama ivmesi (AASHTO-3,4 m/sn²), $f = a / 9,81$; sürtünme katsayısı, L ; developman boyudur (m). Yanal görüş açıklığında $S > L$ ve $S \leq L$ durumları söz konusudur [25], [32], [46]. S (DGM) mesafesi, daha önce (2.8) eşitliğiyle verilmişti.

2.4 Yatay Kurplarda Yol Genişletmesi

Araç sürücüleri yatay kurplara girdiklerinde istemeden dış kenara doğru kayarlar. Taşıtların ön dış tekerlekleri arka tekerleklerine göre daha büyük yay çizdiği için taşıtlar diğer şeride doğru da yaklaşırlar. Kurp yarıçapı küçülüp taşıt uzunluğu büyüdükçe yaylar arasındaki fark artacağından dolayı diğer araçlar için güvenlik sorunu oluşur. Kazaların meydana gelmemesi için yol genişletmesi yapılmalıdır. Yatay kurp yarıçapı $R > 200 \text{ m}$ ise yol genişletmesine

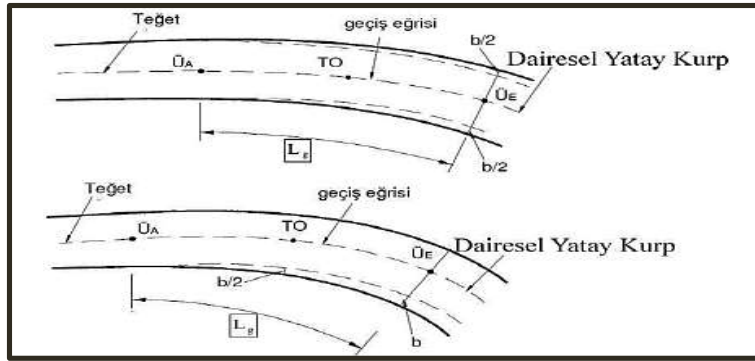
gerek yoktur. Hem geçiş eğrisiz kurplarda (Şekil 2.14), hem de geçiş eğrili kurplarda (Şekil 2.15) yol genişletmesi uygulanabilir [32], [42], [44], [46].

Yol genişletmesi, iç ve dış kenarlara eşit miktarda uygulanabileceği gibi sadece iç kenara da uygulanabilir. İç kenarda yol genişletmesi yapılacaksa yolun eksenı kaydırılır. Yol genişletme miktarı minimum 0,60 m'dir.



Şekil 2. 14 Yol genişletmesi (geçiş eğrisiz kurplarda) [32], [44], [46]

Geçiş eğrili kurplarda yol genişletmesi, geçiş eğrisinin başlangıç noktasından başlayıp geçiş eğrisi boyunca lineer artış gösterir ve geçiş eğrisinin bitimiyle de maksimum değerine ulaşır.



Şekil 2. 15 Yol genişletmesi (geçiş eğrili kurplarda) [32], [42], [44], [46]

Tek şeritli yollarda yol genişletmesi;

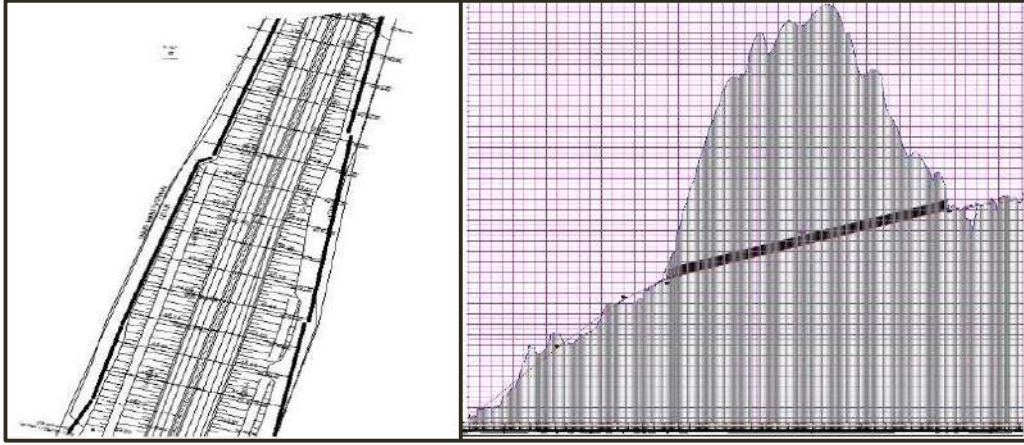
(n) şeritli yollarda yol genişletmesi;

$$b_g = b = \frac{l^2}{2R} + \frac{0,05 \cdot V_p}{\sqrt{R}}, \quad b_g = b = n \cdot \frac{l^2}{2R} + \frac{0,05 \cdot V_p}{\sqrt{R}} \quad (2.10)$$

Burada; V_p ; proje hızı (km/h), $b_g = b$; yol genişletme miktarı (m), R ; taşıtın ön dış tekerleğinin çizdiği yarıçap (m), l ; taşıtın ön ve arka dingilleri arasındaki mesafedir (m).

2.5 Boykesit

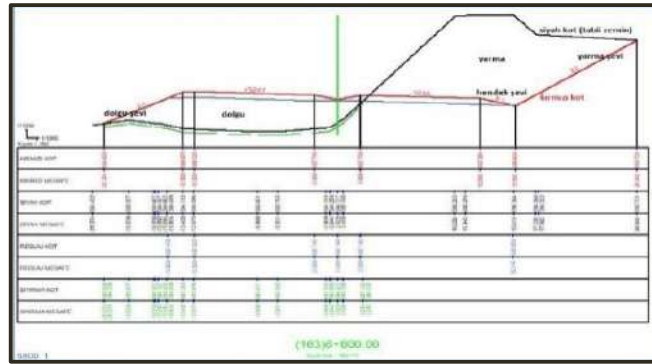
Karayolu ekseninin siyah kotlarının belirli bir yatay ve düşey ölçekle düşey düzlem üzerine iz düşürülmesi sonucu oluşan kırıklı çizgi arazi boykesitidir (siyah çizgi) (Şekil 2.16). Siyah çizgi (karayolu güzergahı ve tünel dahil) ile karayolu ekseninin bitmiş halinin düşey düzlem üzerine belirli bir yatay ve düşey ölçekle iz düşürülmesi sonucu oluşan, alıyman ve dairesel kısımlardan meydana gelen çizgiler bütünü ise yol boykesitidir (kırmızı çizgi) (Şekil 2.16).



