

Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündükleri

Muzaffer KAHVECİ¹

Özet

Gerçek zamanlı sabit GNSS ağlarının (CORS) kurulması, günümüzde tüm ülkelerde hızlı bir şekilde devam etmektedir. Kurulan ağların verimliliğinin ve kullanılabilirliğinin zaman içerisinde optimizasyonu ise bu ağların teknolojiyi yakından takip etmelerinin yanında sivil ve askeri kullanıcıların gereksinimlerine ne kadar yanıt verebildiği ile orantılı olacaktır. Gerçek zamanlı ulusal sabit GNSS ağları, ülkelerin kamu kurum ve kuruluşlarını, üniversiteleri ve özel sektörü yakından ilgilendiren çok amaçlı ağlardır. Bu ağlar kullanıcılara gerçek zamanlı ve yüksek doğruluklu konum bilgisi sağlamalarının yanında, ülkelerin uzaysal referans sistemlerinin tanımlanmasında da temel rol oynamaktadırlar. Bunlara ilave olarak, bu ağların kurulmasında harcanan kaynağın kamu kaynağı olması nedeniyle, gelişmiş ülkelerde de uygulandığı gibi, ulusal GNSS ağları kurulurken; işletme, mevzuat, yönetim, idari ve teknik konularda konuyla ilgili tüm tarafların görüşlerinin de alınarak uygulanacağı bir ortam oluşturulması ve sistemin tabana olabildiğince çok yayılması sağlanması en yararlı yöntemdir.

Anahtar Sözcükler

GPS, Galileo, Glonass, GNSS, CORS, Ağ-RTK

Abstract

Real Time Continuously Operating Reference Stations (RTK CORS) Networks and Considerations About Them

RTK CORS Networks are being established rapidly in many countries today. The optimization of these Networks from the productivity and availability points of view will be highly related to how they meet the needs of civil and military users and how they make use of technological improvements. Real time CORS Networks (RTN) are multi-purpose networks and of closely interest to governmental institutions, universities and commercial sector. These networks provide users with real time highly accurate positional information and also play an important role in defining the national spatial reference systems of the countries which establish them. Additionally, since such networks are funded by the public as is the case in all developed countries, during the process of establishing a national CORS network, it is essential to form a widely participated commission (including all related parties and bodies) in order to concur on necessary issues such as operating the system, preparing the related regulations, choosing the management model and other administrative and technical matters.

Key Words

GPS, Galileo, Glonass, GNSS, CORS, Net-RTK/RTN

1. Giriş

Klasik diferansiyel GPS, koordinatları hassas olarak bilinen en az bir referans istasyonu ile bu istasyonla aynı uydulara gözlem yapabilecek uzaklıklarda bulunan gezen (hareketli) alıcılardan oluşmaktadır. Bu alıcılarda toplanan veriler (faz ve kod ölçüleri) büroda birleştirilip değerlendirildikten sonra gezen alıcıların hassas koordinatları belirlenmektedir. Söz konusu bu işlem, referans istasyonu verileri ve/veya hesaplanan düzeltmeleri herhangi bir iletişim vasıtasıyla (GPRS-General Packet Radio Service, uydu, internet, cep telefonu vb.) gerçek zamanlı olarak gezen alıcılara iletilerek de yapılmaktadır. Bu şekilde uygulanan yöntem, gerçek zamanlı kinematik (RTK-Real Time Kinematic) GNSS (Global Navigation Satellite Systems) adı verilmektedir. Ancak, bu yöntemde elde edilecek doğruluğu, sabit istasyondan olan uzaklığa bağlı olarak artan sistematik etkiler sınırlamaktadır. Bu sınırlamalardan kaçınmak için birden çok sabit istasyon kurulması fikri ortaya atılmıştır (RAQUET 1998, LANDAU vd. 2002). Bu fikrin uygulanması ve elde edilen deneyimlerden yararlanılması sonucunda sabit GPS/GNSS (Global Positioning System/Global Navigation Satellite Systems) ağları (Ağ-RTK; Net-RTK) kavramı ortaya çıkmıştır. Ağ-RTK sisteminde, tek bir referans istasyonuna olan bağımlılık ortadan kalkmış, ayrıca, çok sayıda referans istasyonuna ait verilerden yararlanarak belirli bir bölgeye ait atmosferik modelleme yapılması olanağı da sağlanmıştır. Bu modelleme sonucunda ise GPS/GNSS ölçülerini etkileyen en önemli hata kaynaklarından birisi olan iyonosfer ve troposfer hataları, konum belirleme uygulamaları için en düşük seviyeye indirilmiş olmaktadır.

Sabit GPS/GNSS ağları günümüzde birçok gerçek zamanlı veya hassas büro hesaplama (post process) uygulamaları için standart olarak kullanılmaktadır. Bu standart uygulamalar; jeodezik ölçmeler, kadastro ölçmeleri, mühendislik amaçlı ölçmeler, depremlerin önceden belirlenmesi çalışmalarına yönelik ölçmeler, meteorolojik amaçlı ölçmeler vb. olarak sayılabilir. Bu uygulamalardaki ağlar pasif GPS/GNSS ağları olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifadeyle bağımsız referans noktalarından oluşan ve gerektiğinde üzerine alet kurularak ölçme yapılan ağlara pasif jeodezik GPS ağları (Örn. TUTGA-Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) adı verilmektedir. Bu ağlardan elde edilen uzun süreli ölçüler büroda mevcut bilimsel ve araştırma amaçlı yazılımlarla değerlendirilmekte ve sonuçta yüksek doğrulukta konum ve hız bilgileri elde edilmektedir. Günümüzde ise gerçek zamanlı uygulamalar (kadastro ölçmeleri, makine kontrol sistemleri, araç takip ve navigasyon, tarım vb.) bu ağların aktif olmasını zorunlu hale

