



# Avrupada Düşey Yönde Oluşan Kabuk Hareketlerinin VLBI ile Belirlenmesi

Emine TANIR (1)  
Kamil TEKE (2,3)  
Harald SCHUH (2)



- (1) Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon  
(2) Technische Universität Wien, Institut für Geodäsie and Geophysik, Viyana, AVUSTURYA  
(3) Hacettepe Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ankara



# Çalışmanın Amacı

- **Uluslararası Çok Uzun Baz Enterferometrisi Jeodezi ve Astrometri Servisi (IVS)** tarafından 1990-2010 yılları arasında yapılan **Avrupa VLBI oturumlarının** analiz sonuçlarıyla Avrupa'daki düşey yöndeki kabuk hareketlerinin belirlenmesi.
- Çalışmadan elde edilen sonuçların, daha önce VLBI ölçü tekniği ile elde edilmiş **düşey yöndeki hızlarla karşılaştırılması.**
- VLBI sonuçlarının **GNSS hızları ile karşılaştırılması.**

# IVS Avrupa Jeodezik VLBI İstasyonları



**ONSALA, 20&25 m**  
İsviçre



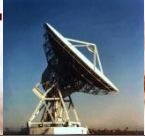
**SVETLOE, 32 m**  
Rusya



**WETTZELL, 20 m**  
Almanya



**Zelenchukskaya, 32 m**  
Rusya



**MEDICINA, 32 m**  
İtalya



**NOTO, 32 m**  
İtalya



**IVS- Avrupa oturumları 1989'un sonundan buyana düzenli olarak yapılmaktadır.**

## **ölçü serilerinin amaçları**

- Avrupa'daki düşey yöndeki kabuk hareketlerinin belirlenmesi.
- Avrupa'da kullanılan diğer uzay jeodezik teknikleri için sabit bir referans ağının (çatısının) oluşturulması.

Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTU), Harita Mühendisliği Bölümünde yapılanan '**KTU GEOD' VLBI Analiz Merkezi, IVS (International VLBI Service) tarafından öngörülen** bilimsel faaliyetlerini öncelikli olarak Avrupa VLBI Ağı (European VLBI Network, EVN) ve Avrupa Yersel Referans Sistemi (European Terrestrial Reference System, ETRS)'nin gelişimine katkı sağlayacak şekilde şekillendirmektedir.

**KTU GEOD IVS Analiz Merkezinde,** Viyana Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Jeofizik Enstitüsü'nde geliştirilen **VieVS (Vienna VLBI Software)** yazılımını kullanılmaktadır.

# VieVS (Viyana VLBI Yazılımı)



- IERS 2003 konvansiyonlarını temel alan ve **MATLAB dilinde** yazılmış **güncel** bir VLBI **jeodezik ve jeofizik parametre kestirim** yazılımıdır.
- VLBI parametrelerini Gauss-Markof modeline uygun **En Küçük Kareler (EKK) kestirim** yöntemi ile elde etmektedir.
- Japonya, Çin, Rusya, Almanya, İtalya, İsveç, Finlandiya, Avusturya ve Türkiye olmak üzere toplam **9 ülkeden resmi kullanıcılar** tarafından kullanılmaktadır.

## ANALİZ

IVS-Avrupa oturumları, VieVS VLBI yazılımını kullanarak analiz edilmiştir.

## ZAMAN SERİLERİNİN ÜRETİMİ

Antenlerin ilgili epokları için dengelenmiş koordinatlarının kestiriminden sonra, her bir anten için konum zaman serisi üretilmiştir.

## EN KÜÇÜK KARELER KESTİRİMİ

Radyo teleskop koordinatlarından trendlerin (hız) belirlenmesi birinci dereceden polinoma en küçük kareler uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

İstasyonlar	IVS-Avrupa Oturumları Analizinden Elde Edilen Hızlar (cm/yıl)			ITRF 2005 Hızları (cm/yıl)			VTRF 2008 Hızları (cm/yıl)		
	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>
MATERA	-1.83	1.90	1.49	-1.80	1.89	1.55	-1.86	1.89	1.47
MEDICINA	-1.83	1.87	1.11	-1.82	1.88	1.10	-1.79	1.88	1.13
WETTZELL	-1.56	1.70	1.03	-1.56	1.68	1.04	-1.57	1.70	1.03
ONSALA60	-1.38	1.46	1.08	-1.37	1.44	1.09	-1.40	1.44	1.06
SVETLOE	-1.94	1.17	0.74	-1.68	1.43	0.88	-1.83	1.22	0.83
NYALES20	-1.40	0.73	1.05	-1.42	0.71	1.02	-1.42	0.73	1.08

**Tablo 1.** IERS'in ITRF 2005 ve VTRF 2008 inter-teknik kombinasyonla elde edilmiş TRF çözümleri ile IVS-Avrupa oturumlarının VieVS çözümünden elde edilen hız vektörleri (bütün çözümler 2000.0 referans epoğunda hesaplanmıştır).





$$test\_değeri = \frac{kestirim}{karasal\ ortalama\ hatası} > t\_tablo_{0.95, f}$$

$f$  : kestirimde kullanılan koordinat sayısı

**Gerçekleştirilen parametre kestirimi  
istatistik olarak anlamlıdır...**

İstasyonlar	IVS-Avrupa Oturumları Analizinden Elde Edilen Hızlar (cm/yıl)			ITRF 2005 Hızları (cm/yıl)			VTRF 2008 Hızları (cm/yıl)		
	$V_K$	$V_D$	$V_R$	$V_K$	$V_D$	$V_R$	$V_K$	$V_D$	$V_R$
<b>MATERA</b>	1.92	2.35	0.03	1.95	2.33	0.11	1.92	2.35	0.02
<b>MEDICINA</b>	1.77	2.20	-0.23	1.77	2.21	-0.23	1.77	2.20	-0.19
<b>WETZELL</b>	1.54	2.00	0.03	1.55	1.99	0.04	1.55	2.01	0.03
<b>ONSALA60</b>	1.47	1.71	0.35	1.47	1.69	0.36	1.47	1.70	0.32
<b>SVETLOE</b>	1.31	2.07	0.04	1.08	2.08	0.40	1.26	1.97	0.24
<b>NYALES20</b>	1.40	1.00	0.81	1.42	0.99	0.76	1.42	1.01	0.82

**Tablo 2.** IVS-Avrupa Oturumlarının VieVS yazılımı ile analizinden elde edilen K (Kuzey), D (Doğu) ve R (Radyal) yönündeki hızları.