Şekil 2. 16 Karayolu plan görünümü (sağ) ve boykesit (sol) (Honaz Tüneli bağlantı yolları)

2.6 Enkesit

Karayolu planı (Şekil 2.16) üzerinde yol eksenine dik bir şekilde belirli aralıklarda ve genişliklerde (kamulaştırma sınırı kadar) alınan, karayolu geometrisinin enlemesine düşey düzlemde belirli bir yatay ve düşey ölçekle gösterildiği grafiklerdir (Şekil 2.17).



Şekil 2. 17 Enkesit (Honaz Tüneli bağlantı yolları)

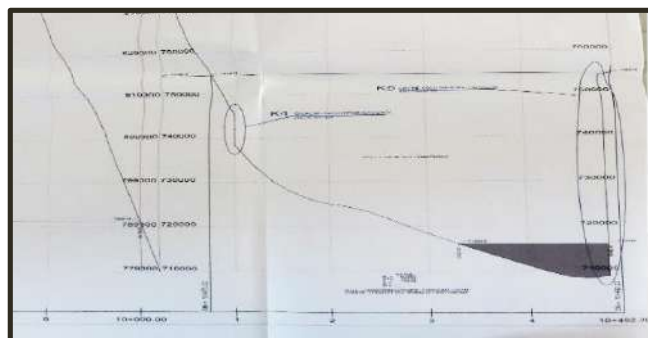
2.7 Hacim Hesabı

Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de görülen ardışık enkesit alanları ve enkesitler arasındaki mesafelerden faydalanarak hacim hesapları yapılır ve hacim tablosu oluşturulur. Enkesitlerden alan ve hacim hesaplamada yarma ve dolgudaki durumlara göre farklı hususlar söz konusudur [26], [28], [29].

[illegible]

Brükner diyagramı, yarmadan dolguya veya ocaktan dolguya, yarmadan depoya malzeme taşımaları ile ekonomik taşıma mesafelerini gösteren, eğriye benzeyen kırık çizgilerden oluşan ve toprak dağıtımının en ekonomik şekilde nasıl yapılacağını ifade eden grafiklerdir (Şekil 2.18), [26], [28], [29], [31], [48].

93



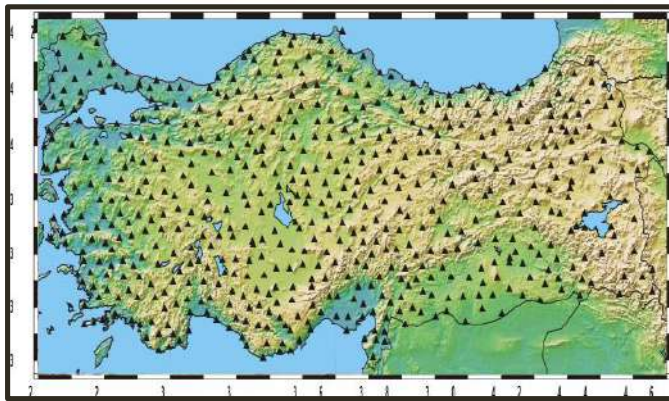
www.ejons.co.uk

3. KARAYOLU İÇİN YAPILAN ÖLÇÜM ÇALIŞMALARI

Karayolu ve tünel projelerinin jeodezik ağla uyumlu olabilmesi için koordinat sistemi ve datumunun belirlenmesi gerekir. 2005 yılından önce ülkemizde 1910 yılında belirlenen Uluslararası Hayford elipsoidinin baz alındığı European 1950 (ED50) datumu kullanılmaktaydı. ED50 datumu hala kullanılmakta olup Bakanlar Kurulu Kararıyla 15/7/2005 tarih ve 25876 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY-Eski)” [49] ile birlikte GRS80 referans elipsoidinin baz alındığı ITRF96 datumu kullanılmaya başlanmıştır. Söz konusu yönetmelik, Bakanlar Kurulu Kararıyla 26/6/2018 tarih ve 30460-Mükerrer sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY-Yeni)” [50] ile güncellenmiştir.

Ülkemizde BÖHHBÜY’ne göre oluşturulan ITRF96 koordinat sistemini kullanan Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağına (TUTGA) bağlı çok sayıda yatay kontrol noktası (B ve C noktaları) mevcuttur [51]. Yine Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağına (TUDKA) bağlı çok sayıda Helmert Ortometrik Yüksekliği (H) bilinen düşey kontrol noktası (nivelman) mevcuttur [51]. Bu noktalar yeterli sayıda değilse yönetmeliğe uygun olarak klasik ve/veya GNSS ölçümleriyle sıklaştırılır. Ülke jeodezik ağına bağlanabilmek için proje alanı ve çevresinde BÖHHBÜY’ne uygun olarak C derece (C1, C2, C3, C4) (nirenge ve poligon) noktalarının oluşturulması, zemin tesisleri ve hesaplarının yapılması gerekir. Jeodezik yatay ağların oluşturulması klasik yöntemlerle ve/veya GNSS yöntemiyle yapılabilir. Uzun mesafelerde küreselliğin ve kırılmanın etkisinden dolayı düşey ağların trigonometrik nivelmanla oluşturulması sakıncalı olduğu için düşey ağlar, geometrik nivelman/hassas geometrik nivelman veya GNSS/Nivelmanıyla oluşturulmalıdır. Projenin büyüklüğü ve öngörülen hassasiyete göre kullanılacak ölçüm cihazları, ölçüm yöntemleri ve ölçüm ekibindeki personel sayısı ve niteliği belirlenir.

