TMMOB
Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

17. TÜRKİYE HARİTA BİLİMSEL VE TEKNİK KURULTAYI

IVS-CONT17 Süresince VLBI ve GNSS (PPP) Tekniklerinden Elde Edilen Günlük Koordinat ve Baz Uzunluğu Tekrarlanabilirlikleri

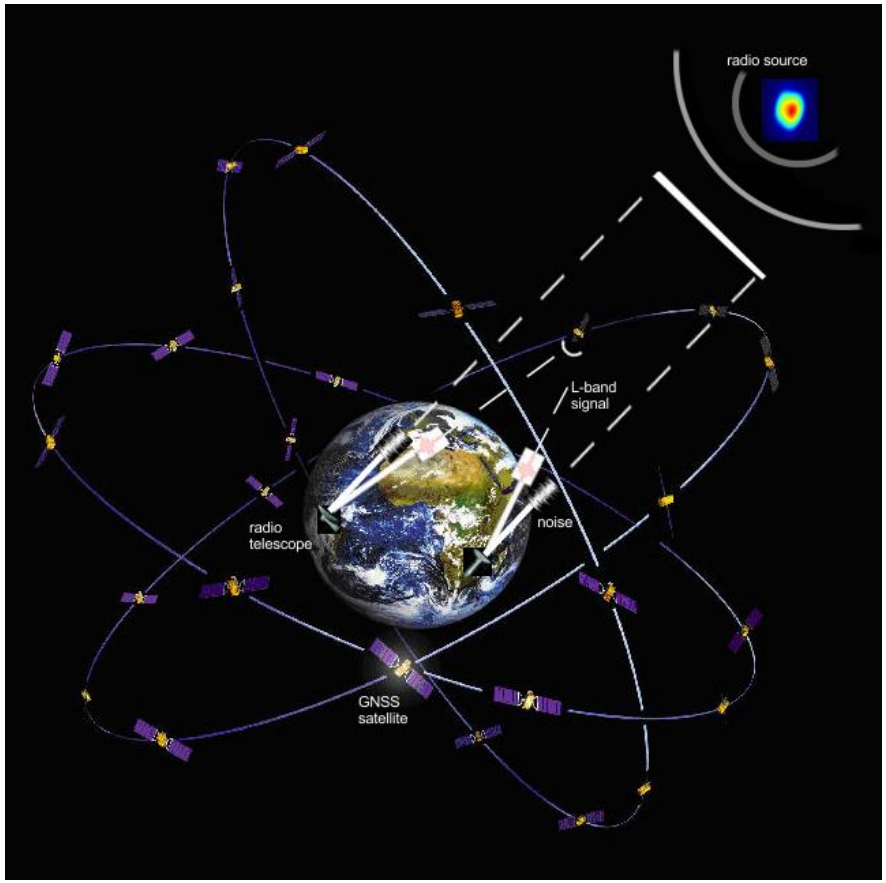
Cemali ALTUNTAŞ[1], Mehmet Fikret ÖCAL[2], Kamil TEKE[2]

[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, cemali@yildiz.edu.tr.
[2]Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

Çalışmanın amaçları

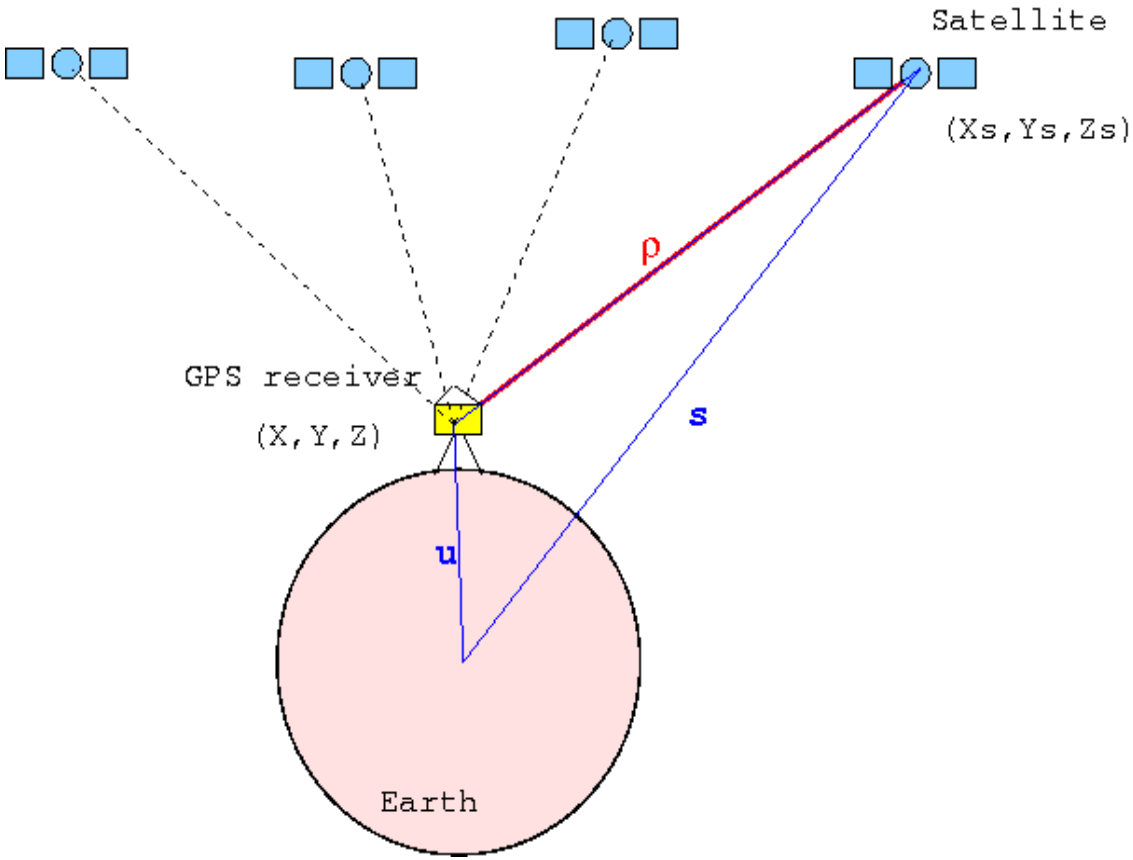
Bir günlük oturumlar boyunca gerçekleştirilen ölçüler kullanıldığında,

