OKYANUS GELGİT YÜKLEMESİ KONUM DEĞİŞİMLERİNİN VLBI ÖLÇÜLERİNDEN KESTİRİMİ VE GLOBAL OKYANUS GELGİT MODELLERİ İLE DOĞRULANMASI

ESTIMATION OF THE OCEAN TIDE LOADING DISPLACEMENTS FROM THE VLBI OBSERVATIONS AND VALIDATION WITH THE GLOBAL OCEAN TIDE MODELS

ÖZGÜR ÖZEL

DR. ÖĞR. ÜYESİ KAMİL TEKE
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Egitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2020

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07 / 07 / 2020

ÖZGÜR ÖZEL

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "***Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge***" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- ☐ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

07 / 07 / 2020

ÖZGÜR ÖZEL

ÖZET

OKYANUS GELGİT YÜKLEMESİ KONUM DEĞİŞİMLERİNİN VLBI ÖLÇÜLERİNDEN KESTİRİMİ VE GLOBAL OKYANUS GELGİT MODELLERİ İLE DOĞRULANMASI

Özgür ÖZEL

Yüksek Lisans, Geomatik Mühendisliği Bölümü
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kamil TEKE
Temmuz 2020, 344 sayfa

Uzay/uydu jeodezisi teknikleri ölçülerinin analizi sonucu yer-sabit jeodezik kontrol noktalarının yersel referans çatısında (terrestrial reference frame, TRF) tanımlı koordinatları kestirilir. Uzay/uydu jeodezisi teknikleri ölçülerinden koordinatların kestirimi için kullanılan ölçü modeli doğrusal yapıda olmadığı için en-küçük-kareler kestirim yöntemi uygulanmadan önce ölçü modeli doğrusallaştırılarak her bir parametrenin yaklaşık değerine düzeltme kestirimi gerçekleştirilir. En-küçük-karelerin yakınsama çapı küçük olduğu için de yaklaşık değerlerin mümkün olduğu kadar kesin değerlere yakın seçilmesi gerekmektedir. Kalman filtresinde ise ilk epoktaki bilinmeyen parametreler bir tahminle başlatılır. Filtre son epok işlenene kadar zaman içinde ileri gider. Zaman içinde sabit olarak modellenen parametreler, her epokta iyileştirilir ve son epoktaki kestirimler bu parametrelerin nihai tahminleridir.

İstasyon koordinatlarının yaklaşık değerleri ise her bir ölçü epoğu için lineer hız düzeltmesi, yanında bir takım jeodinamik konum düzeltmelerinin getirilmesi sonucu elde edilerek parametre kestirimine esas istasyon koordinatları öncül değerleri

hesaplanır. Bu jeodinamik düzeltmeler büyüklülerine göre sırasıyla; katı Yer gelgitleri, okyanus gelgit yüklemesi, okyanus gelgitsel olmayan yüklemeleri, hidroloji yüklemesi, kutup gelgitleri, atmosfer gelgitsel ve gelgitsel olmayan yüklemeleri yer değiştirmeleridir.

Her bir ölçü epoğu için okyanus gelgit modellerinden hesaplanan ve her bir ölçüye getirilen bu okyanus gelgit düzeltmelerinin yetersizliklerinden kaynaklı konum hataları parametre kestirimi ile sadece istasyon koordinatları değil diğer parametrelere de yansırlar. Bu durumun önüne geçmek ancak daha iyi okyanus gelgit modellerinin geliştirilmesiyle mümkün olabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, Dünya üzerinde homojen olarak dağılmış VLBI yerleşkelerinin (22 istasyon) Uluslararası VLBI Jeodezi ve Astrometri Servisi (IVS) günlük oturumları analiz edilmiş, VLBI istasyonlarının konum zaman serileri üretilerek aynı epoklar için okyanus gelgit modellerinden hesaplanan değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece, her bir gelgit periyotu için ayrı ayrı model yetersizlikleri ortaya konmuştur. Global okyanus modelleri (örneğin, FES2014b, GOT4.10c, TPXO9-Atlas) ile uyumlu olması açısından VLBI ölçülerinden kestirilen yer değiştirmelerde pozitif yön radyal, batı ve güney olacak şekilde ele alınmıştır. Her istasyon için 2 saat aralıklı lokal toposentrik koordinatlar (radyal, batı, güney) zaman serileri tekrar ölçü olarak ele alınarak en-küçük-kareler (EKK) ve Kalman filtresi kestirim yöntemleri ile okyanus gelgit yüklemesi yarı-günlük (M_2, S_2, N_2, K_2) ve günlük (K_1, O_1, P_1, Q_1) gelgitlerin genlik ve Greenwich faz gecikmesi bileşenleri kestirilmiştir. VLBI ölçülerinden ve global modellerden okyanus gelgiti yer değiştirmelerinin zaman serileri arasındaki uyuşum her bir gelgit periyotu için ayrı ayrı istatistiksel yöntemler ile irdelenerek global okyanus modelleri ve VLBI ölçülerine bağlı yetersizlikler ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Okyanus gelgit yüklemesi yer değiştirmeleri, VLBI, En-küçük-kareler, Kalman filtresi, Global okyanus gelgit modelleri, FES2014b, GOT4.10c, TPXO9-Atlas.

ABSTRACT

ESTIMATION OF THE OCEAN TIDE LOADING DISPLACEMENTS FROM THE VLBI OBSERVATIONS AND VALIDATION WITH THE GLOBAL OCEAN TIDE MODELS

Özgür ÖZEL

Master of Science, Department of Geomatics Engineering
Supervisor: Dr. Kamil TEKE
July 2020, 344 pages

As a result of the analysis of the measurements of space/satellite geodetic techniques, the defined coordinates of the terrestrial reference frame (TRF) of the earth fixed geodetic control points are estimated. Since the measurement model used for the estimation of the coordinates from the measurement of space/satellite geodesic techniques is not linear, correction estimation is performed to the approximate value of each parameter by linearizing the measurement model before applying the least-squares estimation method. Since the convergence diameter of the least-squares is small, the approximate values should be chosen as close to the exact values as possible. In the Kalman filter, unknown parameters in the first epoch are started with a prediction. The filter moves forward over time until the last epoch is processed. Parameters that are constantly modeled over time are improved in every epoch, and the estimates in the last epoch are the final estimates of these parameters.

The approximate values of the station coordinates are obtained as a result of linear velocity correction for each measurement epoch and bringing together some geodynamic position corrections, and the station coordinates a priori values are calculated. According to the magnitude of these geodynamic corrections, respectively;

displacements of solid Earth tides, ocean tidal and non-tidal loading, hydrology loading, polar tides, atmospheric tidal and non-tidal loading.

The position errors due to the inadequacies of these ocean tide corrections, which are calculated from the ocean tide models for each measurement epoch and brought to each measure, are reflected not only on the station coordinates but also on other parameters with parameter estimation. It is only possible to prevent this situation by developing better ocean tide models. Within the scope of this thesis, International VLBI Service for Geodesy & Astrometry (IVS) daily sessions of VLBI co-located sites (22 stations) homogeneously distributed around the world were analyzed and the position time series of VLBI stations were produced and compared with the values calculated from the ocean tide models for the same epochs. Thus, model inadequacies were revealed for each tidal period. To be compatible with the global ocean models (e.g. FES2014b, GOT4.10c, TPXO9-Atlas), the positive direction in the displacements estimated from VLBI measurements is taken as radial, west and south. Local topocentric coordinates (radial, west, south) time series with 2-hour intervals for each station are taken as a measure again and ocean tide loading semi-diurnal (M_2, S_2, N_2, K_2) and diurnal (K_1, O_1, P_1, Q_1) tides of amplitudes and Greenwich phase delay components are estimated with using least-squares and Kalman filter. The agreement between the time series of ocean tide displacements from VLBI measurements and global models was examined by statistical methods for each tidal period, and global ocean models and inadequacies due to VLBI measurements were revealed.

Keywords: Ocean tidal loading displacements, VLBI, Least-Squares, Kalman filter, Global ocean tide models, FES2014b, GOT4.10c, TPXO9-Atlas.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın ortaya çıkmasında, tez konumun seçiminden hazırlanmasına kadar tüm aşamalarında bana yol gösteren değerli görüşlerinden ve engin bilgi birikiminden istifade ettiğim danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Kamil TEKE'ye,

Tez çalışmaları sürecinde yardımını ve desteğini esirgemeyen daima yanımda olan sevgili eşim Esra AYGÜN ÖZEL'e,

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan annem Satı ÖZEL'e ve babam Mehmet ÖZEL'e

Teşekkürlerimi sunarım.

Özgür ÖZEL

Temmuz 2020, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET i

ABSTRACT iii

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

TABLOLAR viii

ŞEKİLLER x

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

1.1. Geçmiş Çalışmalar 1

1.2. Tezin Amacı 3

1.3. Tezin Organizasyonu 4

2. UZAY – ZAMAN REFERANS SİSTEMLERİ VE ARASINDAKİ DÖNÜŞÜMLER 5

2.1. Zaman Sistemleri ve Arasındaki Dönüşümler 5

2.1.1. Dünya'nın Kendi Ekseni Etrafındaki Hareketini Esas Alan Zaman Sistemleri 6

2.1.1.1. Görünen Güneş Zamanı 6

2.1.1.2. Ortalama Güneş Zamanı 6

2.1.1.3. Yıldız Zamanı 7

2.1.1.4. Evrensel Zaman 9

2.1.2. Güneş Sistemindeki Gök Cisimlerinin Yörünge Hareketini Esas Alan (Dinamik) Zaman Sistemleri 10

2.1.2.1. Efemeris Zamanı 10

2.1.2.2. Yersel Dinamik Zaman ve Barisentrik Dinamik Zaman 10

2.1.3. Atomik Salınımları Esas Alan Sistemler 12

2.1.3.1. Uluslararası Atomik Zaman 12

2.1.3.2. Eşgüdümlü Evrensel Zaman 13

2.1.3.3. GNSS Zamanı 14

2.2. Yer Yönelim Parametreleri 15
2.3. Göksel Referans Sistemi 18
2.3.1. FK5 Yıldız Kataloğu 18
2.3.2. Uluslararası Göksel Referans Çatısı (ICRF) 18
2.4. Yersel Referans Sistemi 22
2.5. GCRS ve ITRS Arasındaki CIO Tabanlı IERS Konvansiyonlarını Esas Alan Kinematik Dönüşüm 25
3. İSTASYON KONUMLARINA ETKİYEN JEODİNAMİK ETKİLER 32
3.1. Katı Yer Gelgiti 32
3.2. Okyanus Gelgit Yüklemesi 44
3.3. Kutup Gelgiti 49
3.4. Atmosfer Gelgit Yüklemesi 51
3.5. Gelgitsel Olmayan Atmosfer Yüklemesi 54
4. VLBI UZAY JEODEZİSİ TEKNİĞİ 57
4.1. VLBI Ölçü Modeli 58
4.1.1. Gravitasyonel Gecikme 59
4.1.2. Vakum Gecikme ve Geometrik Gecikme 61
4.1.3. Saat Hatası Gecikmesi 62
4.1.4. Troposfer Gecikmesi 63
4.1.5. VLBI Gecikme Modelinin Yer Yönelim Parametreleri, Anten ve Kuasar Koordinatlarına Göre Kısmî Türevleri 66
4.2. Uluslararası VLBI Jeodezi ve Astrometri Servisi (IVS) 69
5. PARAMETRE KESTİRİMİ 71
5.1. En-Küçük-Kareler (EKK) Dengelemesi (Gauss Markov Modeli) 71
5.2. Kalman Filtresi 73
6. UYGULAMA 77
6.1 Günlük VLBI Oturumlarının Analizi 80
6.2. VLBI ile Gözlemlenen İki Saat Aralıklı OTL Yer Değiştirmelerinden Yarı-günlük ve Günlük Ana Gelgit Bileşenlerinin Kestirimi 83
6.3. Uygulamada Kullanılan Okyanus Gelgit Modelleri ve Bu Modellerden Yer Değiştirmelerin Hesabı 85
7. SONUÇLAR 88

