

TÜRKİYE’DE SABİT GNSS İSTASYONLARININ TARİHİ VE TÜRKİYE ULUSAL SABİT GPS İSTASYONLARI AĞI-AKTİF (TUSAGA-AKTİF)

Bahadır Aktuğ, Mustafa Kurt, Erdem Parmaksız, Onur Lenk, Yasin Erkan, Şükrü Aysezen

HGK, Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi, Dikimevi, Ankara, yasin.erkana@hgk.msb.gov.tr

ÖZET

Türkiye genelinde dağılmış noktalarda askeri ve sivil kullanıma yönelik jeodezik ve jeodinamik amaçlar doğrultusunda uydu bilgileri toplayan sabit GPS istasyonlarından oluşan bir ağ kurulması çalışmaları 1990 yılında başlatılmıştır. Bu amaçla ilk olarak Ankara Sabit GPS İstasyonu (ANKR) kurulmuş ve 23 Ocak 1991 tarihinde faaliyetine başlamıştır. Daha sonraki yıllarda Harita Genel Komutanlığı, TÜBİTAK ve Üniversiteler tarafından çeşitli ortak projeler kapsamında veya bağımsız olarak sabit GPS istasyonları kurulmuş ve bölgesel, ulusal ve uluslar arası ağ mimarisinde (TUSAGA, TUSAGA-Aktif, MAGNET) işletilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de 1991 yılından günümüze kurulan ve işletilen sabit GPS istasyonları ve oluşturulan ağlar hakkında bilgi verilmiş ve sabit GPS istasyonlarının Türkiye’deki tarihçesi özetlenmiştir. Ayrıca, Aralık 2008 itibarıyla teknik olarak faaliyete geçen Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı – Aktif Yapı (TUSAGA-Aktif) projesi kapsamında kurulan ve işletilen istasyonlara ait gerçekleştirilen ilk analiz sonuçları açıklanmıştır.

Anahtar Sözcükler: TUSAGA-Aktif, GPS/GNSS

ABSTRACT

THE HISTORY OF THE PERMANENT GNSS STATIONS IN TURKEY AND TURKISH NATIONAL PERMANENT GPS STATIONS ACTIVE NETWORK (TNPGN-ACTIVE)

Data Studies to design a network consisting of homogenously distributed GPS stations across Turkey for geodetic and geodynamic purposes started on 1990. For this purpose, Ankara permanent GPS station (ANKR) was installed and started to functionate on 23rd January 1991. In the following years, General Command of Mapping installed permanent GPS stations both independently and in the scope of joint projects with TÜBİTAK and various universities. Those stations are operated in the context of national, regional and international network architecture (TNPGN, TNPGN-Active, MAGNET). In this study, information about the permanent stations and networks installed since 1991 is given and history of the permanent stations in Turkey is summarized. In addition, first analysis results of the data that belongs to the TNPGN-Active which is technically in operation since December 2008 are explained

Keywords: TNPGN-Active, GPS/GNSS.

1. GİRİŞ

Arap, Afrika ve Avrasya plakalarının birbirlerine göre hareketleri sonucunda bu plakaların sınırları boyunca ve iç kısımlarda şiddetli deformasyonların oluştuğu ve söz konusu üç plakanın kesişim noktası üzerinde bulunan Türkiye’de yıllık ortalama 2.5 cm. civarında konumsal yer değişmelerin meydana geldiği bilinmektedir. Ayrıca depremler nedeniyle nokta konumlarında depremin büyüklüğüne bağlı olarak 2-3 m’ye varan yer değiştirmeler olabilmektedir. Bu nedenle, hangi amaçla tesis edilmiş olursa olsun jeodezik, haritacılık ve coğrafi uygulamalar kapsamında nirengi noktalarının koordinatlarındaki yer değiştirmelerin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Söz konusu izleme, son yıllarda periyodik (kampanya tipi) olarak ya da sabit istasyonlarda sürekli GNSS (Yerküresi Yöngüdümlü Uydu Sistemleri: GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS ve bütünsel sistemler) gözlemleriyle yapılmaktadır.

Bugün dünyada başta haritacılar olmak üzere konum bilgisine ihtiyaç duyan tüm bilim dalları ve iş kolları hızlı, ekonomik ve doğru konum bilgisi elde etmek üzere uydu bazlı konumlama sistemleri kapsamında GPS’i kullanmaktadır. Bu amaca yönelik olarak tüm dünyada 365 gün 24 saat veri toplayan sabit GPS istasyonları tesis edilmekte ve farklı kurumlarca işletilmektedir. İstasyonlarda toplanan veriler ve bu verilerle elde edilen ürünler kullanıcılara belli bir ücret karşılığı veya bedelsiz olarak internet üzerinden sunulmaktadır.

Türkiye genelinde dağılmış noktalarda askeri ve sivil kullanıma yönelik jeodezik ve jeodinamik amaçlar doğrultusunda uydu bilgileri toplayan sabit GPS istasyonlarından oluşan bir ağ kurulması çalışmaları 1990 yılında başlatılmıştır. Bu amaçla ilk olarak Ankara Sabit GPS İstasyonu (ANKR) kurulmuş ve 23 Ocak 1991 tarihinde faaliyetine başlamıştır.