- GPS PPP tekniğinin istasyon konum ve baz vektörü belirleme doğruluğunu jeodezik ortak yerleşkeler üzerinden VLBI tekniği ile tekrarlanabilirlik ölçütü üzerinden test etmek,
- VLBI ve GPS PPP analizleri ile kestirilen koordinat ve baz uzunluklarının tekrarlanabilirliklerini karşılaştırmak,
- uydu yükselim açısına bağlı tekrar ağırlıklandırılmış ($w = \cos^2(z)$, z: başucu açısı) ve ağırlıklandırılmamış ($w = 1$) ölçülerin tekrarlanabilirlik sonuçlarını nasıl etkilediğini ortaya koymaktır.



GNSS ve VLBI teknikleri (www.gfz-potsdam.de)

Hassas Nokta Konumlama (PPP)



Hassas Nokta Konumlama (PPP) temel çalışma prensibi (gssc.esa.int)

Hassas Nokta Konumlama (PPP)

- İyonosfer-bağımsız lineer kombinasyon katsayıları:

$$\alpha_{IB} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \qquad \beta_{IB} = -\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}$$

- Katsayıların kod ve faz gözlemlerinde yerlerine koyulması:

$$P_{DK}^{u,j} = \alpha P_{1,a}^{u,j} + \beta P_{2,a}^{u,j} \qquad L_{DK}^{u,j} = \alpha L_{1,a}^{u,j} + \beta L_{2,a}^{u,j}$$

Hassas Nokta Konumlama (PPP)

- Kod ve faz gözlemleri için iyonosfer-bağımsız kombinasyon denklemleri:

$$P_{IB,a}^{u,j} = \rho_a^{u,j} + cdt_a^u - cdt^{u,j} + T_a^{u,j} + b_{P_{IB},a}^u - b_{P_{IB}}^{u,j} + \varepsilon(P_{IB,a}^{u,j})$$

$$L_{IB,a}^{u,j} = \rho_a^{u,j} + cdt_a^u - cdt^{u,j} + T_a^{u,j} + \lambda_{IB}^u N_{IB}^{u,j} + b_{L_{IB},a}^u - b_{L_{IB}}^{u,j} + \varepsilon(L_{IB,a}^{u,j})$$

$$b_{P_{IB},a}^u = \alpha_{IB} b_{P_1,a}^u + \beta_{IB} b_{P_2,a}^u$$

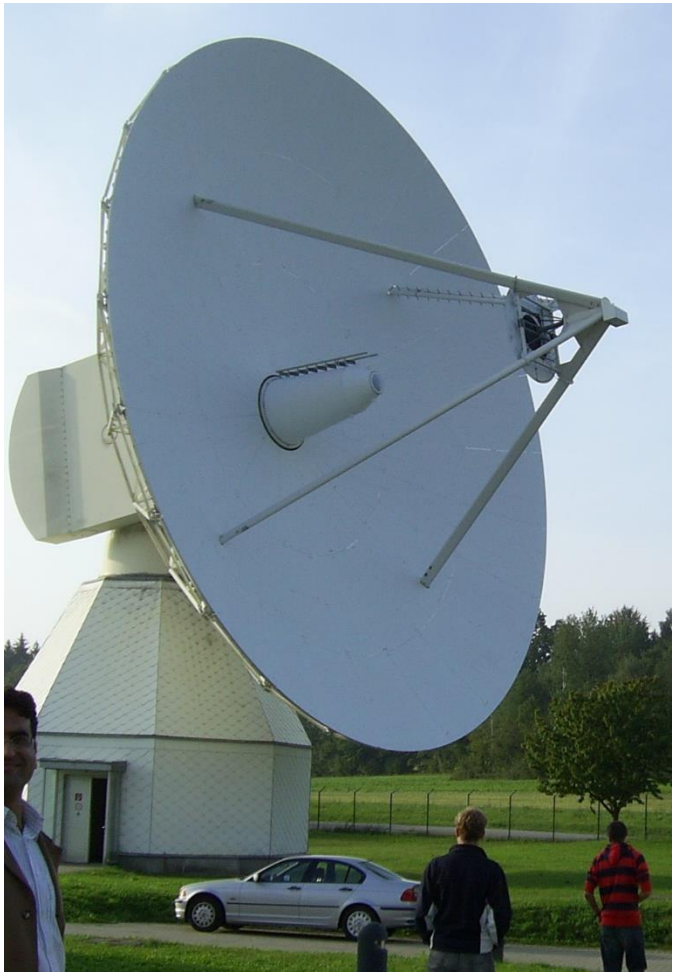
$$b_{P_{IB}}^{u,j} = \alpha_{IB} b_{P_1}^{u,j} + \beta_{IB} b_{P_2}^{u,j}$$