¹ Doç.Dr. GNSS Harita Teknik Danışmanlık, Ankara, muzaffer@gnssteknik.com.tr

getirmiştir. Aktif GPS/GNSS ağlarında verilerin arşivlenmesi ve hesaplanmasının yanında, yukarıda sayılan alanlarda konum düzeltme bilgileri de kullanıcılara gerçek zamanlı olarak herhangi bir iletişim vasıtasıyla yayınlanmaktadır. Bu şekildeki aktif ağlara genel olarak “Gerçek zamanlı GNSS (RTK CORS; Real Time Kinematic Continuously Operating Reference Stations) Ağı” adı verilmektedir. Ağ-RTK tekniğinin günümüzde en fazla uygulanan şekli sabit GNSS (CORS) ağlarıdır. Diğer taraftan günümüzde “CORS” ile “Ağ-RTK(RTN:Real Time Network)” tanımlarında da farklılıklar bulunmaktadır. Bununla birlikte genel kabul gören en kapsamlı tanımıyla “CORS (açık ifadesi)”, cm doğruluğunda konum belirlenmesine olanak tanıyan, ulusal nitelikte olan ve aynı zamanda ölçme sonrası büro hesaplamalarına olanak tanıyan arşiv sistemine sahip ağlardır. Oysa Ağ-RTK’den, yerel ve özel kuruluşlarca tesis edilen ve işletilen, cm doğruluğunda gerçek zamanlı (RTK) hizmet veren ağlar anlaşılmaktadır. CORS ve Ağ-RTK sistemlerinin ortak yanı ise her ikisinde de yeryüzünde belirli sıklıkta kurulmuş sabit GNSS istasyon verilerinin kullanılmasıdır (KAHVECİ 2009).

Sonuç olarak, günümüzde ülke jeodezik ağları, sürekli ve gerçek zamanlı gözlem yapan sabit GNSS ağlarından (CORS) oluşmakta ve bu ağlar, başta haritacılık olmak üzere askeri ve sivil birçok alanda yoğun olarak kullanılmaktadır. Sabit GNSS ağlarının kurulmasıyla birlikte diğer alanlarda da bunlardan yararlanma oranı gittikçe artmaktadır. Bu nedenle, gerçek zamanlı GNSS ve DGNSS (Differential Global Positioning System) uygulamalarındaki artış ülkelerdeki ulusal haritacılık kuruluşlarını, yerel kuruluşları ve özel sektörü, kadastro, jeodezik ve diğer amaçlar (navigasyon, meteorolojik vb.) için de kullanılmak üzere sabit GNSS ağları kurmaya yöneltmiştir. Sabit GNSS ağları, yüksek doğruluklu, çok amaçlı (jeodezi, jeofizik, jeodinamik, ölçme, navigasyon, (CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), meteoroloji vb.), aktif ve gerçek zamanlı, uluslar arası sistemler ve standartlarla (IERS; International Earth Rotation Service), IGS (International GPS Service for geodynamics), ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) vb.) uyumlu bir ağ olarak hizmet vermektedirler. Bu ağların sağladığı kazanımlar şöyle sıralanabilir (KAHVECİ 2009):

- a. GPS ölçmelerinde, sabit noktalarda alet ve personel bulundurulması zorunluluğu ortadan kalkmaktadır.
- b. Yapılan ölçmeler ve elde edilen sonuçlar doğrudan ulusal referans sistemindedir.
- c. Arazi görevinin icrası öncesinde koordinatları bilinen nokta keşfi ortadan kalkmakta, bu da zaman, personel ve para kaybını önlemektedir.
- ç. Gerçek zamanlı olarak üç boyutlu hassas koordinatlar istenilen datumda elde edilmektedir.
- d. Nokta koordinatları sürekli izlenebilmekte ve herhangi bir deformasyon durumunda güncellenebilmektedir.

Gerçek zamanlı sabit GNSS ağları ülkelerin kamu kurum ve kuruluşlarını, üniversitelerini, ticari kullanıcıları ve özel

sektörü yakından ilgilendiren çok amaçlı ağlardır. Bu ağlar kullanıcılara gerçek zamanlı ve yüksek doğruluklu konum bilgisi sağlamalarının yanında ülkelerin ulusal uzaysal referans sistemlerinin tanımlanmasında da temel rol oynamaktadırlar.

Gerçek zamanlı sabit GNSS ağlarında da konum doğruluğunu etkileyen birçok parametre vardır. Bunlar; sabit istasyonlar arasındaki uzaklıklar, sabit istasyonlarla kontrol merkezi arasında veri alışı verişi için geçen zaman (latency), kullanıcının elindeki gezen alıcı (rover) özellikleri ve veri iletişiminde kullanılan yöntemin kapsama alanı vb. sayılabilir. Bu ağların temel amacının gerçek zamanlı doğru konum ve hız belirlenmesi olmakla birlikte, bu amacı uygun şekilde ve sorunsuz olarak gerçekleştirebilmek için başka etkenlerin de göz önünde tutulması gerekmektedir. Bunların başında ise; kurulacak sistem için amaca en uygun donanım ve yazılım temini ile sistem yönetiminin ve işletilmesinin bilimsel ve hukuksal temellere en uygun şekilde gerçekleştirilmesi gelmektedir.

Bu makalede gerçek zamanlı sabit GNSS ağları, teknik ve idari açılarından kısaca irdelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, konunun bir bütün olarak anlaşılabilmesini sağlamak için ikinci bölümde uydu sistemlerindeki son gelişmeler özetlenmiş, üçüncü bölümde bu ağlar kurulurken dikkat edilmesi gereken teknik hususlar anlatılmış, dördüncü bölümde ağ yazılım ve donanımları temin edilirken dikkat edilecek hususlar özetlenmiş, beşinci bölümde sistemin yönetimi ve işletilmesi konusundaki düşünceler açıklanmış ve altıncı bölümde konuya ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

2. Uydu Sistemlerindeki Son Gelişmeler

Son yıllarda birçok ülkede gerçek zamanlı GNSS ağlarının kurulması çalışmaları yoğun olarak devam etmektedir. Gerek bu ağların temelini oluşturacak referans alıcılarının gerekse bu ağlardan yararlanacak potansiyel kullanıcılar tarafından satın alınacak gezen GNSS alıcılarının isabetli bir yatırım ile ekonomik ve geleceğe yönelik yenilikleri de kapsayacak şekilde temin edilmesinde katkı sağlayabilmek amacıyla, aşağıda yalnızca en önemli üç yenilikle ilgili kısa bilgiler verilmektedir (FONTANA 2006).