KAYNAKLAR 98

EKLER 109

EK 1 – Klasik Gauss Markov ve Kalman Filtresi Yöntemleri ile Elde Edilen Gelgitlerin Gerçek ve Sanal Bileşenleri 109

EK 2 – İstasyonlara Ait Okyanus Gelgit Yüklemesi Yarı-Günlük ve Günlük Periyotlardaki Yer Değiştirmelerin Gerçek ve Sanal Bileşenleri 121

EK 3 – İstasyonlara Ait Okyanus Gelgit Yüklemesi Yarı-günlük ve Günlük Periyotlardaki Yer Değiştirmelerin Fazör Vektörleri 253

EK 4 – OTL Yer Değiştirmeleri Ana Gelgit Bileşenlerinin Her Biri İçin Tüm İstasyonlardaki, VLBI - Model Fazör Fark Vektörleri Genlikleri 297

EK 5 – Her Bir İstasyon İçin OTL Yer Değiştirmeleri Ana Gelgit Bileşenlerinin, VLBI - Model Fazör Fark Vektörleri Genlikleri 305

ÖZGEÇMİŞ 328

TABLOLAR

Tablo 2.1. UTC'ye uygulanan artık saniye düzeltmeleri ve tarihleri. 14
Tablo 2.2. Epok 2010.0'daki dönüşüm parametreleri ve ITRF2014'den ITRF2008'e olan hızları [89].....25
Tablo 2.3. Referans Sistemleri Hakkında IAU 2000-2009 ve IUGG 2003-2007 Kararları [90]. 26
Tablo 3.1. Doodson ve Hartman & Wenzel konvansiyonlarına göre tanımlanmış olan Cartwright-Tayler genliklerinin dönüşüm faktörleri [73]. 35
Tablo 3.2. Love yer değiştirme sayıları için rezonans formülündeki parametreler [73]. 36
Tablo 3.3. 2. derece gelgitler için Love yer değiştirme sayısı parametreleri [73].....37
Tablo 3.4. Günlük gelgitler için Love ve Shida sayılarının frekans bağımlılığından kaynaklanan düzeltmeler [73].....43
Tablo 3.5. Bölgesel gelgitler için Love ve Shida sayılarının frekans bağımlılığından kaynaklanan düzeltmeler [73].....43
Tablo 3.6. Ana gelgit bileşenleri, periyotları ve M_2 gelgitine göre normalize edilmiş potansiyelin küresel genliği. 45
Tablo 3.7. Chalmers Üniversitesi Yükleme Servisinde mevcut okyanus gelgit modelleri. 47
Tablo 3.8. BLQ formatında okyanus yükleme dosyası örneği. 48
Tablo 3.9. S_1-S_2 atmosferik basınç yüklemesinin kütle merkezi düzeltme katsayıları. .54
Tablo 6.1. Uygulamada esas alınan VLBI istasyonları, işletildiği ülkeler, yaklaşık coğrafi koordinatları, uygulamaya esas gözlem aralıkları ve iki saat aralıklı koordinat kestirimlerinin standart hatalarının ortancaları (medyanları). 78

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Zaman Denklemi [52]. 7
Şekil 2.2. Analemma (Günsekizi) [53]. 8
Şekil 2.3. Yıldız zamanları ve aralarındaki ilişki[50]. 8
Şekil 2.4. Yıldız Zamanı ile Güneş Zamanı arasındaki farklılık [54]. 9
Şekil 2.5. Zaman sistemleri arasındaki ilişki [57]. 15
Şekil 2.6. 1900 – 2006 yılları arasındaki kutup gezinmesi [72]. 17
Şekil 2.7. ICRS ve eksen yönleri. 19
Şekil 2.8. Konvansiyonel Göksel Referans Sistemi ve eksen yönleri. 21
Şekil 2.9. ITRF2014 ve ITRF2008 arasındaki dönüşüm parametrelerinin kestiriminde kullanılan istasyonlar [89] 25
Şekil 2.10. CIP'ın ITRS ve GRCS'deki hareketi [73]. 27
Şekil 2.11. Göksel Ara Kutbun GCRS ve ITRS'deki Koordinatları (CIP, P ile ifade edilmiştir) [90]. 28
Şekil 2.12. CIP ekvatoru boyunca Yer Dönüklük Açısı (ERA) [90] 28
Şekil 2.13. GCRS'den ITRS'ye CIO Temelli Dönüşüm [73]. 31
Şekil 3.1. Seküler kutup koordinatları ve 1996-2000 yılları arasındaki uzun dönemli kutup koordinatları [95]. 51
Şekil 3.2. RP03 modelinden türetilen S1 ve S2 gelgitlerinin tahmini dikey deformasyonlarının genlik (üstteki şekiller, mm) ve fazları (alttaki şekiller, derece) [73]. 52
Şekil 4.1. VLBI ölçü prensibi [127]. 57
Şekil 4.2. Nötr atmosferdeki ışının kırılması [59]. 64
Şekil 4.3. IVS istasyon ağı [137]. 70
Şekil 5.1. 12 Ağustos 2008 tarihinde Kalman filtresi ile Ny-Ålesund istasyonu için kestirilen ZWD [143]. 76
Şekil 6.1. Analizlere dahil edilen istasyonların küresel dağılımları. 77
Şekil 6.2. VLBI istasyonlarının yıllara göre oturumlara katılım durumu ve koordinat kestirim dağılımları (sağ eksen, istasyonların her biri için 2 saat aralıklı toplam koordinat kestirim sayısını göstermektedir). 81
Şekil 6.3. VLBI ölçülerinden kestirilen WETTZELL istasyonu 2 saat aralıklı OTL yer değiştirmeleri radyal, doğu ve kuzey bileşenleri. 84

Şekil 7.1. KOKEE istasyonu okyanus gelgit yüklemesi **yarı-günlük** periyotlardaki (M_2, S_2, N_2, K_2) radyal yer değiştirmelerin gerçek (R:eş fazlı) ve sanal (I: faz dışı) bileşenleri. 88
Şekil 7.2. KOKEE istasyonu okyanus gelgit yüklemesi **günlük** periyotlardaki (K_1, O_1, P_1, Q_1) radyal yer değiştirmelerin gerçek (R: eş fazlı) ve sanal (I: faz dışı) bileşenleri. 89
Şekil 7.3. TSUKUB32 (Japonya) istasyonu okyanus gelgit yüklemesi **yarı-günlük** periyotlarda batı bileşenindeki yer değiştirmelerin fazör vektörleri. 91
Şekil 7.4. FORTLEZA (Brezilya) istasyonu okyanus gelgit yüklemesi **günlük** periyotlarda radyal bileşenindeki yer değiştirmelerin fazör vektörleri. 92
Şekil 7.5 VLBI istasyonlarında kestirilen M_2 gelgiti fazör vektörleri ile okyanus gelgit modellerinden hesaplanan M_2 gelgiti fazör vektörleri farklarının genlikleri. 93
Şekil 7.6. VLBI istasyonlarında kestirilen O_1 gelgiti fazör vektörleri ile okyanus gelgit modellerinden hesaplanan O_1 gelgiti fazör vektörleri farklarının genlikleri. 94
Şekil 7.7. Okyanus gelgit modelleri ve kıyı, kara ve tüm istasyonlar üzerindeki VLBI kestirimleri arasındaki yarı-günlük ve günlük ana gelgit fazör vektör farklarının RMS'i. 96

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ε	Eğiklikteki nutasyon
$\Delta\psi$	Göksel boylamdaki nutasyon
Λ	Astronomik enlem
x_p, y_p	Kutup gezinmesi koordinatları
X, Y	Nutasyon ofsetleri
$\vec{T}$	Öteleme vektörü
D	Ölçek faktörü
R	Dönüklük matrisi
R_e	Dünya'nın yarıçapı
$\overrightarrow{X}$	Koordinat vektörü
$Q(t)$	CIP'ın göksel hareketi
$W(t)$	CIP'ın yersel hareketi
δ	Deklinasyon
α	Sağ açıklık
s	CIO konumlandırıcı
s'	TIO konumlandırıcı
E, d	GCRS'deki CIP'ın koordinatları
h_{nm}, l_{nm}	Love ve Shida katsayıları
f	Frekans
$\Delta\overrightarrow{r_f}$	Yer değiştirme vektörü
H	Genlik
δr	Radyal yer değiştirme
$\delta\vec{t}$	Enine yer değiştirme
M_2, S_2, N_2, K_2	OTL yarı-günlük gelgitler
K_1, O_1, P_1, Q_1	OTL günlük gelgitler
M_f, M_m, S_{sa}	OTL uzun periyotlu gelgitler
x_s, y_s	Seküler kutup koordinatları
V	Merkezkaç potansiyeli

θ	Ko-enlem
$A_{d1}, B_{d1}, A_{d2}, B_{d2}$	Yüzey yer değiştirme katsayıları
ω_1, ω_2	Atmosferik gelgitlerin frekansı
$\overline{p}$	Basınç anomalisi
τ	Gecikme hatası
ΔT_{grav}	Yerçekimsel gecikme
$\oplus$	Yer merkezi
$\odot$	Güneş sisteminin merkezi
oc	observed minus computed
ΔL_{trop}	Troposfer gecikmesi
L_i	Gözlemler
x	Bilinmeyenler
v_i	Gözlemlerin düzeltmesi
K_u	Ko-varyans matrisi
P	Gözlemlerin ağırlık matrisi
l_i	Ölçüler
A	Katsayılar matrisi
$F(t_i)$	Durum vektörü geçiş matrisi
$H(t_i)$	Gözlem modelinin tasarım matrisi
$K(t_i)$	Kalman kazanç matrisi
$P_p(t_i)$	Tahmin durum vektörü varyans-kovaryans matrisi

Kısaltmalar

AST	Görünen Yıldız Zamanı
BCRS	Barisentrik Göksel Referans Sistemi
BDT	BeiDou Zamanı
BIH	Bureau International de l'Heure
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
CCRS	Konvansiyonel Göksel Referans Sistemi
CEO	Göksel Efemeris Orijin