Daha sonraki yıllarda Harita Genel Komutanlığı, TÜBİTAK ve Üniversiteler tarafından çeşitli ortak projeler kapsamında veya bağımsız olarak sabit GPS istasyonları kurulmuş ve bölgesel, ulusal ve uluslar arası ağ mimarisinde (TUSAGA, TUSAGA-Aktif, MAGNET) işletilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de 1991 yılından günümüze kurulan ve işletilen sabit GPS istasyonları ve oluşturulan ağlar hakkında bilgi verilmiş ve sabit GPS istasyonlarının Türkiye’deki tarihçesi özetlenmiştir.

2. TARİHÇE

Kabuk hareketlerinin araştırılması kapsamında ilk olarak ABD’de NASA tarafından ‘‘Yerkabuğu Dinamiği’’nin Uydu Lazer Ölçmeleri (SLR: Satellite Laser Ranging) ölçüleriyle araştırılması için bir proje geliştirilmiştir. Bu projeye Avrupalı bilimadamlarının katkısını sağlamak üzere WEGENER (Working Groups Of European Geoscientists For The Establishment Of Networks For Earthquake Research) çalışma grubu oluşturulmuştur. WEGENER çalışma grubunun faaliyetlerinden biri olan, Orta ve Doğu Akdeniz bölgelerinde SLR sistemlerinin kullanılması projesi de MEDLAS (MEDiterranean LASer Ranging) olarak isimlendirilmektedir. WEGENER-MEDLAS Projesi ile Orta ve Doğu Akdeniz bölgesinde eksik olan Jeodezik verilerin elde edilmesi ve Jeodezi, Jeodinamik, Sismoloji ve Jeolojinin değişik alanlarıyla ilişki kurularak bölgedeki plaka sınırlarını ve sınırlar boyunca mevcut olan kayma miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, Anadolu ve Ege’de var olan iç deformasyonların doğal yapısını ortaya çıkarmak da projenin diğer başlıca hedefidir.

Almanya, ABD ve Hollanda’nın Akdeniz’ de WEGENER-MEDLAS projesi kapsamında Türkiye’de belirli noktalarda ölçümler yapma talepleri Federal Almanya Savunma Bakanlığı’nca Türkiye’ye iletilmiş ve Başbakanlık 7 Şubat 1984 tarihinde projenin Genelkurmay Başkanlığı ile irtibatlı olarak Bayındırlık ve İskân Bakanlığı koordinatörlüğünde yürütülmesine karar vermiştir. Bunun üzerine Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Dairesi ile WEGENER grubu adına hareket eden Almanya Kartografya ve Jeodezi Kurumu (BKG/Eski adıyla IfAG) arasında 1985 yılında bir anlaşma imzalamış ve bununla ilgili ilk faz mobil SLR ölçülerinin yapılması faaliyeti başlatılmıştır.

Bu arada, 1987 yılında BKG’den Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca ve İngiltere Durham Üniversitesinden Batı Anadolu’ da GPS ölçülerinin yapılması ile ilgili öneriler Harita Genel Komutanlığına iletilmiştir. Ortak çalışmalar sürerken, Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) Türkiye Ulusal Jeodinamik Projesini başlatmıştır. Gerekli olan SLR ve GPS ölçülerinin ülkemiz çıkarlarına aykırı düşmeden yapılabilmesi amacıyla, ilgili kuruluş ve üniversitelerle bir seri toplantılar düzenlemiş ve 5 Şubat 1987 tarihinde Harita Genel Komutanlığında yapılan konsey toplantısında aşağıdaki kararlar alınmıştır;

- Bilimsel ve Uygulama çalışmaları koordinatörlüğünün Harita Genel Komutanlığının,
- Lojistik desteğinin Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğünün,
- Bilimsel desteğin ilgili üniversitelerinin sorumluluğunda bulunmasına, karar verilmiştir.

TUJJB ile Uluslar arası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (IUGG)’ ne üye kuruluşlar olan; ABD Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT), BKG, İngiltere Durham Üniversitesi (DU), Oxford Üniversitesi, İsviçre Zürih Teknoloji Enstitüsü (ETHZ) ve Japonya Weseda Üniversitesi ile ayrı ayrı varılan yazılı mutabakatlar gereğince; Türkiye’ de depremlerin önceden tahmini, deprem zararlarının azaltılması ve Ülke Temel Jeodezik Ağlarının iyileştirilmesi amaçlarıyla GPS ve SLR ölçme ve değerlendirme hususlarında müşterek çalışmalara 1989 yılında başlanmıştır. 1989 yılından 2008 yılı sonunda kadar 71 adet GPS kampanyası gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de uygulamalı olarak 1988 yılında başlayan söz konusu uydu jeodezisi faaliyetleri kapsamında uluslararası izleme ağlarına dâhil olacak bir istasyon kurulması düşünülmüş ve 1989 yılında BKG ile ortaklaşa olarak bir izleme istasyonu kurulmasına karar verilmiştir (Türkezer, A.1995). Bu amaçla öncelikle Ankara Sabit GPS İstasyonu (ANKR) kurulmuş ve 23 Ocak 1991 tarihinde faaliyetine başlamıştır.

