

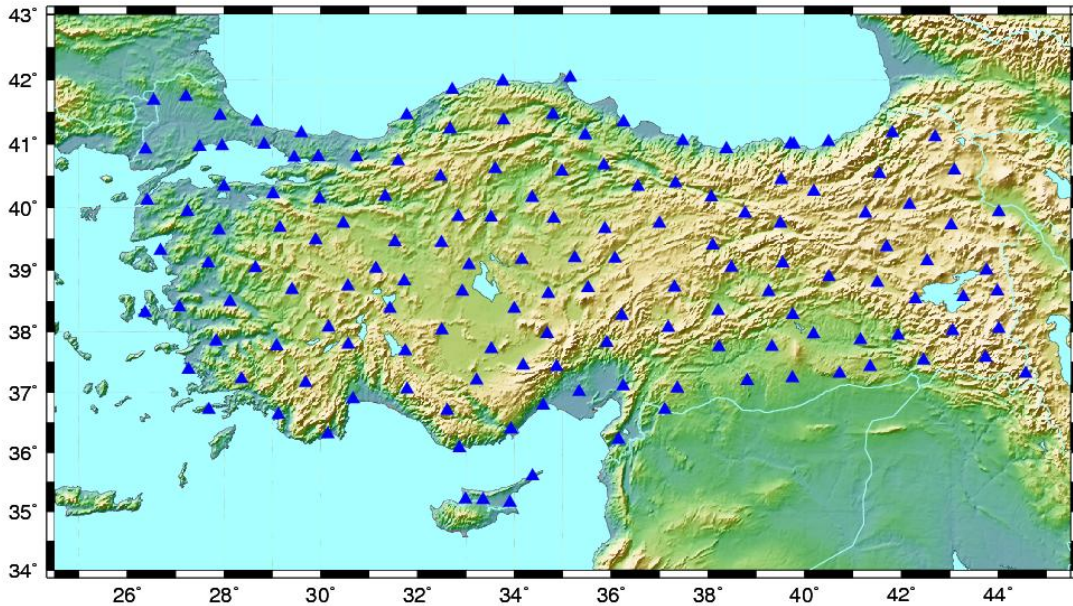
ULUSAL SÜREKLİ GÖZLEM YAPAN GPS İSTASYONLARININ KURULMASI VE HÜCRESEL DÖNÜLÜM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ (TUSAGA-AKTİF/CORS-TR) PROJESİ

1. GİRİŞ

TUSAGA-Aktif projesi TÜBİTAK destekli bir kamu AR-GE projesi olup, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) tarafından 31 Mayıs 2005 tarihinde TÜBİTAK'a önerilmiş ve İstanbul Kültür Üniversitesi (İÜ) tarafından yürütülmek üzere desteklenmesine karar verilmiştir. Harita Genel Komutanlığı (HGK), 04 Ocak 2006 tarihinde TKGM ile birlikte imzalanan ulusal birliği Çerçeve Protokolü ile projeye TKGM ile birlikte mülterek mülteri şartıyla dahil olmuştur. Projenin başlangıç tarihi 08 Mayıs 2006 olup, süresi 2.5 yıldır. Söz konusu proje 01 Temmuz 2011 tarihi itibarı ile TÜBİTAK Bilgi Teknolojileri tarafından kabul edilmiştir.

Sistem kapsamında, Türkiye geneline dağıtılmış (KKTC'de 4 istasyon dahil) 146 sabit GPS istasyonu kurulması tamamlanmıştır. HGK ve TKGM'de kurulan kontrol ve analiz merkezinde; istasyonlardan Internet yolu ile alınan GPS verilerinden diferansiyel GPS (DGPS) ve gerçek zamanlı kinematik (RTK) konum belirlemeye olanak sağlayacak düzeltme verileri hesaplanarak kullanıcıya yayınlanmaktadır. Proje ile ayrıca, WGS-84 ve ED50 koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm parametreleri tüm Türkiye için doğru ve duyarlı olarak belirlenmesi, başta haritacılık olmak üzere, jeodezik uygulamaların daha kolay gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