CIO	Göksel Ara Orijin
CIP	Göksel Ara Kutup
CIRS	Göksel Ara Referans Sistemi
CRF	Göksel Referans Çatısı
CRS	Göksel Referans Sistemi
CTRS	Konvansiyonel Yersel Referans Sistemi
DORIS	Uydu Doppler Orbitografi ve Tümleşik Radyo Konumlandırma
ECMWF	Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi
EKK	En-Küçük-Kareler
EOP	Yer Yönelim Parametreleri
ERA	Yer Dönüklük Açısı
ET	Efemeris Zamanı
GAST	Greenwich Görünen Yıldız Zamanı
GCRS	Yer Merkezli Göksel Referans Sistemi
GLONASST	GLONASS Zamanı
GMST	Greenwich Ortalama Yıldız Zamanı
GNSS	Küresel Uydu Konumlama Sistemleri
GPST	GPS Zamanı
GST	Galileo Sistem Zamanı
GTRS	Yer Merkezli Yersel Referans Sistemi
IAU	Uluslararası Astronomi Birliği
ICRF	Uluslararası Göksel Referans Çatısı
ICRS	Uluslararası Göksel Referans Sistemi
IERS	Uluslararası Yer Dönüklük ve Referans Sistemleri Servisi
ILRS	Uluslararası Lazer Ölçmeleri Servisi
ITRF	Uluslararası Yersel Referans Çatısı
ITRS	Uluslararası Yersel Referans Sistemi
IUGG	Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği
IVS	Uluslararası VLBI Jeodezi ve Astrometri Servisi
J2000.0	1 Ocak 2000 12:00'daki Jülyen Günü
LAST	Yerel Görünen Yıldız Zamanı
LLR	Aya Lazer Uzunluk Ölçüsü
LMST	Yerel Oratalama Yıldız Zamanı
LOD	Gün Uzunluğu

mas	mili-açı-saniyesi
MST	Ortalama Yıldız Zamanı
NAF	Temel Astronomi Adlar Dizini
NDFW	Nearly Diurnal Free Wobble
NGS	National Geodetic Survey
NNR	No-Net-Rotation
NRO	Dönmeyen Orijin
OTL	Okyanus Gelgit Yüklemesi
PLO	Parçalı Lineer Ofset
SET	Katı Yer Gelgiti
SLR	Uyduya Lazer Uzunluk Ölçüsü
SOFA	Temel Astronomi Standartları
TAI	Uluslarası Atomik Zaman
TCB	Barisentrik Koordinat Zamanı
TCG	Jeosentrik Koordinat Zamanı
TDB	Barisentrik Dinamik Zaman
TDT	Yersel Dinamik Zaman
TEO	Yersel Efemeris Orijin
TIO	Yersel Ara Orijin
TIRS	Yersel Ara Referans Sistemi
TRF	Yersel Referans Çatısı
TRS	Yersel Referans Sistemi
TT	Yersel Zaman
UT	Evrensel Zaman
UTC	Eşgüdümlü Evrensel Zaman
VieVS	Vienna VLBI and Satellite Software
VLBI	Çok Uzun Baz İnterferometrisi
ZHD	Başucu Hidrostatik Gecikmesi
ZTD	Başucu Toplam Gecikmesi
ZWD	Başucu Islak Gecikmesi

1. GİRİŞ

1.1. Geçmiş Çalışmalar

Okyanus gelgit yüklemesi (OTL) nedeniyle deniz tabanı basınç değişimleri, Yer kabuğunda OTL yer değiştirmesi olarak adlandırılan konum ve gelgit frekansına bağlı harmonik yer değiştirmelere neden olur. OTL yer değiştirmeleri OLFG/OLMPP [1], SPOTL [2], NLOADF [3], GOTIC2 [4], CARGA [5] ve LoadDef [6] gibi konvolüsyon yazılımları tarafından hesaplanmaktadır. Bu yazılımlar tüm okyanuslar için SCHW81 [7], TPXO8 [8], [9], FES2012 [10], [11] ya da FES2014 [12] gibi global okyanus gelgit modellerinin gridlenmiş değerleri üzerinden elastik load Green fonksiyonu konvolüsyon toplamını elde eder. Green fonksiyonu, kıta ve okyanus yapılarına dayalı yeryüzü yüküne Yer kabuğunun elastik tepkisini formüle eder [13]. Küresel gelgit modellerinin seyrek çözünürlüğünün ve sığ sulardaki modelleme yetersizliklerinin kıyı bölgeleri (kıyılardan ~150 km mesafeye kadar) etrafındaki OTL yer değiştirmelerinin doğruluğunu önemli ölçüde kısıtladığı kanıtlanırken (örneğin Agnew [3], Khan ve Scherneck [14], Bos ve Baker [5], Penna vd. [15], Yuan ve Chao [16]), küresel okyanus modellerinden elde edilen gelgit yükseklikleri derin okyanuslarda 2-3 cm içinde birbirleri ile uyuşumludur [17]. Okyanus gelgit modellerinden OTL yer değiştirmelerinin hesaplanması ve okyanus gelgit modellerinden yayılan OTL yer değiştirmelerindeki hatalar hakkında daha fazla ayrıntı ve tartışma Farrell [13], [18], Pagiatakis [19], [20], Scherneck [1], [21], Agnew [2], [3], Scherneck ve Bos [22], Baker ve Bos [23]'te sunulmaktadır.

Bugüne değin yapılan birçok çalışma göstermiştir ki OTL yer değiştirmeleri uzay jeodezisi teknikleri ile gözlemlenebilir. Literatürde uzay jeodezisi teknikleri gözlemlerinden gelgit harmonik bileşenlerinin çözümlenmesi için statik ve kinematik olarak adlandırılan iki ana yaklaşım önerilmiştir. Harmonik parametre kestirim yaklaşımı [24] olarak da adlandırılan statik yaklaşımda OTL yer değiştirmelerinin gerçek (eş fazlı) ve sanal (faz dışı) bileşenleri, günlük çözümlerin bir parçası olarak günlük istasyon koordinatlarıyla birlikte gözlem modeline dahil edilmektedir. Daha sonra gelgit bileşenlerinin günlük kestirimleri ve kovaryans bilgileri GNSS analizlerinde (örneğin Schenewerk vd. [25], Dach ve Dietrich [26], Allinson vd. [27], King vd. [28], Thomas vd. [29], Yuan vd. [30]) ve VLBI analizlerinde (örneğin Schuh

ve Moehlmann [31], Sovers [32], Haas ve Schuh [33], Scherneck vd. [34], Petrov ve Ma [35]) sıklıkla uygulanan Kalman filtresi kullanılarak birleştirilir. Yuan vd. [30], 1996'dan 2011'e kadar küresel olarak dağılmış 456 sabit GPS istasyonunun gözlemlerini analiz ederek, yarı-günlük ve günlük gelgit periyotlarında 8 ana harmoniğin üç boyutlu bileşeninin yer değiştirmelerini kestirmiştir. Gelgit bileşenlerinin ek parametreler olarak kabul edildiği günlük GPS serilerinde PPP (hassas nokta konumlandırma, precise point positioning, Zumberge vd. [36]) tekniğini kullanmışlardır. Gelgit bileşenlerinin günlük kestirimlerinin bileşkesi ile varyans-kovaryans matrislerini birleştirmişlerdir. Diğer sonuçların yanı sıra Yuan vd. [30], M_2, N_2, O_1 ve Q_1 bileşenlerinin doğruluklarını yatay ve radyal bileşenlerde sırasıyla 0.12 mm ve 0.24 mm olarak elde etmişlerdir. 40 istasyonun katıldığı ve Nisan 1980'den Ocak 2002'ye kadar gözlemlenen 3126 oturumun 3 milyondan fazla VLBI gözlemini analiz eden Petrov ve Ma [35], VLBI tekniğinin yatay ve radyal koordinat bileşenlerinde sırasıyla ortalama ~0.5 mm ve ~1.7 mm hassasiyetle OTL yer değiştirmelerini elde edebildiğini göstermiştir. 28 ortak yerleşke için Petrov ve Ma [35]; VLBI kestirimlerini, GOT00.2 [37] okyanus gelgit model değerleriyle karşılaştırmış, 8 ana gelgit için radyal yer değiştirme genliklerinde GPS [25]'den daha iyi bir sonuç elde ettiklerini ortaya koymuşlardır.

Kinematik yaklaşımda, istasyon koordinat zaman serileri ve standart hataları parametre kestiriminden önce gözlemlerden OTL yer değiştirmelerini indirgemeden gün içi aralıklarla (genellikle 1-2 saatlik gruplar halinde) kestirilir. Daha sonra, OTL yer değiştirmelerinin gelgit bileşenlerinin genlikleri ve fazları, gün içi istasyon zaman serilerinin harmonik analizi ile elde edilir. Böylece istasyonların, örneğin radyal koordinatları bağımsız mareograf ölçümleri gibi düşünülür. Kinematik yaklaşım birçok GNSS ölçülerini esas alan çalışmada (örneğin Baker vd. [38], Dragert vd. [39], Khan ve Tscherning [40], Vey vd. [41], Khan ve Scherneck [14], King [42], Yun vd. [43], Melachroinos vd. [44], Vergnolle vd. [45], Penna vd. [24], Martens vd. [6]) uygulanmıştır. Dragert vd. [39], 3 saatlik ve günlük çözümler için 4 haftalık kesintisiz GPS verisini kullanarak kıyı bölgesindeki HOLB (Kanada) GPS istasyonunun konum zaman serilerini kestirmiştir. Dragert vd. [39]'ne göre, okyanus yüklemesi yer değiştirmelerinin modellenmemiş kısımları küçük yanlılıklar (bias) olarak istasyon konumlarının günlük ortalamalarına yayılmaktadır. Ayrıca, günlük GPS çözümlerine okyanus yüklemesi düzeltmeleri getirmek dikey gelgit hareketi saatlik troposfer

