

GNSS/CORS Ağları ile Gerçek Zamanlı Konumsal Bilgi

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca “neredeyim?” sorusunun yanıtını aramış, yeni yerler keşfetmek, yeni yerlere ulaşmak için Güneş’ten ve yıldızlardan yararlanmışır. Zaman içinde geliştirdiği sekstant ve pusula gibi aletlerle yeryüzü üzerinde bulunduğu konumu belirlemiş, gideceği yönü tayin etmiştir. Günümüzde bu süreç yapay uydu sistemlerinin gelişimiyle farklı bir boyut kazanmıştır. Önceleri daha çok askeri amaçlı kullanılan bu uydu sistemleri, bugün daha çok sivil ve ticari uygulamalar için kullanılır hale gelmiştir. Özellikle konum belirleme ve navigasyon (seyrüsefer) amaçlı uydu sistemlerindeki hızlı gelişim, yeryüzü üzerinde gerçek zamanlı üç boyutlu konum, zaman ve hız bilgisinin elde edilmesini olanaklı kılmış ve bu uygulamaların çeşitlenmesini sağlamıştır. Bugün, farklı alanlardaki birçok bilimsel çalışma başta olmak üzere günlük yaşamımızdaki kişisel uygulamalarda da etkin olarak kullandığımız bu sistemlerin performansının ve uygulama niteliğinin artırılması için yeryüzü üzerinde çeşitli ağlar kurulmuştur. Kısaca GNSS/CORS olarak adlandırılan Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri/Sürekli Çalışan Referans İstasyonları ağları, yüksek doğrulukta gerçek zamanlı konumsal bilginin elde edilmesinde önemli rol oynayan sistemlerdir. Bu sistemler, gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede kurularak, çeşitli hizmet alanları için belli standartlarda, yer referanslı ve gerçek zamanlı 4 boyutlu konumsal bilginin elde edilmesini sağlamaktadır.

Günümüzde bilgi toplumu kavramının oluşmasında çok önemli bir yeri olan verilerin elde edilmesi, işlenmesi, depolanması, analizi, doğruluğu, yönetimi, güncellenmesi ve belli standartlarda sunulması farklı nitelikteki birçok uygulama için büyük önem taşıyor. Bu verilerin temini noktasında kullanılan yapay uydu, elektronik, bilgisayar, yazılım ve iletişim sistemlerindeki teknolojik unsurlarda da dinamik bir gelişim süreci var. Özellikle yer referanslı, gerçek zamanlı, güncel, doğru ve ekonomik 4 boyutlu (4D) konumsal bilginin elde edilmesinde küresel ölçme ve konumlama sistemleri büyük rol oynuyor. Bu sistemlerin başında küresel navigasyon uydu sistemleri (GNSS-Global Navigation

Satellite Systems) geliyor. Yeryüzü üzerindeki bir başlangıç noktası yani referans yüzeyine göre tanımlanan koordinat sistemlerinden yararlanılarak, bulunduğumuz noktanın yatay ve düşey konumunu belirlemenin günümüzdeki en etkin yöntemi bu uydu sistemleri.

Konum belirleme çalışmalarına yeni bir anlayış getiren bu sistemler ülke yönetimi, çevre ve şehir planlaması, arazi kullanımı ve tarım politikalarının belirlenmesi, mühendislik ve altyapı hizmetleri, orman ve doğal kaynakların değerlendirilmesi ve korunması, çok amaçlı kadastro, e-devlet, e-belediye, e-ticaret ve kişisel mobil uygulamalar gibi birçok hizmet alanı için etkin şekilde kullanılıyor.