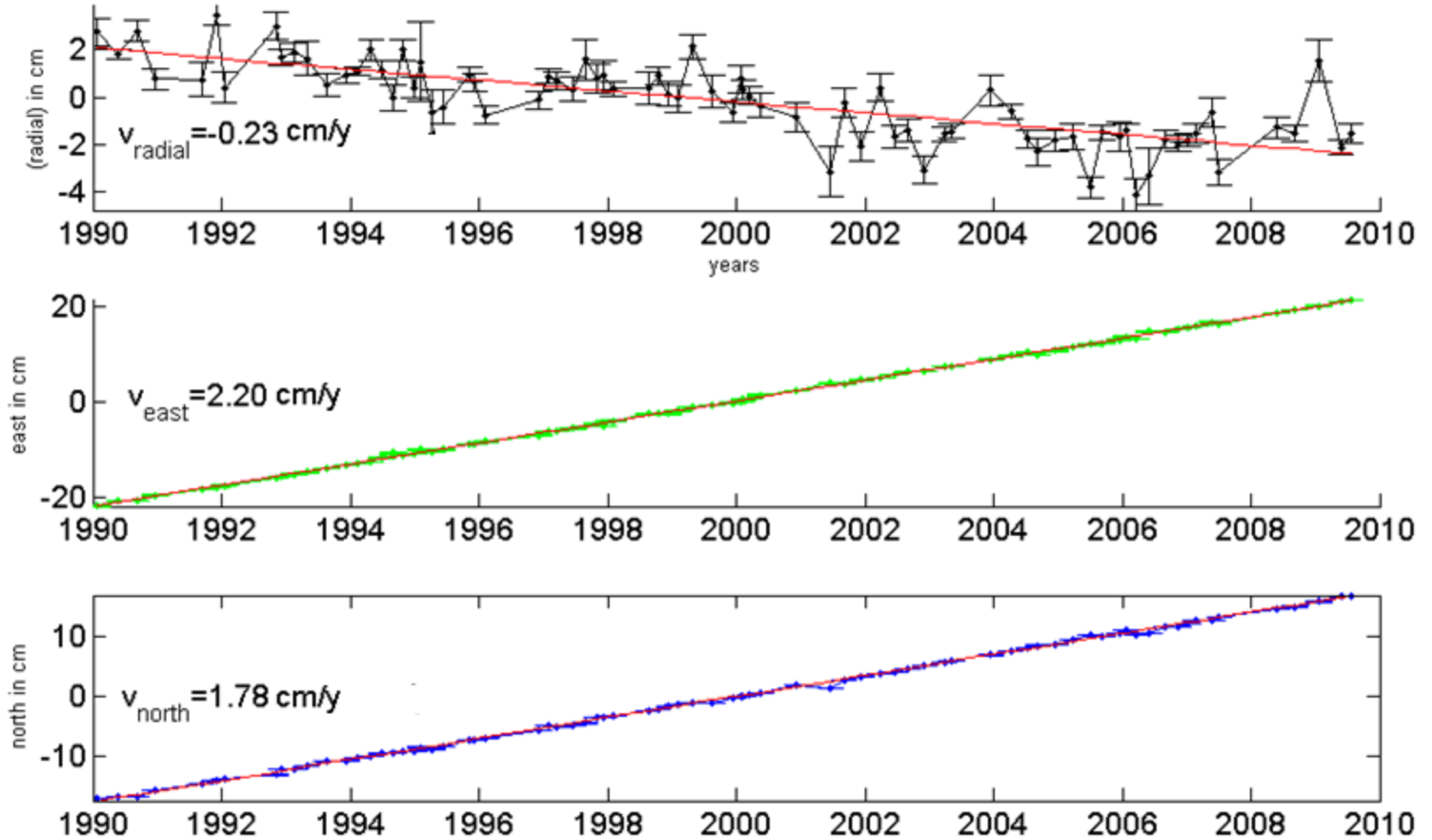
Lokal toposentrik koordinat sisteminde VLBI referans noktalarındaki IVS-Avrupa çözümleri zaman serilerinden elde edilen kestirilmiş hızların ITRF 2005 ve VTRF 2008 çözümleri hızları ile karşılaştırılması

İstasyonlar	IVS-Avrupa Oturumlarından elde edilen hızlarla ITRF 2005 hızlarının farkı (cm/yıl)			IVS-Avrupa Oturumlarından elde edilen hızlarla VTRF 2008 hızlarının farkı (cm/yıl)		
	$V_K$	$V_D$	$V_R$	$V_K$	$V_D$	$V_R$
<b>MATERA</b>	-0.03	0.02	-0.08	0.00	0.00	0.01
<b>MEDICINA</b>	0.00	-0.01	-0.00	0.00	0.00	-0.04
<b>WETTZELL</b>	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00
<b>ONSALA60</b>	0.00	0.02	-0.01	0.00	0.01	0.03
<b>NYALES20</b>	-0.02	0.01	0.04	-0.02	-0.01	-0.01

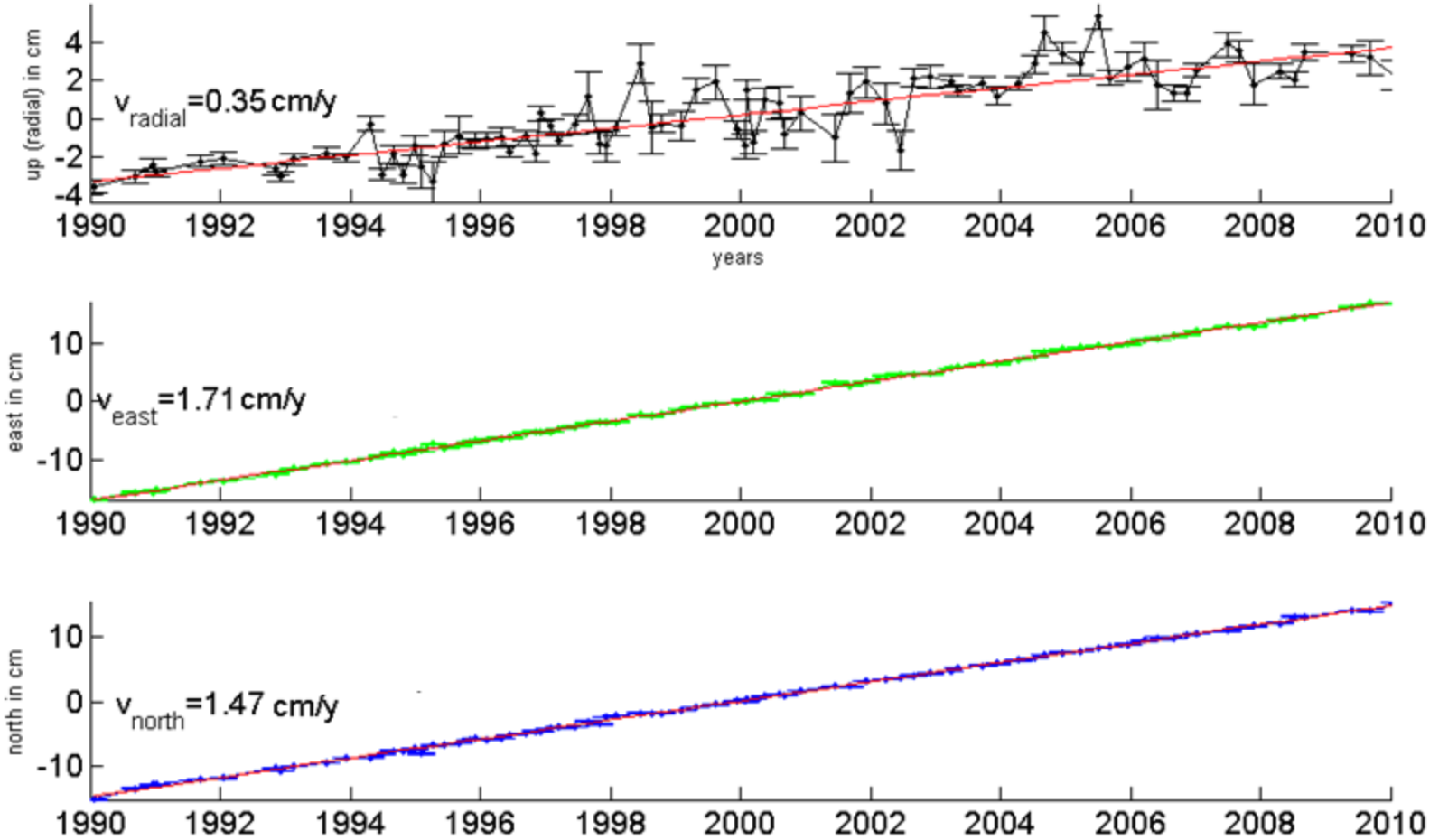
**Table 3.** IVS-Avrupa Oturumlarının VieVS yazılımı ile analizi sonucunda elde edilen K (Kuzey), D (Doğu) ve R (Radyal) yönündeki hız vektörleri ile farklı TRF çözümleri hızlarının karşılaştırılması