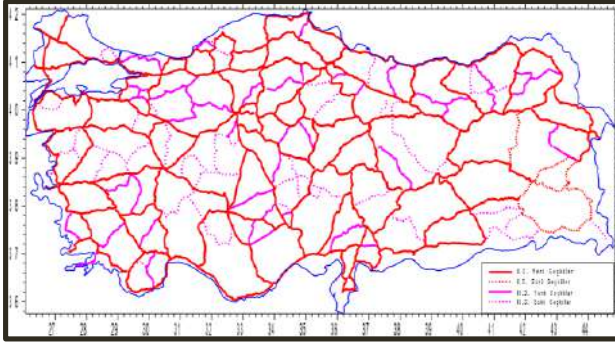
94



Şekil 3. 1 TUTGA [51]



Şekil 3. 2 TUTGA noktası (Denizli-Tavas)



Şekil 3. 3 TUDKA [51]



Şekil 3. 4 TUDKA noktaları (Denizli-Kale)

Jeodezik ağ noktaları, karayolu geçkisi boyunca ve tünel giriş yapılarını da kapsayacak şekilde tasarlanmalı ve tesis edilmelidir. Eğer tünele şaftlarla girilecekse şaft üzerinde tesis edilen ve yerüstündeki jeodezik ağı yeraltına bağlayacak olan yatay kontrol noktaları, optik ve mekanik çekülleme yöntemleriyle şaftın dibine koordinatlı olarak taşınır. Yine şaft üzerinde tesis edilen ve yerüstündeki jeodezik ağı yeraltına bağlayacak olan düşey kontrol noktaları, optik yöntemle, trigonometrik yöntemle (total station) ve lokal ölçüm moduyla (total station) şaftın dibine kotlu olarak taşınır. Jeodezik ağlar, tünelin iki tarafından da kazı ilerlemesine göre açık poligon geçkisi olarak tünel içerisine kontrollü bir şekilde taşınır. Tünel içerisine yeni bir jeodezik ağ noktası tesis edildiğinde yeni noktaya ve gerideki tüm jeodezik ağ noktalarına tünel ağındaki ana noktalardan yeniden değer verilir.

3.1 İnklinometre Ölçümleri

İnklinometre ölçümleri, jeoteknik ölçüm yöntemlerindendir [52], [53], [54], [55], [56]. İnklinometre cihazları, genellikle şevli alanlarda, barajlarda, seddelerde, heyelanlı alanlarda ve korumaya tabi yapılarda deformasyonları belirlemek için kullanılan, düşey inklinometreler ve yatay inklinometreler olmak üzere iki çeşidi bulunan jeoteknik ölçüm aletleridir. Düşey inklinometreler, düşey eksenenden sapmaları yani yatay değişimleri tespit etmek için kullanılır. Yatay inklinometreler de yatay eksenenden sapmaları yani düşey değişimleri (oturma, şişme) belirlemek için kullanılır. Kuyular, düşey inklinometrelerin yerleştirilebilmesi için sondaj yapılarak açılır (Şekil 3.5). Daha sonra sondaj kuyusunun içine özel olarak plastikten yapılmış olan ve içerisinde algılayıcının hareket etmesine yarayan 4 kanallı inklinometre boruları yerleştirilerek sabitlenir (Şekil 3.6). İnklinometreler, kuyu eksenine dik olan yer değiştirmeleri, yer değiştirme miktarını, değişimin yerini/yönünü belirlemek için kullanılır. Ölçüm cihazı; içinde hareket edeceği özel imal edilmiş plastik boru, verileri kayıt etmeye yarayan kayıt ünitesi, değişimleri belirleyen algılayıcı (probe) ve kayıt ünitesi ile algılayıcının bağlantısını sağlayan kablodan oluşur (Şekil 3.6). Algılayıcının ucunda 2 tane tekerlek bulunmaktadır. Tekerleklerin bulunduğu düzlem ve buna dik düzlem olmak üzere cihazın 2 adet eksenini mevcuttur. Özel yapılmış plastik boru kuyu içerisine yerleştirilip sabitlendikten sonra ilk ölçümler aşağıdan yukarıya doğru yapılır. Algılayıcı, 180° çevrilerek tekrar tabandan yukarıya doğru ölçümler tekrarlanır. Plastik borunun içinde belirli mesafelerde ve zaman aralıklarında ölçümler tekrarlanarak yatay değişimler tespit edilir. Sonraki ölçümler, ilk

yapılan ölçümlerle karşılaştırılır. Algılayıcının tespit ettiği değişimler kayıt cihazına gönderilir. Gönderilen ölçüm değerleri, bilgisayarlarda grafiğe dönüştürülür (Şekil 3.8).



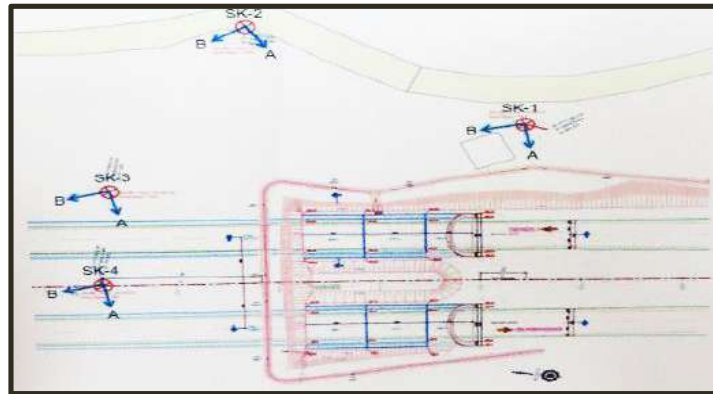
Şekil 3. 5 İnklinometre kuyusu ve kayıt ünitesi [53]



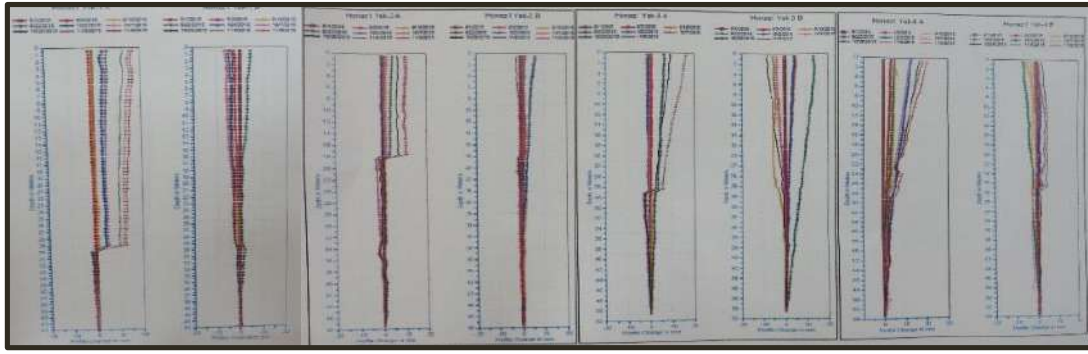
Şekil 3. 6 İnklinometre cihazı [55]

