

TUSAGA-Aktif'in GNSS Meteorolojisi Ağı Olarak Kullanılması

İlke Deniz^{1,*}, Çetin Mekik¹

¹Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak.

Özet

Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) navigasyon, jeodezik ölçmeler, mühendislik ölçmeleri, jeodinamik uygulamalar ve GNSS Meteorolojisi olarak adlandırılan yoğuşabilir su buharı miktarının (PWV) GNSS ağlarından kestirilen toplam zenit gecikmesinden (ZTD) belirlenmesi alanlarında kullanılmaktadır. TUSAGA-Aktif gibi sürekli ölçüm yapan GNSS istasyonlarında doğru, güvenilir ve ekonomik olarak yoğuşabilir su buharını belirleyebilme olanağı, bu istasyonların GNSS meteorolojisi istasyonlarına dönüştürülmesi çalışmalarını hızlandırmıştır. GNSS meteorolojisinin temel gereksinimlerden biri, bölgesel olarak kullanılacak ağırlıklı ortalama sıcaklık T_m veya Q dönüşüm modellerinin elde edilmesidir.

TÜBİTAK 112Y350 nolu proje kapsamında Türkiye'deki 8 radyosonda istasyonunun 2011 yılına ait profil gözlemlerinin analiziyle yıllık T_m modeli ve Q_{BEU} modeli geliştirilmiştir ve Ankara ve İstanbul'daki GNSS-RS istasyonlarında test edilmiştir. Bu çalışmada, 28 TUSAGA-Aktif istasyonundan oluşan bir test bölgesinde Haziran 2013-Haziran 2014 tarihlerinde Bernese 5.0 yazılımı ile kestirilen ZTD değerleri geliştirilen T_m modeli kullanılarak PWV değerlerine dönüştürülmüştür.

Test alanı içinde meteorolojik gözlem yapılmamış TUSAGA-Aktif istasyonlarının meteoroloji parametreleri, küresel harmonik fonksiyon enterpolasyonu ile üretilmiştir.

Anahtar sözcükler:

GNSS, GNSS Meteorolojisi, Troposferik zenit gecikmesi, Yoğuşabilir su buharı, TUSAGA-Aktif

Abstract

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are used in many applications such as navigation, geodetic measurements, engineering measurements, geodynamical applications and GNSS Meteorology which refers to the determination of the precipitable water vapour (PWV) from GNSS estimated tropospheric zenith delay (ZTD). As continuously operating GNSS stations provide accurate, reliable PWV with very little cost, the conversion of existing continuous Global Navigation Satellite System (GNSS) stations to GNSS meteorology stations have become popular. One of the main necessities of GNSS meteorology is to derive the regional weighted mean temperature T_m or conversion factor Q .

In the context of TUBİTAK Project No: 112Y350, the annual T_m model and Q_{BEU} model are developed with the analysis of profile observations from 8 Turkish radiosonde stations for the year 2011 and are tested in Ankara and Istanbul GNSS-RS stations. In this study, Bernese estimated ZTD is converted to PWV with the developed annual T_m model for the period from June 2013 to June 2014 in a test area composed of 28 TUSAGA-Active stations.

Due to the fact that meteorological parameters of these stations are not continuously monitored, meteorological parameters are derived with the spherical harmonic interpolation.

Keywords:

GNSS, GNSS Meteorology, Tropospheric zenith delay, Precipitable water vapor, TUSAGA-Active

1. Giriş

GNSS verilerinin değerlendirilmesi ile koordinatlarla birlikte istasyonlarda toplam zenit gecikmesi (ZTD) değerleri de kestirilmektedir. GNSS meteorolojisinde en önemli parametre olan ZTD; kuru (ZHD) ve ıslak (ZWD) olmak üzere iki bileşene ayrılır. Yüzey basıncına bağlı olan ilk bileşen yüksek doğrulukla doğrudan elde edilirken su buharını içeren ikinci bileşen ise, ZTD'den ZHD'nin çıkarılmasıyla bulunur ve yoğuşabilir su buharına (PWV) dönüştürülür. ZWD'den PWV'ye dönüşüm; $PWV=ZWD/Q$ bağıntısıyla elde edilir. Burada $Q=0,0046((373,900/T_m)+22,1)^4$ 'dir. Uzun süreli radyosonda profil verilerinin analizinden elde edilen yüzey sıcaklığına dayanan ağırlıklı ortalama sıcaklığı T_m modeli ya da yüzey sıcaklığının yanısıra istasyonun enlemi, yüksekliği ve yılın gününe dayanan Q dönüşüm faktörü modelleri, bölgesel veya lokal alanlar için geliştirilmiştir (Bevis vd. 1992, Emaradson ve Derks 2000).