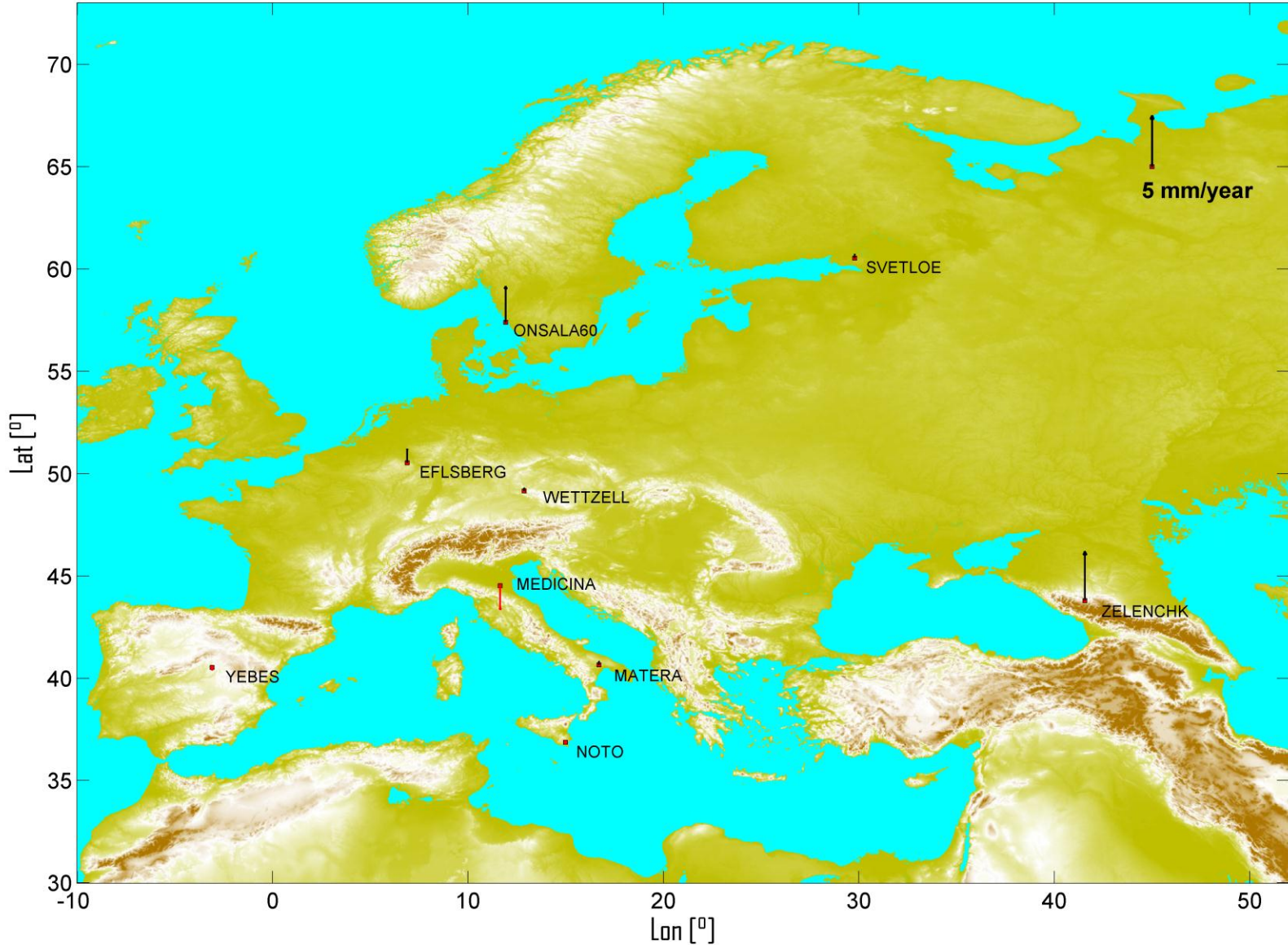
# IVS-Avrupa Oturumlarının VieVS TRF Çözümleri, VLBI Anteni: MEDICINA referans epoğu 2000.0