Honaz Tüneli çıkış portalı kazısının güvenliği adına zeminde meydana gelen değişimleri belirlemek için ikisi tünel ekseninde (SK3-52 m, SK4-54 m), ikisi de (SK1-42 m, SK2-48 m) kazıklı duvar yarma şev gerisinde olmak üzere 4 adet inklinometre kuyusu açılmış ve kuyulara inklinometreler yerleştirilmiştir. (Ocak-Eylül) 2015 zaman aralığında zeminde meydana gelen değişimler/yer değiştirmeler izlenmiştir. Özellikle SK1 ve SK2 kuyularında Haziran 2015 tarihinden sonra kazı alanına doğru kaymaların olduğu ve inklinometrelerde oluşan yer değiştirmelerin 2 cm'yi bulduğu, inklinometre ölçümlerine göre hareket vektörlerinin A (GB) yönünde olduğu görülmüştür (Şekil 3.7). Zemin hareketleri, bazı zamanlar hızlı bazı zamanlarda da sabit hızlarda devam etmiştir. İnklinometre kuyularının yerleşim planı (Şekil 3.7) ve deplasman vektörlerine göre ölçüm grafikleri (Şekil 3.8) aşağıda verilmiştir [57].

96



Şekil 3. 7 İnklinometre kuyuları yerleşim planı (Honaz Tüneli çıkış portalı) [57]



SK 1 A SK 1 B SK 2 A SK 2 B SK 3 A SK 3 B SK 4 A SK 4 B

Şekil 3. 8 İnklinometre cihazlarının ölçüm grafikleri (Honaz Tüneli çıkış portalı) [57]

3.2 GNSS Ölçü Yöntemi

GNSS (Global Navigation Satellite System) (Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi) yöntemi, haritacılık başta olmak üzere imar, kadastral, askeri, araç takip, makina kontrol, hava tahmin, arkeolojik, jeoloji, jeofizik ve mühendislik alanlarında kullanılan ve gelişmiş teknolojileri ihtiva eden bir sistemdir [16], [49], [50], [51], [52], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64]. GNSS ölçü yöntemi; uzayda konumları bilinen GNSS uyduları tarafından kısa dalga boylu yüksek frekanslı radyo dalgaları (kod ve taşıyıcı dalga faz sinyalleri) gönderilerek bu sinyallerin yeryüzündeki GNSS alıcıları tarafından alınıp istenilen noktaların gerçek zamanlı ve anlık konum bilgilerinin uzay geriden kestirme yöntemiyle (3B+zaman) 4 boyutlu olarak belirlenmesidir.

97

Uydu sinyalleriyle kod ölçüleri, faz ölçüleri, almanak ve efemeris bilgileri gönderilmektedir. Kod ölçüleri, iyonosferde yavaş ilerlediği için ölçülen uzunluk gerçek uzunluktan daha uzundur. İki türlü kod bilgisi vardır. C/A kodu; yörünge bilgileri ve uydu saati bilerek bozulmuş olup dalga boyu 293 m, hassasiyeti 3 m civarında ve sivil amaçlar için kullanılmaktadır. P kodu; askeri amaçlar için tasarlanmış/şifrelenmiş olup şifresi sadece askeri alıcılar tarafından çözülebilmektedir. P kodunun dalga boyu 29,3 m olup hassasiyeti yaklaşık 0,30 m civarındadır. Taşıyıcı dalga faz ölçüleri, GNSS sisteminde kullanılan temel gözlemlerdir. Uydular tarafından farklı frekanslarda taşıyıcı dalga faz sinyalleri (L1, L2, L5, E1, E2, E5, E6) gönderilir. Taşıyıcı dalga faz sinyallerinin dalga boyları çok küçük olduğu için (L1-19 cm, L2-24 cm) hassasiyeti çok yüksektir. Faz ölçüleri, iyonosferde daha hızlı ilerlediği için ölçülen uzunluk gerçek uzunluktan daha kısadır. Faz ölçüleri yüksek hassasiyetli olduğundan jeodezik çalışmalar için uygun olup kod ölçümleri düşük hassasiyetli ve navigasyon için uygundur. GNSS sisteminde çeşitli hata kaynakları mevcuttur.

GNSS yönteminde 4 adet sistem mevcuttur:

- GPS (Global Positioning System-A.B.D.) (aktif),
- GLONASS (Global Navigation Satellite System-Rusya Federasyonu) (aktif),
- GALILEO (AB) (aktif değil),
- COMPASS (BEIDOU-Çin H. C.) (bölgesel).

GNSS ölçümlerinde farklı yöntemler kullanılmaktadır [16], [49], [50], [59], [60], [62], [65], [66], [67]. Bu yöntemler; statik yöntemler (statik, hızlı statik, tekrarlı ölçü yöntemi), kinematik yöntemler (dur-git, statik başlayan kinematik, hareketli başlayan kinematik, DGPS, RTK ve Ağ RTK (CORS) yöntemidir).

3.3 Karayolu ve Tünel için Döşenen Jeodezik Ağ

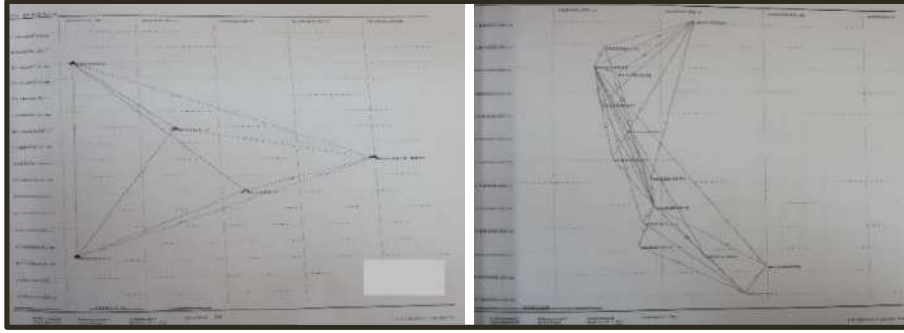
Denizli-Ankara Karayolundan (Kale Kavşağından) tünel girişine kadar yaklaşık 7 km'lik bağlantı yolu ile tünel çıkışından Denizli-Antalya Karayoluna (Cankurtaran Kavşağına) kadar yaklaşık 4 km'lik bağlantı yolu ve tünel inşaatı devam etmektedir (Şekil 3.9). Honaz Tüneli, sağ tüp uzunluğu 2530 m ve sol tüp uzunluğu 2540 m olmak üzere çift tüpten meydana gelmektedir.