1. **Galileo:** Galileo uydu sistemi, ABD. Global Konum Belirleme Sistemi’nin Avrupa kaynaklı alternatifi olarak tasarlanmış bir, uydularla konum belirleme ve navigasyon sistemidir. Bu proje Avrupa Birliği ve ESA (European Space Agency) tarafından ortaklaşa finanse edilmektedir. Planlanan toplam uydu sayısı 30 olup tüm sistem tamamlandığında, projenin yaklaşık olarak 6 milyar Avro’ya mal olacağı tahmin edilmektedir (URL-1). GPS ve GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) sistemlerine ilave olarak Galileo sisteminin de dahil olduğu GNSS alıcıları ile (yaklaşık 80 uydu) kapsama alanı sorunu büyük ölçüde giderilmiş, gerçek zamanlı kinematik uygulamalarda faz belirsizlikleri daha kısa sürede çözülmüş, atmosferik modellendirmelerde yeni algoritmalar hazırlanmış ve kısmen kapalı alanlarda da (derin vadiler, ormanlık alanlar, cadde ve sokaklar vb.) etkili bir şekilde kullanılma olanağı sağlanmış olacaktır.

tır. Bu, özellikle gerçek zamanlı RTK uygulamalarında, kesintisiz, güvenilir ve daha yüksek doğruluk demektir. Galileo sisteminin de devreye girmesiyle yakın gelecekte CORS ağlarından beklenen doğruluklar Tablo-1’de görülmektedir.

Tablo-1. CORS ağlarından beklenen doğruluklar

Uygulama Alanları	Beklenen Doğruluk
Jeodezik Datum Belirleme (Jeoid belirleme vb.) Referans Sistemi Oluşturulması Jeofizik-Jeodinamik Çalışmalar Meteorolojik Çalışmalar Deniz Seviyesi Belirleme Çalışmaları	± 1 mm
Mühendislik Ölçmeleri Kadastro Ölçmeleri Madencilik Hassas Tarım Çalışmaları Makine Kontrol Sistemleri	± 1-2 cm
Araç Takip Navigasyon Turizm ve hobi amaçlı (yat, dağcılık vb.) Arama Kurtarma	± 10-15 cm

2. **L2C:** Bu sinyal GPS Block-IIRM (R; Replenishment/ Replacement, M; Modified) uydularında mevcuttur. L2C sinyali hem büro hesaplamalarında hem de gerçek zamanlı uygulamalarda oldukça önemli katkılarda bulunmaktadır. Ancak, bu sinyalin kinematik uygulamadaki önemi kullanıcı için daha fazladır. Başka bir ifadeyle L2C sinyali özellikle haritacılık hizmetleri için tasarlanmış bir sinyaldir. Bu bağlamda L2C sinyalinin “Ağ RTK” kullanıcıları açısından önemi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Düşük yükseklik açısındaki uyduları izleyebilme, daha güçlü sinyal izleme ve sonuç olarak L1’e göre daha iyi veri kalitesi sağlanacaktır,
- Ağ-RTK Kontrol Merkezi açısından; 10 derecenin altındaki uydular için faz belirsizliği çözümü olanaklı hale gelecek, hatalar daha güvenilir ve doğru olarak modellenebilecek,
- Gezen alıcı açısından; özellikle olumsuz arazi şartlarında daha hızlı faz belirsizliği çözümüne ve sonuçta daha güvenilir ve doğru sonuçlara ulaşılabilecektir.

3. **L5:** Sivil kullanıma yönelik bir sinyal olup, 1176,45 MHz bandında yayınlanacaktır. Amacı zayıf uydu sinyallerinin izlenebilmesidir. Bu sinyalin Block-IIRM uydularından yayınlanması ekonomik bulunmadığı için Block II uydularının dördüncü kuşağı olan Block-IIF (F; Follow On) uydularından yayınlanacaktır. Bununla birlikte test amaçlı ilk L5 sinyali 24 Mart 2009 tarihin-

de uzaya gönderilmiş olan Block IIR-20 (SVN49; Space Vehicle Number 49) ve Aralık 2009 tarihine kadar uzaya gönderilecek olan Block IIR-21 (SVN50; Space Vehicle Number 50) uydularında mevcut olacaktır.

3. Sabit GNSS (CORS) Ağı Kurulurken Dikkat Edilecek Konular

Sabit RTK GNSS ağlarının kurulmasındaki temel amaç, uzaklığa bağlı olarak farklılık/değişim gösteren hataların (iyonosfer, troposfer, yörünge vb.) giderilmesidir. Gerçek zamanlı ve kontrollü hesaplamaların yapılabilmesi için ağdaki tüm istasyonlar birbirleriyle güvenilir bir iletişim vasıtasıyla bağlanmaktadır. Bir referans istasyonu en az bir alıcı, bir anten, iletişim vasıtası ve güç kaynağından oluşmaktadır. Sistemin son ucunda ise ağa herhangi bir iletişim vasıtasıyla (örn. cep telefonu, internet vb.) bağlanabilen kullanıcılar bulunmaktadır.