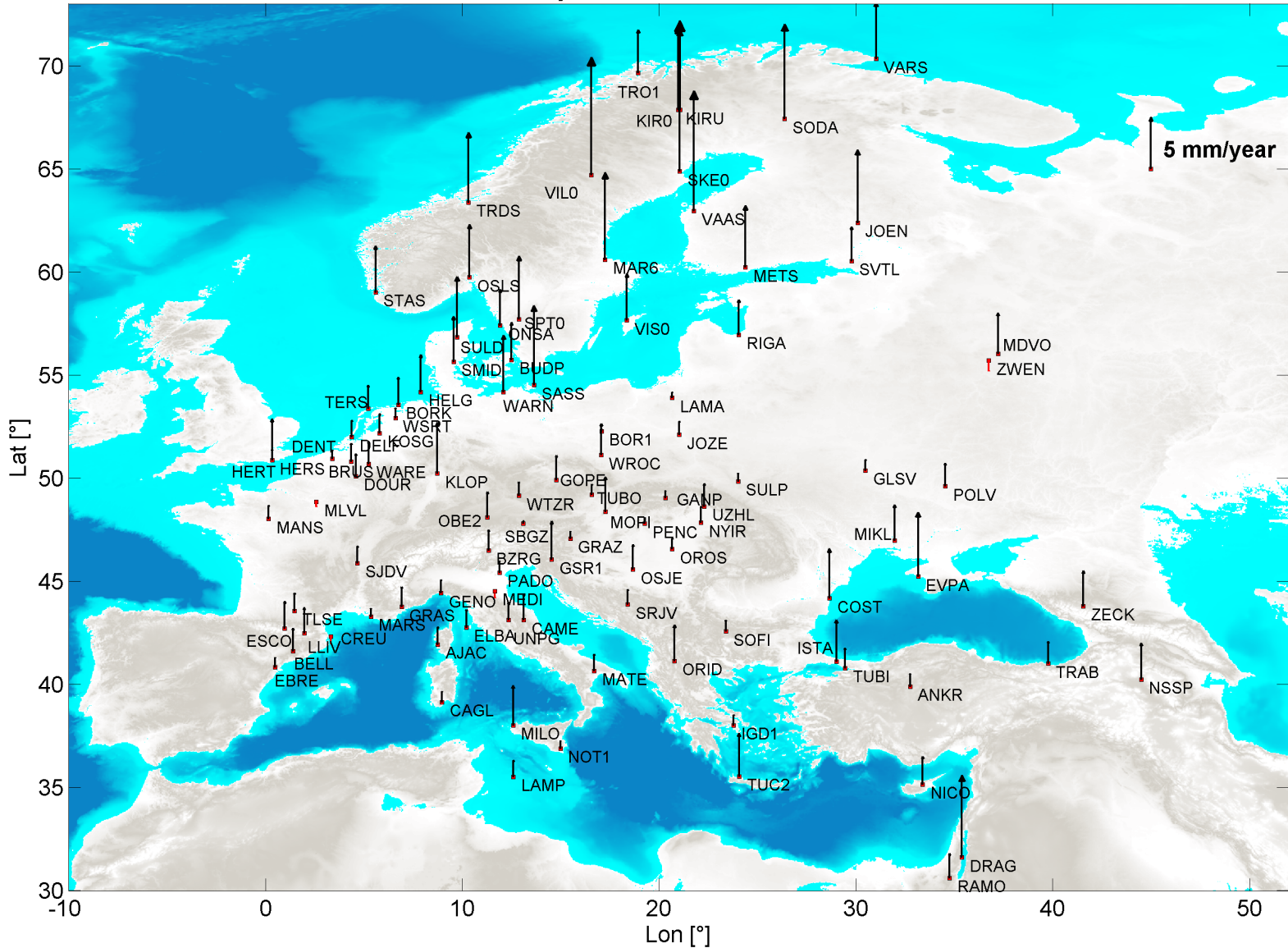
# IVS-Avrupa Oturumlarının VieVS TRF Çözümleri, VLBI Anteni: ONSALA60 referans epoğu 2000.0