3. TÜRKİYE ULUSAL SABİT GPS İSTASYONLARI AĞI (TUSAGA)

Sabit GPS istasyonlarının kurulması kapsamında ilk olarak Harita Genel Komutanlığı Şefik Erensü kışlasında Texas Instruments (TI4000) marka alıcı ile üçayaklı bir sehpa üzerinde veri toplanmaya başlanmıştır. Alıcı, 6 Ağustos 1991 tarihinde sabit istasyonlar için tasarlanmış olan Minimac-2816AT alıcısı ile değiştirilmiştir. İstasyon, eski yerinden yaklaşık 100 m. kuzeyindeki daha uygun çevre şartlarına sahip ve halen kullanılmakta olan yeni yerine 11 Ekim 1991 tarihinde taşınmış ve aynı alıcı ile standart bir pilye üzerinde faaliyetine başlamıştır. Birinci ve ikinci sabit istasyon noktaları arasında GPS bağlantı ölçüleri mevcut olan istasyon aynı zamanda Ankara GPS Test Ağı (AGTA)’nın da bir noktasıdır (Türkezer, A.1995). İstasyonda 1991 yılından günümüze kadar kullanılan GPS alıcısı ve çevre birimleri, yapılan işbirliği uygulama prensipleri kapsamında BKG tarafından sağlanmıştır. İstasyon Mayıs 2008 tarihinde modernize edilmiştir. Halen işletim ve ulusal boyutta analizleri Harita Genel Komutanlığı tarafından yapılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Ankara Sabit GPS İstasyonu (Pilye, Bina ve alıcı donanımı)

İstasyonun kurulduğu günden itibaren toplanan 30 saniyelik RINEX (The Receiver Independent Exchange Format: alıcıdan bağımsız veri değişim formatı) (Gurtner, W., and L. Estey, 2006) yapısındaki veriler, başlangıçta günlük olarak disketlere yüklenmesini müteakiben haftada bir NGS (National Geodetic Survey) tarafından kurulan CIGNET (Cooperative International GPS Network)’e gönderilmiştir.

CIGNET, bazı VLBI ve SLR istasyonlarının GPS alıcıları ile donatılmalarıyla tesis edilmiş küresel anlamda ilk izleme ağı olup, 1980 ve 1992 yılları arasında faaliyet göstermiştir. CIGNET’in 1992 yılında IAG (Uluslararası Jeodezi Birliği) tarafından oluşturulan IGS (Uluslararası GNSS Servisi)’in bir parçası olmasını müteakiben de istasyon verileri IGS’e gönderilmeye başlanmıştır.

TUSAGA Projesi, Harita Genel Komutanlığı’nın 05 Mayıs 1999 tarihli, “Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı” proje emri ile hayata geçirilmiştir (HGK, 1999). TUSAGA projesinin başlıca amaçları;

- Gerçekleştirilecek GPS çalışmalarına yönelik olarak sürekli yapılan gözlemleriyle referans noktası olarak hizmet vermek,
- Jeodezik ve jeodinamik amaçlar doğrultusunda hesaplamalar yapmak,
- Yer kabuğu hareketlerine yönelik kinematik modelleme çalışmalarını gerçekleştirmek,
- Anlık ve/veya gerçek zamanda Diferansiyel GPS (DGPS) düzeltme verileri üretmek askeri ve sivil kullanıcılar için sürekli ve duyarlı konumlama imkanını ortaya koymaktır.

TUSAGA ile ilk aşamada, IGS standartlarında 24 istasyondan oluşan ve gelecekte sayısının artacağı ulusal bir ağı hedeflenmiş olup, istasyon yeri seçiminde öncelikle her 1:250.000 ölçekli paftada en az bir adet sabit istasyon olacak şekilde planlama yapılmıştır. Bu planlama ile sabit istasyonlar arası mesafenin 100-130 km. arasında değişmesi hedeflenmiştir (Kılıçoğlu, A., vd., 2003). Başlangıçta, nokta yerleri Türk Silahlı Kuvvetleri Entegre Muhabere Sistemi (TAFICS) hatlarının olduğu yerlerde planlanmışsa da, veri iletişim alt yapılarının gelişmesi, internet ve GPRS’in yaygın olarak kullanılmaya başlanması ile hâlihazırda tüm istasyon verileri internet altyapısı üzerinden aktarılacak şekilde düzenlenmesi yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2: TUSAGA Ağına Dâhil İstasyonlar

TUSAGA istasyonlarından; Harita Genel Komutanlığı, Dicle Üniversitesi ve MIT arasında 24 Eylül 1997 tarihinde imzalanan protokol kapsamında Dicle Üniversitesi kampüsünde kurulan ve donanımı UNAVCO (University Navstar Consortium) tarafından hibe edilen Diyarbakır Sabit GPS istasyonu (DYR2) faaliyetine, alıcı (Turbo Rogue SNR 8000) arızası ve veri iletiminde sıklıkla yaşanan problemler nedeniyle 2002 yılında son verilmiştir. Karadeniz Teknik Üniversitesi’nde bulunan TRAB istasyonu ile İstanbul Teknik Üniversitesi’nde bulunan ISTA istasyonu sırasıyla, 08.12.1999 ve 11.12.1999 tarihlerinde bağlı bulundukları üniversiteler tarafından BKG ile işbirliği (donanım desteği vb.) çerçevesinde kurulmuş ve işletilmektedir. Erdemli istasyonu (MERS), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü/Mersin’de 12 Eylül 2000 tarihinde kurulmuş olup, alıcı ve diğer çevre donanımı UNAVCO tarafından hibe edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3: TRAB ve MERS Sabit GPS İstasyonları