Geliştirilen T_m ve Q modelleri ve GNSS verileri kullanılarak hesaplanan yoğuşabilir su buharı değerleri PWV_{GNSS} ile radyosonda su buharı değerleri PWV_{RS} karşılaştırmaları yoluyla GNSS meteorolojisinin doğruluğu araştırmaları da sürdürülmektedir.

ZWD'nin PWV'ye dönüştürülmesi için GNSS istasyonunun yüzey meteorolojik parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak; çoğu TUSAGA-Aktif istasyonunda meteorolojik gözlem yapılmamaktadır. Global Basınç ve

* Sorumlu Yazar E-posta: ideniz@beun.edu.tr (İlke Deniz)

Sıcaklık (GPT) modelinde olduğu gibi bu parametreler küresel harmonik fonksiyonlar ile enterpolasyon sonucu türetilbilir (Böhm et al. 2006, Böhm et al. 2007).

2. Islak Zenit Gecikmesi-Su Buharı Dönüşüm Modelleri

TÜBİTAK 112Y350 nolu proje kapsamında Türkiye'deki 8 radyosonda istasyonunun 2011 yılına ait 4.103 profil gözlemlerinin analiziyle yıllık T_m modeli ve QBEU modeli geliştirilmiştir.

2,566 K doğrulukla geliştirilen yıllık T_m modeli (Mekik ve Deniz, 2017):

$$T_m = 48,546 + 0,796T_s \quad (1)$$

olarak modellendirilmiştir. Burada; T_s, istasyona ait yüzey sıcaklığıdır.

Buna ek olarak geliştirilen 0.068 doğrulukla QBEU modeli ise

$$Q_{BEU} = [5.7053 - 0.0067(T_s - 287.7620)] + 0.0130 \theta + 0.0833 H + 0.0709 \sin\left(2\pi \frac{t_D}{365}\right) + 0.1195 \cos\left(2\pi \frac{t_D}{365}\right) \quad (2)$$

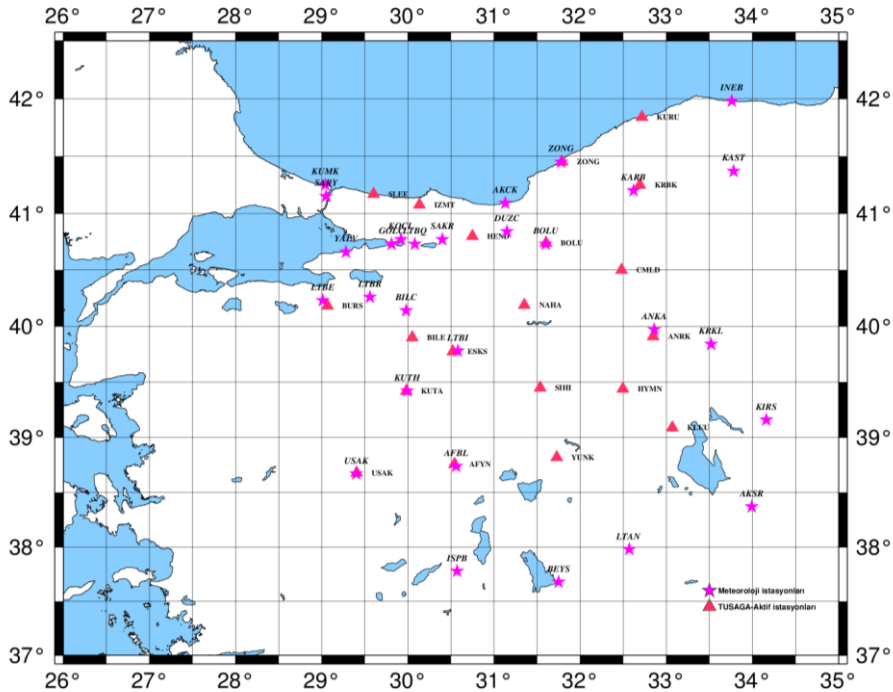
olarak bulunmuştur. Burada; θ, istasyon enlemi, H, istasyon yüksekliği ve t_D, yılın günüdür (Mekik vd. 2015).