$$b_{L_{IB},a}^u = \alpha_{IB} b_{L_1,a}^u + \beta_{IB} b_{L_2,a}^u$$

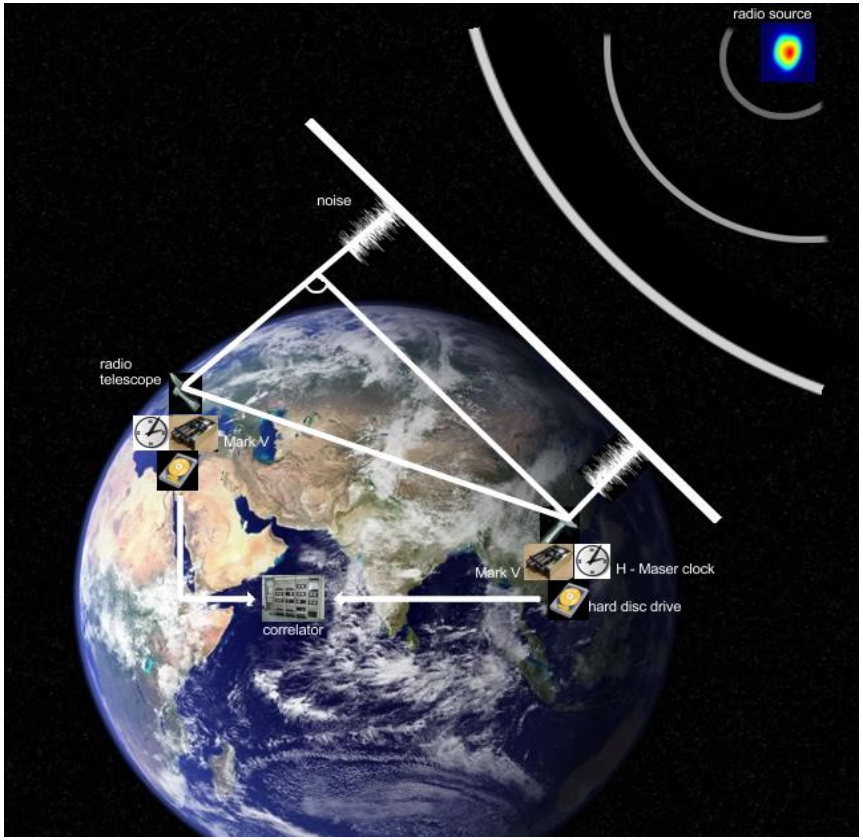
$$b_{L_{IB}}^{u,j} = \alpha_{IB} b_{L_1}^{u,j} + \beta_{IB} b_{L_2}^{u,j}$$

$$\lambda_{IB}^u N_{IB}^{u,j} = \alpha_{IB} \lambda_1^u N_{IB}^{u,j} + \beta_{IB} \lambda_2^u N_2^{u,j}$$

Çok Uzun Baz İnterferometrisi (VLBI)



20 m çaplı radyo teleskobu, Wettzell Jeodezik Gözlemevi, Almanya



VLBI ölçü prensibi (www.gfz-potsdam.de)

VLBI ölçü denklemi

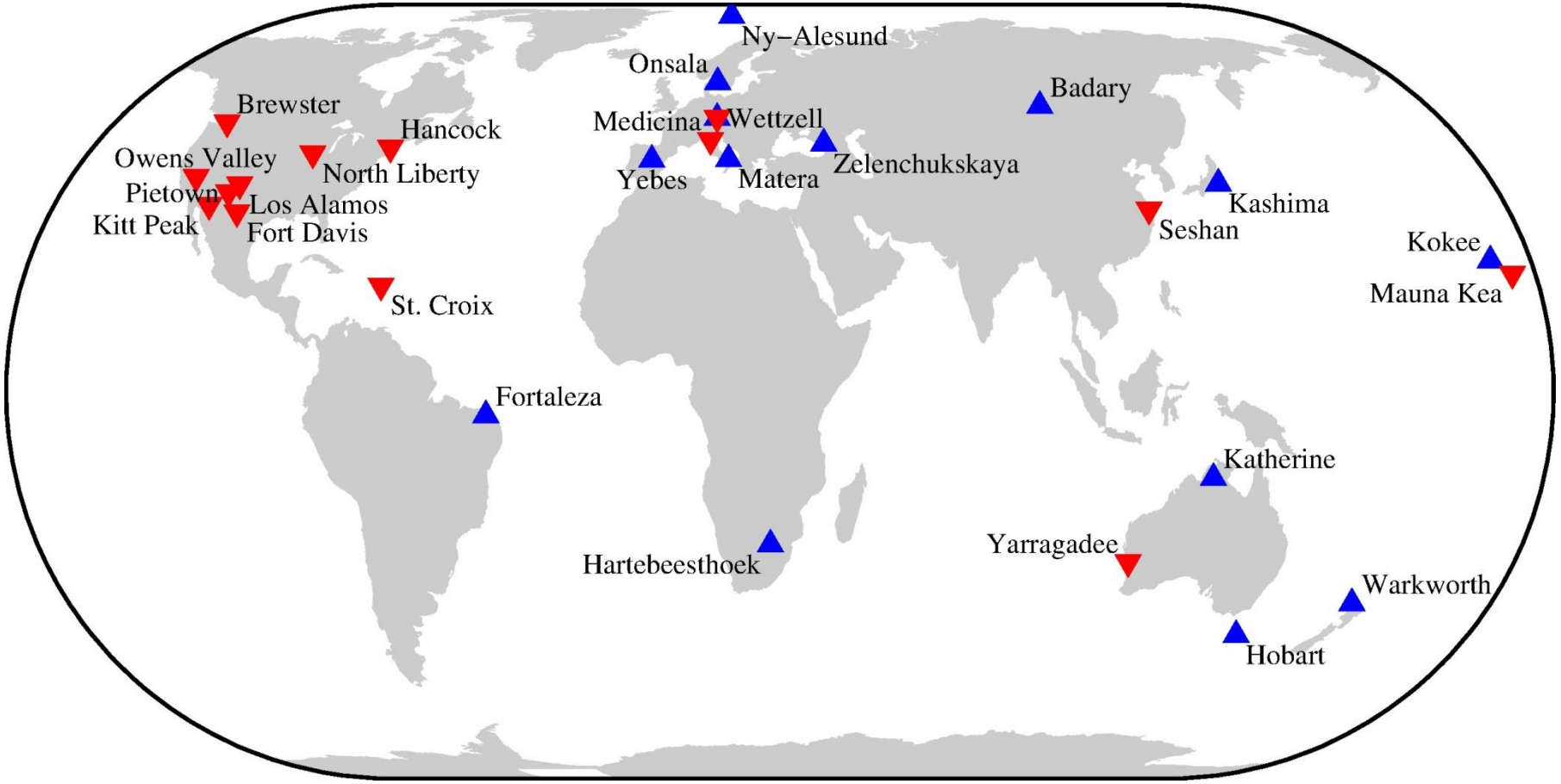
$$\tau = -\frac{1}{c}.b^T.W.R.Q.k + \Delta\tau_{saat} + \Delta\tau_{tropo} + \tau_{diger}$$

$$k = \begin{bmatrix} \cos\delta\cos\alpha \\ \cos\delta\sin\alpha \\ \sin\delta \end{bmatrix}_{CRF}$$

$$b = \begin{bmatrix} X_2 - X_1 \\ Y_2 - Y_1 \\ Z_2 - Z_1 \end{bmatrix}_{TRF}$$

VLBI ölçü prensibi (svs.gsfc.nasa.gov)