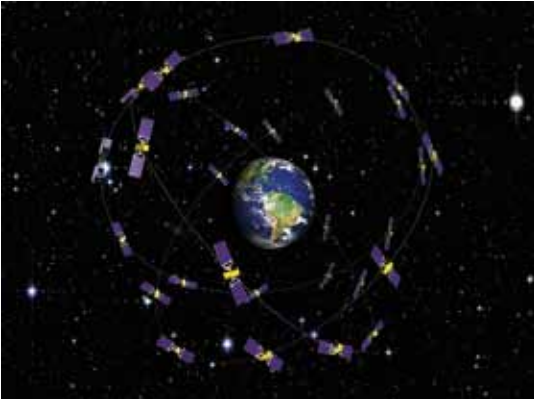
Anahtar Kavramlar

Yapay Uydularla Konum

Belirleme: Uzayda sayı ve nitelikleri farklı olan yapay uydu sistemleri arasında, gerçek zamanlı olarak yeryüzü üzerinde 3 boyutlu konum, hız ve zaman belirlenmesini sağlayan sistemlerle konumsal bilginin elde edilmesi

GNSS: Konum belirleme ve navigasyon hizmeti veren yapay uydu sistemlerinin genel adı

CORS: Küresel, bölgesel ve yerel ölçekteki farklı ağ yapılarıyla yeryüzü üzerine tesis edilmiş, veri aktarım ve iletişim donanımlarının düzeltme verileri yayınladığı, sürekli çalışan sabit GNSS referans istasyonları



Yapay Uydularla Konum Belirleme ve Navigasyon Sistemleri

İlk yapay uydu SPUTNIK-1'in 1957 yılında Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği tarafından uzaya fırlatılması, soğuk savaş döneminde ABD ile SSCB arasında önemli bir rekabet başlattı. Uzay ve uydu teknolojileri konusundaki bu rekabet zaman içinde uydu bazlı konum belirleme ve navigasyon sistemi çalışmalarının hızlanmasına neden oldu. 1980'li yılların başında fiili kullanımı başlayan ve ABD tarafından geliştirilen Küresel Konum Belirleme Sistemi'nin (GPS) hayatımıza girmesiyle de büyük bir ivme kazandı. Bugün günlük yaşamımızdaki birçok kişisel mobil uygulamada da kullandığımız bu sistem, her türlü hava koşulunda, GPS alıcısının açık gökyüzünü görebildiği her yerde gerçek zamanlı olarak üç boyutlu koordinat, zaman ve hız belirlenmesine olanak sağlayan en etkin sistem. Modernizasyon çalışmaları devam eden GPS'in yanı sıra farklı ülkelere ait yeni küresel uydu sistemleri de geliştirildi. Bu alternatif sistemlerden biri Rusya tarafından geliştirilen ve günümüzde faal olarak kullanılan GLONASS. GLONASS'ın iyileştirilmesi ve modernizasyonu için son yıllarda önemli yatırımlar yapılıyor. 2016 yılı itibariyle aktif olacak ilk sivil uydu sistemi olan Galileo ise Avrupa Uzay Ajansı tarafından geliştirilmekte olan bir Avrupa Birliği (AB) projesi. Çin tarafından geliştirilen ve küresel ölçekte faaliyet göstermesi planlanan COMPASS'ın da 2020 yılı itibariyle aktif olması bekleniyor. Günümüzde kullanılmakta olan GPS ve GLONASS sistemlerinin yanı sıra yakın bir gelecekte devreye girecek Galileo ve COMPASS gibi diğer küresel sistemlerle birlikte giderek büyüyecek bir pazar yaratan yapay uydu konum belirleme sistemlerine genel olarak küresel navigasyon uydu sistemleri (GNSS) deniyor.



GNSS gibi küresel ölçekte faaliyet gösteren sistemlerin performansının artırılması ve gerçek zamanda daha yüksek doğrulukta konum bilgisinin elde edilmesi için farklı ülkeler tarafından alt ölçekte bölgesel sistemler geliştirildi. Bunlardan Japonya'ya ait olan QZSS, Doğu Asya ve Avustralya kıtası bölgesinde, Hindistan'a ait olan IRNSS ise Hindistan ve Kuzey Hint Okyanusu bölgesini kapsayacak şekilde hizmet veriyor.