Geliştirilen modellerin doğruluk ve güvenilirlikleri test edilmiştir.

Proje kapsamında tesis edilen Ankara ve İstanbul'daki GNSS-RS istasyon verileri Bernese 5.0 ve GAMIT/GLOBK yazılımları ile değerlendirilmesi sonucu yaklaşık 1 yıllık ZTD değerleri kestirilmiş, geliştirilen modeller kullanılarak PWVGNSS değerine dönüştürülmüş ve PWVRS değerleri ile karşılaştırılıp test edilmiştir.

3. Küresel Harmonik Fonksiyonları ile Meteoroloji Parametrelerin Enterpolasyonu

Enlemleri 38o-42o ve boylamları 29o-33o olan bir test bölgesi seçilmiştir (Şekil 1). Bölgedeki TUSAGA-Aktif istasyonlarının Haziran 2013–Haziran 2014 tarihleri arasındaki PWV değerleri Bernese 5.0 yazılımından elde edilen ZTD değerlerinin T_m modeli kullanılarak dönüştürülmesi ile hesaplanan sonuçlar incelenmektedir.



Şekil 1: Test bölgesi

Öncelikle, meteorolojik gözlem yapılmayan TUSAGA-Aktif istasyonlarının meteorolojik verileri 28 meteoroloji istasyonunun verilerinin küresel harmonik fonksiyonlarla enterpolasyonu sonucu türetilmiştir.

Genel olarak küresel harmonik fonksiyon;

$$f(\varphi, \lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n P_{nm} \sin(\varphi) [a_{nm} \cdot \cos(m\lambda) + b_{nm} \cdot \sin(m\lambda)] \quad (3)$$

olur. Burada, n; derece, m; mertebe, φ ; küresel enlem ve λ küresel boylamdır ve $P_{nm}\sin(\varphi)$ Legendre fonksiyonudur. En küçük kareler yöntemiyle sıcaklık, basınç, nemlilik vb. meteorolojik parametrelerin modellenmesi için;

$$a_{nm} = P_{nm}(\sin \varphi) \cdot \cos(m\lambda) \quad (4)$$

$$b_{nm} = P_{nm}(\sin \varphi) \cdot \sin(m\lambda) \quad (5)$$

alınarak n ve m için açılır. Bir istasyonlar ağı için katsayılar matrisi $A=[a_{00} \ a_{10} \ a_{11} \ b_{11} \ a_{20} \ a_{21} \ b_{21} \ a_{22} \ b_{22} \ a_{30} \ a_{31} \ b_{31} \ \dots]$ olur.

Global meteorolojik parametrelerin modellenmesinde güçlü bir araç olan küresel harmonik fonksiyonlar ile büyük alanlarda çalışmak matris hesaplarında bir problem çıkarmaz. Ancak, birkaç derecelik küçük alanlarda, a ve b katsayıları birbirlerine yakın değerler alırlar. Bu nedenle; $N=ATA$ normal denklemler matrisinin kondüsyonu zayıftır. Bu matrisi çözmek için Tikhonov regülarizasyonu algoritması kullanılmıştır (Moszynski 1995, Gkioulekas 1996, Matlab Central 2015):

$$x = (A^T A + \lambda L^T L)^{-1} A^T l \quad (7)$$

Burada, $L=I$ birim matrisidir.