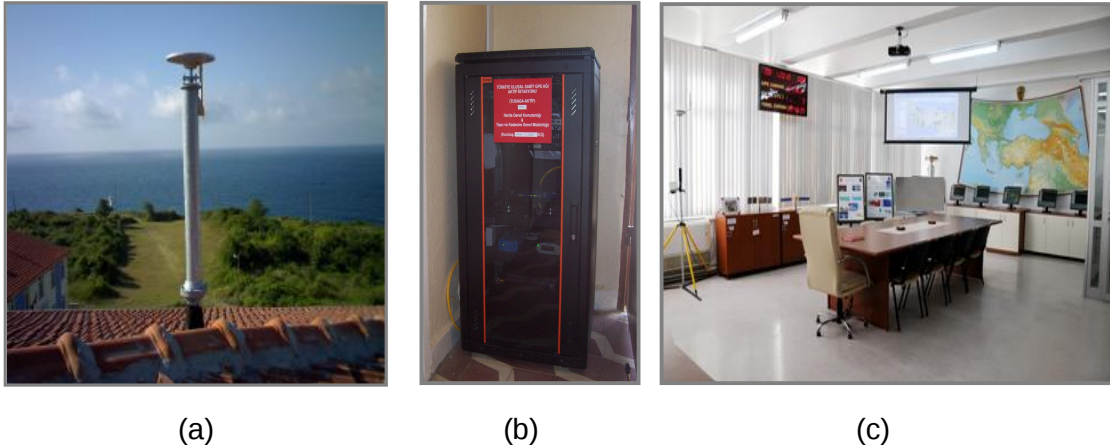
TUSAGA-Aktif sisteminin işletilmesi ve düzeltme parametrelerinin hesaplanması TKGM ve HGK'da kurulan kontrol merkezlerinden yapılmaktadır. Tüm istasyonlardan toplanan veriler ADSL ve GPRS/EDGE yolu ile veri merkezine aktarılmakta ve bu merkezlerde düzeltme parametreleri hesaplanarak arazideki kullanıcılara aktarılmaktadır. Gerçek Zamanlı Kinematik düzeltme verileri RTCM3.1 ve CMR iletişim formatlarında olup, GPRS ve NTRIP (Network Transport of RTCM through Internet Protocol) vasıtaları ile gezici araçlara gönderilmektedir. TUSAGA-Aktif istasyon yerlerinin seçiminde zemin yapısı, elektrik, telefon, internet 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. İstasyon dağılımı Ekil-1'de verilmiştir.



Ekil-1: Kurulumu tamamlanan 146 sabit GNSS istasyonu yerleri.

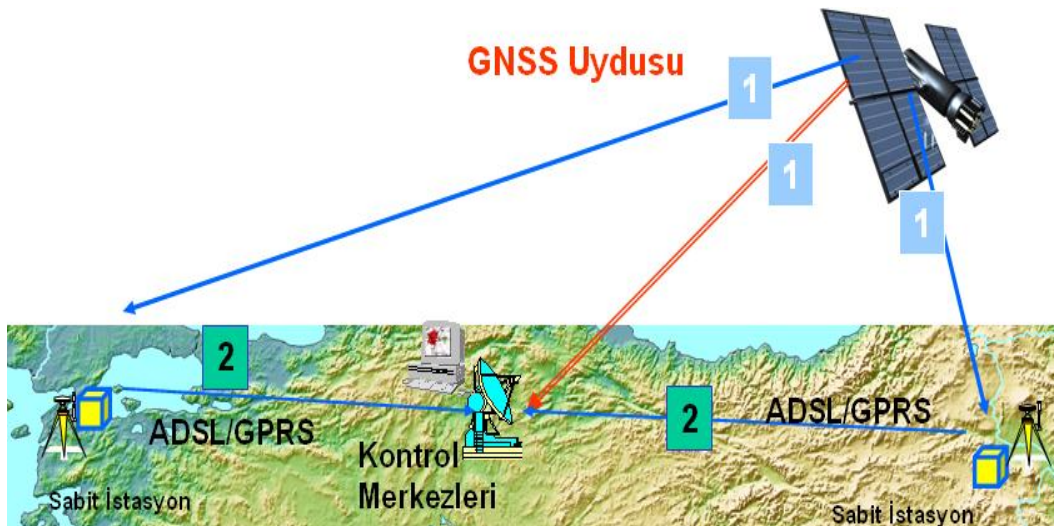
2. TUSAGA-AKTİF SİSTEMİN GENEL ÖZELLİKLERİ