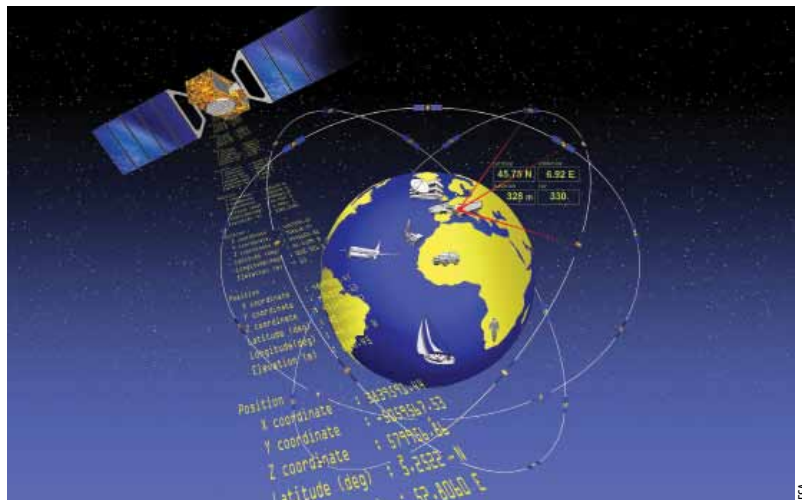
Global Sistemler GNSS	Bölgesel Sistemler RNSS
GPS-(ABD) GLONASS-(Rusya) Galileo-(AB) COMPASS-(Çin) ...	OZSS-(Japonya) IRNSS-(Hindistan) ...

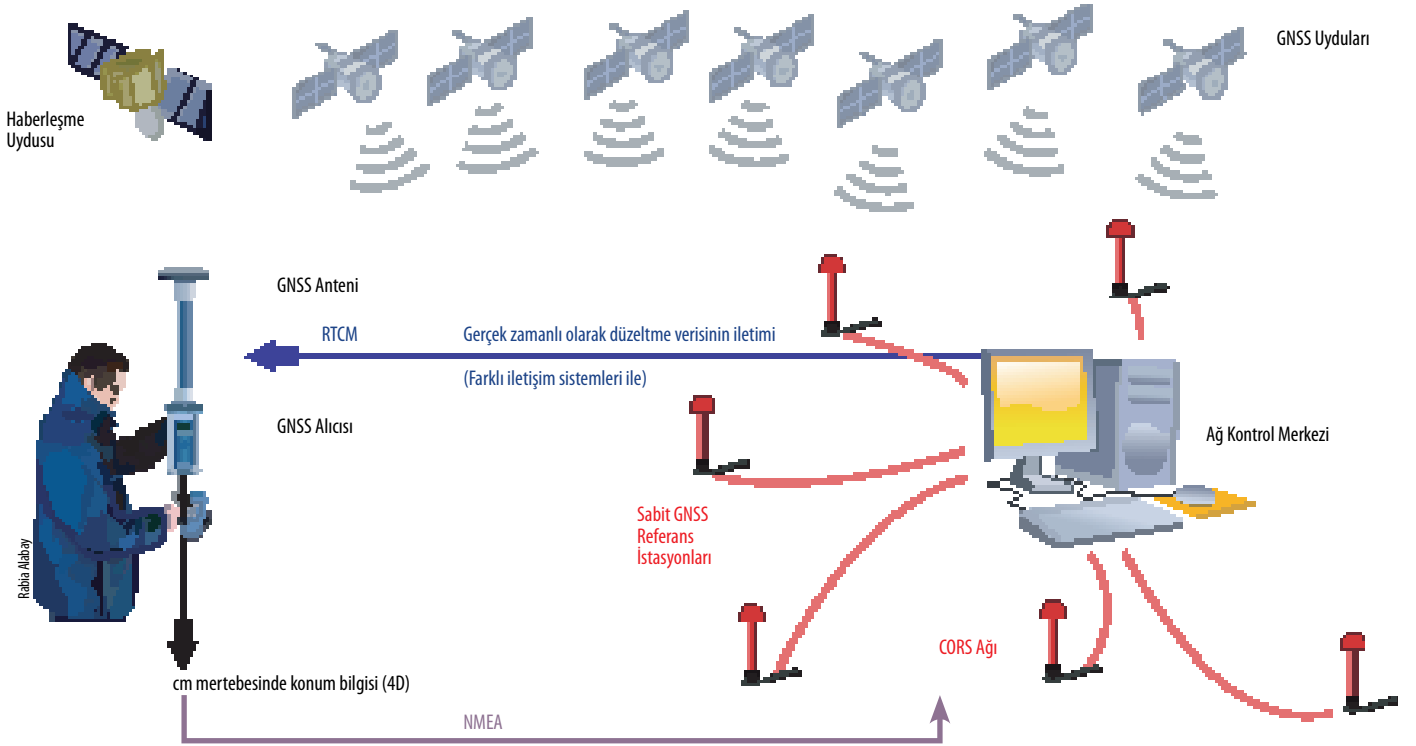
Uydu Bazlı Destekleyici Sistemler SBAS	Yer Bazlı Destekleyici Sistemler GBAS
WAAS-(ABD) EGNOS-(AB) MSAS-(Japonya) GAGAN-(Hindistan) SDCM-(Rusya) SNAS-(Çin)... Ticari servis sağlayıcılar	NDGPS-(ABD) GRAS-(Avustralya) CORS Ağları ...