TUSAGA istasyonlarından 11 tanesi Harita Genel Komutanlığı ile Oxford Üniversitesi Tektonik ve Depremlerin Ölçüm, Modelleme ve Gözlem Merkezi (COMET) arasında 30 Ekim 2002 tarihinde imzalanan “Batı Anadolu Yer Kabuğu Deformasyon ve Depremlerin GPS ve INSAR Ölçme Araştırmaları” konulu Uygulama Prensipleri kapsamında 2003 – 2005 yılları arasında kurulmuştur. COMET projesi ile sabit GPS istasyonlarının kurulması, işletilmesi, toplanan GPS verilerinin değerlendirilmesi ve yerkabuğu hareketleri nedeniyle Batı Anadolu bölgesinde nokta koordinatlarında meydana gelen deformasyonların tespit edilmesi konularında bilgi birikimi sağlanmış olup, jeodinamik ve jeodezik amaçlı çalışmalar halen yürütülmektedir.



Şekil 4: COMET Projesi Kapsamında Kurulan İstasyon Resimleri

TUSAGA projesinden ayrı olarak, 1988 yılından itibaren Marmara bölgesinde gerçekleştirilen kampanya bazlı GPS ölçüm çalışmaları sonucunda (Reilinger, R.E. vd.,1997), Marmara bölgesinin sürekli veri toplayan sabit GPS istasyonlarından oluşan bir ağı ile kontrol edilmesinin depreme yönelik çalışmalarda önemli katkılar sağlayacağı görülmüş ve TÜBİTAK-MAM (Marmara Araştırma Merkezi) koordinasyonunda, İTÜ-Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Harita Genel Komutanlığı ve MIT biraraya gelerek MAGNET (Marmara Bölgesi Sürekli GPS Ağı) kurulmuştur (Ergintav, S.vd., 2002).



Şekil 5: MAGNET İstasyonları

Türkiye’de ilk kurulumları gerçekleştirilen Ankara, İstanbul ve Trabzon istasyonlarında mevcut alıcı ve antenlerin yanında sıcaklık, bağıl nem ve atmosferik basıncın ölçüldüğü meteorolojik sensörler de mevcuttur (Tablo 1). Onbeş dakika aralıklarla toplanan söz konusu atmosferik parametreler RINEX gözlem dosyaları gibi internet üzerinden uluslar arası veri merkezlerine aktarılmaktadır.

Türkiye’de açık kullanıma sunulanlar ile Dünya’daki diğer sabit GPS istasyonlarına ait RINEX yapısındaki gözlem ve meteorolojik parametre verilerine Tablo 2’de verilen adreslerden ulaşılabilir.

Tablo 1: Türkiye’deki IGS istasyonlarında bulunan meteorolojik sensörlere ait bilgiler.

İstasyon	Ölçüm	Birim	Doğruluk	Veri	Model	Anten-Sensör Yük.Farkı
ANKR ISTA TRAB	Sıcaklık	derece	0.3	15 dk.	ROTRONIC (MP408A-T4-W4W)	ANKR: - 4.5 m. ISTA: -1.15 m. TRAB: -0.9 m.
	Bağıl Nem	yüzde	%1.5 yük.	15 dk.	ROTRONIC (MP408A-T4-W4W)	ANKR: - 4.5 m. ISTA: -1.15 m. TRAB: -0.9 m.
	Basınç	Mbar	0.1	15 dk.	L-TECH LEIBENGUTH (APS 9215)	ANKR: 0.56 m. ISTA: 3.52 m. TRAB: 4.2 m.

Tablo 5: Uluslararası veri merkezleri.

VERİ MERKEZİ	ADRES	İLGİLİ DİZİN
SOPAC	garner.ucsd.edu	/pub/rinex/YYYY/DDD
CDDIS	cddis.gsfc.nasa.gov	/pub/gps/data/daily/YYYY/DDD/YYd
UNAVCO	data-out.unavco.org	/pub/rinex/obs/YYYY/DDD
BKG	igs.bkg.bund.de	IGS/obs/YYYY/DDD
IGN	igs.ensg.ign.fr	/pub/igs/data/YYYY/DDD
SOPAC : Scripps Orbit and Permanent Array Center. CDDIS: Crustal Dynamics Data Information System. UNAVCO: University Navstar Consortium. YYYY: İstenilen yıl (2010 vb.) DDD: İstenilen yılın günü (086 vb.)		

