

nedenlerinden birisi hesaplamalarda kullanılan troposferik modellerdeki hatalardır. Oysa Sayısal Tahmin Modelinden (NWP) elde edilecek atmosferik parametreler (sıcaklık, nem ve basınç) yardımıyla yüksek doğruluklu ($\approx 1-2$ cm) koordinat (yükseklik) bilgisi elde edilebilecek, böylece gerçek zamanlı navigasyon uygulamalarının yanında jeodezik ve jeofizik çalışmalarda da önemli katkı sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte; şimdiye kadar uygulanan yöntem 1970 li yıllarda geliştirilmiş değişken sıcaklık nem ve basınçtan bağımsız standart troposferik parametreleridir. (1013 mph, 18 °C) [18,19,20]

EYVİ Projesi troposferik gecikme etkisiyle ilgili açıklamaların ışığında statik GNSS ölçümleriyle eşzamanlı değişen hava şartlarına göre sıcaklık basınç ve nem bilgilerini de ayrıca ölçüp koordinat hesaplamalarında ticari yazılım programlarını kullanmadan Gamit, Bernese gibi bilimsel amaçlı programlarla process eden ve elipsoidal yüksekliklerdeki inceliğin artırılmasını hedef alan bir Bilimsel çalışma programıdır. Dr. Yılmaz 2012 ve 2013 yıllarında Türkiye’de ilk defa yaklaşık 400 km² lik bir alanda toplam 10 noktada GNSS aletleri ve Meteorolojik Sensörlerle eşzamanlı yaklaşık 8~10 saatlik gözlemlerle 6 şar gün farklı mevsimlerde statik GNSS ölçümleri yapmış ve yükseklik koordinatındaki iyileşmeleri gözlemiştir. Bu çok önemli ve mükemmel Bilimsel çalışmanın elde edilen sonuçları Danışmanlarınca olumlu olarak değerlendirmiş ancak iyileştirmelerin daha göz alıcı olması bakımından farklı bir iklim ve coğrafyada da denenmesi tavsiye edilmiştir.

Projenin farklı bir coğrafyada denenmesinin gerekliliği: Troposferik gecikme iki parçaya ayrılır: kuru ve ıslak. Kuru bileşeni yüzey meteorolojik ölçmelerinden türetilen birçok troposferik gecikme modelleriyle yüksek doğrulukla belirlenebilir. Troposferin kuru kısmı hidrostatik dengede olduğundan, ideal gazlar yasası kolayca uygulanabilir ve literatürde bu kısma hidrostatik kısım da denilmektedir. Islak kısmı ise troposferde hem yatay hem de düşey olarak sıvı su ve su buharının düzensiz dağılımından dolayı hesaplanması (tahmin edilmesi) zordur. Gecikmenin ıslak bileşeni toplam etkinin %10 kadar kısmını oluşturmasına rağmen toplam gecikme için çok hassas bir çözüm bulmada kısıtlayıcı rol oynayan bir belirsizliğe neden olmaktadır. Uydular ile GNSS alıcıları arasında seyahat eden sinyalin yükseklik (eğim) açısı 15° ‘nin altında olduğu durumlarda troposferik gecikme çok büyük boyutlara ulaşmakta ve modellenmesi daha da zorlaşmaktadır [31,32,33]. Bu nedenle troposferik etkinin çok iyi analiz edilmesi gerekir. Troposferik etkiyi oluşturan atmosferin en alt tabakasında oluşan hava olaylarındaki meteorolojik veriler GNSS ölçümlerinde kullanılmalıdır. Araştırmacı özellikle stratejik olarak seçmiş olduğu bölgeden kendisine davetiye verecek ve bu konuyla ilgilenen Prof.Dr.Satırapod’la bağlantı kurmuştur.