gecikme kestirimlerine yayılır, böylece saatlik zenit gecikme kestirimlerini 1 cm'ye kadar saptırır. Khan ve Tscherning [40], standart göreli GPS konumlama tekniğinin saatlik çözümlerinden iki GPS istasyonu (Fair ve Chi3) arasındaki M_2 ve N_2 gelgitlerinin diferansiyel genliklerini kestirmiş ve GOT99.2 [37] okyanus gelgit modeli ile bu istasyonlar için benzer M_2 ve N_2 diferansiyel genliklerini elde etmiştir. Troposfer zenit gecikmesinin saatlik aralıklarla tahmin edilmesinin yükleme sinyalini ortadan kaldırması nedeniyle [39], Khan ve Tscherning [40], saaatlik çözümlerde günlük L3 belirsizliğine ek olarak troposfer zenit gecikmelerini Saastamoinen [46] modeline sabitlemiştir. Takip çalışması olarak, Khan ve Scherneck [14], 49 günlük bir süre boyunca Alaskadaki Fair ve Chi3 istasyonlarındaki GPS gözlemlerinin saatlik çözümleriyle zenit toplam gecikmesi (zenith total delay, ZTD) kestirimlerinden M_2 gelgitinin diferansiyel radyal ve kuzey-güney genliklerini ve fazlarını ayrıştırabilmiş ve GOT99.2 okyanus gelgit modelini kullanarak sonuçları doğrulamıştır. Vey vd. [41], 3 günlük bir periyot boyunca altı GPS istasyonunun katılımıyla 3 saatlik oturumların gözlemlerini analiz ederek OTL düzeltmelerinin GPS ZTD kestirimleri üzerindeki etkisini incelemiştir ve CSR4.0 [47] okyanus gelgit modelini kullanarak OTL yer değiştirmelerini uygulayarak ve uygulamadan ZTD'yi kestirmiştir. Pratikte OTL dikey konum yer değiştirmeler ile bu iki çözümün ZTD farkları arasındaki korelasyonu karşılaştırarak, Vey vd. [41] 4.4 cm istasyon yüksekliği hatasının 1 cm ZTD hatasına neden olacağı sonucuna varmışlardır. Benzer şekilde, CONT11 kampanyasının VLBI gözlemlerine dayanan çalışmalarında Teke vd. [48], 2 saatlik oturumlarda gözlem sayısına ve bunların gökyüzü dağılımına bağlı olarak, 2 saatlik ve 24 saatlik otumların analizleri arasında, istasyon konumlarının radyal bileşenlerinde yaklaşık 2 ila 4 cm arasında farklar, bunun yanı sıra troposfer zenit toplam gecikme değerlerinde 1 cm dolaylarında farklar bulmuşlardır.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, IVS günlük oturumlarının analizi ile okyanus gelgit yüklemesi yarı-günlük (M_2, S_2, N_2, K_2) ve günlük (K_1, O_1, P_1, Q_1) gelgitlerinin genlik ve Greenwich faz gecikmesi bileşenlerinin kestirilmesi, böylece VLBI ile ölçülen ve global okyanus gelgit modellerinden tahmin edilen yer değiştirmelerin arasındaki uyuşumun her bir gelgit için istatistiksel yöntemler ile ortaya konulmasıdır. Yukarıda belirtilen tezin amacına ulaşabilmek için öngördüğümüz hedefler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- 2000 yılından 2018 yılının sonuna kadar toplam 18 yılı kapsayan günlük global IVS oturumlarını analiz etmek. Tez kapsamında analiz edilen IVS günlük global oturum türleri: IVS-R1, IVS-R4, IVS-TRF, IVS-T2, RDV, CONT, EURO, EVN, APSG, vd.
- Bu analizler sonucu her istasyon için kestirilen 2 saat aralıklı lokal toposentrik koordinatlar (radyal, batı, güney) ölçü olarak ele alınarak en-küçük-kareler (EKK) ve Kalman filtresi kestirim yöntemleri ile okyanus gelgit yüklemesi yarı-günlük ve günlük gelgitlerin genlik ve Greenwich faz gecikmesi bileşenlerini kestirmek.
- VLBI ile ölçülen ve güncel global okyanus gelgit modelleri (FES2014b, GOT4.10c, TPXO9) ile tahmin edilen yer değiştirmeler arasındaki uyuşumu istatistiksel irdeleyerek global okyanus modellerine ve VLBI ölçülerine bağlı yetersizlikleri ortaya koymak. Uyuşumun istatistiksel irdelenmesinde, VLBI ve model yer değiştirmelerinin farklarının karesel ortalaması (root-mean-square, RMS) ve her bir ana gelgit ve koordinat bileşenine (radyal, batı, güney) ait fazör vektörlerinin fark vektörlerinin genlikleri karşılaştırma metriği olarak esas alınmıştır.

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması 7 bölümden meydana gelmektedir. Tezin 2. Bölümü uzay – zaman referans sistemlerini, bu referans sistemleri arasındaki dönüşümleri ve Yer Yönelim Parametrelerinden kısaca bahsetmektedir. Bu bölüm tez taslağı için temel oluşturmaktadır. Tezin 3. Bölümü IERS2010 Konvansiyonlarına göre istasyon konumlarına etkiyen jeodinamik etkilerden bahsetmektedir. Tezin 4. Bölümü VLBI uzay jodezisi tekniğinin temellerinden bahsetmektedir. Tezin 5. Bölümü parametre kestirim metodlarından olan EKK dengelemesi ve Kalman filtresinden bahsetmektedir. Tezin 6. Bölümü VLBI ölçüleri kullanılarak yapılan uygulamaları içermektedir. Tezin 7. Bölümünde uygulamadan elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2. UZAY – ZAMAN REFERANS SİSTEMLERİ VE ARASINDAKİ DÖNÜŞÜMLER

2.1. Zaman Sistemleri ve Arasındaki Dönüşümler

Eski çağlardan beri insanlar astronomik hareketleri gözlemleyerek zaman kavramını tanımaya çalışmışlardır. Güneş ve Ay her gün doğup batmaktadır ve gökyüzünde tahmin edilebilir bir şablon oluşturmaktadır. Güneş ve ay tutulmaları insanlar tarafından gözlemlenmektedir. Bu döngülerin gözlemlenmesi ve ölçülmesi günlük yaşam, dini uygulamalar ve tarım için önem arz etmektedir. Doğal olarak farklı kültürler takvim oluşturma konusunda farklı gelenekler geliştirmişlerdir. Gözlemlerin doğruluğu ve uygulamalardaki farklılıklar, hareketlerin anlaşılmasında ve öngörülerde bulunabilmede farklılıklara yol açmıştır. Bilgi ve doğruluktaki bu gelişmeler, zamanın tanımında ve zamanın kullanımında şimdiki ve gelecekteki değişiklikleri sürdürmeye devam etmektedir [49].

Yirminci yüzyılın başlamasıyla her ülkedeki resmi zaman, sarkaçlı saat zaman standartlarına dayanıyordu. Okyanus ötesi telgraf sinyalleri ile boylam ölçümleri yapılmasına rağmen, uluslararası zaman değişimi izlenmiyordu. Kutup hareketinin uluslararası ölçekte izlenmesi henüz yeni başlamıştı. Dünya'nın dönme eksenindeki değişimlerden şüphelenildi, ancak kanıtlanamadı. Ortalama güneş zamanı, Newcomb'un Güneş teorisine dayanıyordu. Astronomik gözlemler fotoğrafçılığa ve daha doğru astronomik sabitlerin kabulüne dayanarak gelişiyordu [49].

Zaman ölçekleri, tekrarlayan astronomik veya fiziksel olayların gözlemine dayanmaktadır. Ardışık iki olay arasındaki zaman aralığı, belirli bir zaman sisteminin ölçeğini oluşturur. İlgili zaman sisteminin ölçeğinin belirli bir katı veya kesri zaman birimi olarak adlandırılır. Genel olarak, tüm zaman sistemlerinde temel ölçek olarak saniye zaman birimi olarak kullanılır. Günler veya yıllar gibi daha büyük zaman birimleri saniyeden türetilir. Zaman ölçeğinde bir başlangıç noktası veya referans noktası belirlenmelidir. Bu, bir yıldızın belirli bir konumu veya belirli bir göksel nesnenin meridyen geçişi gibi belli bir astronomik olayla sağlanabilir [50].

Jeodezide zamanın büyük bir rolü vardır. Jeodezik gözlem yöntemleri konumlama yapmak için elektromanyetik dalgaların zaman veya frekans ölçülerini kullandığından yapay veya doğal uyduların hareketlerini modellemek için tek tip bir zaman ölçeğine ihtiyaç vardır. Diğer yandan uzaya göre güneş sisteminde Dünya'nın bağıl hareketini tanımlamak ve ölçü epoklarını tek anlamlı elde etmek için bir zaman sistemi gerekir [51]. Bu bilgiler ışığında tez çalışmasında zaman sistemlerini üç ana başlık altında inceleyeceğiz:

- Dünya'nın kendi ekseni etrafındaki hareketini esas alan zaman sistemleri,
- Güneş sistemindeki gök cisimlerinin yörünge hareketini esas alan zaman sistemleri,
- Atomik salınımları esas alan zaman sistemleri.

2.1.1. Dünya'nın Kendi Ekseni Etrafındaki Hareketini Esas Alan Zaman Sistemleri

2.1.1.1. Görünen Güneş Zamanı

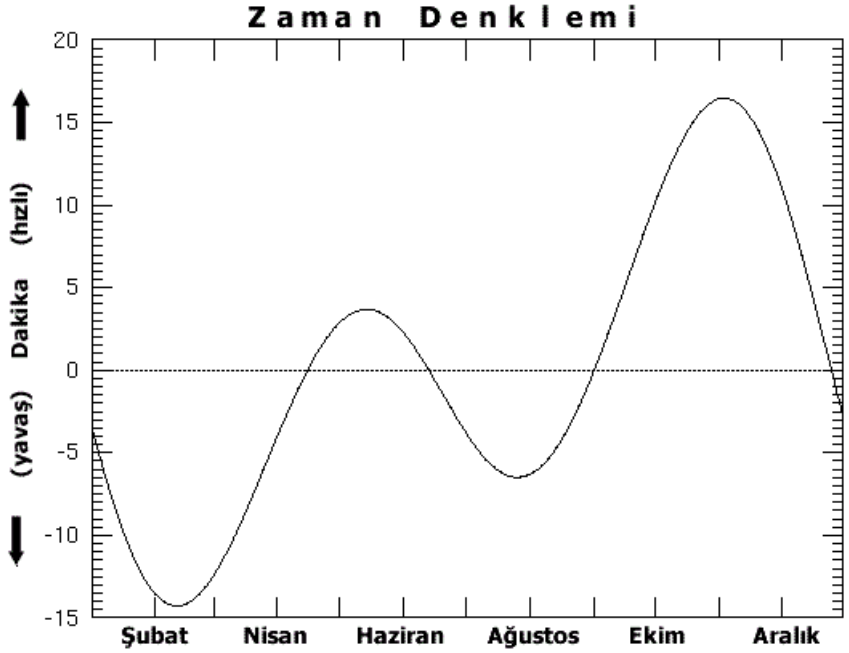
Güneş'in gökyüzündeki konumu eski zamanlardan beri geçen zamanı ölçmenin bir yolu olarak kullanılmıştır. Anlık güneş zamanı, Güneş'in görünen hareketini temel alır. Lokal meridyenden Güneş'in ardışık iki geçişi arasında geçen süreye görünen güneş günü denir. Bu süre söz konusu noktanın veya istasyonun boylamına bağlıdır. Gözlemci Greenwich meridyeninde ise Greenwich Görünen Güneş Zamanı ve diğer herhangi bir yer için bu zamana Yerel Görünen Güneş Zamanı denir. Görünen Güneş'in ekvatora göre eğimli olması ve Dünya'nın Güneş etrafında eliptik yörünge çizmesinden dolayı görünen Güneş gününün uzunluğu değişir.