4. TUSAGA – AKTİF PROJESİ

10 Mart 2005’de Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 1007 kodlu “Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı” adıyla yeni bir program başlatmıştır. Bu programda belirtilen hedefler doğrultusunda, Ağ prensibinde çalışan Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) GPS prensipli sabit GPS istasyonlarının kurulması ve datum dönüşüm parametrelerinin belirlenmesine ilişkin araştırma ve uygulama projesi İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) tarafından önerilmiş, Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) müşterek müşteri olarak projeye dâhil olmuştur. Söz konusu AR-GE projesi, 08 Mayıs 2006 tarihinde başlamış ve Aralık 2008 itibarıyla tamamlanarak proje ile oluşturulacak sistem faaliyete geçirilmiştir. Projenin öncelikli hedefleri, tüm Türkiye’de 146 sabit GPS istasyonu kurularak GZK düzeltme verileri sağlamak ve bu verilerle gerçek zamanlı ve santimetre mertebesinde hassas konumlama yapmaya olanak vermek ve farklı koordinat sistemleri arasındaki (ED50/WGS-84) dönüşüm parametrelerini hassas olarak belirleyerek kadastral, haritacılık, jeodezik ve bilimsel çalışmalar için veri sunmaktır (Şekil 6). TUSAGA-Aktif sisteminin işletilmesi ve düzeltme parametrelerinin hesaplanması TKGM ve HGK’da kurulan kontrol merkezlerinden yapılmaktadır. Tüm istasyonlardan toplanan veriler ADSL ve GPRS/EDGE yolu ile veri merkezine aktarılmakta ve bu merkezlerde düzeltme parametreleri hesaplanarak arazideki kullanıcılara aktarılmaktadır. Gerçek Zamanlı Kinematik düzeltme verileri en güncel RTCM ve CMR+ iletişim formatlarında olup, GPRS ve NTRIP (Network Transport of RTCM through Internet Protocol) vasıtaları ile gezici alıcılara gönderilmektedir. TUSAGA-Aktif istasyon yerlerinin seçiminde zemin yapısı, elektrik, telefon, İnternet ve güvenlik hususları dikkate alınmış ve tüm Türkiye’de gerçekleştirilen arazi keşifleri neticesinde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Meteoroloji İstasyonları, Üniversiteler, Belediyeler ile Kamu Kurum ve Kuruluşlarına ait bina ve araziler seçilmiştir.



Şekil 6: TUSAGA/TUSAGA-Aktif İstasyon Noktaları Haritası

TUSAGA-Aktif ağının haritacılık sektöründe yoğun olarak kullanılması planlanmış olsa da, gerçek zamanlı toplanan GPS verisinin, ulaşımdan altyapı hizmetlerine, coğrafi bilgi sistemlerinden savunma teknolojilerine, meteorolojik hava tahmini uygulamalarından iyonosfer tabakasının anlık modellenmesi ve haritalanması çalışmalarına kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılabilecektir.

4.1. TUSAGA-Aktif Sisteminin Genel Özellikleri

Proje kapsamında kurulan istasyonlarda birer adet GNSS (GPS+GLONASS ve GALILEO sitemine hazır) alıcısı, ADSL/GPRS bütünsel modem, akü, akü şarj aleti, yıldırım koruma adaptörü, telefon hat koruması, termostatl 4 adet fan, sigorta ve standart donanım kabini ile dışarıda (çatı, teras, kule veya yerde) alıcıya bağlı bir jeodezik GNSS anteni bulunmaktadır. Sistemde, sabit GPS istasyonları ile kontrol merkezi arasındaki iletişim, ADSL/GPRS üzerinden sağlanmaktadır. Ayrıca, ADSL hattında meydana gelebilecek veri kesikliklerinde mevcut bir modem devreye girmekte ve veri iletimi, GPRS ile kesintiye uğramadan devam etmektedir. Kontrol merkezlerinde bulunan sunucular, tüm istasyonlardan bir saniye aralıklı gelen ham gözlem verilerden yararlanarak atmosferik modelleme yapmakta ve hassas düzeltme verileri hesaplamaktadır.

Söz konusu düzeltme verileri arazide, TUSAGA-Aktif sistemi ile uyumlu kullanıcılara ait gezici alıcılara internet üzerinden aktarılmaktadır. Kullanıcı kendi alıcısında, “koordinat belirleme” işlemini başlattığı andan itibaren, bu gezici alıcı için kontrol merkezinden üretilen düzeltme bilgisi GPRS iletişimi ile her bir saniye de bir olmak üzere gelir ve istenilen noktada hassas koordinatlar belirlenmiş olur (Şekil 5). Bu şekilde tek frekanslı bir GNSS alıcısı metre altı doğrulukta, çift frekanslı bir GNSS alıcısı 1-10 santimetre doğrulukta konum belirleyebilmektedir. Sistemin testi ve kullanıcı profilinin tam olarak tespit edilebilmesi amacıyla, TUSAGA-Aktif sistemi Mayıs 2009 tarihinden itibaren ücretsiz olarak hizmet vermektedir. Şubat 2011 itibariyle sistemin aktif 3100 adet abonesi bulunmaktadır. Kontrol merkezlerinde bulunan sunucular, tüm istasyonlardan gelen anlık verilerden yararlanarak atmosferik gecikme parametrelerini (iyonosfer ve troposfer) ve hassas düzeltme verilerini hesaplamaktadır. Söz konusu düzeltme verileri, sisteme abone olan arazideki gezici alıcılara internet üzerinden aktarılmaktadır. Bu şekilde tek frekanslı bir GPS alıcısı metre altı doğrulukta, çift frekanslı bir GNSS alıcısı 1-10 santimetre doğrulukta konum belirleyebilmektedir.