TUSAGA-Aktif istasyon yerlerinin seçiminde zemin yapış elektrik, telefon, internet ve güvenlik hususlarē dikkate alınmış ve tüm Türkiye’de gerçekleştirilen arazi keşifleri neticesinde Devlet Meteoroloji Kleri Genel Müdürlüğü Meteoroloji İstasyonlarē Üniversiteler, Belediyeler ile Kamu Kurum ve Kuruluşlarına ait bina ve araziler seçilmiştir. İstasyonlarda birer adet GNSS (GPS+GLONASS ve GALILEO sitemine hazır) alıcış ADSL/GPRS bütünlük modem, akü, akü İarj aleti, yedek koruma adaptörü, telefon hat korumasış termostatlı 4 adet fan, sigorta ve standart donanım kabini ile dışarıda (çatē teras, kule veya yerde) alıcışa bağılı bir jeodezik GNSS anteni bulunmaktadır (Ekil-2).



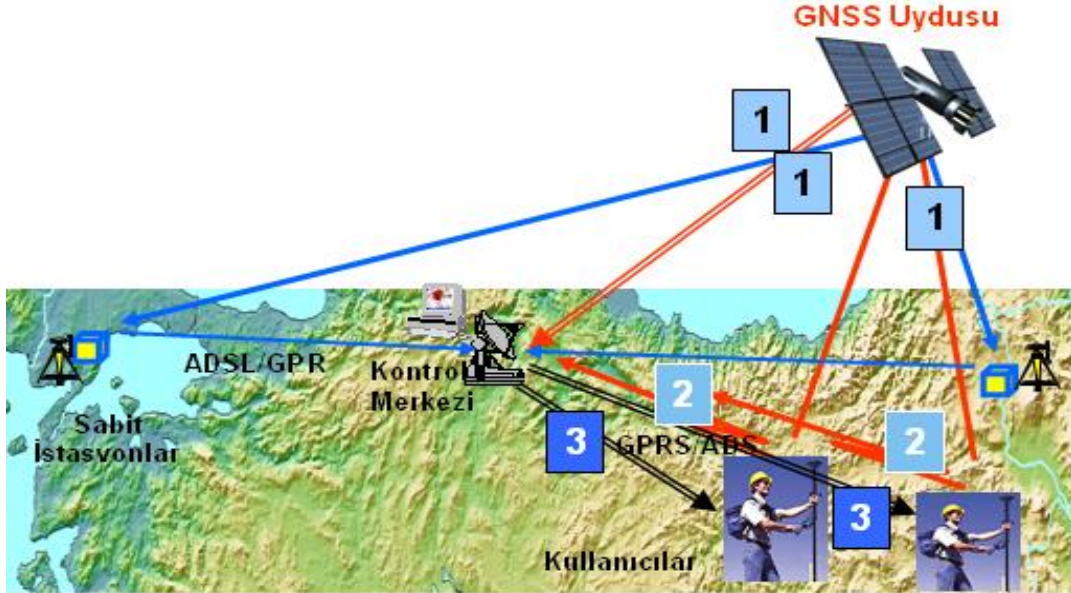
Şekil-2: TUSAGA-Aktif Kurucu ile İstasyonu, (b) Donanım Kabini, (c) HGK Kontrol ve Analiz Merkezi.

Sistemde, sabit GPS istasyonlar 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.



Şekil-3: Sabit GPS istasyonlarından kontrol merkezine veri aktarışının işlem sırası: 1: Uydulardan alınan ham veri; 2: Kontrol Merkezine aktarılan ham veri.

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 kullanıcıya ait gezici alıcılara internet üzerinden aktarılmaktadır. Kullanıcı kendi alıcısında, koordinat belirleme işlemi başladıktan itibaren, bu gezici alıcı için kontrol merkezinden üretilen düzeltme bilgisi GPRS iletimi ile her bir saniye de bir olmak üzere gelir ve istenilen noktada hassas koordinatlar belirlenmiş olur (Şekil-3).



Şekil-3: Kontrol merkezi ile kullanıcılar arasındaki iletişim.

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 GNSS alıcısı metre altı doğrulukta, çift frekanslı bir GNSS alıcısı 1-13 santimetre doğrulukta konum belirleyebilmektedir.