2.1.1.2. Ortalama Güneş Zamanı

Gerçek Güneş'in saat açısında, Güneş'in değişen yükselim açısından (deklinasyon) ve Dünya yörüngesinin eliptikliğinden dolayı yıl boyunca oldukça büyük farklılıklar meydana gelmektedir. Sonuç olarak bu ölçüm düzenli bir zaman ölçeği için uygun değildir. Bu nedenle ekvator düzleminde sabit hızla hareket eden hayali bir Ortalama Güneş kabul edilmiştir. Ortalama Güneş'in iki özelliği vardır: Ekvator üzerinde gerçek Güneş'in ortalama açısal hızına eşit sabit bir hızla düzgün dairesel hareket yapmaktadır ve yıllık dönüşünü gerçek Güneş'le aynı anda tamamlamaktadır. Ortalama Güneş Günü meridyen boyunca hayali Güneş'in ardışık iki geçişi arasındaki geçen süre olarak tanımlanır. 1860 yılında ortalama Güneş gününün 86400'de biri olarak "saniye"

tanımlanmıştır. Bu tanım saniye için yapılan ilk kabuldür. Ortalama Güneş Zamanı, ortalama Güneş'in saat açısına 12 saat eklenerek bulunur.

Ortalama ve görünen Güneş zamanı arasındaki fark zaman denklemi olarak adlandırılmaktadır. İlk başlarda zaman denklemi, ortalama Güneş zamanını elde etmek için görünen Güneş zamanına uygulanmıştır, günümüzde ise zaman denklemi genel olarak görünen Güneş zamanını elde etmek için ortalama Güneş zamanına uygulanmaktadır. Bu nedenle, zaman denkleminin işaretine dikkat edilmelidir. Zaman denklemi, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi 6 Şubat civarında yaklaşık olarak -14 dakikalık ve 3 Kasım civarında ise yaklaşık olarak 16 dakikalık bir maksimum değere ulaşır. Zamanla değişen zaman denklemi, güneşin yükselim açısının bir fonksiyonu olarak da çizilebilir. Çizilen bu eğriye analemma denir [49]. Yani yeryüzünde sabit bir noktadan günün hep aynı vaktinde bakıldığında, Güneş'in yıl boyunca gökyüzünde çizdiği eğridir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Zaman Denklemi [52].

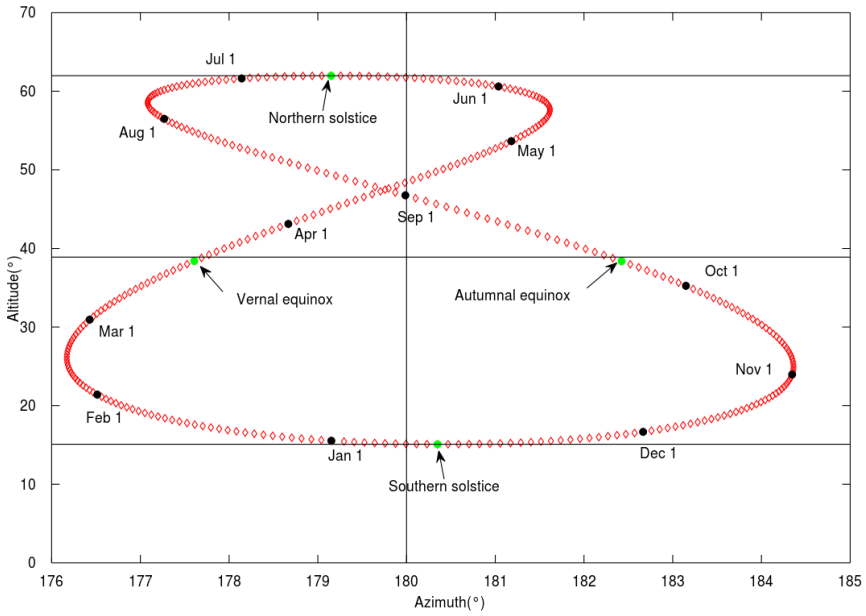
2.1.1.3. Yıldız Zamanı

Yıldız zamanı ilkbahar noktasının saat açısıyla ölçülür. Göksel sistemde Dünya'nın doğrudan ve gözlemlenebilir bir ölçüsü olmasına rağmen, Dünya'nın dönüklüğünün gerçek bir ölçüsü değildir. Çünkü presesyon ve nutasyondan dolayı ilkbahar noktası sürekli olarak hareket etmektedir. Görünen yıldız zamanı (AST), ölçü zamanındaki

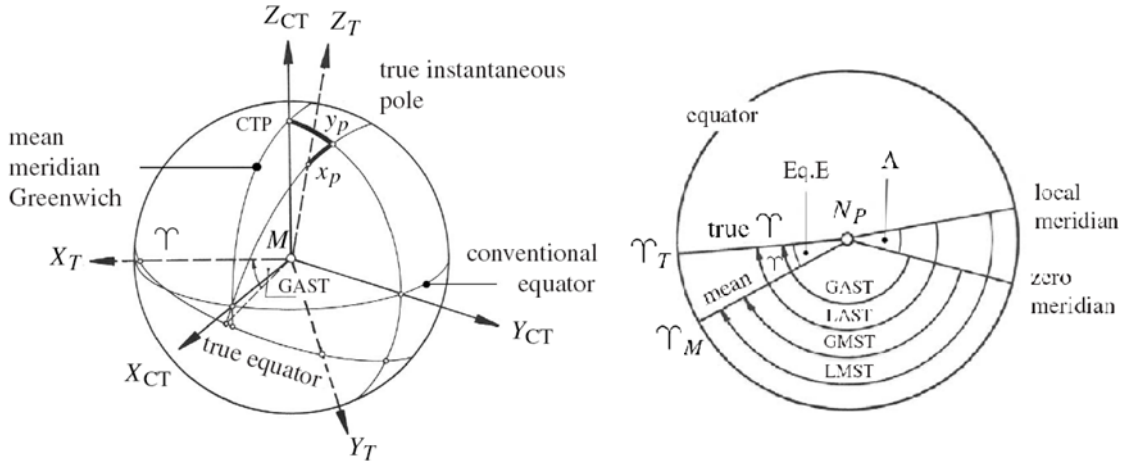
gerçek ekliptik ile gerçek ekvatorun kesişimi olan gerçek ekinoksa göre ölçülür. Gerçek ekinoks, görünen yıldız zamanındaki periyodik değişimlerini ortaya çıkaran presesyon ve nutasyondan etkilenmektedir. Greenwich ortalama yıldız zamanı (GMST), sadece presesyon hareketini esas alan ortalama ekinoksa göre ölçülür. Ortalama yıldız zamanından görünen yıldız zamanı çıkartıldığında:

$$GMST - GAST = \Delta\psi \cos\varepsilon \tag{2.1}$$

ekinoks eşitliği elde edilir (Şekil 2.3). Eşitlik (2.1)'de $\Delta\psi$ göksel boylamdaki nutasyon, ε ise eğiklikteki nutasyon olarak adlandırılır.



Şekil 2.2. Analemma (Günsekizi) [53].

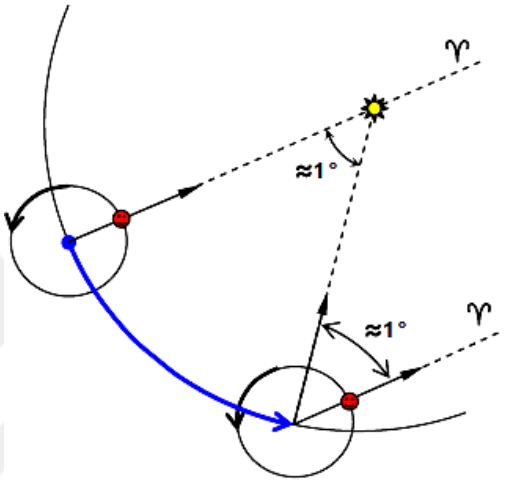


Şekil 2.3. Yıldız zamanları ve aralarındaki ilişki[50].

Greenwich yıldız zamanından (GMST veya GAST) yerel yıldız zamanı (LMST veya LAST) çıkarıldığında ise;

$$GMST - LMST = GAST - LAST = \Lambda \tag{2.2}$$

ilgili gözlem noktasının astronomik boylamı elde edilir. Gözlem noktasının Greenwich meridyeninin doğusunda veya batısında olma durumuna göre boylamın işareti değişir (Şekil 2.3). Görünen Güneş her gün yaklaşık olarak bir derece göksel ekvator boyunca hareket ettiğinden, yıldız günü güneş gününden yaklaşık 3 dakika 56 saniye kadar kısadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Yıldız Zamanı ile Güneş Zamanı arasındaki farklılık [54].

2.1.1.4. Evrensel Zaman

Ortalama Güneş'in hareketine karşılık gelen bir zaman ölçeğinin tanımlanması fikri 1935 yılında Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) tarafından ortaya atılmıştır [49]. Dünya'nın kendi ekseni etrafındaki hareketini esas alan, genel olarak Greenwich alt geçiş meridyeninden güneşin ortalama saat dairesine gök ekvatoru boyunca saat ibresi yönündeki açı olarak tanımlanan astronomik zaman sistemidir. Diğer bir ifade ile ortalama Güneş'in Greenwich saat açısına Evrensel Zaman (UT) denir [50]. Pratik olarak kullanılabilmesi için gün, gece yarısından itibaren başlar:

$$UT = 12^h + \text{Ortalama Güneş'in Greenwich saat açısı} \tag{2.3}$$

Yerel astronomik meridyen daireleri üzerinden yıldız geçişleri esas alınarak yapılan Dünya'nın dönme açısı gözlemleri, yeryüzü üzerinde Dünya'nın dönme ekseninin kutup hareketinden etkilenir. Sonuç olarak, bu gözlemler artık kullanımda olmayan UT0 olarak bilinen yerel bir evrensel zaman ölçüsü sunmaktadır. Kısaca ifade etmek

gerekirse, UT0 evrensel zamanı Yer'in dönme ekseninin kutup hareketleri etkisi altındaki (kutup hareketleri kaynaklı düzeltme getirilmemiş) anlık dönme eksenini esas alır [51]. UT1 ise UT0 gözlemlerine kutup hareketi düzeltmesi getirilerek elde edilir [49]. UT2, UT1'deki tüm periyodik mevsimsel zonal değişimlerin düzeltilmesiyle (indirgenmesi sonucu) elde edilir. UT1 ve UT2 arasındaki farklılığı ortaya koyan McCarthy [55]'de verilen konvansiyonel eşitlik:

$$UT2 = UT1 + 0.022^s \sin 2\pi t_B - 0.012^s \cos 2\pi t_B - 0.006^s \sin 4\pi t_B + 0.007^s \cos 4\pi t_B$$
$$t_B = \mathrm{mod}\left[2000 + \frac{JulianGünü - 2451544.533}{365.2422}, 1\right] \tag{2.4}$$

şeklindedir. Burada t_B Besselian yılının artık zamanıdır.

2.1.2. Güneş Sistemindeki Gök Cisimlerinin Yörünge Hareketini Esas Alan (Dinamik) Zaman Sistemleri

Güneş sistemindeki gök cisimlerinin, Yer veya Güneş merkezli göksel referans çatılarındaki konum ve hız vektörlerini elde etmek için oluşturulan güneş sistemi almanaklarında ve bu gök cisimlerinin hareket denklemlerinde kullanılan zamana benzeyen (zamansı) parametrelerin tanımlı olduğu zaman sistemleridir.