5. TUSAGA-AKTİF SİSTEMİ İLE ATMOSFER ÇALIŞMALARI

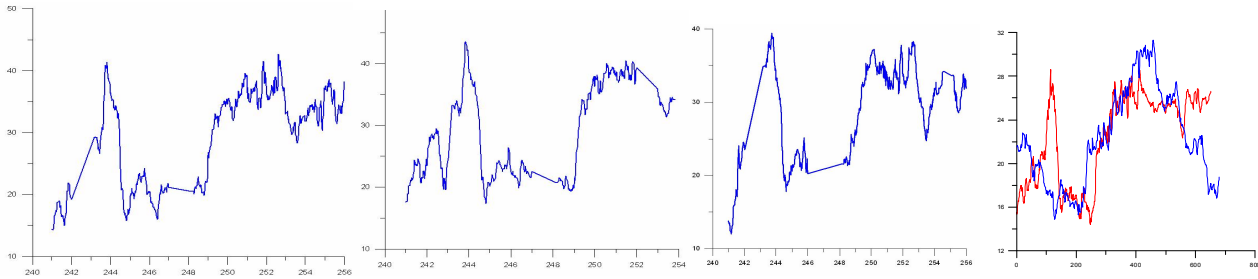
Hassas koordinat elde edilmesinde atmosfer tabakası iki bileşen olarak ele alınmaktadır. Bunlar iyonosfer ve troposfer tabakalarıdır. Yer merkezinden 20200 km uzaklıkta yer alan GPS sinyalleri, uydulardan yayımlandıktan sonra sırasıyla içinden geçtikleri İyonosfer ve Troposfer tabakaları nedeniyle bir takım etkilere maruz kalır. İyonosferin tabakasının neden olduğu gecikme dağıtıcı bir etkiye sahiptir ve mevcut GNSS sinyalleri L1 ve L2 taşıyıcı dalga boylarının her ikisine de aynı etkiyi yaptığından çift frekanslı alıcılarla bu etki büyük oranda giderilebilmektedir. Geriye kalan atmosferik gecikme (troposferik gecikme) ise dağıtıcı özelliğe sahip değildir ve tek bir GPS alıcısı kullanılarak bu gecikme miktarı tam olarak modellenememektedir. Bununla birlikte, hassas uydu bilgisinin kullanıldığı, ağ yapısında, birden fazla alıcı kullanılarak yapılan GPS gözlemleri ile, oluşan bu ağda bir bütün olarak bu gecikme miktarı hesaplanabilmektedir.

5.1 GPS Tabanlı Yağışa Dönüşebilir Su Buharının (YDS) Elde Edilmesi

Meteorolojik uygulamalarda, atmosferdeki su buharının konumsal ve zamansal olarak dağılımının hassas olarak temsil edilmesi oldukça güçtür. Aynı zamanda sera gazı özelliğine de sahip olan su buharı miktarının bilinmesi, yakın ve orta dönemli hava tahmini ve iklim çalışmalarında çok önemli yer tutmaktadır. YDS, tanım olarak; herhangi iki yükseklik arasındaki dik kolon boyunca toplam atmosferik su buharı miktarı olup genel olarak, bu aradaki suyun yoğunlaştığı düşünüldüğünde elde edeceği eşdeğer kolon yüksekliği olarak da tanımlanır. Sayısal olarak, 1 kg/m² su buharı 1 mm YDS değerine eşittir. GPS ölçümleri yardımıyla hesaplanan YDS değerlerinin meteorolojik amaçlı kullanılabileceğini göstermiştir. GPS verisi yardımıyla YDS elde edilmesi çalışmalarına kısaca, “GPS Meteorolojisi” denmektedir. Konumu bilinen noktalarda kurulan GPS alıcılarının topladığı GPS verileri YDS hesaplanmasında kullanılabilmektedir. Atmosferik çalışmalar, GPS yardımıyla hesaplanan YDS değerlerinin yapılan hava tahminlerinin doğruluğunu arttırdığını göstermektedir. Temelde daha hassas konumlama yapabilmek amacıyla kurulan ancak çok farklı disiplinlere altlık veri sağlayan TUSAGA-Aktif ağında kurulan sabit GPS istasyonlarında toplanan GPS verilerinden yararlanarak YDS hesaplanması çalışmalarına Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ile koordineli olarak başlanmış ve çeşitli uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Söz konusu GPS meteorolojisi uygulamalarını daha hassas olarak yapabilmek ve GPS veri değerlendirilmesindeki en önemli hata kaynaklarından birisi olan troposferin daha iyi modellendirilmesini sağlamak amacıyla TUSAGA-Aktif istasyonlarından 74 adedi GPS istasyon tesisi bakımından uygun görülen meteoroloji istasyonlarında tesis edilmiştir.