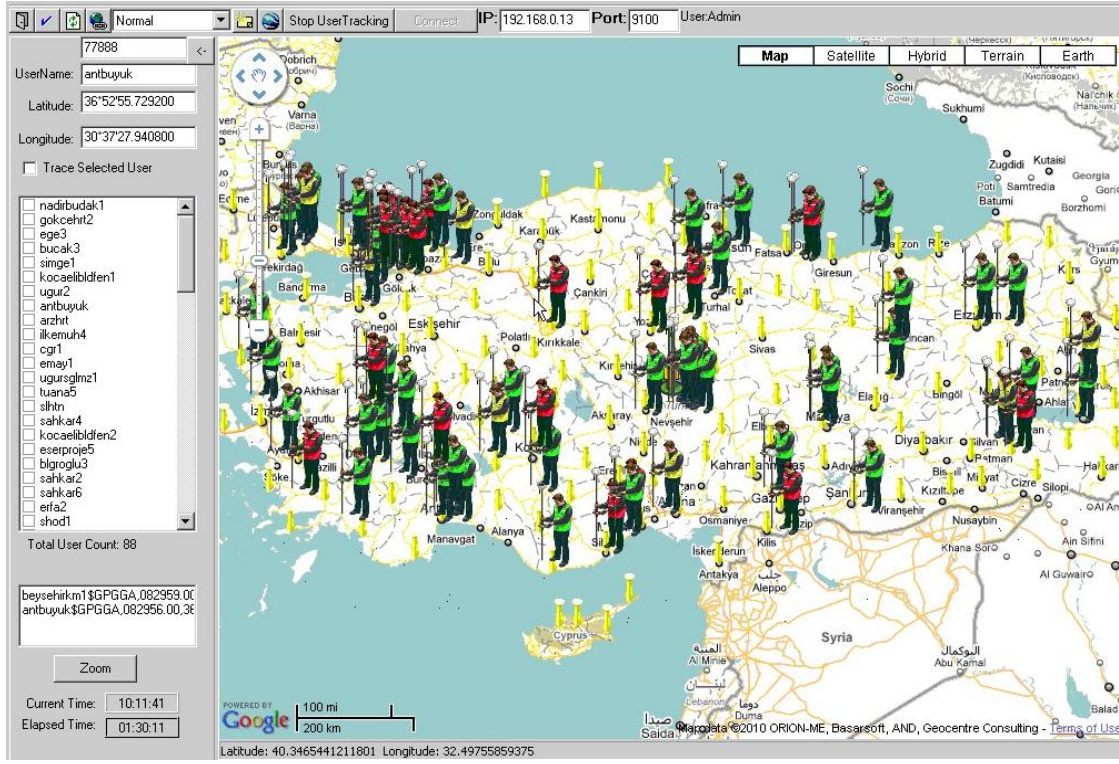
3. VERİ AKTARIM FORMATI

Veri aktarım formatı olarak NTRIP kullanılmaktadır. NTRIP; diferansiyel düzeltme verisi veya diğer tür GNSS verisinin sabit veya gezici kullanıcıya internet üzerinden yayılması için Almanya Jeodezi ve Kartografya Kurumu (BKG) tarafından geliştirilmiş internet tabanlı genel ve bağışsız bir protokoldür.

NTRIP; GSM, GPRS, EDGE veya UMTS gibi Mobil IP ağları üzerinden internete kablosuz ulaşım desteklemekte, aynı zamanda RTCM komitesi tarafından da önerilen bir standarttır. NTRIP sistemi üç yazılım bileşeninden oluşur; NtripClient, NtripServer ve NtripCaster. NtripServer GPS referans istasyonundan veri almakta ve bunu NtripCaster'a iletmektedir. NtripCaster bir telefon santrali gibi davranmakta ve NtripClient'lar istedikleri veri dizilerine bakılmaktadır. Bu türde bir yapı yüzlerce gezici alıcıya aynı anda düzeltme verisi gönderilebilmesi amacıyla geliştirilmiş en yaygın veri aktarım tekniğidir.

Bu protokol GNSS RTK çalışmaları için verinin yanı sıra, kod, taşıyıcı faz gözlemleri, anten ve çevresel parametreleri de içermektedir. Daha da önemlisi, bu format üzerinde değil ikliklere olanak verecek şekilde geliştirilmiş tir (GALILEO, GPS L2C, L5 sinyalleri gibi).