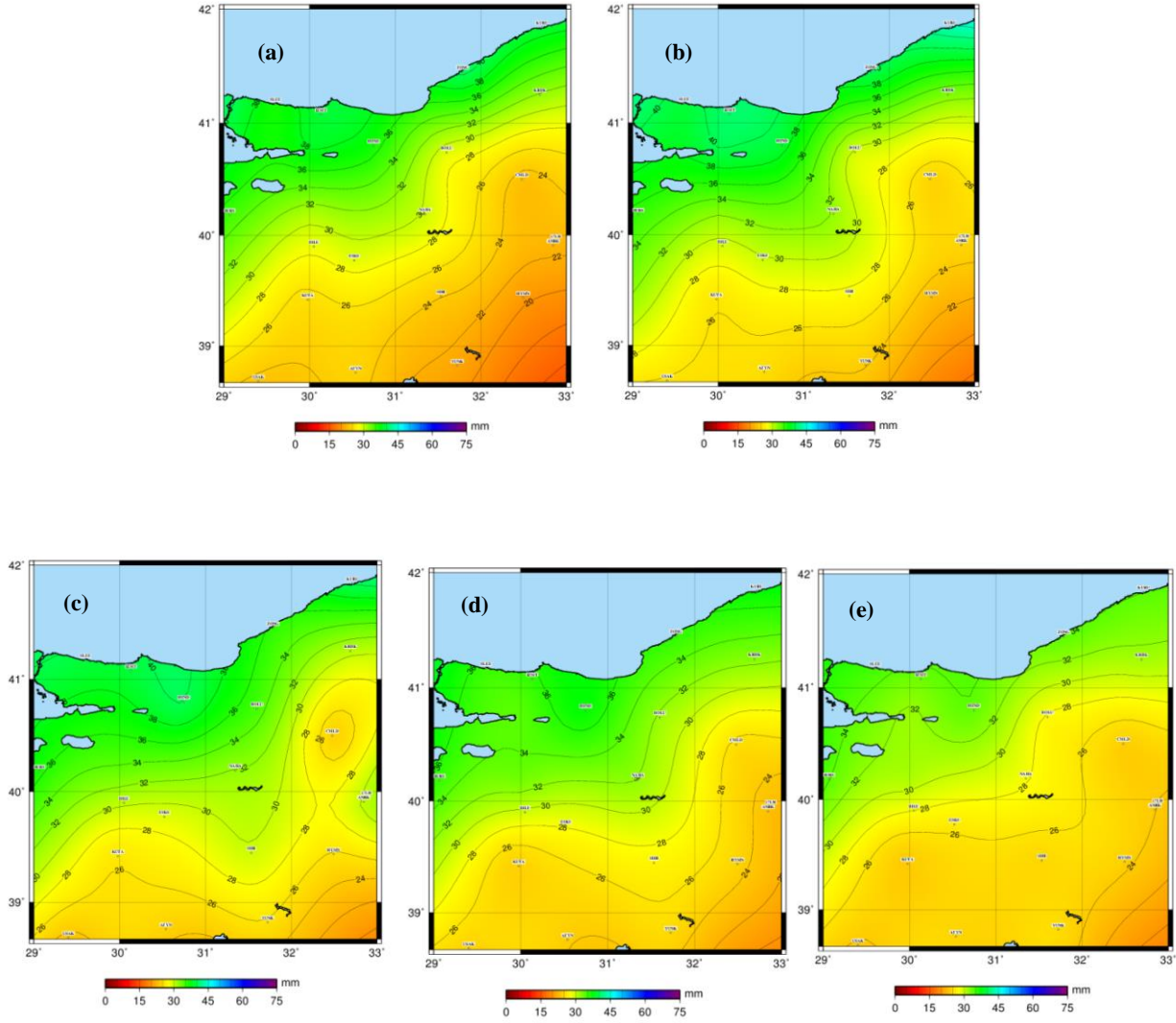
Öncelikle, yüksekliğe bağlı olan sıcaklık, basınç ve nem parametreleri geoit yüksekliğine indirgenir (Bai ve Feng 2003, Dach vd. 2007), sonrasında indirgenmiş parametrelere enterpolasyon uygulanır ve sonuçlar istasyon yüksekliğinde bulunur.

4. Test Bölgesi: TUSAGA-Aktif örneği

Test bölgesindeki TUSAGA-Aktif istasyonlarının Haziran 2013 – Haziran 2014 tarihleri arasındaki PWV değerleri, Bernese 5.0 yazılımından elde edilen ZTD değerleri ve T_m modeli kullanılarak kestirilmiştir.