IVS-CONT17 oturumları



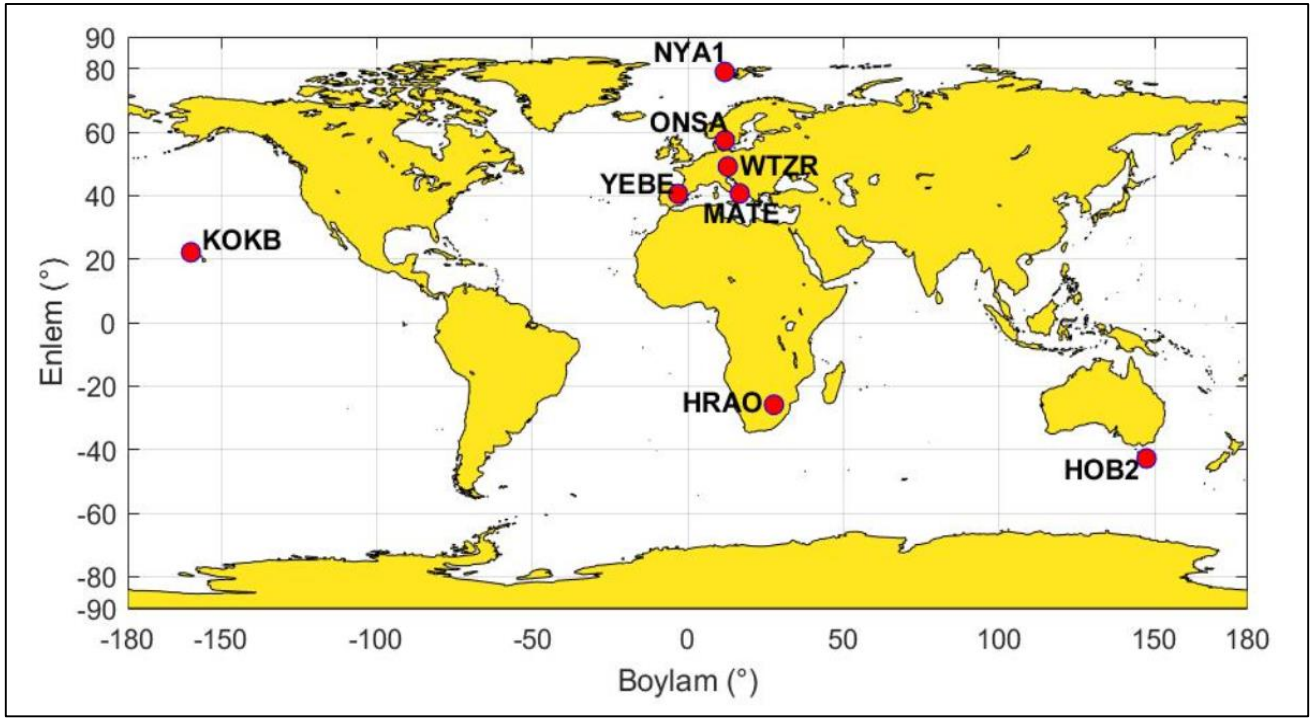
CONT17 Legacy-1 VLBI ağı (mavi üçgenler) (ivscc.gsfc.nasa.gov)

CONT17 Legacy-1 istasyon isimleri, kısaltmaları ve gözlemevleri

İsim	Kod	Gözlemevi adı ve konumu
BADARY	Bd	Badary Radyo Astronomi Gözlemevi, Rusya
FORTLEZA	Ft	Kuzeydoğu Uzay Radyo Gözlemevi, Fortaleza, Brezilya
HART15M	Ht	Hartebeesthoek Radyo Astronomi Gözlemevi, Güney Afrika
HOBART26	Ho	Mt. Pleasant Radyo Astronomi Gözlemevi, Hobart, TAS, Avustralya
KASHIM11	K1	Kashima VLBI İstasyonu, Japonya
KATH12M	Ke	Katherine Gözlemevi, Katherine, NT, Avustralya
KOKEE	Kk	Kokee Park Jeofiziksel Gözlemevi, Kauai, HI, ABD
MATERA	Ma	G. Colombo Uzay Jeodezisi Merkezi, Matera, İtalya
NYALES20	Ny	Ny Ålesund Jeodezik Gözlemevi, Spistbergen, Norveç
ONSALA60	On	Onsala Uzay Gözlemevi, İsveç
WARK12M	Ww	Warkworth VLBI İstasyonu, Yeni Zelanda
WETTZELL	Wz	Wettzell Jeodezik Gözlemevi, Almanya
YEBES40M	Ys	Yebes Astronomi Merkezi, İspanya
ZELENCHK	Zc	Zelenchukskaya Radyoastronomik Gözlemevi, Rusya

Yöntem

- Tarih aralığı: 28 Kasım 2017 – 12 Aralık 2017
- IVS istasyonları: HART15M, HOBART26, KOKEE, MATERA, NYALES20, ONSALA60, WETTZELL, YEBES40M
- IGS istasyonları: HRAO, HOB2, KOKB, MATE, NYA1, ONSA, WTZR, YEBE



Çalışmamızda esas aldığımız VLBI ve GNSS ortak yerleşkelerinin coğrafi konumları

Yöntem

- günlük VLBI çözümleri **VieVS V3.1 (Vienna VLBI and Satellite Software)** VLBI analiz yazılımı (https://vievswiki.geo.tuwien.ac.at/) ile,

TU WIEN VieVS Vienna VLBI and Satellite Software

- günlük PPP çözümleri **Bernese V5.2** GNSS analiz yazılımı (http://www.bernese.unibe.ch/) ile gerçekleştirilmiştir.