2.1.2.1. Efemeris Zamanı

1948'de Clemence tarafından önerilen ve 1952'de IAU tarafından standart olarak kabul edilen Efemeris zamanı (ET), dünyanın dönüşündeki düzensizliğin etkisinden kurtulmak için tek tip bir zaman ölçeği olarak tasarlandı. ET, prensip olarak Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesel hareketi ile tanımlanmıştır ve Simon Newcomb'un Güneş Tablolarından (1895) yararlanılmıştır. Efemeris zamanının başlangıcı ortalama güneşin $279^\circ 41' 48.04''$ boylamındaki 0 Ocak 1900 yılı saat 12 referans alınmıştır. Buradan hareketle Efemeris saniyesi ise 1900 yılı için tropik yılın (güneşin ilkbahar noktasından birbirini takip eden iki geçişi arasındaki süre) 31556925.9747'de biridir [49]:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ET Saniyesi} &= 1/[(360 \times 60 \times 60 / 129602768.13) \times 36525 \times 86400)] \\ &= 1/31556925.9747 \text{ tropik yıl } (1900 \text{ yılı 0 Ocak saat 12 için}) \end{aligned} \tag{2.5}$$

2.1.2.2. Yersel Dinamik Zaman ve Barisentrik Dinamik Zaman

1977'de IAU yörünge hareketinin göreceli bir formulasyonu için ortaya çıkan gereklilikleri karşılamak için Dinamik Zaman Ölçekleri'ni tanımlamıştır. Barisentrik

(Güneş merkezli) Dinamik Zaman (TDB), güneş sisteminin merkezi için zamansı bir parametre olarak tanımlanmıştır. Yersel Dinamik Zaman (TDT) ise jeosentrik (yer merkezli) efemerisleri referans almıştır [50].

Genel görelilik kavramında, Dünya ile birlikte hareket eden bir saat, Güneş'in yerçekimi alanındaki yıllık hareketin neden olduğu 1.6 milisaniyeye kadar periyodik değişimler yaşar. Ancak uydular Dünya ile birlikte hareket ettiğinden dolayı Dünya'ya yakın uydu yörüngelerinin hesaplanmasında bu periyodik değişimler dikkate alınmamalıdır. Bu nedenle TDT jeosentrik hesaplamalar için uygun zaman değildir. TDT, TDB ile karşılaştırıldığında görelilik teorilerden bağımsızdır. TDB dünyanın güneş çekim potansiyeli içindeki hareketi nedeniyle gerekli görelilik düzeltmelerini içerdiğinden TDT'ye göre daha düzenlidir.

Dinamik zaman 1 Ocak 1984'ten bu yana astronomik efemerisler için argüman olarak kabul edilmiştir. SI saniyesi TDT ölçeğinde temel zaman birimi olarak tanınmıştır. SI saniyesi atomik bir saatin dönen jeoit üzerinde ölçeceği zamana karşılık gelmektedir. Sürekliliğin sağlanması adına TDT 1 Ocak 1984'ün başında ET'ye eşit olarak ayarlanmıştır. Bu tarihten itibaren ET'nin yerini TDT almıştır.

Genel görelilik teorisine göre dinamik zaman ölçeği bir koordinat sistemine dayandırılarak koordinat zaman sistemlerine dönüştürülür. Bu koordinat sistemleri ise Barisentrik referans sistemi ve jeosentrik referans sistemidir. Böylece bu sistemlere karşılık gelen zaman ölçekleri Barisentrik Koordinat Zamanı (TCB) ve Jeosentrik Koordinat Zamanı (TCG) olarak belirlenmiştir.

1991 yılında bu zaman ölçeklerinin genel görelilik kavramında kullanımına ilişkin olarak, IAU TDT'nin adında bir değişiklik yapmıştır ve TT (Yersel Zaman) olarak kullanılmaya başlanmıştır. TT ilgili ana özgün zaman ölçeğidir (proper time scale) ve tanımı gereği jeoit yüzeyinde ölçülen herhangi bir ana ve konuma özgün zamanı ifade eder; Eşitlik (2.6) ve SI saniyesi ile tanımlanmıştır:

TT = 1.0003725 Ocak 1977'deki ET ($1.0003725 = 1^{d}\ 00^{h}\ 00^{m}\ 32.184^{s}$) (2.6)

2000 yılında IAU, jeoidin gerçekleştirilmesindeki belirsizlikler nedeniyle, TT'nin TCG'den sabit belirli bir oranda farklı olarak yeniden tanımlanmasını tavsiye etmiştir:

$$TCG = TT + L_G \times (JD - 2443144.5) \times 86400^s \quad (2.7)$$

Burada, L_G = $6.969290134 \times 10^{-10}$ dur ve gelecekteki gelişmiş Dünya modelleri ile değişmeyecek bir tanımlayıcı sabit olarak tanımlanmıştır. TT ve TDB arasında Eşitlik (2.8)'deki ilişki vardır:

$$TDB \approx TT + 0.001658^s \sin(g + 0.0167 \sin(g))$$
$$g = (357.528^\circ + 35999.050^\circ T) * \frac{2\pi}{360^\circ} \quad (2.8)$$
$$T = \frac{(t_{TDB} - 2451545.0)}{36525}$$

Burada, g Dünya'nın kendi yörüngesindeki ortalama anomalisi; T, TDB zaman ölçeğinde julian yüzyılıdır.

2.1.3. Atomik Salınımları Esas Alan Sistemler

Atomik zaman İngiltere'deki Ulusal Fizik Laboratuvarı'nın (NPL) sezyum atom rezonansını kullanarak ilk uygulanabilir kronometreyi icadı ile 1955'te ortaya çıkmıştır. 1958'de sezyum rezonansı, efemeris saniyesinin astronomik gözlemleriyle karşılaştırılmış ve atomik saniye ortaya çıkmıştır. Böylece 86400 atomik saniye bir efemeris gününün uzunluğuyla eşleşir, ancak ortalama güneş günü bir miktar daha uzundur. Atomik saniyenin ortaya çıkmasıyla SI saniyesinin bilinen tanımı değişmiştir. SI saniyesi: Özel koşullarda sezyum 133 atomunun iki enerji seviyesi arasındaki 9192631770 kez meydana gelen titreşimi için geçen süredir [56].

2.1.3.1. Uluslararası Atomik Zaman

Uluslararası Atomik Zaman (Temps Atomique International, TAI) yüksek hassasiyetli bir atomik koordinat zaman ölçeğidir. Kısaca TT'nin gerçekleştirilmesi olarak tanımlanabilmektedir. TAI, SI saniye ölçeğini mümkün olduğu kadar yakın tutmak için dünyanın dört bir yanından 400'den fazla yüksek hassasiyetli atomik saatten elde edilen verileri birleştiren BIPM tarafından gerçekleştirilmektedir [57]. Türkiye'de de TUBİTAK tarafından ölçümleri yapılan bir atomik saat bulunmaktadır. Bu saatlerin dünya çapında senkronizasyonu yaklaşık olarak 100 ns'dir [58]. Atomik saatlerin mükemmel hassasiyeti nedeniyle, mekânsal olarak değişen yerçekimi potansiyelinden kaynaklanan genel görelilik etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle SI saniyesi "dönmekte olan jeoit"te tanımlanmıştır, yani TAI barisentrik bir referans sistemi için değil Yersel bir referans sistemi için tanımlanmıştır. TAI'nin başlangıç

noktası 1 Ocak 1958 saat 00:00 olarak seçilmiştir. 1977'de ET ile TAI arasında ilişki kurulmuştur ve TAI, 1 Ocak 1977 saat 00:00 iken ET, 1 Ocak 1977 $0^h0^m32.184^s$'dir. Böylece ET, TAI, TT ve TDT sistemleri arasındaki ofset:

$$TT - TAI = TDT - TAI = ET - TAI = 32.184^s \tag{2.9}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

2.1.3.2. Eşgüdümlü Evrensel Zaman

TAI sistemini tam saniye farklarıyla takip eden, evrensel zaman ile arasındaki fark (UT1-UTC) ise 0.9 saniyeyi geçmeyecek şekilde artık (sıçrama) saniye(si) (leap seconds) adı verilen birer saniyelik düzeltmeler getirilerek elde edilen atomik zaman sistemi olarak tanımlanır. Dünyadaki bütün sivil saatler atomik zaman standardına göre ayarlanmıştır. Atomik zamanın frekans tutarlılığının güneş zamanından çok daha iyi olmasına rağmen yine de sivil zamanın güneş zamanına karşılık gelmesi istenmektedir. Bu nedenle belirli adımlarla evrensel zamana ayak uydurabilen yeni bir atomik zaman ölçeği tanımlanmıştır. Bu zaman ölçeğine Eşgüdümlü Evrensel Zaman (UTC, Universal Time Coordinated) denmektedir. Evrensel zamana yakın kalmak için Eşitlik (2.10)'da verilen koşul oluştuğunda UTC'den bir veya nadiren iki sıçrama saniyesi çıkarılır. UTC, 1961'de BIH (Bureau International de l'Heure) tarafından ortaya konulmuştur ve şuan BIPM tarafından sürdürülmektedir [57].

$$|UT1 - UTC| < 0.9s \tag{2.10}$$

UTC'deki yapılan bu düzeltmelere artık saniye (sıçrama saniyesi) denmektedir. Artık saniye düzeltmesinin UTC'ye getirilip getirilmeyeceğine UT1-UTC öntahmin serileri analiz edilerek Eşitlik (2.10)'daki koşulun gelecek 6 aylık zaman diliminde gerçekleşip gerçekleşmeyeceği öngörülerek IERS tarafından karar verilir ve artık saniyenin 1 Ocak ya da 1 Temmuz'da UTC'ye uygulanmasına veya UTC'nin aynen kalmasına önceden karar verilir (Tablo 2.1). Dünyanın dönme hızı yavaşladığından dolayı şimdiye kadar artık saniye(ler) evrensel zamanı yakalamak için UTC'ye eklenmiştir. En son 1 Ocak 2017 tarihinde artık saniye eklenerek toplam artık saniyeler 27 olmuştur. TAI ile UTC arasındaki ilişki kronolojik sıraya göre Tablo (2.1)'da verilmektedir:

Tablo 2.1.UTC'ye uygulanan artık saniye düzeltmeleri ve tarihleri.