GNSS referans istasyonları

Küresel ve bölgesel olarak hizmet veren bu sistemlerin dışında, gerçek zamanlı konum bilgisinin kalitesi, doğruluğu, duyarlılığı ve güvenilirliğini artırmak amacıyla düzeltme bilgileri yayınlayan, uydu bazlı ve yer bazlı destekleme sistemleri kullanılıyor. Bu sistemlerden özellikle havacılık uygulamalarında uçakların güvenli olarak iniş ve kalkışlarının sağlanmasında faydalanılıyor.





Sabit GNSS Referans İstasyonları

Küresel navigasyon uydu sistemlerinin (GNSS) birçok farklı alana ve disipline yönelik uygulamaları, tüm dünyada bu teknolojinin etkin kullanımını artırmak amacıyla sabit GNSS referans istasyonlarının oluşumunu sağladı. Bu nedenle 1990'lı yılların başından itibaren çok sayıda ülkede bu istasyonlar kurulmaya başlandı. Sayıları giderek artan istasyonlarla uluslararası, ulusal ve yerel ölçekte ağlar kuruldu. 2000'li yıllar itibarıyla ise bu ağların gerçek zamanlı uygulamalarda da kullanılabilmesi için düzeltme verileri gönderen aktif CORS (*Continuously Operating Reference Station*) istasyonları geliştirildi.

Sağlam toprak zemine, bina terasları ve çatılarına farklı tesis özelliklerinde kurulan bu istasyonlar GNSS anteni, alıcısı ve iletişim donanımlarından oluşuyor. GNSS'nin sürekli, güncel ve dinamik olarak kullanılmasını sağlamak için kurulan bu istasyonlar ve oluşturdukları ağlar, "365 gün x 24 saat" çalışarak sağladıkları veri ve ürünlerle farklı nitelikteki konum belirleme, ölçme ve navigasyon uygulamaları için kullanıcılara hizmet veriyor.

Özellikle temel jeodezik ve jeodinamik çalışmalar başta olmak üzere, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde ve deprem çalışmalarında etkin bir şekilde kullanılıyorlar. Bunun yanı sıra ülke temel jeodezik ağlarının oluşumu, kadastral çalışmalar, mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi, hidrografik (batimetrik) ölçmeler, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), kinematik GNSS destekli fotogrametrik çalışmalar, uzaktan algılama, hava, deniz ve kara araçlarının navigasyonu, hassas tarım, ormancılık faaliyetleri, meteorolojik çalışmalar, askeri ve savunma amaçlı çalışmalar, doğal afetler için erken uyarı sistemleri (deprem, volkanik hareketler, heyelan, tsunami vb.) gibi birçok faaliyette etkinler.