# IVS Avrupa VLBI çözümleri zaman serilerinden elde edilen radyal hız vektörleri

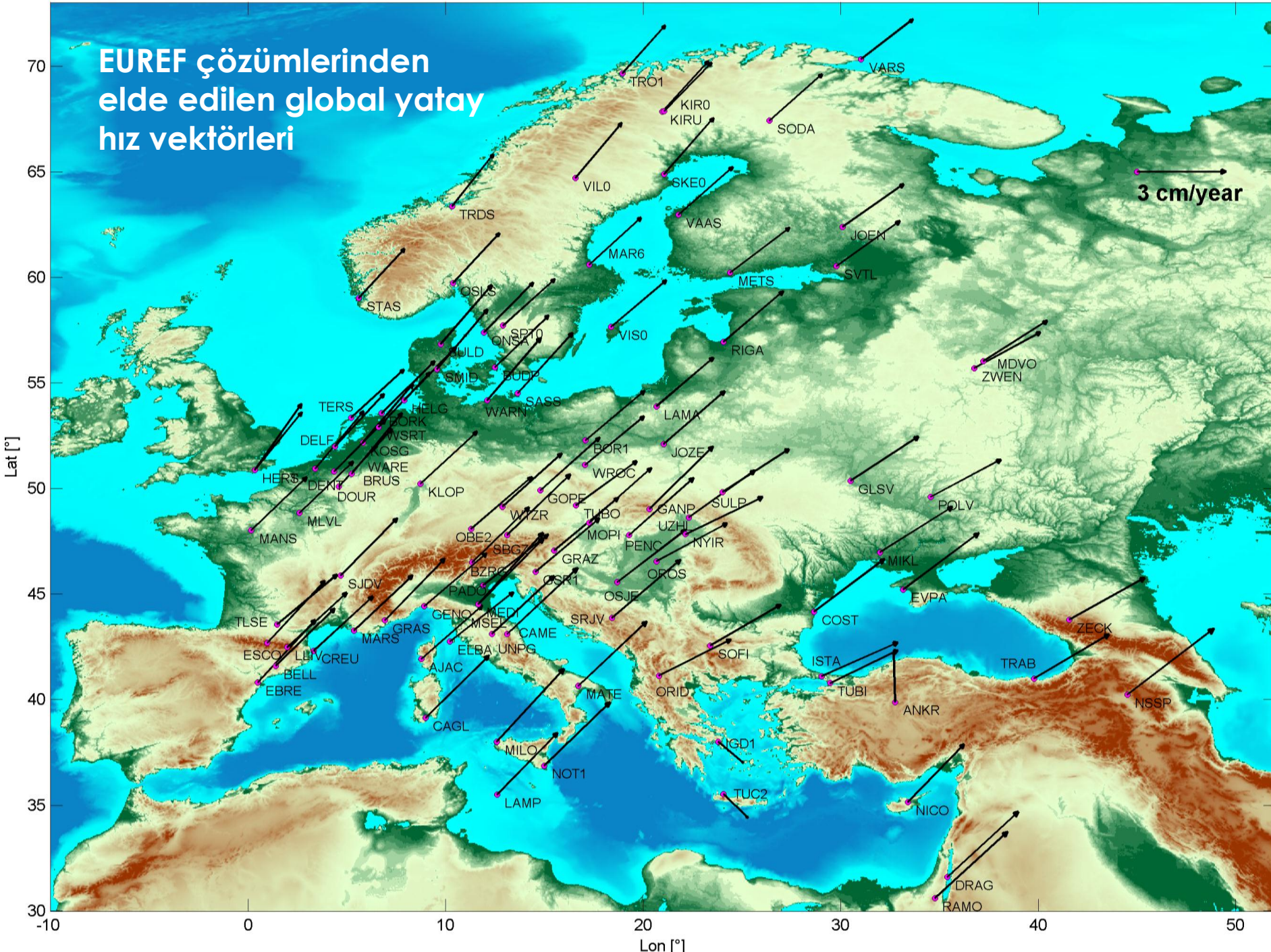


# GNSS EUREF çözümü koordinat zaman serilerinden elde edilen radyal hız vektörleri



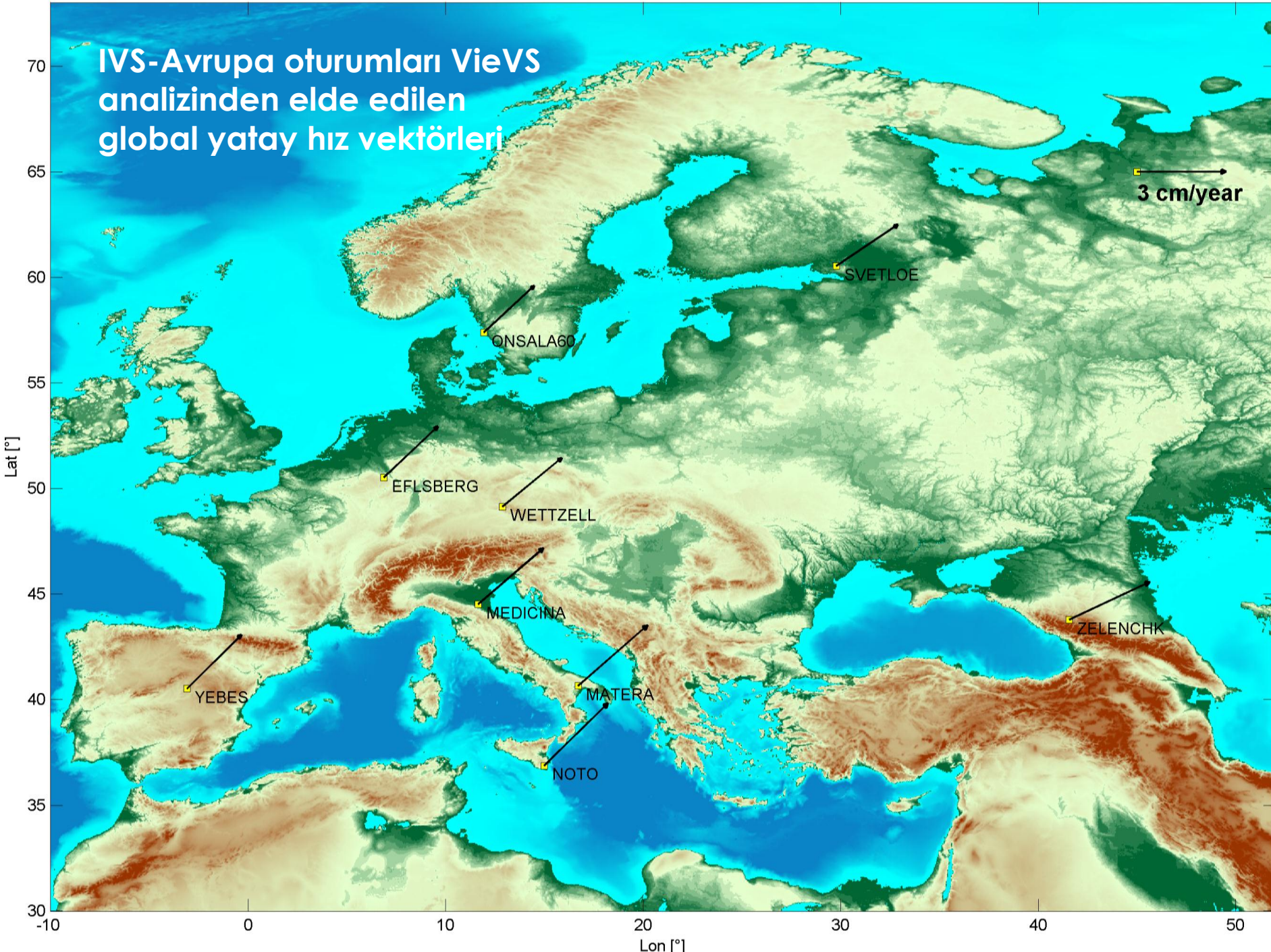
# EUREF çözümlerinden elde edilen global yatay hız vektörleri