Bernese GNSS Software

GNSS ve VLBI ölçülerinin analizinde ortak parametrizasyon

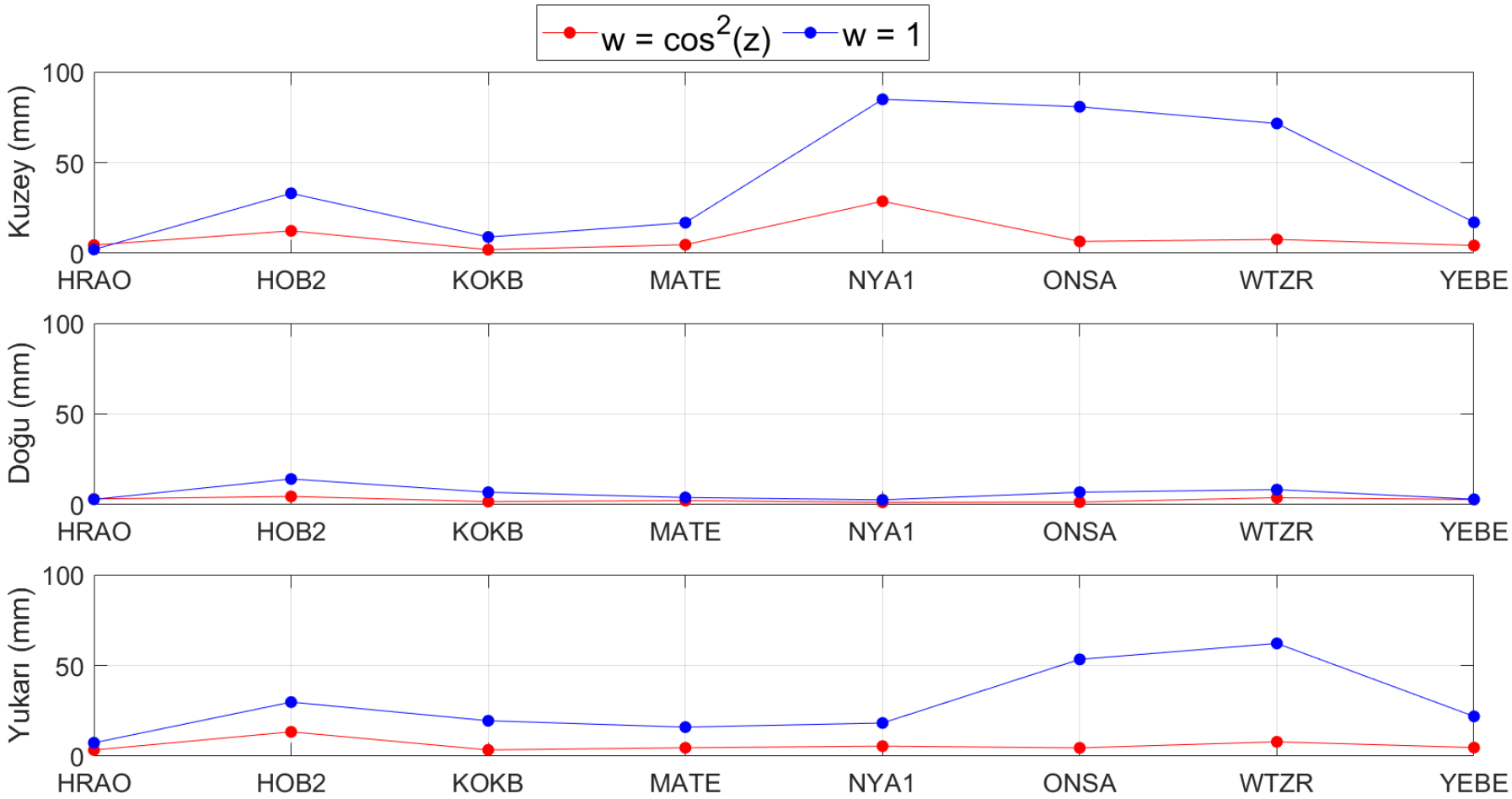
DATUM	ITRF2014 (NNT + NNR)
UYDU SİSTEMİ	Yalnızca GPS
BAŞUCU YÖNÜNDEKİ HİDROSTATİK (KURU) SİNYAL GECİKMELERİ	(Saastamoinen 1972)
TROPOSFER İZDÜŞÜM FONKSİYONU	Vienna Mapping Functions 1 (VMF1, Böhm vd. 2006)
OKYANUS GELGİT MODELİ	FES2004 (Lyard vd. 2006)
JEODİNAMİK ETKİLERDEN KAYNAKLANAN YER DEĞİŞTİRMELER	IERS 2010 konvansiyonlarına uygun modeller (Petit ve Luzum 2010).
NUTASYON OFSETLERİ	IAU 2006 presesyon-nutasyon model değerleri
ANTEN/İSTASYON KOORDİNATLARI	Her gün için (12:00 UT) kestirimi yapılmıştır.
MİNİMUM YÜKSEKLİK AÇISI (CUT-OFF ANGLE)	5°
YÜKSELİM AÇISINA BAĞLI YENİDEN AĞIRLIKLANDIRMA	İki ayrı şekilde yapılmıştır: • $w = \cos^2 z$ (z: başucu açısı) • $w = 1$ (eşit ağırlıklı)

PPP ve IGS koordinat farklarının standart sapmaları

IGS İstasyonu	Ağırlıklandırma katsayısı = $\cos^2 z$			Ağırlıklandırma katsayısı = 1		
	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
HRAO	4.5	3.1	3.4	2.1	2.9	7.4
HOB2	12.3	4.6	13.4	33.0	14.2	29.8
KOKB	2.0	1.7	3.4	8.9	6.8	19.5
MATE	4.7	2.3	4.6	16.8	4.0	16.0
NYA1	28.6	1.3	5.5	84.8	2.6	18.3
ONSA	6.5	1.4	4.6	80.7	6.9	53.3
WTZR	7.6	3.8	7.9	71.5	8.3	62.1
YEBE	4.3	2.8	4.7	17.0	3.0	21.9