GNSS/CORS Ağları ile Gerçek Zamanlı Konumlama

GNSS/CORS ağları, genel anlamda farklı sayıda, sabit GNSS referans istasyonlarının yerel ya da ulusal ölçekte kurulmasıyla oluşturulan, aktif yapıdaki sistemlerdir. Ağlar kurulurken istasyonların arasındaki mesafe, geometri, zemin özel-

likleri, kullanılan iletişim teknolojilerinin seçimi gibi kriterler önem taşır. Ağ, sistemi kontrol eden ve düzeltme bilgilerinin hesaplandığı bir kontrol merkezinden, bu merkezdeki ağ yazılımından ve bu kontrol merkezine çeşitli iletişim teknolojileri kullanılarak bağlanan sabit GNSS referans istasyonlarından oluşur. Bu istasyonlar çift frekanslı jeodezik GNSS alıcısı ve sinyal yansımalarına karşı geliştirilmiş ve *choke-ring* olarak adlandırılan GNSS antenleri kullanılarak kurulur. Ancak sayıları giderek artan uydu sistemlerindeki yeni sinyallerle birlikte, bazı istasyonlarda çoklu frekans özelliğine sahip yeni GNSS alıcısı da kullanılıyor.

Sistemin kontrol merkezi, özellikle atmosferik etkilerden kaynaklanan hataları modelleyerek, düzeltme bilgilerini kullanıcılara gönderir. Bu sayede santimetre gibi yüksek bir mertebede konum doğruluğu elde edilir. Sistemin etkin kullanımında iletişim teknolojilerinin rolü çok büyüktür. İstasyonlardan ve kullanıcılardan kontrol merkezine gelen veriler ile kontrol merkezinden kullanıcılara gönderilen düzeltme bilgilerinin sorunsuz iletimi, bu iletişim sistemlerinin başarısına bağlıdır. GNSS/CORS ağlarında ADSL, GSM/



GPRS/EDGE, uydu haberleşme linkleri ve radyo linkleri gibi iletişim sistemleri ile kablolu ve kablosuz internet kullanılır. Bu nedenle istasyonların yerlerinin seçiminde haberleşme altyapılarının sunduğu imkânlarla dikkat edilir. Tüm istasyon verileri, otomatik olarak kontrol merkezine bu iletişim sistemleri ile iletilerek, CORS ağ hesapları ve düzeltmeler bu merkezden kullanıcılara ulaştırılır.

Sistem ile gerçek zamanlı olarak santimetre gibi yüksek bir doğrulukta konum bilgisi elde edilebilmesi, elinde GNSS alıcısı olan kullanıcıların sisteme bağlanması ile başlar. Kullanıcılar her alıcı için kendilerine tahsis edilen kullanıcı adını ve şifreyi kullanarak, bir iletişim linki ile sisteme bağlanır. Maliyetler dikkate alındığında iletişim linki olarak genellikle GSM/GPRS modemler tercih edilmektedir. Bu modemlerin bazıları GNSS alıcıları üzerinde dahili olarak bulunur. Dahili modemle-

rin bulunmadığı durumda cep telefonları üzerinden bağlantı sağlanabilir. Özellikle GSM operatörlerinin bazı istasyonlarının yeterli olmadığı dağlık ya da kırsal bölgelerdeki çalışmalarda, maliyetleri fazla olsa da, uydu haberleşme olanağına sahip cep telefonları (Thuraya vb.) iletişim linki olarak tercih edilmektedir. Kullanılan bu iletişim sistemleri ile GNSS/CORS sistemleri için özel olarak geliştirilmiş NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) isimli internet protokolü kullanılmaktadır.