Araştırmacı daha önce yapmış olduğu iki farklı mevsimdeki ölçüleriyle değişik sıcaklık faklarındaki meteorolojik şartları ölçmesine rağmen araştırmasına farklı iklimlerdeki sıcaklık, basınç ve nem değerlerini statik GNSS ölçümlerine ekleme zorunluğunu Bilimsel mükemmeliyete erişmek için geliştirdiği özgün ve en gelişmiş teknoloji ürünü EYVİ Projesi ile gerçekleştirecektir.

Projenin beklenen çıktıları: EYVİ Projesinden elde edilecek sonuçlar Türkiye’de 2012-2013 yılları arasında yapılan çalışmalarla birleştirilecektir. GNSS’ten elde edilen elipsoidal yüksekliklerin Meteorolojik sensor verileriyle geliştirilmesi projesi için daha fazla uygulama gerekliliği şartı sağlanacaktır.

EYVİ projesi multidisipliner özgün ve bilimsel mükemmeliyet içeren en son teknoloji harikası bir projedir. EYVİ projesinden elde edilecek olumlu sonuçlar

- Deprem Araştırmaları için gereken yüksek incelikli GNSS verileri
- Meteorolojik Çalışmalarda uzun süreli hava tahminlerinin yüksek doğrulukla yapılması
- Cors-TR (Sabit RTK GNSS Ağları-Continuously Operating Reference Station) yenilenmesi [21] katkılarını sağlayacaktır.
- Ayrıca GNSS koordinatlarının ticari uygulamalarda olduğu gibi bilimsel çalışmalarda da yaygın bir şekilde kullanılır hale gelecektir. Bilimsel mükemmeliyet mükemmel bir şekilde tasarlanmış EYVİ Projesiyle sağlanacaktır.

2. Literatür Bilgisi

Dr Yılmaz tarafından 2012-2013 yılları arasında yapılmış Doktora tez çalışması EYVİ Projesi sonuçlarıyla birleştirilecektir. Troposferik gecikme etkisinin GNSS ölçülerinden elde edilen elipsoidal yükseklik verilerinin inceliğini düşürdüğü ile ilgili tanımlamalar ve kanıtlar araştırma önerisinde verilmiş problem ortaya konmuş ve GNSS ölçümlerinde elipsoidal yükseklikler hala 3~5 cm inceliğinde elde edilebildiği kaynaklarıyla gösterilmiştir. Yükseklik verilerini elimine etmek için “İndirgeme Fonksiyonları-Mapping Functions” geliştirilmiştir ancak bunlarda CORS-TR noktaları yenilenmediği için troposferik gecikme etkisini üzerinde taşırlar [22,23,24].

2.1.1. Araştırma Önerisinin Yapılabilirliği

EYVİ Projesi Troposferik gecikme etkisini minimize etmek için her alandaki teknolojik ilerlemeleri göz önüne alarak çeşitli firmalarca üretilmiş doğrudan meteorolojik sensörlerle kısa mesafeli noktalarda (yaklaşık 5~20 km) yapılan GNSS gözlemleriyle eşzamanlı her noktada değişen sıcaklık basınç ve nem bilgilerini toplayarak Bilimsel amaçlı geliştirilmiş yazılım programlarıyla koordinat hesaplamalarına (process) dahil eder ve şimdiye kadar kullanılan standart parametrelerin yerine bu değişken parametreleri kullanmayı öngörür.

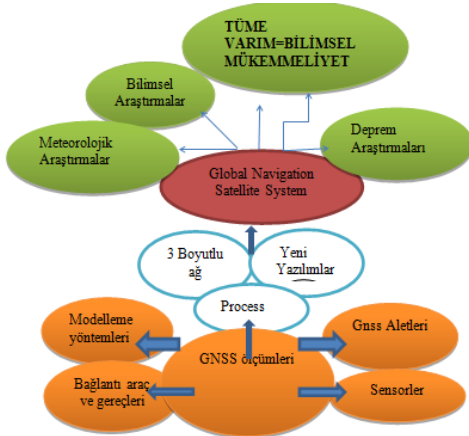
Arazide toplanacak meteorolojik veriler bilgisayarda Gamit ve Bernese yazılım programlarıyla process edilecektir. Oluşturulan “rinex” klasörü içine “m-file” dosyası şeklinde yerleştirilecektir. Bu programlar aksi komut belirtilmediği sürece meteorolojik şartları her yer için standart tutan (1013 mph, 18 °C) değerlerini kullanır [25]. Linux bash scriptte yazılacak bir ek-yama programı sayesinde program bu standart parametreler yerine arazide toplanan meteorolojik verileri kullanıp bu şekilde process edilen noktaların 3 boyutlu