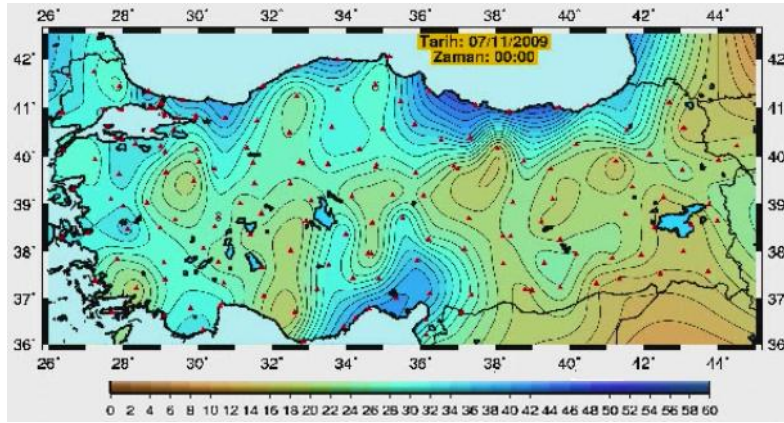
TUSAGA-Aktif sisteminin Mayıs 2009 itibariyle tam olarak faaliyete geçmesi ile birlikte GPS tabanlı YDS elde edilmesi çalışmalarına hız verilmiştir. Özellikle ani yağış ve taşkın olaylarının görüldüğü bölgelerde GPS-YDS

değişimleri takip edilmiştir. Örnek olarak Trakya bölgesinde Eylül 2009’da meydana gelen sel felaketine ilişkin GPS-YDS değişimleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 7: GPS tabanlı YDS değişimleri

Bir başka uygulama ise Karadeniz bölgesi için yapılmıştır. 10-22 Temmuz 2009 tarihlerinde Bartın, Zonguldak ve Rize başta olmak üzere Karadeniz bölgesinin büyük kısmında görülen sağanak yağışların aynı bölgedeki TUSAGA-Aktif ağına ait GPS istasyonlarından elde edilen YDS değerleri ile test edilen durum Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8: 10-22 Temmuz 2010 Türkiye Geneli YDS Değişim Haritası

5.2 GPS Tabanlı Yerel İyonosfer Haritasının Yapılması

İyonosferdeki elektron yoğunluğu Radyosonda adı verilen bir cihaz kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu yöntemde radyosonda cihazının ürettiği sinyalin frekansı artırılarak iyonosfer tabakasına gönderilmekte yansıyan sinyallerin hangi yükseklikten yansıdığı ve frekans değeri kayıt altına alınarak iyonosfer tabakasının eşik frekans yüksekliği belirlenmektedir.

İyonosferdeki elektron yoğunluğunu hesaplanmanın diğer bir yöntemi de sabit GPS istasyonu verilerini kullanarak gerçekleştirilir. Koordinatları hassas olarak sürekli hesaplanan sabit GPS istasyonlarıyla GPS uyduları arasındaki mesafenin ölçüm anında bulunan mesafeden farkı genel olarak atmosferik etkidir. Atmosferik etkiye troposferik etki çıkarıldıktan sonra geriye kalan etki iyonosferik etkidir. Dünya yüzeyine dağılmış sabit GPS istasyon verilerini kullanarak, küresel analiz merkezleri (CODE, IGS vb.) tarafından iyonosfer değişim grafikleri oluşturulmaktadır. Bu modellere küresel harmonik açılım fonksiyonu uygulanmak suretiyle yerel iyonosferdeki Toplam Elektron İçeriği (TEİ) değeri hesaplanmaktadır. Ancak küresel model oluşturulurken örneğin Türkiye’den bir adet sabit GPS istasyonu kullanılmakta dolayısıyla küresel modelden hesaplanan yerel iyonosfere ait TEİ değerinin zamansal ve konumsal çözünürlüğü düşük olmaktadır.

Ülkemizde yeterli sayıda Radyosonda cihazının bulunmaması ve küresel analiz merkezleri tarafından oluşturulan modellerin yeterli hassasiyeti içermemesi sebebiyle, Harita Genel Komutanlığı, Hacettepe Üniversitesi ve Bilkent Üniversitesi işbirliğinde bir TÜBİTAK (105E171) projesi geliştirilmiş ve Türkiye’deki sabit GPS istasyonları için “Alıcı Yanlılık ve Dikey Elektron Yoğunluğu” değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu değerler halihazırda uluslararası jeodezi kurumları tarafından işletilen Sabit GPS istasyonları için hesaplanmakla birlikte yerel sabit GPS istasyonları için alıcı yanlılık değeri bulunmamaktadır. Uygulama kapsamında Türkiye’deki istasyonlar için ilk kez alıcı yanlılık değerleri hesaplanmıştır. Şekil 10’da sunulan küresel modelden elde edilen haritada Türkiye üzerindeki iyonosfer sadece genel bir leke şeklinde görülmektedir. Bununla birlikte TUSAGA-Aktif tabanlı haritadaki TEİ dağılımının konumsal çözünürlüğü çok daha hassastır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye boyutunda gerçekleştirilecek GPS çalışmalarında referans istasyonu olarak veri sağlamak ve jeodezik, jeodinamik ve seyrüsefer uygulamaları için 365 gün 24 saat kesintisiz ölçü yapan ulusal ve bölgesel ölçekte işletilen sabit GPS istasyonlarının tarihçesi tanıtılmıştır. Ayrıca, sabit istasyonlar kapsamında Türkiye’de en modern ve güncel ağ olan TUSAGA-Aktif sistemi tanıtılarak istasyon durağanlıklarına ilişkin gerçekleştirilen ilk analiz sonuçları sunulmuştur.