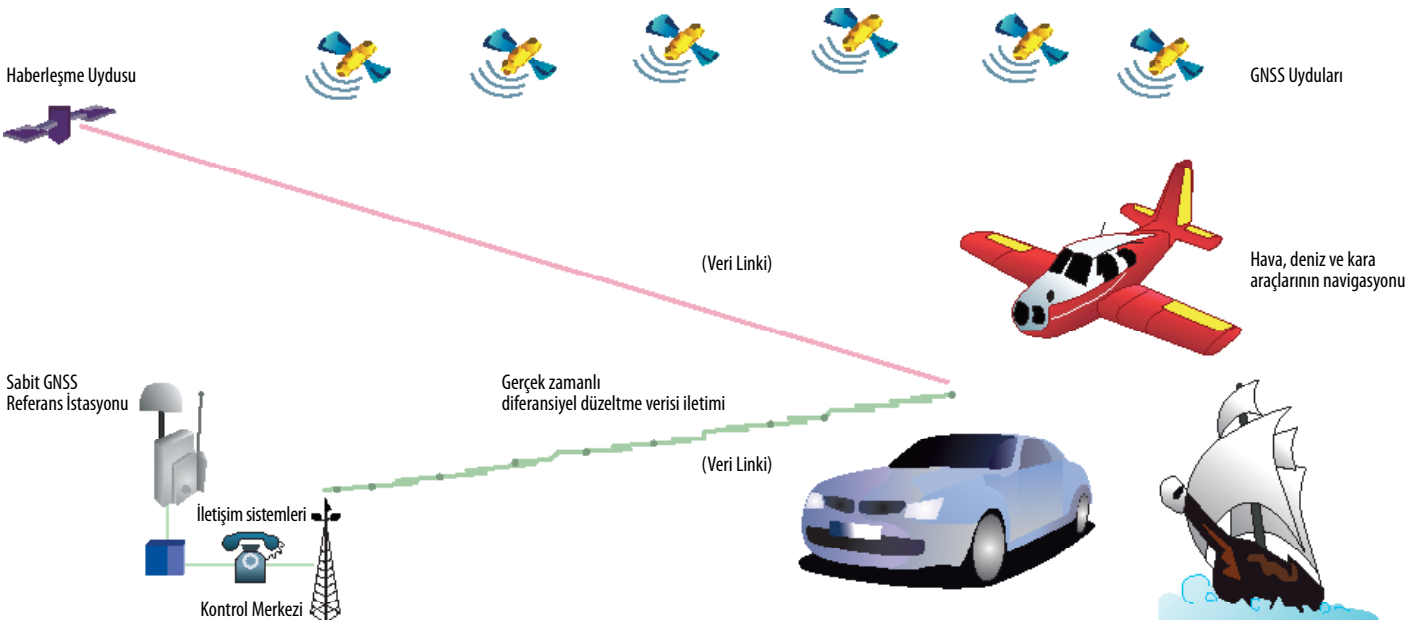
Kullanıcılar, CORS sistemi ile konum belirleyebilmek için düzeltme verilerinin hesaplanacağı matematiksel modeli de kendileri seçmektedir. Günümüzde bu sistemler için geliştirilmiş VRS, FKP ve MAC isimli üç farklı matematiksel model kullanılıyor. Seçilen matematiksel modelle göre sisteme bağlandıktan sonra, GNSS alıcısının metre mertebesindeki yaklaşık konumu, NMEA veri formatı ile kontrol merkezine gönderilir. Kontrol merkezi kullanıcının seçtiği tekniğe göre düzeltme verisini hesaplayarak, kullanılan iletişim tekniği ile kullanıcıya RTCM veri formatı ile gönderir. Böylece santimetre gibi yüksek bir doğrulukta gerçek zamanlı konum bilgisi elde edilir.

Veri aktarım ve iletişim donanımlarının tümüyle gerçek zamanda ya da kü-

çük gecikme zaman dilimlerinde, elinde GNSS alıcısı olan kullanıcılara düzeltme verileri yayınladığı bu sistemler, Dünya üzerindeki sabit ya da hareketli cisimlerin konumlarının gerçek zamanda hassas olarak belirlenmesi ve navigasyon hizmetlerinin sağlanması amacıyla yaygın olarak kullanılıyor. Özellikle diferansiyel GNSS ve gerçek zamanlı kinematik GNSS uygulamalarında kullanılan bu ağlar, kullanıcılara zaman, maliyet, doğruluk ve kullanım kolaylığı gibi ölçütler dikkate alındığında önemli avantaj ve katkılar sağlıyor.

Başta harita ve geomatik mühendisleri olmak üzere birçok mühendislik disiplini tarafından hassas konum belirlemeye yönelik uygulamalar için kullanılan bu sistemler, karar vericiler için de önemli çıktılar sunuyor. Günümüzde kadastral ölçme çalışmaları, kentsel ve kırsal alan düzenleme faaliyetleri, coğrafi bilgi sistemleri için veri toplama ve güncelleme, farklı nitelikteki sayısal harita üretimleri, tektonik ve yapısal hareketler ile deformasyonların izlenmesi, altyapı inşaat çalışmaları, hassas tarım ve ziraat uygulamaları, doğal afetleri önleme ve afet yönetim sistemi gibi birçok uygulamada kullanılan bu sistemler, gün geçtikçe kullanıcılar için farklı hizmet düzeyinde kullanım alanları sunuyor.