12 UT epoklarında 15 gün için 8 ortak noktada
iki farklı ağırlıklandırma yöntemiyle gerçekleştirdiğimiz PPP çözümlerinden elde edilen koordinatların
IGS hassas koordinat ürünlerinden farklarının standart sapma değerleri

PPP ve IGS koordinat farklarının standart sapmaları



İki farklı ağırlıklandırma yöntemiyle gerçekleştirilen PPP çözümlerinden elde edilen koordinatların IGS hassas koordinat ürünlerine göre karesel ortalama hataları

Koordinat tekrarlanabilirlikleri

- GNSS ve VLBI istasyonları için,
- 8 adet ortak yerleşkede,
- PPP, IGS ve VLBI çözümlerinden,
- 15 adet, 12 UT epoklu koordinatın kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri ve standart hataları kestirimleri,

kullanılarak ağırlıklı ortalama (weighted mean, WM) ve ağırlıklı standart sapma (weighted root mean square difference, WRMS) değerleri hesaplanmıştır.

$$WM_{c,j} = \frac{\sum_{i=1}^{15} \frac{c_{i,j}}{s^2_{c_{i,j}}}}{\sum_{i=1}^{15} \frac{1}{s^2_{c_{i,j}}}}$$

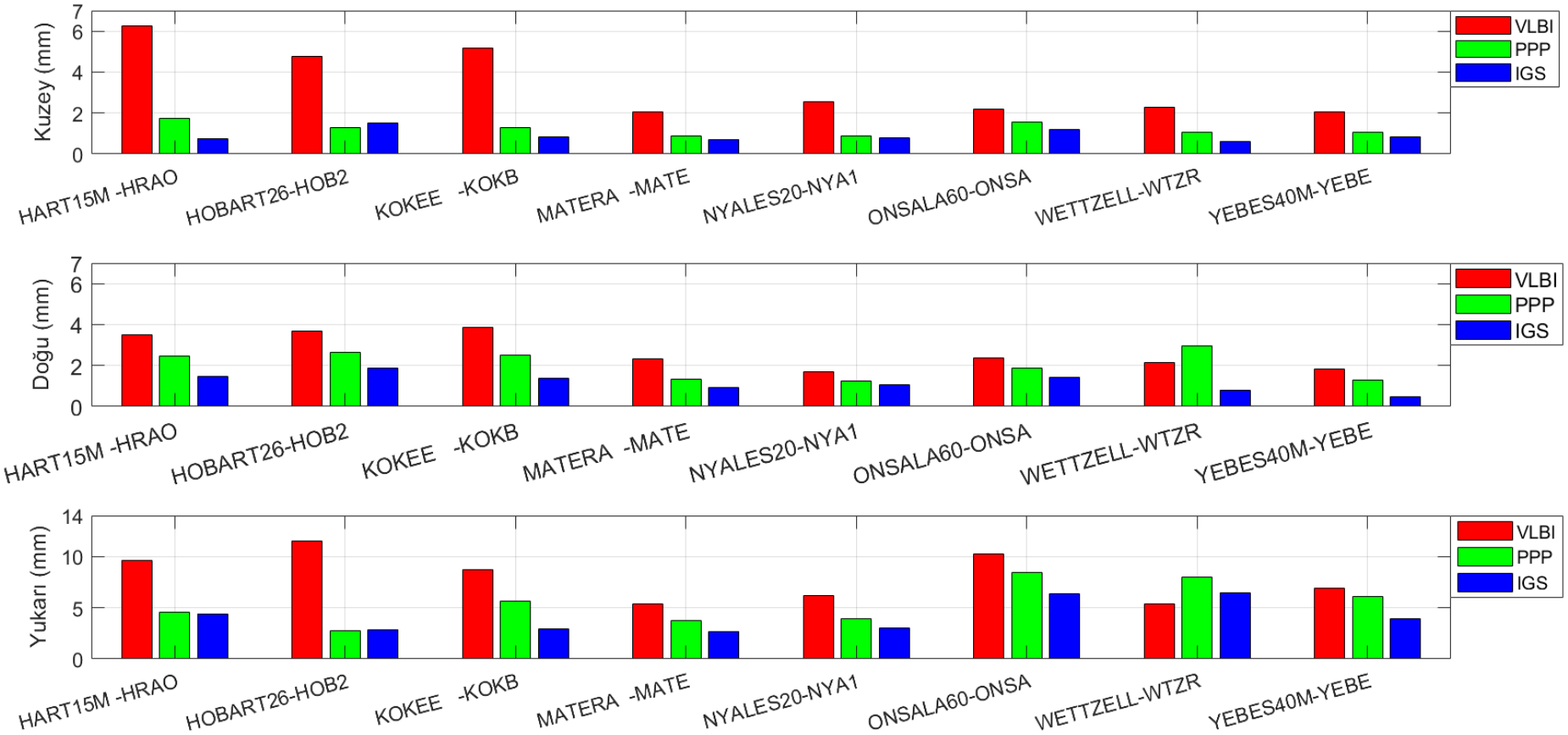
$$WRMS_{c,j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} \frac{(c_{i,j} - WM_{c,j})^2}{s^2_{c_{i,j}}}}{\sum_{i=1}^{15} \frac{1}{s^2_{c_{i,j}}}}}$$

c = kuzey, doğu, yukarı.
i = çözümler (15 gün)
j = VLBI, PPP, IGS.