“CORS” ağları kurulurken ülkenin ya da bölgenin coğrafi koşulları yanında maliyet de dikkate alınmalıdır. Örneğin, Türkiye büyüklüğünde bir ülkede 50 km aralıklı bir ağ ekonomik olarak değerlendirilirse, bu çözüm Avustralya gibi bir ülkede ekonomik bir çözüm olarak görülmeyebilir. Ayrıca, ülkenin ya da bölgenin nüfusu ve sunulacak olan hizmetten yararlanacak potansiyel kullanıcı dağılımı sık aralıklı bir ağ tasarımı için uygun olmayabilir. Bu durumda yapılacak en mantıklı tasarım, cm doğruluğunda RTK hizmetine gereksinim bulunmayan ya da nadiren gereksinim duyulacak bölgelerde daha seyrek, potansiyel kullanıcı yoğun olan bölgelerde ise daha sık referans istasyonu kurulması şeklinde olmalıdır. Bunu Türkiye’den bir örnekle açıklamak gerekirse; ağ kurulmasındaki ana amacın cm doğruluğunda RTK hizmeti olduğu ve bununla birlikte metre doğruluğunda navigasyon hizmetlerinin de kullanıcılara eş zamanlı sağlanmasının hedeflendiği varsayıldığında İstanbul, Ankara, İzmir gibi şehir alanlarında daha sık (örneğin, aralarındaki uzaklık 30-40 km) ağ noktası tasarımı, Doğu ve Güneydoğu Anadolu’nun çok dağlık bölgelerinde ise daha seyrek (örneğin, aralarındaki uzaklık 100-130 km) ağ noktası tasarımı en uygun çözüm olarak düşünülebilir. İyonosferik etkinin çok fazla olduğu yerlerde yukarıda verilen uzaklıklar daha da azaltılmalıdır. Bunlara ilave olarak, kullanılacak ağ yazılımının sınırlamaları da dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Örneğin, referans istasyonları arasındaki korelasyonun sağlanabilmesi ve ağ düzeltmelerinin en iyi şekilde hesaplanabilmesi için kontrol ve hesap merkezinde bulunan ağ yazılımlarında, genelde gezen alıcılarla referans noktaları arasının 70-100 km’yi geçtiği durumlarda düzeltme hesaplanmamaktadır. Ağ-RTK uygulamalarında gezen alıcıya en yakın referans istasyonlarının seçilmesindeki temel prensibin nedeni budur (KAHVECİ 2009).

CORS ağları kurulumunda, istasyon yerlerinin seçimi amaca uygun donanım seçimi kadar önemli bir konudur. Örneğin, ulusal bir “CORS” ağı kurulacaksa, bu ağın aynı zamanda ülke “dinamik datum” belirlenmesinde kullanılacağı da göz önünde tutulduğunda, istasyon yerlerinin olabildiğince tektonik anlamda stabil, sağlam kayalık üzerinde veya sert zeminli alanlarda seçilmesi ve zemin noktası (pilye) olmasında büyük yarar vardır. Çok tercih edilmese de zorunlu

durumlarda bina çatılarında da nokta tesis edilebilmektedir. Ancak, ülke "CORS" ağları için binalardaki nokta tesislerinin zemindekilere oranı çok düşük (örneğin, %10) tutulmaktadır. Söz konusu binalar en fazla dört katlı ve en az 4 yıllık (zemine oturmuş) olmalıdır. Binaların teras veya çatılarında ki anten tesislerinin rüzgar, yağmur ve nemden en az etkilenen malzeme, sağlamlık ve büyüklükte ve tek parça olması dikkat edilmesi gereken önemli hususlardandır.

İstasyon kurulması ile ilgili standartlarda, kurulacak ağın amacına ve yapısına göre ülkeden ülkeye değişmekle birlikte asgari seviyede karşılanması gereken ve ülkeden ülkeye değişmeyen hususlar vardır. Örneğin, eğer kurulan ağın amacı ulusal ve tüm kullanıcılara hizmet ise, bu ağ noktaları için uygun olmayan bazı anten kurulumu örnekleri Şekil-1'de görülmektedir.



Şekil-1. Yanlış anten kurulum örnekleri

Ulusal ağlar için doğru olarak nitelendirilen bazı anten kurulum örnekleri ise Şekil-2'de verilmektedir.



Şekil-2. Ulusal GNSS ağları için doğru anten kurulum örnekleri

Özellikle ulusal GNSS ağlarının, çok yüksek doğruluk isteyen kullanım alanlarının da olması nedeniyle noktalar, büyük oranda sağlam zeminde yer tesisi biçiminde oluşturulmalıdır. Örnek bir zemin tesisi inşaatı Şekil-3'de görülmektedir.



Şekil-3. Ulusal GNSS ağları için uygun zemin tesisi örnekleri

Ulusal GNSS ağları kurulurken genelde en zor olan konu zemin tesisi yanında elektrik, ADSL hattı gibi altyapı faaliyetlerinin gerçekleştirilmesidir. Ancak, kurulacak olan ağdan beklentiler en yüksek seviyelerde ise bu konu önemli bir sorun olmaktan çıkmaktadır. Bunun için çok sayıda örnek Japonya ve ABD ağlarından verilebilir. Örneğin, Şekil-4'de zor arazi koşullarında da sabit istasyon kurulabileceği görülmektedir.



Şekil-4. Zor arazi koşullarında sabit GNSS istasyonu

Ulusal ağ istasyonlarına ait temel veriler ise asgari aşağıdaki bilgileri sağlamalı ve her bir istasyon için açılacak arşiv klasöründe ve ayrıca sayısal olarak da muhafaza edilmelidir. Sayısal olan bilgiler aynı zamanda internet üzerinden kullanıcıların bilgisine açılmalıdır. Bu bilgiler;

- İstasyon karnesi (Site log): IGS istasyon karneleri örnek olarak alınabilir. Burada, istasyonun özgeçmişi bulunmaktadır. Başka bir ifadeyle bunlar, istasyonda o güne kadar kullanılan alıcı ve anten model ve markaları, bunların değiştirilme tarihleri, yer koordinat bilgileri, anten yükseklik değerleri, istasyon uzun ve kısa adı, sorumlu kuruluş, vb. bilgilerini kapsamaktadır.