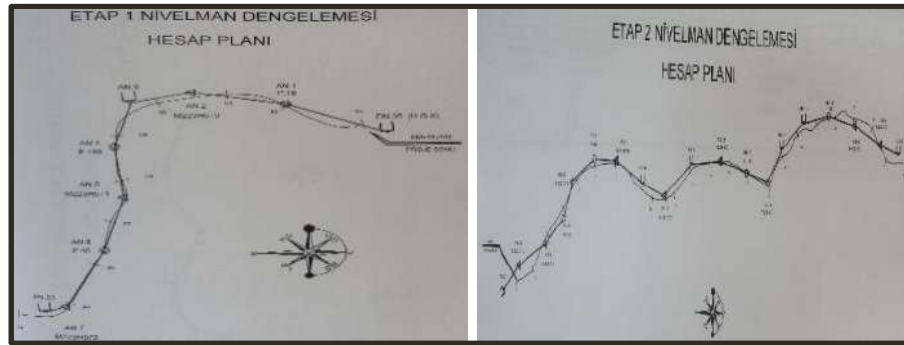
Şekil 3. 9 Jeodezik ağ güzergahı (Honaz Tüneli ve bağlantı yolları ile diğer yollar)

98

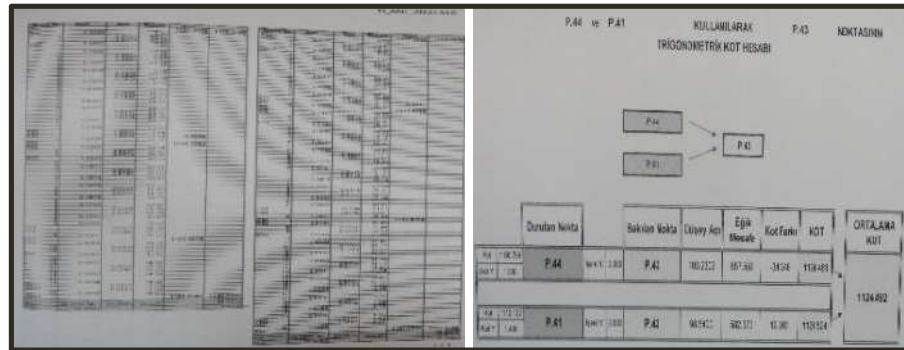
Honaz Tüneli ve bağlantı yollarını da içine alan ve yaklaşık 17 km'lik ilave güzergahı da kapsayan jeodezik ağ tesis edilmiş olup ölçümleri ve hesapları yapılmış, Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü'nün talebiyle Denizli Tapu ve Kadastro 18. Bölge Müdürlüğü'nce 2007 yılı sonunda kontrolü ve tescili yapılmıştır (Şekil 3.9), [68]. 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 3.10), (Şekil 3.13). Baz mesafelerinin C2 noktalarında 15 km'yi, C3 noktalarında 10 km'yi ve C4 noktalarının üst dereceli noktalara uzaklıklarının 5 km'yi geçmediği 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 3.11). C4 noktalarının kotları AN noktalarından geometrik nivelmanla, 7 adet C4 noktasının kotu diğer C4 noktalarından trigonometrik nivelmanla verilmiştir (Şekil 3.12). 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 ve C4 noktaları için de dayalı dengeleme yapılmıştır [68].



Şekil 3. 10 C2 (sol) ve C3 noktalarının ölçüm kanavaları (Honaz Tüneli bağlantı yolları) [68]



Şekil 3. 11 Nivelman kanavaları 1. etap (sol) ve 2. etap (Honaz Tüneli bağlantı yolları) [68]



Şekil 3. 12 Geometrik (sol) ve trigonometrik nivelman (Honaz Tüneli bağlantı yolları) [68]

Honaz Tüneli bağlantı yollarının yapımında Topcon GR5 model GNSS alıcıları ve Bosch Go1 20 D model nivo ile değişik CAD yazılımları kullanılmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3. 13 Jeodezik ağ noktaları ve GNSS ölçümleri (Honaz Tüneli bağlantı yolları)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Plansız şehirleşme ve yapılaşma, kentlerin yoğun göç baskısı altında kalması, nüfusun artmasıyla beraber toprakların azalması gibi sebeplerden dolayı şehirlerimiz hızlı bir değişime maruz kalmış ve bu değişime ayak uyduramamıştır. Nüfusun artması ve ekonomik gelişmeye bağlı olarak araç sayısı ve çeşitliliği artarken aynı oranda yeni ulaşım aksları oluşturulamamıştır. Hava, deniz ve demiryolu taşımacılığı ihmal edildiği için ulaşım konusunun tüm yükü karayolu taşımacılığının üzerine bırakılmış ve trafik sorunu günden güne büyüyerek devam etmiştir. Ulaşım sorununu hafifletebilmek için karayolu yapımına önem verilerek büyük çapta karayolu projelerinin inşaatı gerçekleştirilmiş olup bazı projelerin inşaatı da devam etmektedir. Karayolu inşaatı için en önemli konu, yatay ve düşey jeodezik ağların tesisi ve tescilidir. Karayolu ve tünel inşaatları, jeodezik ağ noktaları, ölçü yöntemleri ve jeodezik ölçüm cihazlarına göre yapılabilmektedir. Bütün süreçlerde harita mühendisliği ve jeodezik çalışmalar vazgeçilmezdir. Ayrıca yapılan işlerin her aşamasında jeodezik yatay ve düşey ağlar ile klasik, nivelman, GNSS ve modern yöntemler birbirinin tamamlayıcısıdır.