Diferansiyel GNSS (DGNS) sistemi ve düzeltme verisi iletimi





Ülke	GNSS/CORS Ağı	Bütçe	İstasyon Sayısı
ABD	NGS-CORS	Devlet/Özel	1450
Almanya	SAPOS	Devlet	260
Almanya	ASCOS	Ülke	180
Avusturya	APOS	Ülke	30
Belçika	FLEPOS	Ülke	40
Belçika	WALCORS	Ülke	23
Finlandiya	GPSNet.fi	Ülke	76
Hollanda	06-GPS	Ülke	23
İngiltere	Ordnance Survey Network	Ülke	61
İsveç	SWEPOS	Ülke	50
İsviçre	SWIPOS	Ülke	29
Japonya	GEONET	Ülke	1200
Norveç	SATREF/CPOS	Ülke	60
Türkiye	TUSAGA-AKTİF	Ülke	146
Yunanistan	HEPOS	Ülke	98

Dünyada ve Türkiye'de Durum

Ağırlıklı olarak devletler tarafından kamu bütçesi kullanılarak ulusal düzeyde kurulan GNSS/CORS ağlarının dünyadaki ilk uygulamaları ABD'deki ulusal CORS sistemi, Almanya'daki SAPOS ve Japonya'daki GEONET sistemleridir. Başta e-devlet projeleri olmak üzere coğrafi/mekânsal bilgi sistemlerine altlık olacak bu sistemler, çeşitli kurumlar, organizasyonlar ve şirketler tarafından ticari olarak hizmet verecek nitelikte de kurulabiliyor. Bu ağların sayısının dünyada her geçen gün artmasıyla birlikte, sağladıkları veri ve ürünler ile uygulama alanları da çeşitleniyor.

Ülkemizde 2008-2010 yılları arasında faaliyete geçen iki farklı GNSS/CORS sistemi bulunuyor. Bunlardan ulusal düzeyde hizmet veren Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) sistemi, Türkiye ve KKTC'deki toplam 146 istasyondan oluşuyor. Bir TÜBİTAK projesi olarak geliştirilen bu sistemin ortak müşterileri ve işletim sorumluları Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Komutanlığı. Yerel ölçekte hizmet veren bir diğer sistem de İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından kurulan ve işletilen İSKİ Uydudan Konum Belirleme Sistemi (İSKİ-UKBS). İstanbul ve yakın çevresinde faaliyet gösteren bu ağda 8 istasyon var.

Çeşitli ülkelerdeki GNSS/CORS ağları (Üstte)

Türkiye'de bulunan ulusal ve yerel GNSS/CORS ağları (Sağda)

GNSS/CORS Sistemi	İşleten Kurum	Bütçe	Faaliyet Alanı	İstasyon Sayısı
TUSAGA-AKTİF	TKGM ve HGK	Devlet	Türkiye ve KKTC	146
İSKİ-UKBS	İSKİ	Devlet	İstanbul ve Yakın Çevresi	8

Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede kurulan bu sistemlerden farklı nitelikteki kullanıcı seviyelerinin yararlanabilmesi mümkün. Ancak jeodezik GPS/GNSS alıcıların maliyetleri yüksek olduğundan, sıradan kullanıcılar için oldukça masraflı. Bunun yanı sıra sistemlerin kullanımı da genellikle ücretli, fakat ücretsiz olanlar da var. Kullanıcıların sisteme bağlanarak düzeltme bilgilerini alabilmesi için sisteme kayıt yaptırması, kullanacakları her GNSS alıcısı için bir kullanıcı adı ve şifre almaları gerekiyor. Günümüz itibarıyla ülkemizde TUSAGA-Aktif sistemi kullanıcılar için aylık ücretli olarak hizmet verirken, İSKİ-UKBS sistemi ücretsiz olarak hizmet veriyor.