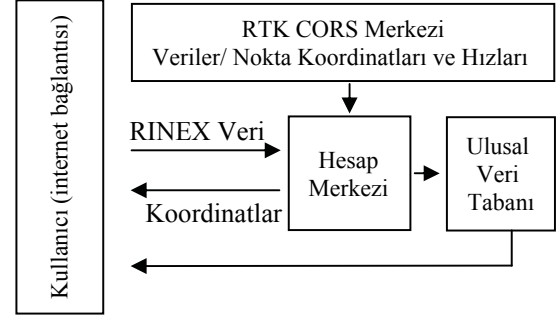
- b. İstasyon fotoğrafları: İstasyonun tesis, alıcı ve antenlerine ilişkin yakından çekilmiş en az ikişer adet fotoğrafları olmalıdır. Özellikle çatı ve teras tesis ve antenleri için bu sayı olabildiğince fazla olmalıdır. İstasyon yeri kaydırılrsa bile eski fotoğraflar muhafaza edilmelidir.
- c. İstasyon ulaşım bilgileri: Diğer taraftan, sabit istasyonlarda toplanacak verilerin hangi sıklıkta ve kim tarafından kullanıcılara yayınlanacağı, hesaplamaların nasıl yapılacağı gibi konuların da çok ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin, günümüzde en yaygın kullanılan yöntem, bu verilerin sistemden sorumlu kurumla/kurumlarla sözleşme imzalamış ticari servis sağlayıcılar tarafından 1 Hz (0.2 saniye) sıklıklı ham verilerin (raw data) gerçek zamanlı olarak kinematik amaçlı kullanıcılara ücreti karşılığı iletilmesidir. Diğer taraftan, bu ham veriler aynı zamanda sistem sorumlusu kurumun/kurumların hesap ve kontrol merkezinde de toplanmalı ve burada 30 saniye aralıklı seyrekleştirilmiş RINEX (Receiver Independent EXchange) dosyalar oluşturulmalı ve bu dosyalar arşivlenmelidir. Ayrıca bu dosyalar sistem web sayfasından ölçü sonrası hesaplama (post process) için kullanıcıların hizmetine sunulmalıdır. Burada kurulan sistemin ulusal olması; datum belirleme, deprem ve meteorolojik çalışmalar gibi birçok önemli amacı olması nedenleriyle hesap ve kontrol merkezinde “günlük hesap ve analiz” birimi oluşturulmalıdır. Bu birimde aynı IGS sisteminde olduğu gibi toplanan verilerle ideal olarak üç aşamalı analiz yapılmalıdır. Yapılması önerilen bu analizler Tablo-2’de verilmektedir.

Tablo-2. Sabit GNSS ağ verileri için Önerilen Analizler

Analiz Adı	Analiz Sıklığı	Yörünge Bilgisi	Amacı
Ultra Hızlı	Her 3 saatte (1 Hz veri)	IGU	Deprem, meteorolojik izlemeler vb.
Hızlı	Her gün (30 sn.lik veri)	IGU/IGR	Kadastro ölçmeleri, mühendislik ölçmeleri vb.
Sonuç (final)	Her hafta (30 sn.lik veri)	IGS	Datum belirleme, kadastro ölçmeleri, bilimsel araştırmalar vb.

Ayrıca, söz konusu ağların ulusal olması nedeniyle, ülke içinde GNSS ölçüleri ile yapılacak proje ve hesaplamalarda standart sağlanması da önemli konulardan birisidir. Özellikle yeni teknolojilere geçiş dönemlerinde, konunun uzmanı olsun ya da olmasın herkes tarafından yapılacak hesaplamalarda ve oluşturulacak veri tabanlarında farklı datumların ve koordinatların ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır. Bu da o ülke içerisinde kurumlar arası projelerde sorunların yaşanmasına neden olacaktır. Bu bağlamda; ulusal ağlardan sorumlu merkez kurum tarafından Şekil-5’de görülen şekilde bir ger-

çek zamanlı (online) hesap hizmetinin kullanıcılara sunulmasında yarar vardır. Böyle bir hizmet aynı zamanda kaynak israfını önleyerek, merkez kurum veri tabanına sürekli ve istenen standartta güncel veri akışını da sağlayacaktır. Şekil-5’de görüleceği gibi, genelde herhangi bir kullanıcı internet bağlantısı vasıtasıyla örneğin en az 1 saatlik statik ölçülmüş veri dosyasını RINEX formatında göndermekte ve bu veriler hesap merkezinde gerekli değerlendirme işlemine tabi tutulduktan sonra kullanıcıya koordinat ve hız bilgisi olarak geri dönmekte, ayrıca ulusal veri tabanına hem RINEX hem de sonuç koordinatlar olarak eklenmektedir.



Şekil-5. Gerçek Zamanlı Hesaplama Hizmeti

4. Sabit GNSS (CORS) İstasyonları Donanım ve Yazılımlarında Dikkat Edilecek Konular

Son yıllarda GNSS sistemlerinde çok hızlı değişiklikler ve gelişmeler meydana gelmektedir. Birçok GNSS alıcısı ve anteni üreten firma bu gelişmelere ve yeniliklere ayak uydurmada oldukça sıkıntılı anlar yaşamaktadır. Bununla birlikte sayıları çok az da olsa bazı GNSS alıcısı üreten firmalar bu yenilikleri daha kullanıma başlanmadan kendi sistemlerine entegre etmektedirler.

GNSS sabit istasyon ve/veya gezen (Rover) alıcılar satın alınırken kullanıcılar tarafından dikkat edilmesi gereken bazı önemli konular mevcuttur. Bu donanımlar satın alınmadan önce sorulması gereken sorular özetle şunlardır:

- Bu alıcılar Galileo sinyallerini alabilecek hazır kart (board) yapısına sahip midir?
- Bu alıcılar L5 sinyalini izleyebilecek hazır kart (board) yapısına sahip midir?
- Bu alıcılar özellikle gerçek zamanlı (RTK) uygulamalarda faz belirsizliği çözümünde GLONASS uydularını etkin olarak kullanmakta mıdır?

Galileo sisteminin tam olarak 2014 yılında faaliyete geçecek olması, L5 sinyallerinin ise 2010 yılında kullanılmaya başlayacak olması nedenleriyle “o zamana kadar çok şey değişir” düşüncesiyle bu özellikler göz ardı edilebilir. Ancak, böyle bir düşünce zamanı geldiğinde aynı donanım için ilave para harcanması ya da tüm sistemin baştan değiştirilmesi anlamına gelmektedir.