Tarih	TAI − UTC (sn)	Tarih	TAI − UTC (sn)
01.01.1961	1.422818s+(MJD−37300)×0.001296s	01.01.1979	18s
01.07.1961	1.372818s+(MJD−37300)×0.001296s	01.01.1980	19s
01.01.1962	1.845858s+(MJD−37665)×0.0011232s	01.07.1981	20s
01.11.1963	1.945858s+(MJD−37665)×0.0011232s	01.07.1982	21s
01.01.1964	3.240130s+(MJD−38761)×0.001296s	01.07.1983	22s
01.04.1964	3.340130s+(MJD−38761)×0.001296s	01.07.1985	23s
01.09.1964	3.440130s+(MJD−38761)×0.001296s	01.01.1988	24s
01.01.1965	3.540130s+(MJD−38761)×0.001296s	01.01.1990	25s
01.03.1965	3.640130s+(MJD−38761)×0.001296s	01.01.1991	26s
01.07.1965	3.740130s+(MJD−38761)×0.001296s	01.07.1992	27s
01.09.1965	3.840130s+(MJD−38761)×0.001296s	01.07.1993	28s
01.01.1966	4.313170s+(MJD−39126)×0.002592s	01.07.1994	29s
01.02.1968	4.213170s+(MJD−39126)×0.002592s	01.01.1996	30s
01.01.1972	10s	01.07.1997	31s
01.07.1972	11s	01.01.1999	32s
01.01.1973	12s	01.01.2006	33s
01.01.1974	13s	01.01.2008	34s
01.01.1975	14s	01.07.2012	35s
01.01.1976	15s	01.07.2015	36s
01.01.1977	16s	01.01.2017	37s
01.01.1978	17s		

2.1.3.3. GNSS Zamanı

GNSS uydularından gelen sinyallerin gözlem noktalarına varış zamanlarının hassas belirlenebilmesi için GNSS uydularında atomik saatler kullanılmaktadır. Uyduların saatleri ana kontrol istasyonlarının saatleriyle sürekli olarak senkronize edilmektedir. GPS Zamanı (GPST), TAI ile 1 μs tutarlı olan bir atom zaman ölçeğidir. GPST, 6 Ocak 1980 saat 00:00 UT'de (JD = 2444244.5) başlamaktadır. GPST ile TAI arasındaki ilişki:

$$GPST = TAI - 19.0s \tag{2.12}$$

şeklindedir. Diğer GNSS'lerin kullandığı zaman sistemlerinin çoğu GPS'e benzese de bazı farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, hem Galileo hem de BeiDou sistemlerinin hiçbir artık saniye düzeltmesi yapmadan TAI'ye göre belirli sabit farkları vardır:

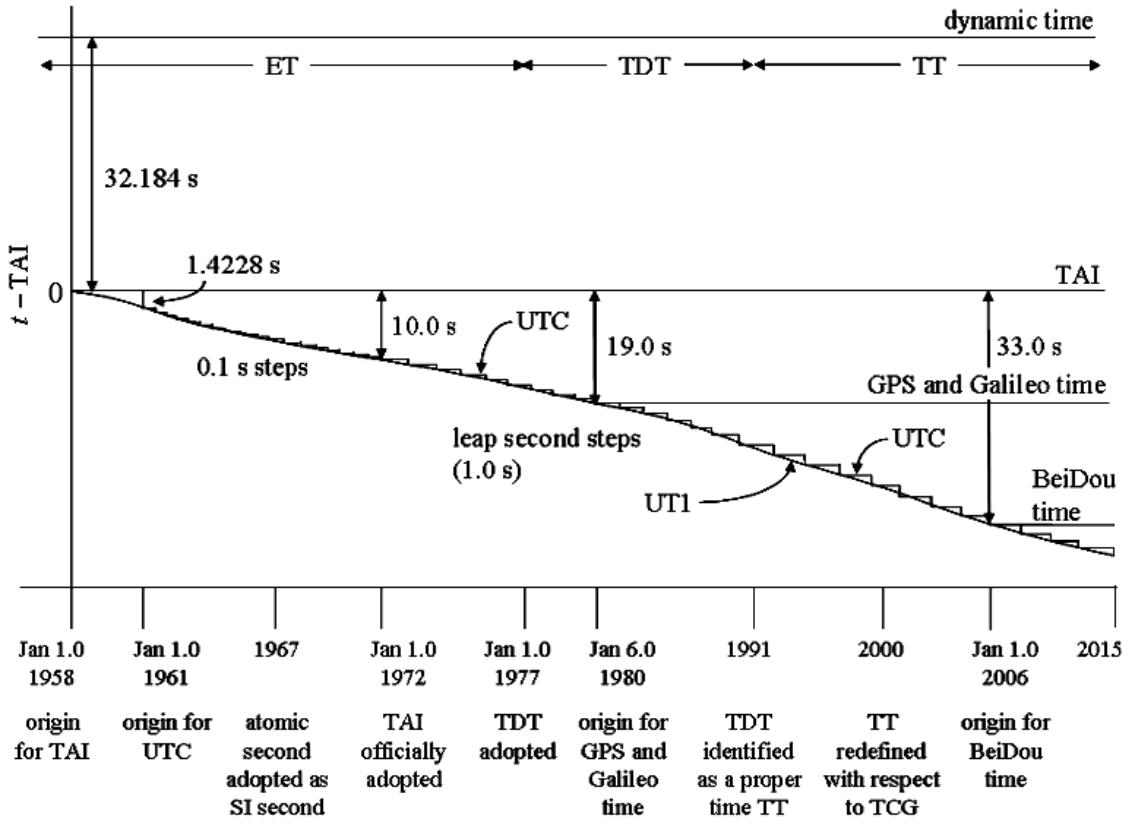
Galileo Sistem Zamanı (GST) = $TAI - 19.0\text{s}$ (2.13)

BeiDou Zamanı (BDT) = $TAI - 33.0\text{s}$ (2.14)

GST'nin başlangıç noktası GPST ile aynıdır. BDT'nin başlangıç noktası 1 Ocak 2006 UTC'dir. Rusya Federasyonu'na ait GNSS uydu sistemi olan, GLONASS'ın zaman sistemi Moskova'nın zaman diliminde ve UTC ölçeğine bağlıdır:

GLONASS Zamanı (GLONASST) = $UTC + 3$ saat (2.15)

Artık saniyelerin yanı sıra GLONASST, Greenwich ve Moskova arasındaki zaman dilimi farkından dolayı UTC'den her zaman üç saat ileridedir. Çeşitli atomik zaman ölçekleri arasındaki ilişkiler Şekil (2.5)'te dinamik zaman ölçekleriyle birlikte gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Zaman sistemleri arasındaki ilişki [57].

2.2. Yer Yönelim Parametreleri

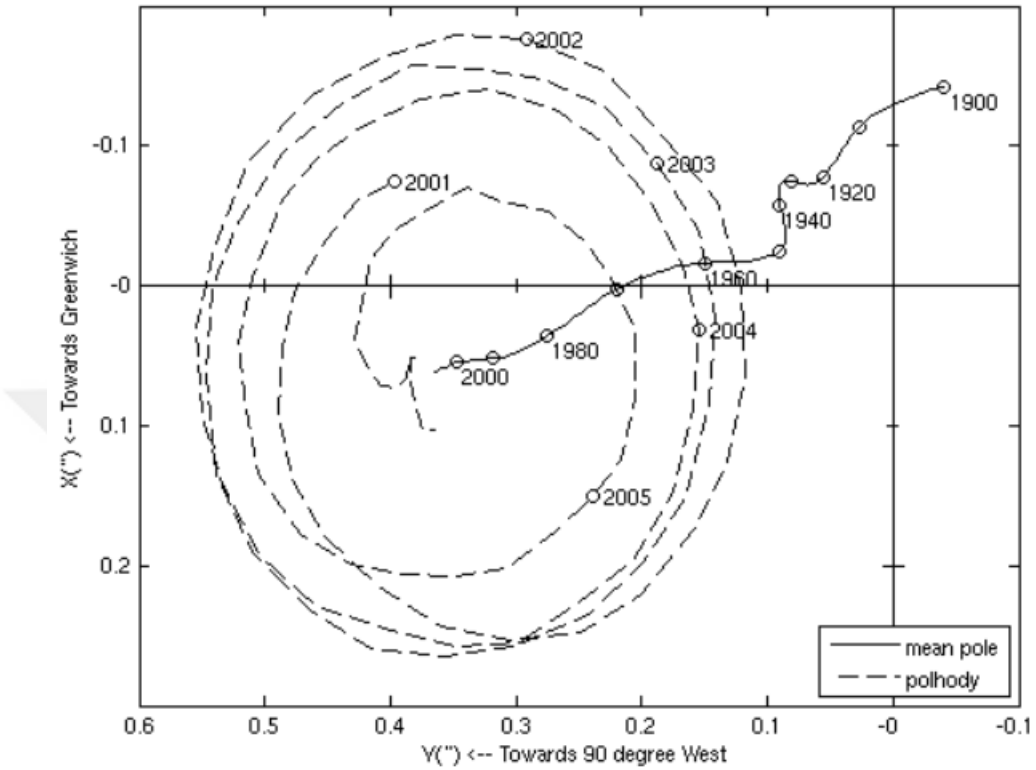
Yer yönelimi, yersel bir jeosentrik eksen seti ile uzaya göre dönmeyen bir jeosentrik eksen kümesi arasındaki dönüklükler olarak tanımlanır. Dünya'nın dönüşünü

tanımlamanın yaygın yolu, bu iki sistem arasındaki dönüklük matrisini belirlemektir. Dünya sabit bir dönme ekseni etrafında düzgün bir şekilde dönüyor olsaydı, Dünya dönme değişiklikleri bir parametre ile tanımlanacaktı: Zamanla doğrusal olarak değişen dönme açısı veya bu dönme açısından türetilebilen zaman ölçeği (evrensel zaman). Aslında dönme ekseni ne kabuğa, ne de bir gök sistemine göre sabittir ve Dünya'nın dönme hızı küçük değişikliklere uğrar. Dünya dönme vektörünün değişimlerine Ay, Güneş ve gezegenlerin uyguladığı bozucu gravite torku, gezegenin farklı yerlerindeki kütlelerin zamanla yer değiştirmesi ve diğer uyarma (eksitasyon) mekanizmaları neden olur. Gözlenen kütlesel salınımlar, manto esnekliği, çekirdek-manto sınırının yapısı ve özellikleri, çekirdeğin reolojisi, yeraltı suyu, okyanus kütlesi değişkenliği ve atmosfer kütlesi basınç ve sürtünmesine bağlı değişkenlerdir. Temelde Dünya'nın yönelimi üç bağımsız dönüklük açısı (örneğin Euler açıları) ile tanımlanabilir. Ancak, Dünya'nın dönüşünün uzaya ve Yer'e ilişkin dinamik kuvvetlerin etkisi altında izlenme gerekliliği Yerkabuğunda ve uzayda dönüş ekseninin hareketinin ayrı ayrı ele alınmasını gerektirir.

TRS ile GCRS arasındaki ilişki Yer yönelim parametreleri ile açıklanır. Bu parametrelerden kutup gezinmesi koordinatları (x_p, y_p); göksel ara kutbun (CIP) TRF koordinatları ile, nutasyon ofsetleri (X, Y); CIP'ın göksel referans çatısı CRF koordinatları ile ve ΔUT1=UT1-UTC; Yer'in uzaya göre günlük üçüncü eksen mutlak dönüklük faz açısı olarak tanımlanmaktadır [59]. Yer Yönelim parametreleri modelleme ve teorisi üzerine gerçekleştirilen çalışmaların [60]–[66] yanında GNSS ve VLBI uydu-uzay jeodezisi teknikleri ölçülerinden kestirimine ilişkin yapılan çalışmalar [67]–[70] bu parametrelerin belirlenme hatalarını 100-150 mikro açı saniyesi ve 5-10 mikro saniye düzeyine indirmiştir [71].