İstenilen tarih aralığındaki mevcut meteorolojik kayıtlar 3 saat aralıklarda çoğunlukla 3, 6, 9, 12, 18 saatleri baz alınarak elde edilmiştir. Bu verilerinin değerlendirilmesinden; modellenmenin küresel ortalama hatalarının ortalamaları; $m_{Tort.} = \pm 1,74$ K, $m_{Port.} = \pm 0,95$ hPa, $m_{Hort.} = \pm \% 14,88$ olarak bulunmuştur.

Üretilen meteoroloji verileri kullanılarak hesaplanan PWV değerlerinin hataları $\pm 0,50$ mm ile $1,32$ mm değerleri arasındadır.



Şekil 2: Test alanında 1 Ağustos 2013 tarihindeki PWV değerleri (a) saat 6, (b) saat 9, (c) saat 12, (d) saat 15 ve (e) saat 18.

Sonuçlar

Bu çalışmada, enlemleri 38o-42o ve boylamları 29o-33o olan test bölgesinde Haziran 2013 – Haziran 2014 tarihlerinde Bernese 5.0 yazılımı ile kestirilen ZTD değerleri geliştirilen Tm modeli kullanılarak PWV değerlerine dönüştürülmüştür. Dönüşüm sırasında kullanılan meteorolojik parametreler küresel harmonik fonksiyonlar ile enterpole edilmiştir.

Enterpolasyon sonucu karesel ortalama hatalarının ortalamaları; sıcaklık için $m_{Tort} = \pm 1,74$ K, basınç için $m_{Port} = \pm 0,95$ hPa, nem için $m_{Hort} = \pm \% 14,88$ olarak bulunmuş olup PWV kestirimi sonucunda ise PWV değerlerinin hataları $\pm 0,50$ mm ile $1,32$ mm değerleri arasında elde edilmiştir.

Tüm TUSAGA-Aktif istasyonlarının meteorolojik parametreleri enterpolasyon yöntemi ile üretim çalışmalarına devam edilecektir.

Geliştirilen modeller, TUSAGA-Aktif istasyonlarında gerçek zamana yakın PWV kestiriminde kullanılabilir. Böylelikle, hava tahmini ve iklim araştırmalarına önemli bir veri sağlanabilir.

Kaynaklar

- Bai Z., Feng Y., (2003), *GPS water vapor estimation using interpolated surface meteorological data from Australian automatic weather station*, Journal of Global Positioning Systems, 2(2), 83-89.
- Bevis M., Businger S., Herring T.A., Rocken C., Anthes R., Ware R.H., (1992), *GPS meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 97(D14), 15787-15801.
- Böhm J., Niell A., Tregoning P., Schuh H., (2006), *Global mapping function (GMF): a new empirical mapping function based on numerical weather model data*, Geophysical Research Letters, 33(7).
- Böhm J., Heinkelmann R., Schuh H., (2007), *Short note: a global model of pressure and temperature for geodetic applications*, Journal of Geodesy, 81(10), 679-683.
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M., (Ed.), (2007), *User Manual of the Bernese GPS Software, Version 5.0*, Bern Üniversitesi Yayınları, Bern, İsviçre, 640ss.
- Emardson T.R., Derks H.J.P., (2000), *On the relation between the wet delay and the integrated precipitable water vapour in the European atmosphere*, Meteorological Applications, 7(1), 61-68.
- Gkioulekas E., (1996), *Algorithms with Matlab*, Washington Üniversitesi Yayınları, 16ss.
- Matlab Central, (2015), <http://www.mathworks.com/matlabcentral>, [Erişim 2015].
- Mekik Ç., Aktuğ B., Özlüdemir M.T., Görmüş K.S., Mert İ., Deniz İ., Gürbüz G., (2015), *GPS ile atmosferik su buharı kestirimi projesinin raporu*, TÜBİTAK 112Y350 nolu proje, Ankara, 118ss.
- Mekik Ç., Deniz İ., (2017), *Modelling and validation of the weighted mean temperature for Turkey*, Meteorological Applications, 24, 92-100.
- Moszynski K., (1995), *On solving linear algebraic equations with an ill-conditioned matrix*, Applicationes Mathematicae, 22(4), 499-513.