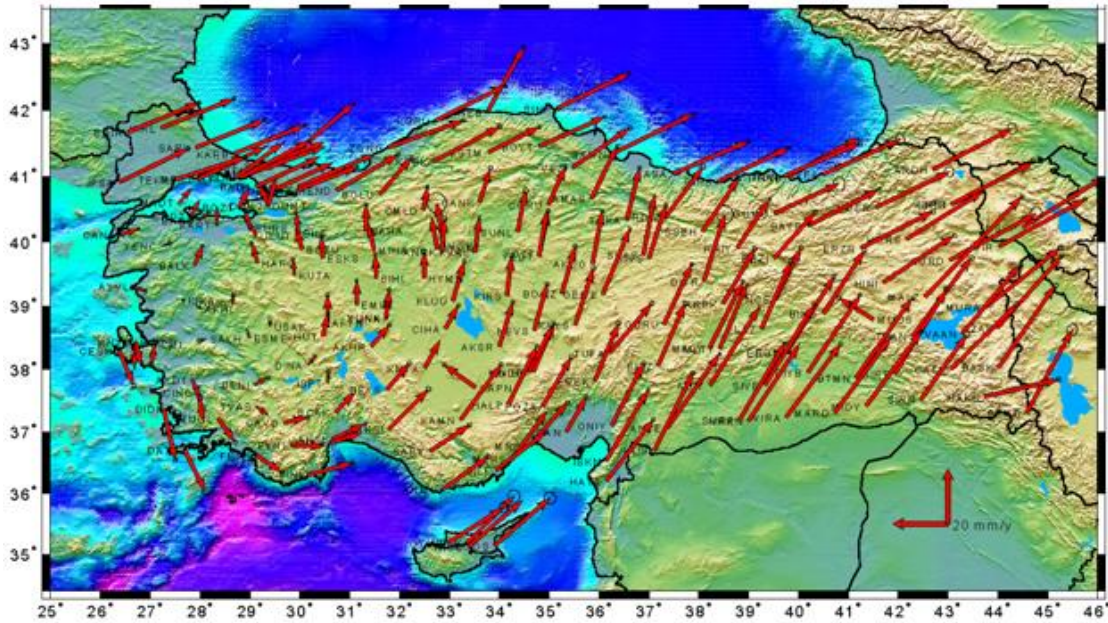
Ayrıca sistemden faydalanan aktif kullanıcılar el zamanlı olarak ekran üzerinden takip edilebilmektedir. Örneğin Türkiye'nin değil ik bölgelerinde sistemden faydalanan toplam 88 adet kullanıcı Şekil-4'de görülmektedir.



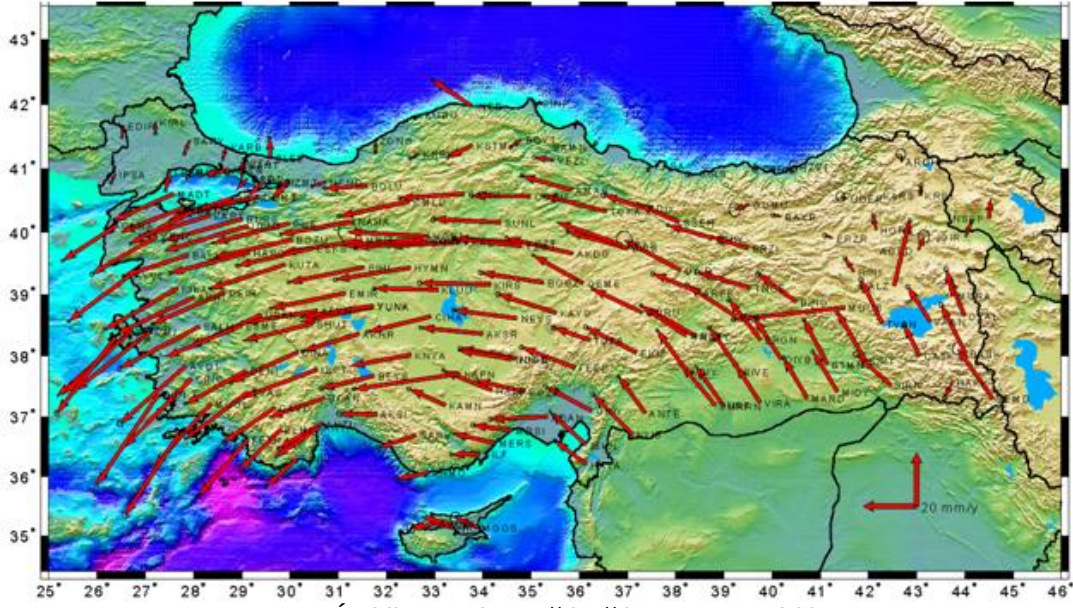
Şekil-4: TUSAGA-Aktif Kullanıcıların Sistemde Eİ Zamanlı Takibi.