Elipsodal Yükseklik Verilerinin İyileştirilmesi

(X,Y,H) koordinatları ($5^0, 10^0, 15^0, 20^0$) lik yükseklik açılarında göre ayrı ayrı hesaplanacaktır. Ayrıca koordinatlar meteorolojik veriler olmaksızın standart parametrelerle ve Global indirgeme fonksiyonu değerleriyle de (mapping functions) hesaplanacaklardır.

Ev sahibi Kurumun Türkiye'ye katkısı: Dr. Yılmaz 2012-2013 yılları arasında Türkiye'de yapmış olduğu ölçüleri Gamit programıyla process etmiş, sonuç ve öneriler kısmını yalnızca bu programa bağlı kalarak yorumlamıştır.

Prof.Dr. Satirapod bilimsel mükemmeliyeti yakalamak amacıyla çok beğendiği mükemmel tasarlanmış EYVİ projesinin hem ülkesinde uygulanması için hem de 2012-2013 yılları arasında Türkiye'de yapılmış arazi çalışmalarını bizzat Bernese programı ile process etmek için Dr.Yılmaz'ı Doktora sonrası araştırma yapmak amacıyla Tayland'a davet etmiştir. Prof.Dr. Satirapod Türkiye'de yapılan verileri process ederken Dr. Yılmaz'a Bernese programını da öğretecektir. Prof.Satirapod'un çalıştığı ve Tayland'ın en eski üniversitesi olan Chulalongkorn Üniversitesinde mevcut ve yeterli miktardaki alet ve ekipmanlarla yapılacak uygulama sonuçları Türkiye'dekilerle birleştirilip Türkiye'ye bilgi transferi yapılacak, tüm sonuçlar Türkiye'de incelenecektir.



EYVİ Projesinin İnovative Etkisi: Proje Türkiye'de ilk tir. Projenin geçerliliği kısmında bahsedilen ve programa ek-yama bir program yazılarak meteorolojik verileri programda kullanma fikri Gamit Program yazarı USA Harvard Üniversitesi "Earth Atmospheric and Planetary Sciences MIT" den Dr.Robert KING'le yapılan bir dizi iletişim sayesinde gelişmiştir. Kendisinde bu fikrin orijinallliği hakkındaki görüşlerini belirtmiş ve desteklemiştir [26]. Farklı bir iklim ve coğrafyada tamamen farklı bir ölçme tekniği ve yazılım programı ile EYVİ Projesi adı altında uygulanması planlanmaktadır. EYVİ Projesinden elde edilecek olası iyileştirmeler Deprem araştırmaları, Meteorolojik çalışmalar gibi Bilimsel amaçlı çalışmalar için mükemmel bir destek olacaktır [27,28,29].