Yapımı devam eden Honaz Tüneli ve bağlantı yolları ile diğer karayolu güzergahları için BÖHHBÜY'ne göre oluşturulan ve 2007 yılında tescil ettirilen jeodezik ağ anlatılmış olup iş kapsamında; 4 adet tescilli C1 noktası, 1 adet tescilli C2 noktası ve 4 adet tescilli TUTGA noktası kullanılarak 2 adet yeni C2 noktası, 10 adet C3 noktası ve 268 adet C4 noktası GNSS tekniğiyle üretilmiş, nivelman işlemi için 1 adet HGK noktası ve 2 adet TCK noktası kullanılmış, 2 etap halinde gidiş-dönüş nivelmanı ile serbest ve dayalı dengeleme yapılmış ve 25 adet AN noktası üretilmiş, C4 noktalarının kotları AN noktalarından geometrik nivelmanla, 7 adet C4 noktasının kotu, diğer C4 noktalarından trigonometrik nivelmanla taşınmıştır. Ayrıca karayolu ve tünel inşaatı devam ederken Honaz Tüneli çıkış portalının olduğu alandaki zemin hareketlerini izlemek için 4 adet inklinometre kuyusu açılmış olup inklinometre cihazları ile Ocak-Eylül 2015 tarihleri arasında zemin hareketleri izlenmiştir. Özellikle SK1 ve SK2 kuyularında Haziran 2015 tarihinden sonra kazı alanına doğru kaymaların olduğu ve oluşan yer değiştirmelerin 2 cm'yi bulduğu görülmüştür.

100

Karayolu ve tünel inşaatı konusunda dikkat edilmesi gereken hususlar ve öneriler aşağıdadır:

- ✓ Karayolu ve tünel projelerinin yapımından önce sivil toplum örgütleri ile kamuoyu bilgilendirilmeli ve vatandaşların talepleri dikkate alınmalı,
- ✓ Projelere altlık olarak güncel sayısal arazi modelleri (SAM) ve halihazır haritalar/plankoteler kullanılmalı,
- ✓ Projeler (karayolu ve tünel), topoğrafyaya, ihtiyaçlara, trafik durumuna, iklim ve çevre şartları ile ekonomik duruma uygun yapılmalı, tarihi, kültürel, sosyal, ekonomik ve insan faktörü gibi hususlar dikkate alınarak çizilmeli,
- ✓ Jeodezik ağ, karayolu güzergahı boyunca ve tüneli de içine alacak şekilde tasarlanmalı, ağ tesisi mevzuata uygun olmalı ve mutlaka tescil ettirilmeli,

- ✓ Proje büyüklüğü ve belirlenen hata miktarına göre ölçü yöntemi ve cihazları, donanım ile yazılım belirlenmeli, konusunda uzman personeller çalıştırılmalı,
- ✓ Projelerde (karayolu ve tünel), yatay ve düşey kurplar ile yatay ve düşey eksenlerin optimizasyonu ciddiye alınmalı,
- ✓ Karayolu sınıfı, proje standartları, üstyapı ve topoğrafya birbirleriyle uyumlu olmalı,
- ✓ Tünel ve karayolu projeleri için fayda/maliyet analizleri ve aktüalizasyon işlemleri yerine getirilmeli,
- ✓ Karayolu ve tünel inşaatlarındaki ölçüm işleri ve kontrollükler sadece topoğraflara ve harita tekniklerine bırakılmamalı, işlerin önemine vakıf harita mühendislerinin mevzuat ve fiili olarak işin başında olması sağlanmalıdır. Ayrıca kamu kurumları ve müteahhit firmalar, teknik donanım, ölçme yöntemleri, nitelikli yardımcı personel ile fiilen işlerin başında bulunan ve/veya kontrol olarak çalışan harita mühendisi bulundurmaları konusunda teşvik edilmeli, bu husus şartnamelere ve mevzuata konulmalıdır. Karayolu ve tünel yazılımlarına sahip jeodezik ölçüm cihazları ve ilgili yazılımlar kullanılmalı,
- ✓ Haritacılık, teknolojiyle iç içe ve sürekli gelişim gösteren mesleklerin başında gelmektedir. Klasik ölçme yöntemleri, nivelman, LIDAR ve YLT teknolojileri, GNSS yöntemi, hidrografik ölçü sistemleri, fotogrametri ve uzaktan algılama yöntemleri ile yazılım ve bilişim teknolojileri sürekli gelişim göstermekte olup mühendislik projelerinde söz konusu yöntemler birlikte kullanılmalı,
- ✓ Meslek liseleri, meslek yüksekokulları ve üniversitelerdeki ders müfredatları gözden geçirilmeli, gelişen teknoloji ve iş alanlarıyla ilgili dersler konulmalı, okulların eğitim/öğretim kalitesi, yazılım/donanım seviyesi mutlaka arttırılmalı, mezun olmadan önce öğrencilerin pratikle teoriyi buluşturacakları ortamlar hazırlanmalı,
- ✓ Lisans, yüksek lisans, doktora öğrencileri ve araştırmacılara, kamu kurumlarının uhdesinde yapılan karayolu, tünel, baraj, santral, havaalanı gibi büyük mühendislik projelerinde çalışma, tez hazırlama, araştırma ve teknik verilere ulaşma konusunda kolaylıklar sağlanmalı ve araştırmacılar bu konularda teşvik edilmelidir. Bu hususlar, kamu kurumları ve müteahhit firmalardaki kişilerin inisiyatifine bırakılmamalı, şartname ve mevzuatla güvence altına alınmalı,
- ✓ Mühendislik projeleri özellikle tünel ve karayolu projeleri için harita mühendisliği ve jeodezik çalışmaların vazgeçilmez olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Yağcı, B., Balıkesir Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. İnşaat Mühendisliğine Giriş Dersi, Bölüm-8, Ulaştırma Mühendisliği, <http://insaat.balikesir.edu.tr/dokumanlar/insm/img8>, 14 Kasım 2017.
- [2] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ulaştırma, <https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=>