4. TUSAGA-AKTİF SİSTEMİLE GERÇEKLEŞTİRİLEN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

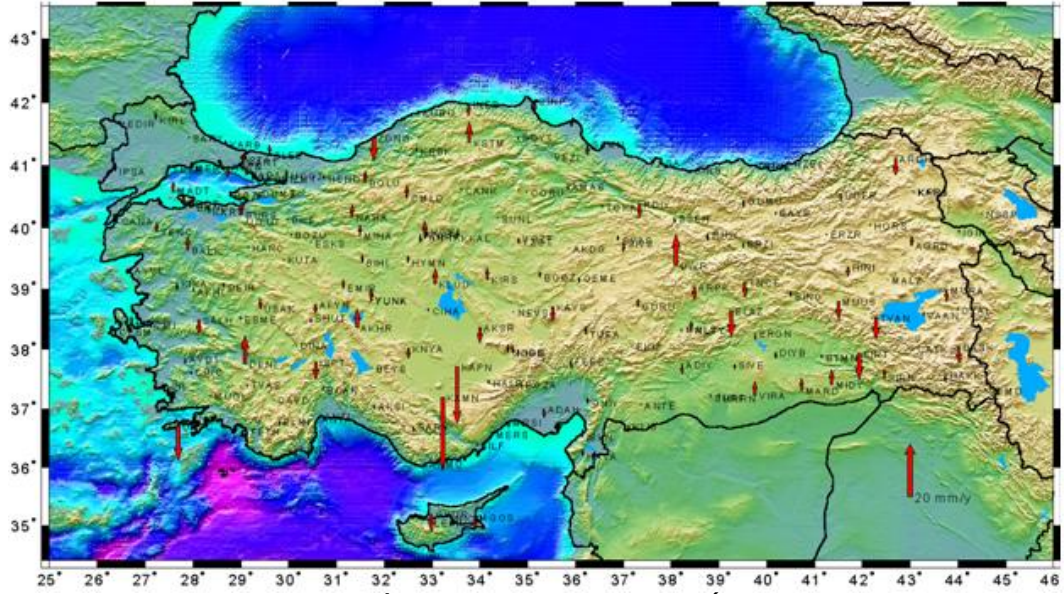
Anılan sistem kapsamında, HGK kurulan kontrol ve analiz merkezinde istasyonlardan gelen olan ham GPS verileri ile Uluslararası GPS Servisi (IGS) verilerinden yararlanılarak istasyonlara ait dıyarlı koordinat ve hı bilgileri hesaplanmaktadır. TUSAGA/TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait aylık birlelı tirilmil ölçülerden yararlanarak elde edilen ITRF ve Avrasya sabit sistemlerinde hesaplanan yatay nokta hıllar Şekil-5 ve 6'da, dıı ey hıllar ise Şekil-7'de görölmektedir.



Şekil-5: Nokta Hıllar (ITRF)



Şekil-6: Nokta H zlar (Avrasya Sabit)



Şekil-7: Nokta H zlar (D   ey)

TUSAGA-Aktif a ının haritalama sektöründe yokun olarak kullanılması planlanm   olsa da, gerçek zamanl toptanan GPS verisinin, ula  ndan altyapı hizmetlerine, coğrafi bilgi sistemlerinden savunma teknolojilerine, meteorolojik hava tahmini uygulamalarından iyonosfer tabakasının anlık modellenmesi ve haritalanması çalışmalarına kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar ise a ı açıda sunulmuştur.

5. ATMOSFERİK  ALI LMALAR

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 iyonosfer ve Troposfer tabakalar nedeniyle bir takım etkilere maruz kalır.