Eğer ülke kaynakları kullanılarak ulusal GNSS ağı kuruyorsa, sorulması gereken bir diğer soru ise sabit istasyon alıcılarının tüm diğer model ve marka (DGPS vb. özelliği olmayan çok eski teknolojiler hariç) alıcılara uyumlu çalışıp çalışmayacağıdır. Çünkü bir ülke içerisinde tüm kullanıcıların aynı marka ve model alıcı satın alması ve kullanması beklenemez. Normal olarak kullanıcılar amaçlarına en uygun donanım ve yazılım tercihlerini yapmaktadırlar. Bu nedenle, ulusal ağların tüm kullanıcılara sorunsuz hizmet verebilecek yapı ve teknolojide olması gerekmektedir. Örneğin bir kullanıcının, çok hassas çalışması gerektiği için GPS, GLONASS ve Galileo uydularının üçünde de çalışabilen alıcı satın almasına karşın bu özelliklerden, ulusal CORS ağında kurulu olan sabit (referans) alıcıların yetersizliği ya da eksik teknoloji ile donatılmış olması nedeniyle yararlanamamasının söz konusu GNSS ağından sorumlu kurum ve kuruluşların önemli problemler yaşamasına yol açacağı düşünülmektedir (KAHVECİ 2009).

Sabit GNSS istasyonları için harici anten satın alınırken de benzer durumlar söz konusu olabilmektedir. Sabit istasyonlar için günümüzde en uygun olan ve hakkında çok sayıda tarafsız bilimsel araştırma ve yayın yapılmış olan anten modeli "radome" tipli "choke ring" antenlerdir. Bilindiği gibi "choke ring" anten modelinin en temel özelliği sinyal yansımalarını (multipath) en aza indirmesi ve istenmeyen (wave front) sinyallerin kaydedilmesini engellemesidir. Ulusal CORS ağlarının datum belirleme ve depremlerin önceden belirlenmesi amaçlı kullanım hedeflerinin de olması nedeniyle kullanılacak anten modeli en önemli konulardan birisidir. En azından tüm bu antenlerin tek tek seri numaralarına göre mutlak anten kalibrasyonları yapılmalı ve bu değerler hesaplamalarda kullanılan yazılımlarda dikkate alınmalıdır.

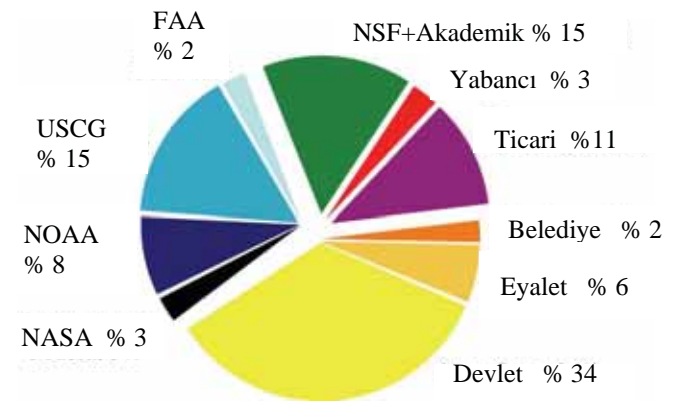
5. Diğer Ülkelerden Örnekler

Gerçek zamanlı ulusal GNSS ağları ile ilgili olarak diğer ülkelerden çok sayıda örnek vermek olanaklıdır. Aşağıda yalnızca çarpıcı iki örnek verilmekte; ABD ve Japonya ağları kısaca özetlenmektedir.

α. **ABD:** Ağ-RTK düşüncesi 1990'lı yılların başında yaklaşık 10 noktalı CIGNET (Cooperative International GPS Network) ağı ile başlamış ve bugün "CORS" adı altında yaklaşık 1300 noktalı bir ağ halini almıştır. ABD'de yaklaşık her eyaletin kendi "CORS" sistemi vardır ve istasyon sayısı her yıl ortalama 200 adet artmaktadır. Bunların dışında ayrıca birçok özel/ticari kuruluşun da ağı hizmet vermektedir. Özet olarak ABD'deki CORS ağlarının yaklaşık %98'i özel amaçlı kurulmuş (NGS -National Geodetic Survey- dışındaki kurum ve kuruluşlar, eyalet yönetimleri, ticari işletmeler vb.) ağlardan oluşmaktadır. Bunların yalnızca %2'si NGS desteğiyle kurulmuştur. %98'lik bölüm yaklaşık 180 ağ operatörüne (işletim sorumlusu) karşılık gelmektedir. Bu bilgilerden de görüleceği gibi, ABD ulusal kuruluşu olan NGS asgari görev üstlenmiştir. NGS tarafından üstlenilen bu görevler (SELLA vd. 2008, SNAY 2008):

- (1) Çok farklı amaç ve yapıda kurulmuş olan ağların işletimini tek bir merkezden koordinasyon,
- (2) Sistem kullanıcılarına tek anlamlı ve doğru hizmet (doğru ve güncel ulusal uzaysal datum bilgilerine erişme) verebilmek amacıyla standartları oluşturmak,
- (3) Bu standartları oluştururken hem NGS'in hem de diğer ağ işleticilerinin ihtiyaçlarını karşılayacak tedbir ve uygulamaları gerçekleştirmek,
- (4) CORS ağlarının kurulmasına ve işletilmesine ilişkin standart ve önerileri oluşturmak,
- (5) Yayınlanacak standartların ve mevzuatın olabildiğince uygulamaya yönelik (pratik) olmasını ve herkesi kapsamını sağlamaktır (hangi standardın ne amaçla konduğu açık bir şekilde ifade edilirse bu da en az sayıda telefon görüşmesi ve yazışma, dolayısıyla en az zaman kaybı demektir).

ABD'deki "CORS" ağlarından sorumlu kuruluşların istatistiksel dağılımı Şekil-6'da görülmektedir.