EYVİ projesinin multidisipliner konulara katkısı:

- Türkiye bulunduğu konum itibarıyla deprem kuşağı ülkelerindedir. Dr. Yılmaz'ın Danışmanı ve Türkiyede bulunan CORS-TR(Sabit RTK GNSS

Ağları-Continuously Operating Reference System)ğının kurucularından Doç.Dr.Muzaffer Kahveci'nin 9 Eylül Üniversitesi Deprem Araştırmaları Merkeziyle ortak çalışmaları olmuş ve elipsoidal yükseklik verilerinin iyileştirilmesi durumunda başarılı sonuçlar elde edilebileceği öngörülmüştür. Depremlerin ülkemize yaşatmış olduğu maddi ve manevi acıları göz önüne alınırsa önceden deprem tahminlerinin hayati önem taşıması nedeniyle EYVİ Projesinin mükemmeliyeti daha iyi anlaşılacaktır. Ayrıca önceden deprem tahminlerindeki olası iyileşmeler Ülkemizi bilimsel açıdan diğer ülkelere karşı büyük bir avantaj ve üstünlük elde edecek konuma getirecektir.

- Uzun sürelere dayanan meteorolojik hava tahminlerinde; mevcut teknikle birisi sabah diğeri akşam olmak üzere günde iki kez gökyüzüne balon fırlatılmakta ve 1-5 günlük hava tahminleri bu balonlar yardımıyla yapılmaktadır. Bir balonun maliyeti yaklaşık 150 euro civarındadır ve günlük 300. yıllık ise yaklaşık 110 bin euro geri dönüşümsüz hava tahmini için harcanan paradır. Ayrıca çeşitli hava olaylarından dolayı fırlatılan balonlar bırakıldığı noktada yükselemez mutlaka yön değiştirirler. Bu yön değiştirmeler hava tahminlerinde sapmalar meydana getirir.

Tüm sayılan bu dezavantajları avantaja çevirecek ve Bilimsel mükemmeliyet için tasarlanmış EYVİ projesinin olumlu katkıları şu sonuçları ortaya çıkaracaktır:

- GNSS verilerinde maliyet neredeyse sıfırdır ve hem çok uzun süreli hava tahminleri yapılabilir hemde yeryüzü istasyonlarıyla uydular arası sinyal veri alışverişinde balonlarda olduğu gibi sapma oluşmaz.
- Uzun süreli hava tahminleri analiz çalışmaları yardımıyla tarımsal uygulamalarda da ürün ekim dikimleri için çiftçilere hangi ürünü ekeceği konusunda kılavuz olacaktır.
- Ülkemiz için çok büyük maliyetlere varan yukarıda bahsedilen balon fırlatma yöntemi ülkemizin tamamında sona erecek, geliştirilecek GNSS meteorolojisi ile çok ciddi maddi yılda yaklaşık 110 bin Euro'luk kayıp Türkiye bütçesinde kalacaktır.

Bilimsel mükemmeliyetin ana kilometre taşlarını oluşturacak EYVİ Projesi mutlaka desteklenmesi gereken Ülkemiz için son derece hayati öneme sahip bir projedir.

EYVİ Projesine yaklaşım metodu: Dr. Yılmaz bölgeyi daha önceden bildiği için farklı bir iklim koşulu ve coğrafya olan Bangkok'ta çalışma bölgesinde belirleyeceği yine altıgen şeklinde ortalama 400 km²lik bir alanda yükseklikleri birbirinden mümkün olduğunca farklı 10 noktada statik GNSS ölçümleri ve meteorolojik sensorlerle eşzamanlı meteorolojik verileri (sıcaklık,basınç ve bem) ölçecektir. Türkiye'de yapılan "kış ölçüsü" ve "yaz ölçüsü" uygulama çalışmalarının aksine "kuru sezon ölçüsü" ve " ıslak sezon ölçüsü" şeklinde 2 ölçü kampanyası uygulayacak, ayrı ayrı günlük bazda ortalama 8'er saatlik statik GNSS gözlemi