- web&cd=1&ved=0ahUKEwic9a-Kh8vXAhWCyaQKHZyJBVoQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Faves.ktu.edu.tr%2FImageOfByte.aspx%3FResim%3D8%26SSNO%3D10%26USER%3D3909&usg=AOvVaw0Rn8JAX-eE5DUNddEN8L5q, 19 Kasım 2017.
- [3] Encyclopædia Britannica, Appian Way, <https://www.britannica.com/topic/Appian-Way>, 19 Kasım 2017.
- [4] Karaca, R., (2015), Zamanın Durduğu Antik Kent Pompeii, <http://informadik.blogspot.com.tr/2015/09/zamann-durdugu-antik-kent-pompeii.html>, 19 Kasım 2017.
- [5] Selçuk Belediyesi, Efes Antik Kenti, http://www.selcuk.bel.tr/Files/dosyalar/unesco_beyan/unesco%20katalog%20TR.pdf, 19 Kasım 2017.
- [6] Tarsus Belediyesi, Turizm ve Tanıtım, <http://www.tarsus.bel.tr/tr/hizmetler/turizm-ve-tanitim.aspx>, 19 Kasım 2017.
- [7] Arkeolojihaber, Manisa'daki Aigai Antik Kenti'nde 2000 Yıllık Antik Yol Bulundu, <http://arkeolojihaber.net/2017/08/09/manisadaki-aigai-antik-kentinde-2000-yillik-antik-yol-bulundu/>, 12 Nisan 2018.
- [8] Nürol İnşaat ve Tic. A.Ş., Otoyol Yatırım ve İşletme A.Ş., <https://www.nurol.com.tr/otoyol-yatirim-ve-isletme-a-s>, 11 Ekim 2018.
- [9] Otoyol Yatırım ve İşletme A.Ş., Proje Bilgileri, https://yapim.otoyolas.com.tr/?page_id=4608, 11 Ekim 2018.
- [10] Yoldaş, M. A., (2008). Karayollarında Yol Sınıflandırması ve Tip Enketlerinin İncelenmesi: Eminönü-Fatih Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 102
- [11] Görmüş, K. S., Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü, INS 341 Karayolu Mühendisliği Ders Notları, JDF 424/427 Yol Bilgisi, http://geomatik.beun.edu.tr/gormus/files/2015/03/JDF-424-Yol-Bilgisi-Ders-Notlar%C4%B1_2.pdf, 14 Kasım 2017.
- [12] Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karayolu Ders Notları, <https://tr.scribd.com/doc/21515915/Karayollar%C4%B1-Ders-Notu-Osmangazi-Uni>, 13 Kasım 2017.
- [13] Şengün, E., Yıldırım Beyazıt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Ulaşım Mühendisliği Ders Notu, Karayolu Tasarım Mühendisliğine Giriş, <http://www.ybu.edu.tr/esengun/contents/files/86Ulasim-Muhendisligi-Ders-Notu-2.pdf>, 06 Ocak 2018.
- [14] Akpınar, B., Pırtı, A., Soycan, A., Soycan, M. ve Tunalioglu, N., (2017), YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü Tasarım Projesi Ders Notları 1. Bölüm, <http://avesis.yildiz.edu.tr/topbas/dokumanlar>, 23 Şubat 2018.
- [15] Baykal, O., (1984). “Mühendislik Hizmetlerinde Jeodezinin Yeri ve Önemi”, Türkiye’de İnşaat Mühendisliği Alanındaki Gelişmeler Kongresi Bildiriler Kitabı, 84: 60-70.

- [16] Abdioğlu, A., (2007). Karayolları Fiziksel Yapıları ve Ölçü Yöntemleri Üzerine İncelemeler, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [17] 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.
- [18] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Terimleri Sözlüğü, <http://www.udhb.gov.tr/images/hizlierisim/a9ed7795d6e394d.pdf>, 13 Kasım 2017.
- [19] KGM, (2013). Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ), (Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler), Ankara.
- [20] KGM, (2005). Karayolu Tasarım El Kitabı.
- [21] KGM, (2014). Karayolları Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (Birim Fiyat), Etüt Proje ve Çevre Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [22] KGM, (2005). Standart Kutu Menfez Tipleri.
- [23] Soycan, A. T., (2006). Karayolu Proje Elemanlarının Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] Tunalioglu, N., (2011). Yol Geçkisi Tasarımında Alternatif Yaklaşımlar, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Seçkin, N., Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnş-331 Ulaşım 1 Ders Notları, <http://imb.cu.edu.tr/Ulasim-1.pdf>, 13 Kasım 2017.
- [26] Topbaş, A., (1999). Teknik Altyapı Projelerinin Ölçme Tekniği Yönüyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 103
- [27] Tamyol Asfalt A.Ş., Yol Yapım Aşamaları, http://www.tamyol.com.tr/UserFiles/Content/yol_yapim_asamalari.pdf, 02 Nisan 2018.
- [28] Kurt, O., (2012), Kocaeli Üniversitesi, Ulaşım Ders Notları, Yayın No:427, <https://docplayer.biz.tr/94006-Kocaeld-undversdtesd-yrd-doc-dr-orhan-kurt-ders-notlari-kocaeld-2012-hardta-muhenddsldgd-bolumu-muhenddsldk-fakultesd-onsoz.html>, 14 Ekim 2018.
- [29] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (2011), Ortaöğretim Projesi, Harita-Tapu-Kadastro, Yol Projesi 581MSP108, Ankara, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yol%20Projesi.pdf, 13 Kasım 2017.
- [30] Çelikoğlu, H. B., İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karayolu Mühendisliği Ders Notları, Giriş, Genel Hususlar, Türkiye Karayolu Ağı ile İlgili Genel Bilgiler, <http://akademi.itu.edu.tr/msilgu/DosyaGetir/122691/KarayoluMuhendisligi.pdf>, 14 Kasım 2017.
- [31] Erturan, G., Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 1999 Yol Projesi Dersinde Tutulan Notlar.