Şekil-6. ABD'de CORS kuruluşlarının istatistiksel dağılımı

Kısaltmalar:

FAA: Federal Aviation Administration

NSF: US National Science Foundation

USCGR: United States Coast Guard

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

NASA: US National Aeronautics and Space Administration

β. **Japonya:** Japonya ulusal haritacılık kuruluşu olan GSI (Geographical Survey Institute) tarafından 1993 yılında yaklaşık 110 GPS istasyonu ile başlayan çalışmalar sonucu bugün yaklaşık 1240 noktalı bir RTK ağı gerçekleştirilmiştir (YAMAGIWA vd. 2006). Bu ağ GEONET (GPS Earth Observation NETWORK system) olarak bilinmektedir. GEONET ağının kuruluş amaçları; depremlerin önceden belirlenmesi çalışmaları, jeodezik çalışmalar, kadastro çalışmaları, meteorolojik çalışmalar ve ticari kullanımlar (araç takip, navigasyon, turizm vb.) olarak sıralanabilir. GEONET ağının referans istasyonları arasındaki uzaklık 25-30 km arasında değişmektedir. Kullanıcılara veri yayını (ücreti karşılığı), kinematik uygulamalar için 1 Hz sıklıkla ve ham veri (raw data)

olarak, GSI tarafından 3-saatlik ve 30 saniye aralıklı RINEX dosyalar oluşturularak ftp/www (File Transfer Protocol/World Wide Web) sunucudan yapılmaktadır. 30 saniyelik veriler GSI tarafından arşivlenirken, 1 saniyelik veriler özel durumlar (deprem, volkanik hareketler, önemli meteorolojik olaylar) dışında gözlem anından itibaren birkaç hafta içerisinde silinmektedir. Verilerin gerçek zamanlı yayını Japon Haritacılar Birliğinin (JAS; Japan Association of Surveyors) sorumluluğunda sürmektedir. Bu amaçla dört ticari firma JAS ile kontrat imzalamış olup, halen kullanıcılara gerçek zamanlı veri sunumu ücreti karşılığında bu firmalar üzerinden yapılmaktadır. Japon GEONET ağına istasyon örneği Şekil-7’de görülmektedir.



Şekil-7. GEONET referans İstasyonu

6. Sonuçlar ve Öneriler

1. Ülke ağı ile farklı yerel ağlara belirli standartlar getirilerek ülke çapında homojen, tek anlamlı, doğru (aynı datumda) ve birbirleriyle ilişkili koordinatlar elde edilmelidir. Yakın gelecekte belki gerçek zamanlı (online) internet veri hesap merkezleri de hizmet vermeye başlayacaktır. Gelecekte kullanıcılar her zaman doğruluğu daha yüksek ve daha güvenilir koordinat talebinde bulunacaktır. Hiçbir zaman hiçbir kullanıcı daha düşük doğrulukta koordinat istemeyecektir. Dolayısıyla, “CORS” ile ölçü noktasında en az zaman harcanarak, en gelişmiş jeodezik alet ve tekniklerle mümkün olan en yüksek doğrulukta konum bilgisi sağlanmalıdır.
2. CORS’un önemli bir diğer katkısı ise, sonuçlar doğrudan istenilen datumda olacağından, kullanıcı tarafından yapılacak dönüşüm vb. hesaplama hatalarından da kaçınılmış olunacaktır. Sonuç olarak CORS ağları kullanıcı açısından kolay, yeterli doğrulukta, homojen, tekrarlanabilirliği olan, maliyet ve zaman açılarından ekonomik sonuçlar veren sistem olmalıdır.
3. “CORS” ağlarında noktalar arası uzaklığın 100 km civarında olması en uygun çözüm değildir. Dünyada farklı kurumlar tarafından yapılan denemelerde en uygun sıklığın 50 km olduğu belirlenmiştir. Ancak, Galileo sisteminin de devreye girmesi durumunda noktalar arası uzaklık 100 km olabilecek, 50 km uzaklıklarda ulaşılabilecek koordinat güvenilirliği en üst seviyede olacaktır.
4. İkinci bölümde anlatılan GPS, GLONASS ve Galileo uydu sistemlerindeki gelişmeler, özellikle kapalı (orman, vadi vb.) ve şehir alanlarında gerçek zamanlı kinematik GNSS uygulamalarını olanaklı hale getirecektir. Ayrıca, GNSS sinyalleri güçlendirilerek bina içlerinde de kullanılması olanaklı hale gelecektir.
5. Ülke sabit GNSS ağı işletim ve idamesinde belirli bir deneyime ve nokta sıklığına ulaşıldıktan yaklaşık 1-2 yıl sonra, bu ağdan sunulan verilerin ve bu verilerle ilgili diğer meta verilerinin kalitesi ve doğruluğunu artıracak stratejiler geliştirilmelidir. Çünkü yukarıda da ifade edildiği gibi, bu süre içerisinde L2C, L5 ve Galileo sinyalleri de kullanılabilir, artık kullanıcılar için nicelikten çok nitelik önemli hale gelecektir. Yukarıda kısaca özetlenen üstünlüklere ve doğruluklara, GPS+GLONASS+Galileo kombinasyonunun verimli ve etkin kullanıldığı uygulamalarda ulaşılabilecektir. Bu gelişme, eğer zamanında öngörülmediyse, sabit GNSS ağlarındaki yazılım ve donanımların, yüksek maliyetle güncellenmesi ya da değiştirilmesi gerekecektir.
6. Ulusal ağların kurulması ve yaşatılmasından sorumlu olan kurumlar, belirli bir yıldan itibaren arşivlenmiş olan tüm GPS verilerini günümüz gelişmiş yazılımları ile tekrar değerlendirmeli ve “CORS” verileri ile birleştirmelidir. Örneğin Türkiye için bunun anlamı, TUTGA ölçüleri (olanaklı ise 1994 yılından sonra gerçekleştirilmiş jeodinamik amaçlı tüm GPS ölçüleri dahil) yeni algoritmalar ve modeller kullanılarak tekrar değerlendirilmeli ve “CORS” ağı faaliyete geçtikten sonra toplanacak en az 1 yıllık verilerle birleştirilmelidir. Çünkü TUTGA ve diğer kampanya verilerinin değerlendirildiği yıllardan bugüne, GPS ölçülerini değerlendirme stratejilerinde önemli gelişmeler olmuştur. Geçmiş zamana ilişkin yörünge bilgilerinin doğruluğu ile arşivlenen ölçülerin genelde 15 derecelik yükseklik açısı ve bunun da üzerinde olması önemli bir sorun olarak değerlendirilebilir. Burada IGS ve NGS gibi yörünge hesabı yapan kuruluşlara düşen görev ise 1994 ve sonrası tüm yörüngelerin tekrar hesaplanması şeklinde olmalıdır.
7. Türkiye uzaysal referans sistemi, yeni elde edilen ölçüler de katılarak ITRF’in en son sürümüne (ITRF2005/ITRF2010 vs.) dayalı olarak tekrar hesaplanmalıdır. Dolayısıyla, nokta koordinatları ve hızları en son ITRF sürümünde yayınlanmalıdır. Çünkü mevcut arşiv koordinatları, deprem ve diğer etkiler nedeniyle kendi içinde bile tutarlı olmayabilir. Türkiye için söz konusu etkilerin dikkate alındığı yarı-dinamik ulusal uzaysal referans sistemi tanımlanması en doğru çözüm olarak düşünülebilir.