Elipsodal Yükseklik Verilerinin İyileştirilmesi

gerçekleştirecektir. Söz konusu veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilecektir ^[30]. Ayrıca 2012-2013 yılları arasında Konya’da yapılmış ölçüleri Prof.Satirapod Bernese yazılım programı ile ikinci kez hesaplayacaktır. Koordinat hesaplamalarında Ticari Yazılım Programları; bilimsel amaçlı olmadıkları için kullanılmayacaktır. Dr. Yılmaz, iş paketinde de belirttiği iş adımlarını zamanında gerçekleştirmek amacıyla bizzat Bangkok’ta Prof.Dr.Satirapod’la görüşmüş alet ve ekipmanları incelemiş uygunluğunu bizzat test etmiş ve hatta çalışacağı yeri bile belirlemiştir. Bölgeyi tam olarak bildiği için her hangi bir uyum süreci olmaksızın doğrudan çalışmalara başlayacaktır. Tüm yapılacak iş planları ayrıntılarıyla “İş Paketi Tablosu” Tablo 2.1 de verilmiştir. Dr. Yılmaz EYVİ Projesinin gerçekleştirilmesi konusunda oldukça moralli, sahip olduğu bilgi ve becerisini göstermede son derece yüksek motivasyondadır.

Referanslar

- [1] Kahveci, M., 2009, ve Yıldız, F., GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, ISBN 978-975-591-203-5, Nobel Yayın Dağıtım Tic.Ltd.Şti, Ankara, 1-52.
- [2] Glowacki, T. J, Penna, N. T., and Bourke, W. P., 2006, Validation of GPS-based estimates of integrated water vapor for the Australian region and identification of diurnal variability, *Aust.Met.Mag.* 55, 131-148.
- [3] Kahveci, M., 1997, Investigation On The Effect Of Propagation Errors On Gps Observations In Turkey Region, *Istanbul Technical University*, Istanbul, 2-8.
- [4] Kahveci, M., 2009, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, ISBN 978-9944-0376-1-7, *Zerpa Yayın*, Ankara, 1-3.
- [5] Kahveci, M., 1993, Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesinde GPS Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, (yayımlanmış), *Istanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 28-45
- [6] Erkan, Y., 2008, Troposferik Gecikme Modellerinin GPS Nokta Konumlarına Etkisi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Jeodezi A.B.D. Bşk.lığı Yüksek Lisans Tezi*, 81-85.
- [7] Hopfield, H.S., 1969, Two–quadratic tropospheric refractivity profile for correction satellite data, *Journal of Geophysical Research*, 74(18), 4487 – 4499.
- [8] Hopfield, H.S., 1971, Tropospheric Effect on Electromagnetically Measured Range, *Prediction from Surface Weather Data*.
- [9] Saastamoinen, J., 1973, Contributions to the Theory of Atmospheric Refraction, Part II, *Bulletin Geodesique*, Vol. 107, 13-34.
- [10] Saastamoinen, H., S., 1973, Impact of Different Tropospheric Models on GPS Baseline Accuracy: Case Study in Thailand.
- [11] Satirapod, C., Wang, J.&Rizos, C., 2002, Stochastic Assesment of GPS Carrier Phase Measurements for Precise Static Relative Positioning, *Journal of Geodesy*, 76(2), 95-104
- [12] Boehm, J., Werl, B., veSchuh, H., 2006a Troposphere mapping functions for GPS and VLBI from ECMWF operational analysis data, *Institute of Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Gusshausstrasse 27-29, 1040 Vienna, Austria*, 2-12.
- [13] Bevis, M., Businger, S., Herring, T., A., Rocken, C., Anthes, R. A., Ware, R., H., 1992, GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System. *Journal of Geoph. Res.* Vol.97, No. D14, 15787-15801.
- Distance Measurements and the Influence of Atmospheric Refraction*, 23-28 May, 205-215.
- [14] Erkan, Y., ve Cingöz, A., 2008, Effect of Tropospheric Delay Models on Precision of GPS Coordinates, *Annual Scientific Meeting of Turkish National Geodetic Commission (TUJK)13-15 November, METU, Ankara*, 2-12.
- [15] Janes, H., W., Langley, R., B., Newby, S., P., 1991, Analysis of Tropospheric Delay Prediction Models, Usher Canada Limited, *Edmonton, Alberta TS5, 1K9, Canada*, 62.
- [16] Hopfield, H., S., 1977, Tropospheric Correction of Electromagnetic Ranging Signals to a Satellite, A Study of Parameters, *Paper presented at Symposium on Electromagnetic*
- [17] Kahveci, M., ve Yıldız, F., 2005, Global Konum Belirleme Sistemi (GPS), Teori-Uygulama, *Nobel Yayınevi, Geliştirilmiş 2.baskı*, Ankara, 113-116.
- [18] Dodson A.H., Shardlow P.J., Hubbard L.C.M., Elegered G., and Jarlemark P.O.J., (1996), “Wet Tropospheric effects on precise relative GPS height determination”, *Journal of Geodesy*, No. 70, 1996
- [19] Anthes, R.A., 1983, Regional Models of the Atmosphere in Middle Latitudes, *Monthly Weather Review*, 111, 1306-1335.
- [20] Beutler, G., 1988, Static Positioning With The Global Positioning System (GPS), *State of the Art*, in Groten Strauss (eds.), 363-380.