İyonosferin tabakasının neden olduğu gecikme dak    bir etkiye sahiptir ve mevcut GNSS sinyalleri L1 ve L2 ta ıy   dalg boylarının her ikisine de aynı etkiyi yapt  ndan çift frekanslı al cılarla bu etki büyük oranda giderilebilmektedir. Geriye kalan atmosferik gecikme (troposferik

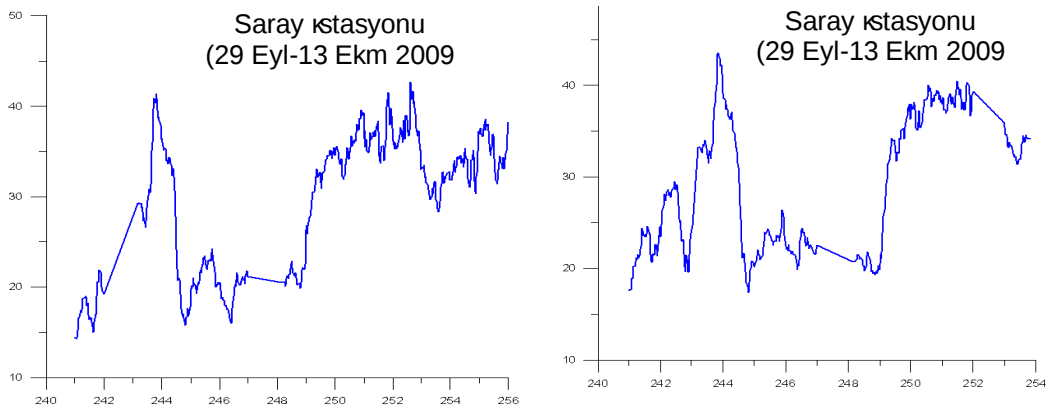
gecikme) ise dağın özelliğe sahip değildir ve tek bir GPS alıcısı kullanılarak bu gecikme miktarı tam olarak modellenememektedir. Bununla birlikte, hassas uydu bilgisinin kullanıldığı açık yapıda, birden fazla alıcı kullanarak yapılan GPS gözlemleri ile, oluşan bu bütün olarak bu gecikme miktarı hesaplanabilmektedir

a. GPS Tabanlı Yağış ve Dönüşüm Su Buharının Elde Edilmesi

Troposfer atmosferin en alt tabakası olup, yer yüzeyi ile balırlar ve kalınlığı ekvatorda yaklaşık 18 km iken kutba doğru azalarak kalınlığı 8 km'e kadar düşer. Tüm meteorolojik koşulların etkili olduğu hava olayları bu tabakanın yaklaşık 3-4 km'den alt kesimlerinde meydana gelir. Atmosferin toplam kütesinin %75'ini içeren ve bu yönüyle atmosferin diğer katmanlarına göre en yoğun olan katman olan troposfer, atmosferde bulunan tüm su buharı ve nemi içermektedir. 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, tanımı olarak; herhangi iki yükseklik arasındaki dikey kolon boyunca toplam atmosferik su buharı miktarı olup genel olarak, bu aradaki suyun yoğunluğu tahmin edildiğinde elde edilecek değer kolon yüksekliği olarak da tanımlanır. Sayısal olarak, 1 kg/m² su buharı 1 mm YDS değerine eşittir.