- [32] Murat Y. Ş., Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, CIVE 323 Ulaştırma-I Ders Notları, <http://www.pau.edu.tr/ysmurat/tr/haber/ulastirma-i-ders-notlari-yayinlanmistir>, 08 Şubat 2018.
- [33] Akpınar, B., Pırtı, A., Soycan, A., Soycan, M. ve Tunahioğlu, N., (2017), YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü Tasarım Projesi Ders Notları 2. Bölüm, <http://avesis.yildiz.edu.tr/topbas/dokumanlar>, 23 Şubat 2018.
- [34] Akpınar, B., Pırtı, A., Soycan, A., Soycan, M. ve Tunahioğlu, N., (2017), YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü Tasarım Projesi Ders Notları 5. Bölüm, <http://avesis.yildiz.edu.tr/topbas/dokumanlar>, 23 Şubat 2018.
- [35] Akpınar, B., Pırtı, A., Soycan, A., Soycan, M. ve Tunahioğlu, N., (2017), YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü Tasarım Projesi Ders Notları 4. Bölüm, <http://avesis.yildiz.edu.tr/topbas/dokumanlar>, 23 Şubat 2018.
- [36] Atlıhan Harita, Batımetrik Harita Üretimi, <http://www.atlihanharita.com/uygulama-batimetrik-harita-uretimi.php>, 22 Mart 2017.
- [37] Batımetrik, Batımetrik, Hidrografik ve Oşinografik, Su Altı Ölçme ve Araştırmaları, <http://www.batimetrik.com/>, 22 Mart 2017.
- [38] Gökalp, E., Çakır, L., Konakoğlu, B., Ocak, M., (2018), Harita Mühendisliğine Giriş, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, KTÜ, aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=110&USER=3973, 31 Aralık 2018.
- [39] Tur, H., Ders11, Hidrografi ve Oşinografi, aves.istanbul.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=87&USER=2012, 30 Aralık 2018.
- [40] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED Uygulamaları, <http://www.csb.gov.tr/gm/ced/index.php?Sayfa=sayfaicerik&IcId=673>, 11 Aralık 2017.
- [41] Soycan, A. ve Soycan, M., (2005). “Karayolu Yapım Maliyetlerinin Belirlenmesinde Yatay ve Düşey Kurp Sayılarının Etkilerinin İncelenmesi”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul, 649-659.
- [42] Erciyes Üniversitesi, Bölüm 6-Yatay Kurplar Ders Notu, aves.erciyes.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=22&USER=931, 13 Şubat 2018.
- [43] Akpınar, B., Pırtı, A., Soycan, A., Soycan, M. ve Tunahioğlu, N., (2017), YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü Tasarım Projesi Ders Notları 3. Bölüm, <http://avesis.yildiz.edu.tr/topbas/dokumanlar>, 23 Şubat 2018.
- [44] Ilıcalı, M., Bahçeşehir Üniversitesi Ulaştırma II Ders Notları, Geçiş Eğrileri, Yatay Kurbalarda Genişletme, Geçiş Eğrili Yatay Kurbalarda Değer, aves.erciyes.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=7&USER=931, 01 Nisan 2018.

- [45] Erciyes Üniversitesi, Ders Notları-Bölüm7-Düşey Kurplar, aves.erciyes.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=10&USER=931, 06 Ocak 2018.
- [46] Erciyes Üniversitesi, Yatay Kurplarda Görüş Mesafesi, aves.erciyes.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=27&USER=931, 31 Mart 2018.
- [47] KGM 2. Bölge Müdürlüğü, KPM Kontrollük Proje Mühendislik Hizmetleri Harita İnşaat Tic. Ltd. Şti., Doğa Harita Mühendislik Tic. Ltd. Şti. İş Ortaklığı, (Denizli-Dinar) Ayr.-Denizli II. Kısım Çevre Yolu-Serinhisar Devlet Yolu, Brükner Paftası (I. Kısım).
- [48] Yücel, H. E., Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Toprak İşleri Ders Notları, Kütleler Diyagramı ve Toprak Dağıtımı, <https://drive.google.com/drive/folders/0B5OpAkI0KwFDLVhUaVNBUVR3TjQ>, 03 Şubat 2018.
- [49] T.C. Resmi Gazete, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY-Eski). (25876), 15 Temmuz 2005.
- [50] T.C. Resmi Gazete, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY-Yeni). (30460-Mükerrer), 26 Haziran 2018.
- [51] Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi Başkanlığı Faaliyetleri, <https://www.hgk.msb.gov.tr/images/kurumsal/be250b1acf65cd3.pdf>, 21 Ekim 2017.
- [52] 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.
- [53] Seydanlıoğlu, A., (2009). Metro Tünellerinde Deformasyon Ölçmeleri 4.Levent-Ayazağa Metro Hattı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [54] Satır, B., (2007). Tünel Deformasyonlarının Jeodezik, Geoteknik ve Sonlu Eleman Yöntemleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [55] Zemin Araştırma Merkezi Ltd.Şti., İnklinometre Nedir Nereelerde Kullanılır? http://www.zeminarastirma.com/inklinometre_deneyi_nedir_nasil_yapilir.html, 08 Nisan 2017. İnklinometre deneyi, <http://www.zeminarastirma.com/deneyler/inklinometre-deneyi/>, 31 Ekim 2018.
- [56] Burkut A.Ş., İnklinometre, <http://zeminteknolojileri.com/tr/activity.asp?p=69&q=45>, 08 Nisan 2017.
- [57] KGM 2. Bölge Müdürlüğü, TTS Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Ltd. Şti. Honaz Tüneli Çıkış Portalı Uygulama Revize Projesi Hesap Raporu.
- [58] Gürses, H. B., (2011). Şeritvari Projelerde Ortometrik Yükseklik Hesabı İçin Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- [59] Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, Global Konum Belirleme Sistemi GPS, http://jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/GPS_BUKRDAE_GED.pdf, 18 Eylül 2015.
- [60] Göktürk Harita, GPS'in Tanımı ve Kullanım Alanları, http://gokturkharita.com/ders_notlari/gps_in_kullanim_alanlari_nelerdir.pdf, 08 Aralık 2015.
- [61] Teknomap, GPS, <http://www.teknomaphptd.com/PageView.aspx?PageId=35&PageName=gps>, 18 Eylül 2015.
- [62] Güla E., GNSS Ders Notları, <http://docplayer.biz.tr/16197417-1-giris-2-gnss-sistemleri.html>, 13 Aralık 2017.
- [63] Arslan, E., (2016). GALILEO Uydu Seyrüsefer Sistemi E5 Sinyal Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [64] Mekik, Ç., (2010). “Global Uydu Navigasyon Sistemleri ve Uydu Bazlı Alan Büyütme Sistemleri”, CEBIT Eurasia 2010 Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı, Akademik Perspektif, 8 Ekim 2010, İstanbul.
- [65] Soycan, A. ve Soycan, M., (2002). “Poligon Noktalarının GPS ile Ölçülmesi Üzerine Bir İnceleme”, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002, Konya.
- [66] T.C. Karadeniz Teknik Üniversitesi, GNSS Ölçmeleri, <http://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=81&USER=3947>, 15 Aralık 2017.
- [67] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, TUSAGA-Aktif, <https://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/tusaga-aktif-0>, 15 Aralık 2017.
- [68] 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.