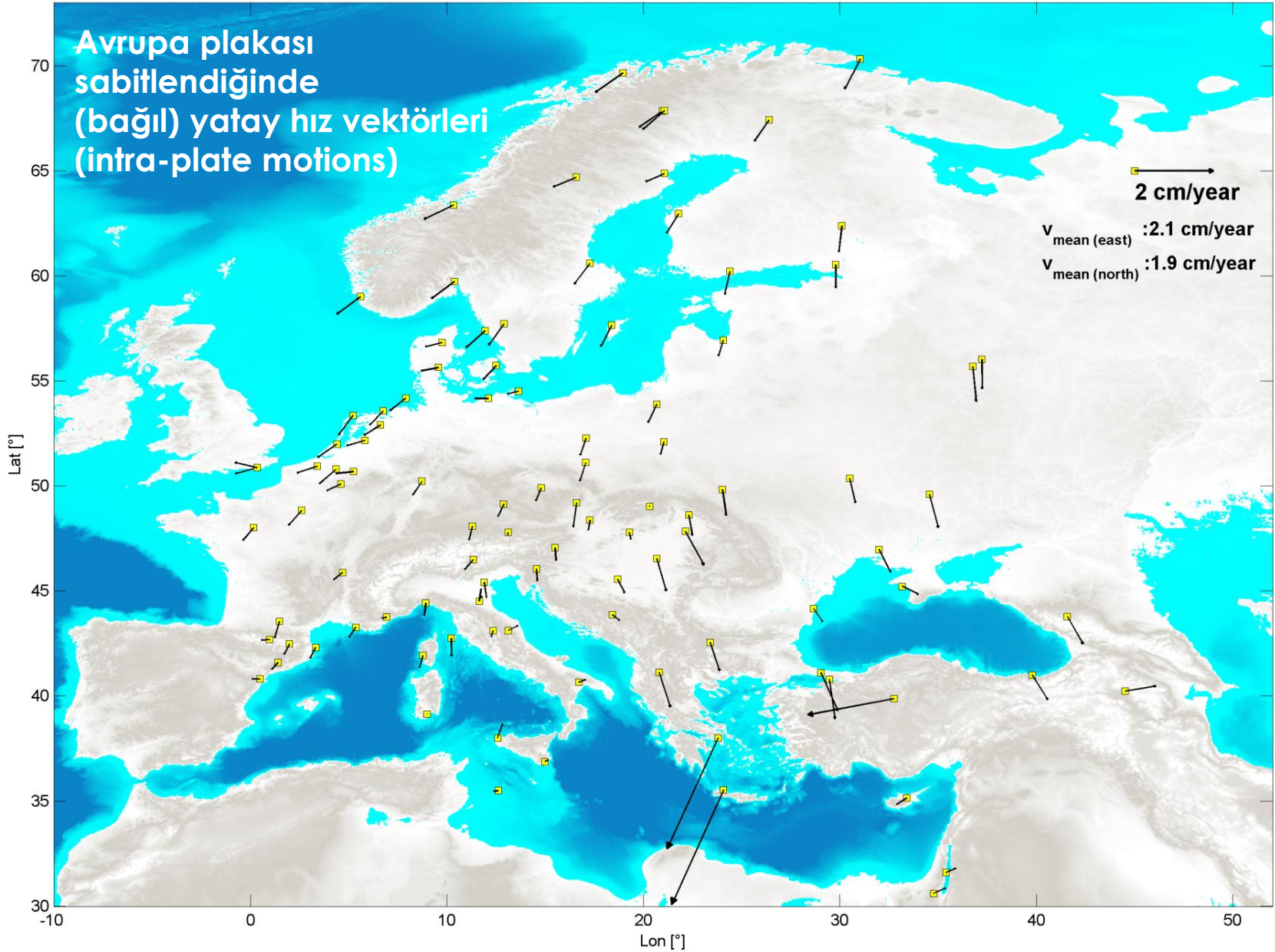
3 cm/year





IVS-Avrupa oturumları VieVS analizinden elde edilen global yatay hız vektörleri





# ÇÖZÜMLER ARASINDAKİ DÖNÜŞÜM PARAMETRELERİNİN HESABI

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{01} \\ Y_{01} \\ Z_{01} \\ X_{02} \\ Y_{02} \\ Z_{02} \\ \dots \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{01} & 0 & -Z_{01} & Y_{01} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{01} & Z_{01} & 0 & -X_{01} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{01} & -Y_{01} & X_{01} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & X_{02} & 0 & -Z_{02} & Y_{02} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{02} & Z_{02} & 0 & -X_{02} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{02} & -Y_{02} & X_{02} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ \mu \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

öteleme  
ölçek  
dönüklük

Öncül tanımlanacak bir referans ağı (VTRF 2008, ITRF 2005 gibi) ile kestirim sonucunda elde edilecek yeni bir referans ağı (IVS-Avrupa gibi) arasındaki dönüşüm Helmert dönüşümü ile tanımlanabilir.

## ITRF 2005 ve IVS-Avrupa arasındaki 3 boyutlu dönüşüm

<b>Tx cm</b>	<b>Ty cm</b>	<b>Tz cm</b>	<b>ölçek ppb</b>	<b><math>\alpha</math> (mas)</b>	<b><math>\beta</math> (mas)</b>	<b><math>\gamma</math> (mas)</b>
-2.9	11.6	0.0	0.4	0.9	3.1	0.8

## VTRF 2008 ve IVS-Avrupa arasındaki 3 boyutlu dönüşüm

<b>Tx cm</b>	<b>Ty cm</b>	<b>Tz cm</b>	<b>ölçek ppb</b>	<b><math>\alpha</math> (mas)</b>	<b><math>\beta</math> (mas)</b>	<b><math>\gamma</math> (mas)</b>
0.0	0.8	0.5	-0.8	0.1	0.1	-0.3

# SONUÇLAR ve İRDELEME

## IVS-Avrupa oturumlarının VieVS yazılımı ile analizinden;

- Medicina'da yaklaşık yıllık 2 mm alçalma, istasyon bölgesindeki lokal plaka hareketlerinden kaynaklanmış olabilir.
- İskandinavya yarımadası üzerindeki Onsala ve Ny-Alesund istasyonlarında sırasıyla yıllık 8 mm ve 3 mm büyüklüğünde yükselme, bölgede buzul sonrası çözülme etkisi (post-glacial rebound) ile açıklanmaktadır.
- Matera ve Wettzell istasyonlarında radyal yönde anlamlı bir hız tesbit edilmemiştir.
- Avrupadaki 1mm/yıl içerisinde kalan büyüklüklerdeki radyal hızlar istatistiksel olarak anlamlı çıksada radyal bileşendeki hata kaynakları ve gün içi spektraya sahip gel-git büyüklükleri dikkate alındığında bu değer ve altındaki radyal hızların anlamlı olamayabileceği sonucuna varılabilir.

# SONUÇLAR ve İRDELEME

## Avrupa plakasının sabitlenmesiyle hesaplanan bağıl yatay hız bileşenlerine bakıldığında,

- Avrupa üzerindeki noktaların bağıl yatay hız vektörlerinin gruplandığı görülmüştür.
- Anadolu ve Ege plakaları üzerindeki noktalarda bağıl yatay hız bileşenlerinin EUREF ağındaki diğer noktalara göre büyüklüklerinin ve yönlerinin farklı ve uyumsuz olduğu görülür.
- Doğu Avrupanın, orta Avrupanın ve Akdeniz kıyı bölgelerinin güney yönünde fakat batı Avrupa ve İskandinavya yarımadasının Atlantik okyanusu yönünde (güney-batı) anlamlı yıllık hızlara sahip oldukları görülmüştür.

## Ortak yerleşke istasyonlarında,

- IVS-Avrupa oturumlarının VieVS yazılımı ile analizinden elde edilen yatay ve radyal tüm hız vektörleri (VLBI), EUREF çözümü ile (GNSS) yön ve büyüklük olarak uyumludur.



# SONUÇLAR ve İRDELEME

## IVS-Avrupa TRF çözümü (gerçekleştirmesi) ile farklı global ITRF çözümleri arasındaki dönüşüm

- Dönüşüm parametrelerinin, global TRF çözümlerinin kendi aralarındaki dönüşüm parametrelerine göre daha büyük değerler almışlardır.

*ITRF çözümlerinin elde edildiği ağ, IVS- Avrupa ağına göre çok daha geniş bir alanı kapsar ve tüm küreyi temsil eder.*

*IVS-Avrupa ağı çözümünde bölgesel bir ağ olması nedeni ile Yer dönüklük parametrelerinin kestiriminin yapılmayıp model ile hesaplanmış a priori değerlerine sabitlenmiştir.*