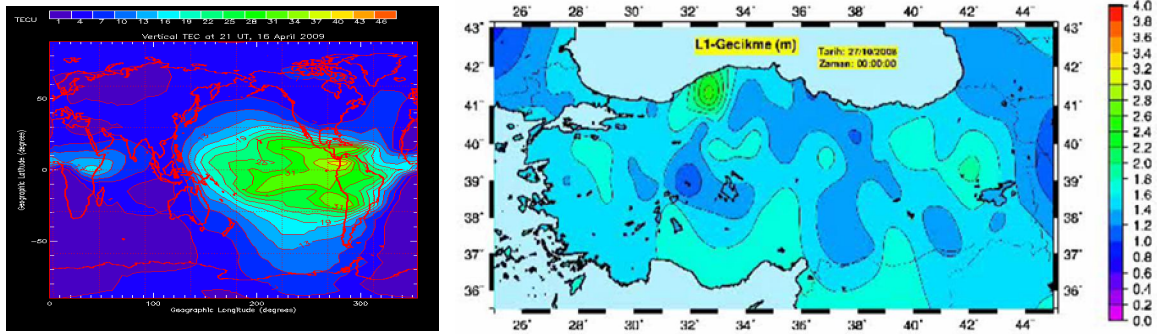
GPS ölçümleri yardımıyla hesaplanan YDS değerlerinin meteorolojik amaçları kullanılabileceğini göstermiştir. GPS verisi yardımıyla YDS elde edilmesi çalışmalarına kısaca, GPS Meteorolojisi denmektedir. Konumu bilinen noktalarda kurulan GPS alıcılarının topladığı GPS verileri YDS hesaplanmasında kullanılabilmektedir. Atmosferik çalışmalar, GPS yardımıyla hesaplanan YDS değerlerinin yapılan hava tahminlerinin doğruluğunu artırdığını göstermektedir. Temelde daha hassas konumlama yapabilmek amacıyla kurulan ancak çok farklı disiplinlere ait veri sağlayan TUSAGA-Aktif ağında kurulan sabit GPS istasyonlarında toplanan GPS verilerinden yararlanarak YDS hesaplanmasında çalışmalarına DMK ile koordineli olarak başlanmıştır ve çeşitli uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Söz konusu GPS meteorolojisi uygulamalarında daha hassas olarak yapabilmek ve GPS veri değerlendirilmesindeki en önemli hata kaynaklarından birisi olan troposferin daha iyi modellenmesini sağlamak amacıyla TUSAGA-Aktif istasyonlarından 74 adedi GPS istasyon tesisi bakımından uygun görülen meteoroloji istasyonlarında tesis edilmiştir.

TUSAGA-Aktif sisteminin Mayıs 2009 itibarıyla tam olarak faaliyete geçmesi ile birlikte GPS tabanlı YDS elde edilmesi çalışmalarına hız verilmiştir. Özellikle ani yağış ve talim olaylarının görüldüğü bölgelerde GPS-YDS değerleri takip edilmiştir. Örnek olarak Trakya bölgesinde Eylül 2009'da meydana gelen sel felaketine ilişkin GPS-YDS değerleri aşağıda verilmiştir.



İyonosferdeki elektron yoğunluğunu hesaplanmanın diğer bir yöntemi de sabit GPS istasyonu verilerini kullanarak gerçekleştirilir. Koordinatlar 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 dökülen sabit GPS istasyon verilerini kullanarak, küresel analiz merkezleri (CODE, IGS vb.) tarafından iyonosfer değeri grafikleri oluşturulmaktadır (Şekil-11).

Bu modellere küresel harmonik açılım fonksiyonu uygulanmak suretiyle yerel iyonosferdeki Toplam Elektron İçeriği (TEC) değeri hesaplanmaktadır. Ancak küresel model oluşturulurken örneğin Türkiye'den bir adet sabit GPS istasyonu kullanılmakta dolayısıyla küresel modelden hesaplanan yerel iyonosfere ait TEC değerinin zamansal ve konumsal çözünürlüğü düşük olmaktadır.



Şekil-11: IGS tarafından yayınlanan dünya iyonosfer haritası ile yerel iyonosfer haritası

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 iş birliğinde bir TÜBİTAK (105E171) projesi geliştirilmiş ve Türkiye'deki sabit GPS istasyonları için Alınan Yanlı ve Dikey Elektron Yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu değerler halihazırda uluslararası jeodezi kurumları tarafından iletilen Sabit GPS istasyonları için hesaplanmakla birlikte yerel sabit GPS istasyonları için alınan yanı ve dikey elektron yoğunluğu değeri bulunmamaktadır. Uygulama kapsamında Türkiye'deki istasyonlar için ilk kez alınan yanı ve dikey elektron yoğunluğu 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 TEC değeri konumsal çözünürlüğü çok daha hassastır.

6. SONUÇ

TUSAGA-Aktif sistemi 15 Haziran 2011 tarihinden itibaren ücretli olarak hizmet vermeye başlamıştır. Sistemin bakım-onarım ve idaresi ile ilgili çalışmalar, HGK ve TKGM personelinden oluşan TUSAGA-Aktif Yürütme Kurulu tarafından yürütülmektedir.