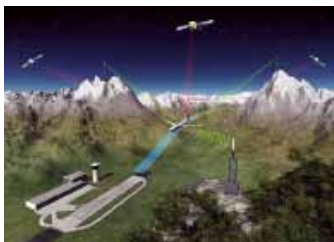
Sonuç olarak gelişmiş bir ülke olabilmenin önemli göstergelerinden biri de uzay ve uydu teknolojileri konusunda yapılan araştırmalar ve bu konuda yapılan yatırımlardır. Bu bağlamda ülkemizde son yıllarda önemli adımlar atılıyor, çeşitli yatırımlar yapılarak başarılı sonuçlar elde ediliyor. Gerçek zamanlı konumsal bilginin yüksek doğrulukta elde edilebilmesi için, ülkemizde kurulan TUSAGA-Aktif isimli ulusal GNSS/CORS ağına faal hale getirilmesi, bu kapsamda atılan önemli adımlardan. Türksat A.Ş., TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş) ve TÜBİTAK-Uzay tarafından yürütülen çalışmalarla farklı nitelikteki yapay uydu teknolojilerinin geliştirilmesi konusunda da önemli bir mesafe alındı.

Türkiye'de tasarlanıp üretilen ilk uzaktan algılama (yer gözlem) uydusu olan Rasat ile bu alanda önemli bir hedefe ulaşıldı. Ancak günümüz dünyasında uzaktan algılama uydularının yanı sıra konum belirleme ve navigasyon, haberleşme, meteoroloji ve gravite gibi farklı işlevlere sahip birçok yapay uydu sistemi kullanılıyor. Bu nedenle farklı niteliklere sahip uydu sistemlerinin ülkemizde tasarlanıp üretilmesi, ülkemizin geleceği açısından önemli.



Ülkemiz, giderek büyüyen bir ekonomik pazar oluşturan coğrafi/mekansal bilgi sistemleri ile e-devlet projelerindeki hedefler kapsamında dev adımlar atıyor. Ulusal GNSS/CORS ağına kurulumu tamamlandı. Bundan sonraki büyük hedef, konumsal bilgiye dayalı bu projelerin geliştirilmesinin ardından, konum belirleme amaçlı ulusal bir uydu sisteminin üretilmesi olmalıdır.

Türkiye ve KKTC'deki TUSAGA-Aktif istasyonları dağılımı (Sağda)



Kaynaklar

Ocalan, T. ve Tunalioglu, N., "Data communication for real-time positioning and navigation in global navigation satellite systems (GNSS)/continuously operating reference stations (CORS) networks", *Scientific Research and Essays*, Cilt 5, Sayı 18, 18 Eylül 2010.
 Öcalan, T., "Sabit GPS İstasyonlarına Dayalı Bağlı Nokta Konum Doğruluklarının Araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
 Öcalan, T. ve Soycan, M., "Ulusal ve Yerel GNSS/CORS Ağları ve Türkiye'deki Yasal Durum", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası,

İstanbul Şubesi Bülteni, Mart 2011.
 Sadoun, B. ve Al-Bayari, O., "On the inclusion of geographic information systems (GIS) in global navigation satellite systems (GNSS)", *International Journal of Communication Systems*, Cilt 20, s. 385-396, 2007.
 Yomraloğlu, T., "Coğrafi Bilgi Teknolojileri", *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Sayı: 514, s.48-51, Eylül 2010.
<http://www.hgk.msb.gov.tr>
<http://harita.iski.gov.tr/iskiuks.aspx>
<http://www.tkgm.gov.tr>



Taylan Öcalan, Ankara'da doğdu. 2003 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri (Harita) Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2005 yılında yüksek mühendis unvanını aldı. Halen YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı'nda uzman olarak çalışıyor ve Geomatik programında doktora eğitimine devam ediyor. GPS/GNSS teknolojileri ve konum belirleme uygulamaları, CORS sistemleri, uydu jeodezisi, mühendislik ölçmeleri ve harita mühendisliği eğitimi konularında araştırmaları var.