# KAYNAKLAR

- J. Böhm, S. Böhm, T. Nilsson, A. Pany, L. Plank, H. Spicakova, K. Teke, H. Schuh (2010). **The new Vienna VLBI Software VieVS**. IAG Symposia Series, Buenos Aires 2010, in press.
- C. Boucher, Z. Altamimi, P. Sillard, M. Feissel-Vernier (2004). **Current Methodology for TRF Combination**, *IERS Technical Note, No.31*. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004. 289 pp., paperback, ISBN 3-89888-881-9 (print version)
- J. Campbell, R. Haas, A. Nothnagel (2002). **Measurement of Vertical Crustal Motion in Europe**, *Research Networks Training and Mobility of Researchers*, Geodetic Institute, University of Bonn, (on behalf of European Commission).
- J. Campbell, A. Nothnagel (2000). **European VLBI for crustal Dynamics**, *Journal of Geodynamics*, Volume 30, Issue 3, 24 February 2000, Pages 321-326.
- R. Haas, A. Nothnagel, J. Campbell, E. Gueguen (2003). **Recent crustal movements observed with the European VLBI network: geodetic analysis and results**, *Journal of Geodynamics*, Volume 35, Issues 4-5, May-July 2003, Pages 391-414.
- R. Haas, E. Gueguen, H.-G. Scherneck, A. Nothnagel, J. Campbell (2000). **Crustal motion results derived from observations in the European geodetic VLBI network**, *Earth Planets Space*, 52, 759-764, 2000.
- E. Tanir, K. Teke, H. Schuh (2010). **VLBI Estimates of Vertical Crustal Motion in Europe**, *15th General Assembly of WEGENER*, Boğaziçi Üniversitesi, 14-17 Eylül 2010, İstanbul.
- E. Tanir, V. Tornatore, K. Teke (2009a). **Analysis on the time series of the radio telescope coordinates of the IVS-R1 & R4 Sessions**, *19th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting*, edited by G. Bourda, P. Charlot, A. Collioud, Université Bordeaux1-CNRS, 23-28 March 2009, Bordeaux, France, pp. 122-12.
- E. Tanir, K. Teke, J. Böhm, H. Schuh (2009b). **Jeodezik VLBI Çalışmalarının IERS Ürünlerine Katkısı ve KTU GEOD IVS Analiz Merkezinin Öngörülen Faaliyetleri**, 4. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 14-16 Ekim 2009, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 131-164.
- E. Tanir (2009). **KTU-GEOD VLBI IVS Annual Report 2009**,  
<http://ivsc.gsfc.nasa.gov/publications/annualreport.html>
- K. Teke, J. Böhm (2010). **VIE\_LSM**, *VieVS User Workshop*, Institute of Geodesy and Geophysics, IVS Special Analysis Center, Vienna University of Technology, 7-9 September 2010, Vienna, Austria.
- K. Teke, J. Böhm, T. Nilsson, H. Spicakova, H. Schuh (2010). **Intra-Eurasia plate motions based on EUREF, IVS-Europe, and IVS-combined solutions**, *15th General Assembly of WEGENER*, Boğaziçi Üniversitesi, 14-17 Eylül 2010, İstanbul.
- K. Teke, J. Boehm, E. Tanir, H. Schuh (2009). **Piecewise Linear Offsets for VLBI Parameter Estimation**, *Proceedings of the 19th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting*, edited by G. Bourda, P. Charlot, A. Collioud, Université Bordeaux1-CNRS, 23-28 March 2009, Bordeaux, France, pp. 63-67, 2009
- URL 1: **Transformation Parameters between different ITRF Solutions**,  
[http://itrf.ensg.ign.fr/trans\\_para.php](http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php)
- URL 2: **ITRF 2005**,  
[http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2005/ITRF2005.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/ITRF2005.php)
- URL 3: **VTRF 2008**,  
[http://rorf.usno.navy.mil/ICRF2/IVS/files/VTRF2008a\\_IVS.SSC-1.txt](http://rorf.usno.navy.mil/ICRF2/IVS/files/VTRF2008a_IVS.SSC-1.txt)





**Dinlediğiniz İçin Teşekkür Ederim!!**

**EKLER**

# En Küçük Kareler( EKK) Kestirimi-1

LİNEER  
FONKSİYON

$$dX = X_t - X_{t_0} = a_0 + a_1(t - t_0) + \varepsilon_t$$

$a_0$  Ofset; 2000.0 başlangıç epoğunda yeni TRF koordinatları ile VTRF 2008 koordinatları arasındaki fark.

$a_1$  Trend; kartezyen koordinat sisteminde hız vektörü

$t_0$  2000.0 başlangıç epoğu

$t$  Parametre kestirim epoğu

$X_t$  Yeni TRF koordinatları

$X_{t_0}$  VTRF 2008 koordinatları

$\varepsilon_t$  EKK sonunda kalan artıklar

KESTİRİLMİŞ  
PARAMETRELER



Global kartezyen koordinat sistemindeki hız vektörleri lokal toposentrik koordinat sistemine aşağıdaki şekilde dönüştürür.

$$\begin{bmatrix} d_N \\ d_E \\ d_U \end{bmatrix} = T^* \begin{bmatrix} d_X \\ d_Y \\ d_Z \end{bmatrix}$$

$d_{NEU}$        $dX$

$$T = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix}$$

**K= North**  
**D=East**  
**R=Radyal**

$\varphi$

$\lambda$

istasyona ait enlem ve boylam

## En Küçük Kareler(EKK) Kestirimi -II

LINEER  
FONKSİYON

$$d_{NEU} = b_0 + b_1(t - t_0) + \varepsilon_{NEU}(t)$$

KESTİRİLMİŞ  
PARAMETRELER

$b_0$  Ofset; 2000.0 başlangıç epoğunda yeni TRF koordinatları ile VTRF 2008 koordinatları arasındaki fark.