Sabit istasyon işleten kurum ve kuruluşlara işletim kapsamında yararlı olacağı değerlendirilen öneriler şunlardır;

- a. Sabit GPS istasyon analizleri günlük bazda sürekli bir faaliyet olarak yapılmalıdır. Bir iki günlük gecikmelerle ve IGS hızlı (rapid) yörünge kullanılarak yapılan günlük çözümler, IGS hassas (final) yörünge bilgisinin IGS tarafından yayımlanmasını müteakiben geçmişe dönük olarak tekrarlanabilir. Ancak istasyonda meydana gelebilecek bir problemin ivedilikle tespiti açısından günlük analizler büyük önem taşımaktadır.
- b. Analizler sonucunda oluşan koordinat zaman serileri detaylı olarak incelenmeli, kötü performanslı istasyonlar, problemin kaynağının tespit edilmesini müteakiben gerekiyorsa istasyon yeri, alıcısı ya da anteni değiştirilmelidir.
- c. Sabit GPS istasyon sayıları her geçen yıl artmakta, bu durum ise veri depolama ihtiyaçlarını bir kez daha gündeme getirmektedir. Analiz yapılan bilgisayarlardaki gerek işletim sistemleri gerekse hard diskler zamanla bozulabilmekte ve veri kayıpları oluşabilmektedir. Bu nedenle, öncelikle ham ve RINEX formatındaki 30 saniyelik veriler ile veri değerlendirme sonuç dosyaları sabit disklerde sürekli olarak, saniyelik veriler 2-3 aylık süreler ile periyodik olarak yedeklenmelidir.
- ç. GPS koordinat zaman serilerindeki periyodik etkiler ile koordinat değişimlerinin (ofset) doğru tespit edilebilmesi, söz konusu zaman serilerinin aynı değerlendirme stratejileri ile analizini gerektirmektedir. Bu nedenle, uzun yıllar boyunca devam eden analizler sırasında yeni modellerin (Mutlak anten faz merkezlerinin kullanılmaya başlanması gibi (Schmid, R, 2005), daha duyarlı uydu yörünge bilgilerinin ve yeni değerlendirme stratejilerinin kullanılması zaman serilerinde tutarsızlıklara neden olabilmektedir. Bu nedenle, geriye dönük olarak tüm veri değerlendirmesinin tekrarlanmasının daha doğru sonuçlar vereceği değerlendirilmektedir.
- d. Sonuç olarak, sabit GPS istasyonu kuran ve işleten kurum ve kuruluşlar, gerek veri sunumu gerekse diğer hizmetler kapsamında sunduğu hizmetlerin 24 saat 365 gün kesintiye uğramaması için gereken tedbirleri önceden almalıdır.

KAYNAKLAR

- Aysezen, M.Ş., Erkan, Y., 2009. *Türkiye Ulusal Sabit GPS istasyonları Ağı Projesi (TUSAGA)*, Silahlı Kuvvetler Dergisi, Ekim Sayısı, 2009, s:67-77.
- Blewitt, G., 2009. *GPS and Space Geodetic Methods*, Treatise On Geophysics, Geodesy, Volume 3, Elsevier Science & Technology, 2009.
- Boehm, J., Schuh, H., 2006. *Global Pressure and Temperature (GPT): A spherical harmonic expansion of annual pressure and temperature variations for geodetic applications*, J.Geodesy.
- Cingöz, A., Erkan Y, Aysezen M.Ş, Lenk O, Kılıçoğlu A, Aktuğ B and Mert İ., 2008. *Preliminary Results of GPS Meteorology at Turkish National Continuous GPS Network*, Annual Scientific Meeting of Turkish National Geodetic Commission (TUJK) 13-15 November, METU, Ankara.
- Ergintav, S., Bürgmann, R., McClusky, S., Cakmak, R., Reilinger, R.E., Lenk, O., Barka, A., Ozener, H., 2002. *Marmara Bölgesindeki Doğrusal Olmayan Zamansal ve Uzaysal Deformasyonların MAGNET İle İzlenmesi*, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildirileri, s:28, 2002.
- Gurtner, W., Estey, L., 2006. The Receiver Independent Exchange Format Version 2.11,
- HGK., 1999, *Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı Proje Emri* (JEOD.-1999-41).
- Kılıçoğlu, A., Kurt, A.İ., Tepeköylü, S., Cingöz, A., Akça, E., 2003. *Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA)*, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildirileri, s:44, 2003.

Reilinger, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W., Toksoz, M.N., Barka, A.A., Kınık, I., Lenk, O., Sanlı, I., 1997. *Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone*. J. Geophys. Res., 102, 9983-9999.

Türkezer, A., 1995. *Ankara Sabit GPS İstasyonu*, Harita Dergisi, Sayı:114, Ocak 1995, s:70-76, Harita Genel Komutanlığı

Wessel, P., Smith W. H. F., 1998. *New, improved version of generic mapping tools released*, Eos Trans. AGU, 79(47), 579.