Koordinat tekrarlanabilirlikleri

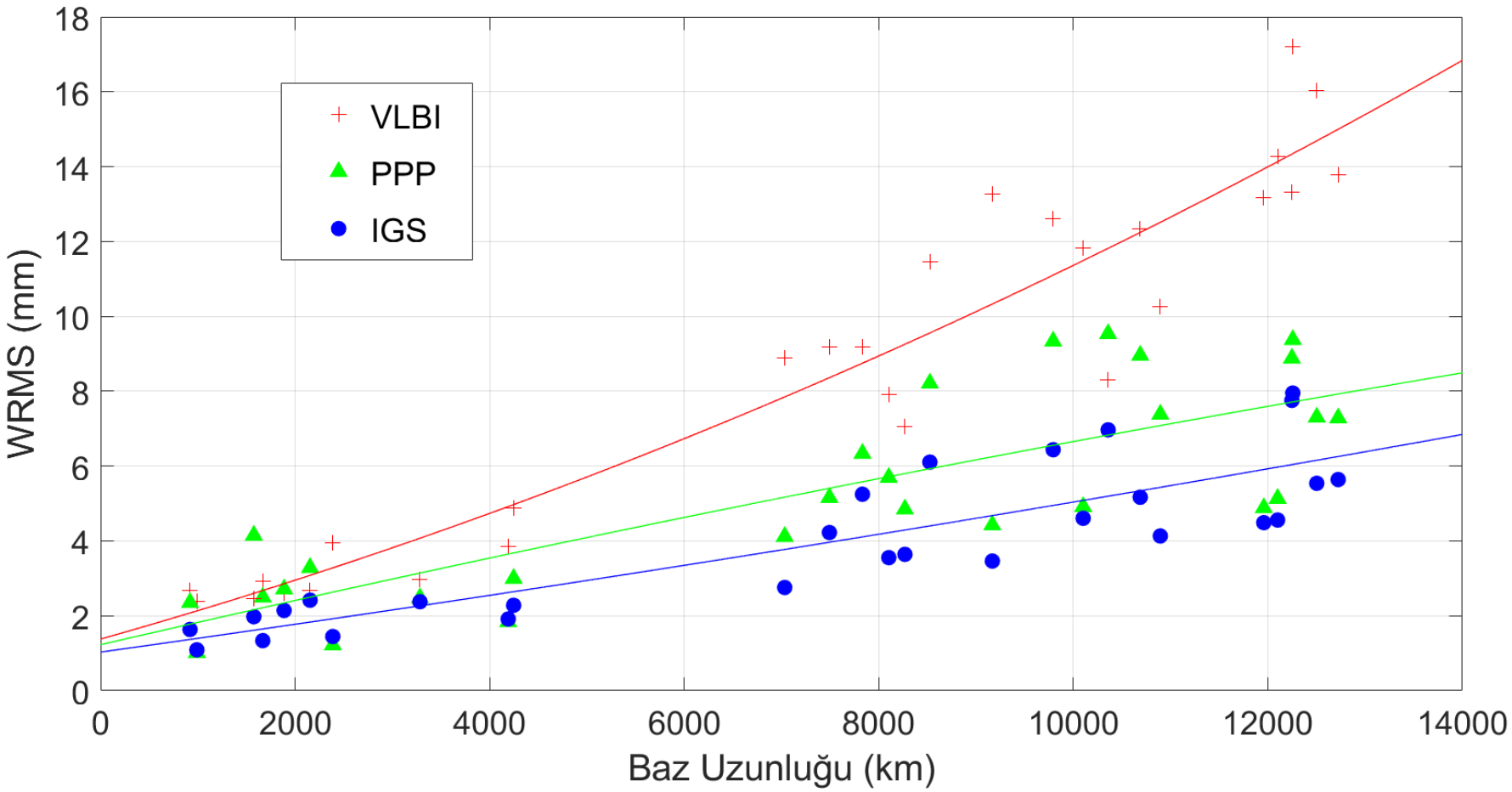
İstasyonlar	VLBI (mm)			PPP (mm)			IGS (mm)		
	Kuzey	Doğu	Yukarı	Kuzey	Doğu	Yukarı	Kuzey	Doğu	Yukarı
HART15M HRAO	6.2	3.5	9.7	1.8	2.4	4.6	0.8	1.5	4.4
HOBART26 HOB2	4.8	3.7	11.5	1.3	2.7	2.7	1.5	1.9	2.9
KOKEE KOKB	5.2	3.9	8.7	1.3	2.5	5.6	0.8	1.4	2.9
MATERA MATE	2.1	2.3	5.3	0.9	1.3	3.7	0.7	0.9	2.7
NYALES20 NYA1	2.5	1.7	6.2	0.9	1.2	3.9	0.8	1.1	3.0
ONSALA60 ONSA	2.2	2.4	10.2	1.6	1.9	8.4	1.2	1.4	6.4
WETTZELL WTZR	2.3	2.1	5.3	1.1	3.0	7.9	0.6	0.8	6.5
YEBES40M YEBE	2.1	1.8	6.9	1.1	1.3	6.1	0.9	0.5	3.9
ORTALAMA	**3.4**	**2.7**	**8.0**	**1.2**	**2.0**	**5.4**	**0.9**	**1.2**	**4.1**

Koordinat tekrarlanabilirlikleri



Koordinat tekrarlanabilirlikleri

Baz tekrarlanabilirlikleri



VLBI ve PPP çözümleri ile IGS ürünlerinden hesaplanan baz tekrarlanabilirlikleri

Baz tekrarlanabilirlikleri

VLBI ve PPP çözümlerimiz ile IGS ürünlerinden hesaplanan baz tekrarlanabilirliklerinin 28 baz üzerinden ortalamaları

Baz Uzunluğu	VLBI (mm)	PPP (mm)	IGS (mm)
< 5000 km	3.1	2.5	1.9
> 7000 km	11.7	6.8	5.1
TÜMÜ	8.6	5.2	4.0

Sonuçlar ve öneriler

- GNSS ve VLBI ölçülerinin yükselim açısına bağlı olarak tekrar ağırlıklandırılmasının, diğer bir ifade ile yükselim açısı küçük olan ölçülerin ağırlıklarının düşürülmesinin, kesitirilen koordinat bileşenlerinin doğruluğunu yükselttiği saptanmıştır.
- Koordinat ve baz tekrarlanabilirliklerinde en iyi sonucu GNSS (IGS) vermiştir.
- 5000 km'ye kadar baz tekrarlanabilirliklerinde anlamlı bir fark görülmemektedir.
- Ancak, 7000 km'den fazla bazlarda beklenenin aksine PPP çözümünden (6.8 mm) ve IGS ürünlerinden (5.1 mm) elde edilen bazların VLBI çözümünden kestirilenlere (11.7 mm) göre yaklaşık iki kat daha iyi tekrarlanabilirliğe (daha iyi doğruluğa) sahip olduğu görülmüştür.
- Her bir istasyon için bir günlük ölçü sayısı:
  - ✓ VLBI: ~1000
  - ✓ GPS: ~27800
- Gelecekte, VLBI tekniğine alternatif olarak TRF'in ölçeğinin belirlenmesi için GNSS PPP datumdan bağımsız normal denklem sistemleri, TRF global çözümlerinde, inter-teknik kombinasyonlarına dahil edilebilir.