$b_1$  Trend; lokal toposentrik koordinat sisteminde hız vektörü

$t_0$  2000.0 referans epoğu

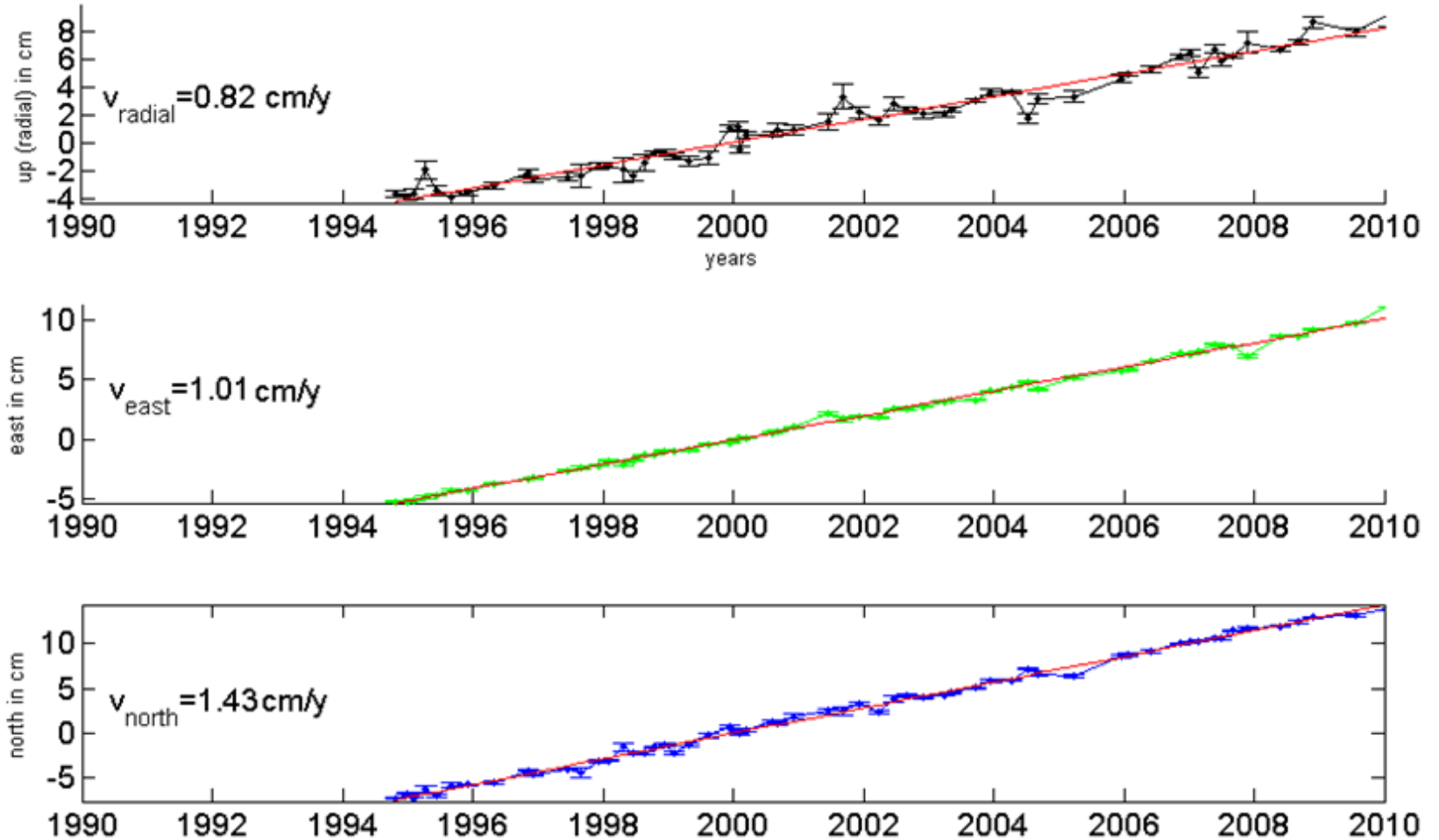
$t$  Parametre kestirim epoğu

$\varepsilon_{NEU}(t)$  EKK sonunda kalan artıklar

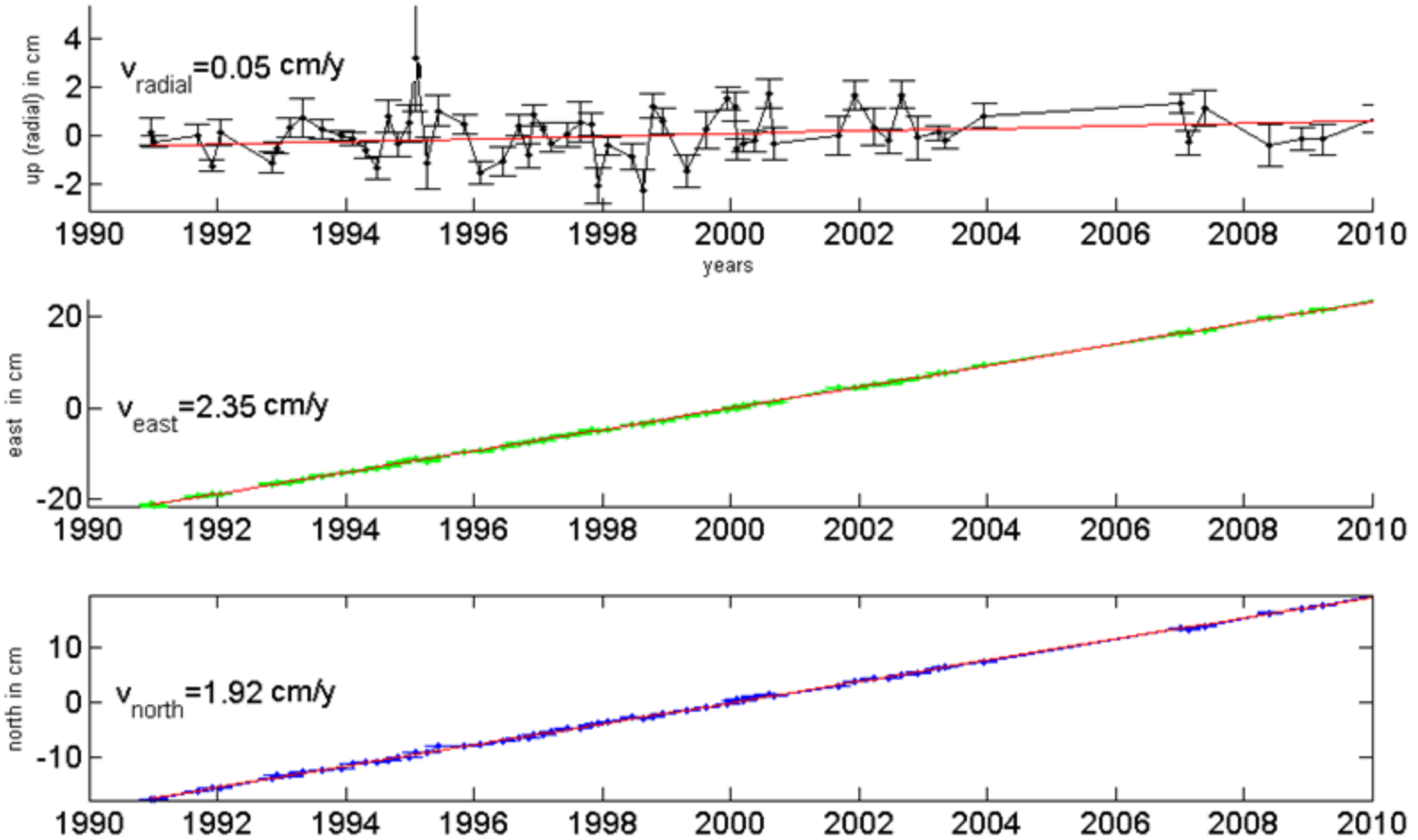
$$\begin{bmatrix} V_N \\ V_E \\ V_U \end{bmatrix}$$



# IVS-Avrupa Oturumlarının VieVS TRF Çözümleri, VLBI Anteni: NYALES referans epoğu 2000.0



# IVS-Avrupa Oturumlarının VieVS TRF Çözümleri, VLBI Anteni: MATERA referans epoğu 2000.0



# IVS-Avrupa Oturumlarının VieVS TRF Çözümleri, VLBI Anteni: WETTZELL referans epoğu 2000.0