8. Mevcut “CORS” istasyonları işletilmeye başlandıktan sonra sürekli izlenmeli, kullanıcılardan gelecek öneriler doğrultusunda en kısa sürede gözden geçirilmeli ve gerekli görülüyorsa uygun şekilde sıklaştırılmalı ya da yerel olarak
9. kurulan ağ işleticileri ile koordinasyon yapılmalıdır.
10. “CORS” ağının kurulması, ülkelerin mevcut tüm jeodezik ağlarının gözden geçirilmesini ve iyileştirilmesini gerektirmektedir. Maliyeti oldukça yüksek bu işlemler, en azından 5 ya da 10 yıllık planlar çerçevesinde zaman dilimlerine yayılarak yapılmalıdır.
11. Veri sunumu birçok ülkede olduğu gibi hem 1 saniye aralıklı ham veri. hem de 1 saatlik RINEX dosyalar şeklinde olmalıdır. 1 saniyelik gerçek zamanlı veriler belirli bir süre deneyim kazanılana kadar herkese (özellikle uçak, hızlı tren vb. riski yüksek uygulamalara) açık olmayabilir. Çünkü bu uygulamalarda daha çok uydu haberleşmesi kullanılması gerektiğinden, bu yöntemde 1 saniyelik verilerin kullanıcıya gecikmeli olarak (latency) ulaşması henüz tam olarak aşılmamış bir kısıtlamadır.
12. “CORS” ağından sorumlu ulusal kurum web sayfasına, verilerin değerlendirildiği program eklenmesi yararlı olacaktır. Böylece ülkenin her yerinden gönderilen veriler hem arşivlenmiş olacak hem de kullanıcılar tek anlamlı (aynı datumda) ve güvenilir koordinat bilgisi elde etmiş olacaklardır. Ayrıca, arşivlenen bu veriler ülke ağ datumunun iyileştirilmesi için zengin bir veri kaynağı oluşturacaktır. Burada gereksiz veri yoğunluğundan kaçınmak için ve jeodezik hesaplamaların ruhuna uygunluk açısından, örneğin en az 1 saatlik RINEX formatındaki verilerin hesaplamaları yapılabilir.
13. Ülke içinde farklı kurum ve kuruluşlarca oluşturulan diğer CORS ağları ile mutlaka örtüşme (overlap) ve entegrasyon sağlanmalı ve işbirliği içinde çalışılmalıdır.
14. Ulusal ağ işletiminde GNSS kullanımının etkin bir şekilde yaygınlaştırılmasını sağlamak amacıyla sistemden sorumlu kurumların (kamu kurumları) kar amacı gütmeyerek, elde edilecek geliri tamamen sistemin geliştirilmesi ve idamesi için harcaması çağdaş bir hizmet anlayışı gereğidir.
15. Sistem ortağı olmayan kullanıcılar sınıflandırılarak, sınıfa göre gerçek zamanlı ödeme (örneğin, kredi kartı ile internetten) ya da yıllık üyelik sistemi oluşturulmalıdır.
16. Kullanıcının gerçek zamanlı her türlü konum bilgileri sistem operatörü tarafından bilineceğinden, bununla ilgili özel yaşama saygı ve güvenlik konularında gerekli mevzuat çalışmalarının öncelikle tamamlanması gerekmektedir.

Kaynaklar

- KAHVECİ M.: **Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları**. Zerpa Yayıncılık, 2009, Ankara.
- FONTANA R. D., CHEUNG WAI, NOVAK PAUL M., STANSELL THOMAS A.: **The New L2 Civil Signal**, USCG, 2006.
- LANDAU H., VOLLATH U., CHEN X.: **Virtual Reference Station Systems**, *Journal of Global Positioning System*, Vol. 1, No. 2:137-143, 2002, Canada.
- RAQUET J.: **Development of a Method for Kinematic GPS Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using Multiple Reference Receivers**. PhD Thesis, UCGE 20116, University of Calgary, 1998.
- SELLA G., CHIN M., CLINE M., HAW D., KASS W., SNAY R., SOLER T.: **NGS CORS Network Guidelines for New and Existing Sites and their Relation to IGS, USA**, 2008.
- SNAY, R.: **CORS Users Forum at the CGSIC Meeting Savannah, GA**. The SM&G Subcommittee, NGS, 2008., USA
- YAMAGIWA A., HATANAKA Y., YUTSUDO T., MIYAHARA B.: **Real-time capability of GEONET system and its application to crust monitoring**. Bulletin of the GSI, pp. 27-38, Japan.
- URL 1: <http://www.esa.int/EGNOS/>, başvuru şubat 2009