Kaynaklar

- Aslan A.M., (2005), *Bernese ile 10 km'ye kadar bazlarda GPS elipsoidal yüksekliklerinin belirlenmesinde strateji araştırması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bahadur B., Nohutcu M., (2018), *PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis*, GPS Solutions, 22(4), 113.
- Böckmann S., Artz T., Nothnagel A., (2010), *VLBI terrestrial reference frame contributions to ITRF2008*, Journal of Geodesy, doi: 10.1007/s00190-009-0357-7.
- Böhm J., Schuh H., Werl B., (2006), *Troposphere mapping functions for GPS and Very Long Baseline Interferometry from European Center for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data*, Journal of Geophysical Research, 111(B02406).
- Böhm J., Spicakova H., Plank L., Teke K., Pany A., Wresnik J., Englich S., Nilsson T., Schuh H., Hobiger T., Ichikawa R., Koyama Y., Gotoh T., Kubooka T., Otsubo T., (2009), *Plans for the Vienna VLBI software VieVS*, Proc. 19:th Working Meeting European VLBI for Geodesy and Astrometry'in İçinde, Bordeaux, France, ss.161-164.
- Böhm J., Schuh H., Spicakova H., Steigenberger P., Urquhart L., (2011), *Impact of a priori gradients on VLBI-derived terrestrial reference frames*, Proceedings 20th Meeting of the European VLBI Group for Geodesy and Astronomy'in İçinde, (Alef W., Bernhart S., Nothnagel A., Ed.), İnstitut für Geodäsie und Geoinformation, Universität Bonn, Germany, ss.128-132.
- Campbell J., Mantovani F. ve Kus A., (Ed.), (2004), *VLBI for Geodesy and Geodynamics*, The Role of VLBI in Astrophysics, Astrometry and Geodesy'in İçinde, Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA, ss.359-381.
- Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P., (2015), *Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual*, Bern Open Publishing, Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland.
- Fey A., Gordon D., Jacobs C., (2009), *The Second Realization of the International Celestial Reference Frame by Very Long Baseline Interferometry*, IERS Technical Note 35, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 204ss.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E., (2008), *GNSS-Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more*, Springer-Verlag, Vienna, Austria.
- Kouba J., Springer T., (2001), *New IGS station and satellite clock combination*, GPS Solutions, 4(4), 31-36.
- Kouba J., Héroux P., (2001), *Precise point positioning using IGS orbit and clock products*, GPS Solutions, 5(2), 12-28.
- Lyard F., Lefevre F., Latellier T., Francis O., (2006), *Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004*, Ocean Dynamics, 56, 394-415.

Kaynaklar

- Petit G., Luzum B., (2010), *IERS conventions 2010*, IERS Technical Note 36, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 179ss.
- Rebischung P., Altamimi Z., Ray J., Garayt B., (2016), *The IGS contribution to ITRF2014*, Journal of Geodesy, 90(7), 611-630.
- Rodrigo F.L., Marcelo C.S., (2011), *Analysing GNSS data in precise point positioning software*, GPS Solutions, 15(1), 1-13.
- Saastamoinen J., (1972), *Introduction to practical computation of astronomical refraction*, Bulletin Geodesique, 46, 383-397.
- Schlüter W., Behrend D., (2007), *The International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS): current capabilities and future prospects*, Journal of Geodesy, 81(6-8), 379-387.
- Sovers O., Fanselow J., Jacobs C., (1998), *Astrometry and geodesy with radio interferometry: expreiments, models, results*, Reviews of Modern Physics, 70(4), 1393-1453.
- Takahashi F., Kondo T., Koyama Y., Takahashi Y., (2000), *Wave Summit Course: Very Long Baseline Interferometer*, Published by Ohmsha, Ltd., ISBN: 1-58603-076-0 (IOS Press), Tokyo, Japan.
- Teke K., Boehm J., Schuh H., Tanir Kayikçi E., (2009), *Çok Uzun Baz Enterferometrisi (VLBI) tekniğinde saat hatası ve troposferik gecikme parametre kestirim modelleri*, Harita Dergisi, 142, 1-16.
- Teke K., Böhm J., Dach R., Espada S.G., Haas R., Heinkelmann R., Hobiger T., Ichikawa R., Nilsson T., Schuh H., Shimizu S., Steigenberger P., Willis P., (2011), *Multi-technique comparison of troposphere zenith delays and gradients during CONT08*, Journal of Geodesy, 85(7), 395-413.
- Teke K., Öcal M., (2017), *Yüksek-frekanslı Yer dönme parametrelerinin IVS-CONT14 kampanyasının analizi ile kestirimi ve IERS2010 modeli ile karşılaştırılması*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(2), 628-637.
- Yang G., Chen X., (2002), *A new method for carrier-phase-based precise point positioning*, Navigation, 49(2), 109-116.
- Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson M., Watkins M., Webb F.H., (1997), *Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks*, Journal of Geophysical Research, 102(B3), 5005-5017.
- URL-1, https://ivscc.gsfc.nasa.gov/program/cont17, [Erişim 29 Mart 2019].
- URL-2, http://www.igs.org/products#Geocentric, [Erişim 29 Mart 2019].

IVS-CONT17 Süresince VLBI ve GNSS (PPP) Tekniklerinden Elde Edilen Günlük Koordinat ve Baz Uzunluğu Tekrarlanabilirlikleri

Cemali ALTUNTAŞ[1], Mehmet Fikret ÖCAL[2], Kamil TEKE[2]

[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, cemali@yildiz.edu.tr.
[2]Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

Dinlediğiniz için teşekkür ederiz.

TMMOB
Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası
1954

17. TÜRKİYE HARİTA BİLİMSEL VE TEKNİK KURULTAYI