Elipsodal Yükseklik Verilerinin İyileştirilmesi

- [21] Yılmaz, S., 2014, Gnss Verilerinden Hesaplanan Elipsoid Yüksekliklerinin Atmosferik Verilerle İyileştirilmesi, Doktora Tezi(yayımlanmış), Selçuk Üniversitesi, Konya, 37-104
- [22] Cingöz,A., Demir,C., 2002, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), *Harita Dergisi Özel Sayı*, 16, Ankara, 2-8.
- [23] Niell, A.E., 1996,Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *Journal Geophysical Research*Vol 101(B2), 3227-3246
- [24] Boehm, J., Schuh, H., 2004, Vienna mapping functions in VLBI analyses. *Geophys Res Lett* 31:L01603, doi:10.1029/2003 GL 018984, 1-12.
- [25] Saastamoinen, J., 1972, Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites, in *The Use of Artificial Satellites for Geodesy, Geophys. Monogr.Ser., vol. 15, edited by S. W. Henriksen, A. Mancini, and B.H. Chovitz, pp. , AGU, Washington, D.C., 247-251*
- [26] King, R.,W., 2013, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology *Bldg 54 Room 822 Cambridge*, Kişisel İletişimler
- [27] Kahveci, M., Yağcı, B., Cingoz, A. veAtalar, M. K., 2008, GPS'tenEldeEdilen Su BuharıVerilerininMeteorolojikAmaçlıKullanımı(*GPS Meteorolojisi DevletMeteorolojiİşleriGenelMüdürlüğü*, Ankara, 1-12
- [28] Kahveci, M., Karagöz, H. ve Selbesoğlu,O.M., 2011, *Jeodezi Jeoinformasyon Arazi Yönetimi*, 104, 3-5
- [29] Bai,Z., 2003, Feng, Y., GPS Water Vapor Estimation Using Interpolated Surface Meteorological Data From Australian Automatic Weather Stations. *Journal of GPS*, Vol.2, No 2, 83-89.
- [30] King, R.,W., Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology *Bldg 54 Room 822 Cambridge, MA 02139* GAMIT-USA, GLOB/K Referance Manuel,2-48.
- [31] Bai,Z., 2003, Feng, Y., GPS Water Vapor Estimation Using Interpolated Surface Meteorological Data From Australian Automatic Weather Stations. *Journal of GPS*, Vol.2, No 2, 83-89.
- [32] Bevis,M., Businger, S., Herring, T.,A., Rocken, C., Anthes, R.A., Ware, R.,H., 1992, GPS Meteteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System. *Journal of Geoph.Res.* Vol.97, No. D14, 15787-15801.
- [33]Boehm, J., Heinkelmann, R., Schuh, H., 2007, A Global Model Of Pressure And Temperature For Geodetic Applications, *Geod doi:10.1007/s00190-007-0135-3*, Vienna-Austria, 2-8.