Göksel ara kutbun (CIP) yerkabuğundaki konum değişimlerine kutup gezinmesi denir (Şekil 2.6). Kutup gezinmesinin serbest (free) ve kuvvetlerin etkisi altında (forced) modları, farklı gelgitsel periyotlarda birden fazla nedenin bileşkesi sonucu oluşur. Örneğin; kutup gezinmesinin gün içi periyotlardaki harmonik hareketlerinin yaklaşık %90 oranında nedeni okyanus gelgitleri kaynaklı Yer'in dönme momenti değişimi iken mevsimsel periyotlu kutup gezinmelerin nedeni büyük oranda atmosfer kütlesindeki mevsimsel değişimlerdir. Yer'in dönme ekseninin yerkabuğuna göre hareketinin en önemli iki bileşeninden birincisi yaklaşık 435 gün periyotlu (Chandler periyodu) serbest

(free) bir salınım hareketi, ikincisi hava ve su kütlelerinin mevsimsel olarak yer değiştirmesi ile oluşan yıllık (forced) salınımdır. Yersel referans çatısında tanımlı kutup gezinmesi koordinatlarının uzay jeodezisi teknikleri ile gözlem doğruluğu yaklaşık olarak 100-200 mikro-açı-saniyesi (3-6 mm) mertebesindedir.



Şekil 2.6. 1900 – 2006 yılları arasındaki kutup gezinmesi [72].

Nutasyon ofsetleri IAU presesyon ve nutasyon modellerinde açıklanmaktadır [73]. Presesyon ve nutasyon modelleri ile göksel ara kutbun (CIP) GCRS'deki koordinatları hesaplanır. Nutasyon ofsetleri ise bu açılara getirilecek düzeltmelerdir ve IERS tarafından yayınlanır. Çok uzun baz enterferometrisi (VLBI) uzay jeodezisi tekniği ölçüleri ile izlenen nutasyon hareketleri, CIP'nin uzay sabit koordinat sistemindeki hareketinin geleneksel IAU presesyon-nutasyon modellerine VLBI kestirimlerinin eklenmesi ile elde edilir. Diğer bir ifade ile VLBI ölçülerinin analizinde öncül nutasyon ofsetleri yaklaşık değerleri IAU 2006/2000A presesyon-nutasyon modeli tahmin değerleridir.

UT1 geleneksel olarak GMST ile ilişkilidir [74]. Evrensel zamanın (UT1) zamana göre türevine gün uzunluğu (LOD) denir [75]. UT1 ve LOD harmonik salınımların büyük oranda nedeni okyanus ve atmosfer gelgitsel ve gelgitsel olmayan kütle değişimlerine

bağlı oluşan zonal dönme momenti değişimleridir. UT1 ile ilgili daha ayrıntılı bilgiye Bölüm 2.1.1.4'te yer verilmiştir.

2.3. Göksel Referans Sistemi

2.3.1. FK5 Yıldız Kataloğu

Çeşitli dönemlerde yıldız konumlarının mutlak ve bağıl gözlemlerinden derlenen yıldız katalogları, yıldızların görünen hareketlerinin ve konumlarının bir koordinat sisteminde pratik bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Yıldız Katalogları, konumsal astronominin konum referans çatısı olarak işlev görmektir. Ayrıca genel olarak astronomik araştırmanın ve özellikle gök mekaniği, galaktik ve ekstragalaktik araştırmanın gerekliliklerini yerine getirmelidir. Belirtilen gereklilikleri karşılamak için birçok yıldız kataloğu geliştirildi ve kullanıldı [76]. FK5, günümüzde kullanılan Uluslararası Göksel Referans Çatısı'nın (ICRF) temelini oluşturmaktadır. 1970'li yılların başında IAU tarafından FK5 ile ilgili çalışmalar başlamıştır ve 1988 yılında kabul edilmiştir.

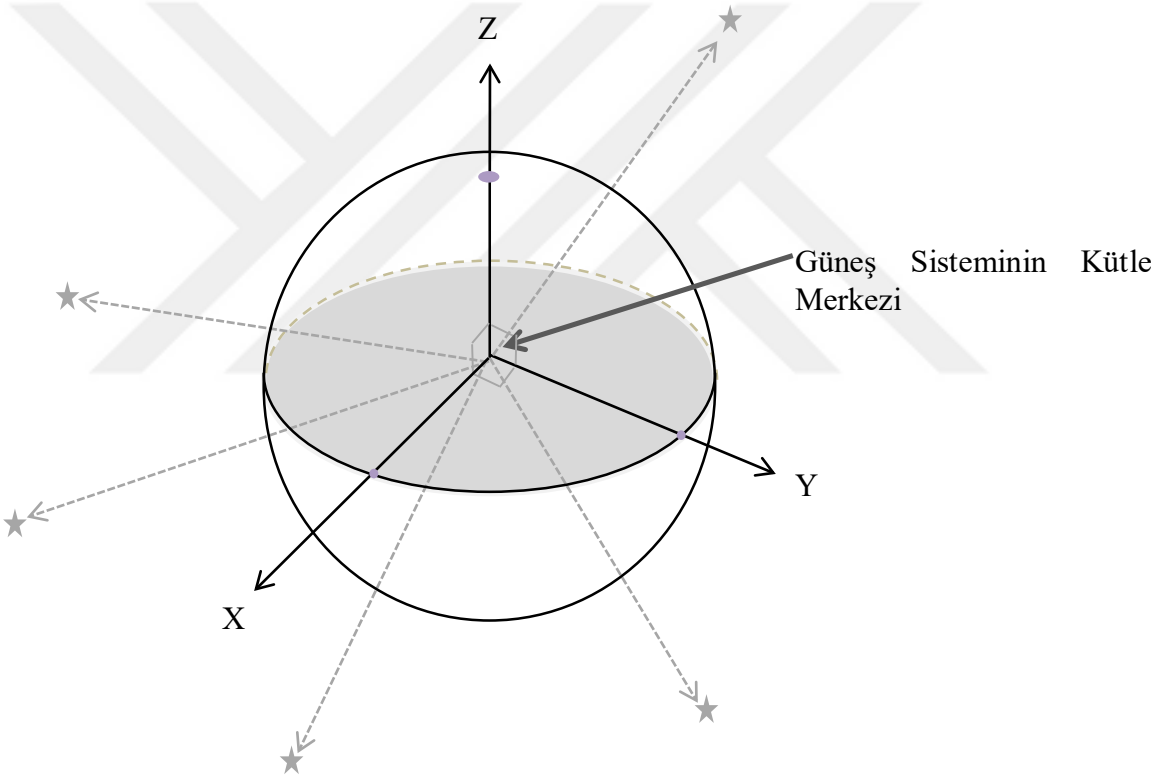
FK5, FK3 ve FK4 yıldız kataloglarında bulunan görünen hareketleri ve ortalama konumları belirlenmiş 1535 yıldızdan oluşmaktadır. Bu yıldızların parlaklık değerleri (kadire) yaklaşık olarak 9.5 büyüklüğündedir. Sistemin merkezi güneş sisteminin merkezidir ve eksen yönleri J2000.0 epoğundaki ilkbahar noktasını ve gök ekvatorunu esas alır. FK5 kataloğundaki yıldızların konumlarındaki belirsizlikler yaklaşık 30-40 mili-açı-saniyesidir.

2.3.2. Uluslararası Göksel Referans Çatısı (ICRF)

Göksel referans sistemi (CRS), evrenin galaksimize yaklaşık 8 milyar ışık yılı uzaklıkta yer alan gök cisimlerine göre dönüklükleri olmayan bu nedenle uzay sabit olarak da adlandırılan, orijini Güneş sisteminin ağırlık merkezi ile çakışık ve J2000.0 temel epoğundaki ortalama gök ekvatoru düzlemini esas alan kuazi-inersiyal bir koordinat sistemidir. Bu sistem beklenen hareketlerinin çok küçük olduğu çok uzaktaki kaynakların (ekstragalaktik nesneler, kuasarlar, BL Lacertae kaynakları, birkaç aktif galaktik çekirdek vb.) hassas koordinatlarından oluşan göksel bir referans çerçevesi ile gerçekleştirilir. Bu kaynakların koordinat doğrulukları bir mili-açı-saniyesinden (mas) daha iyidir. Dönme hareketi yapmamasından ve başlangıç noktasının (orijinin) küçük

bir ivmeye sahip olmasından dolayı göksel referans sistemini kuazi-inersiyal bir sistem olarak tanımlamak mümkündür [77].

IAU, 1991'de göksel referans sisteminin başlangıç noktasının güneş sisteminin kütle merkezinde (barisentr) olmasını ve eksenlerin kuasarlara göre sabitlenmesini önermiştir. Bu öneri göksel referans sisteminin kendi ana düzlemine (gök ekvator düzlemi) J2000.0 epoğundaki ortalama gök ekvatoruna ve bu ana düzlemine (ait ilkbahar noktasının), J2000.0 epoğundaki dinamik ekinoksuna mümkün olduğu kadar yakın olması gerektiği şartı bulunmaktadır (Şekil 2.7). ICRS konvansiyonları, IERS tarafından belirlenmiştir ve 1997 yılında IAU Genel Kurulu tarafından Uluslararası Göksel Referans Sistemi (ICRS) adı altında kabul edilmiştir [73].



Şekil 2.7. ICRS ve eksen yönleri.

IAU, ICRS'nin sağ açıklık (rektesansiyon) orijininin J2000.0 epoğundaki dinamik ekinokslara yakın olmasını önermektedir. IERS göksel sisteminin birinci ekseni, konvansiyonel FK5 değerine (J2000.0 epoğundaki $12^h\ 29^m\ 6.6997^s$) 3C 273B kuasarının sağ açıklık değerini sabitleyerek derlenen bir grup katalogda 23 radyo kaynağının ortalama sağ açıklığını benimseyerek ilk gerçekleşmesinde açıkça tanımlanmıştır [78].

FK5 sağ açıklık orijininin belirlenmesindeki belirsizlik, sağ açıklıktaki görünen hareketler için 1955'teki ortalama bir epoğu hesaba katan Fricke [79] ve Schwan [80] tarafından verilen doğrulukların toplamından elde edilebilir [73]. Bu şekilde elde edilen belirsizlik ± 80 mas'dır.

LLR (Lunar Laser Ranging) gözlemleri, ICRS'deki sağ açıklık orijininin ICRS referans düzlemindeki J2000.0 epoğundaki ortalama ekinoksundan −55.4±0.1 mas kadar kaydığını göstermektedir. FK5 ekinoksu, ICRS sağ açıklığı orijininden −22.9±2.3 mas olduğu Mignard ve Frœschlé [81] tarafından bulunmuştur. Bu sonuçlar ICRS sağ açıklık orijininin IAU tavsiyelerinde belirtilen koşullara uygun olduğunu göstermektedir.

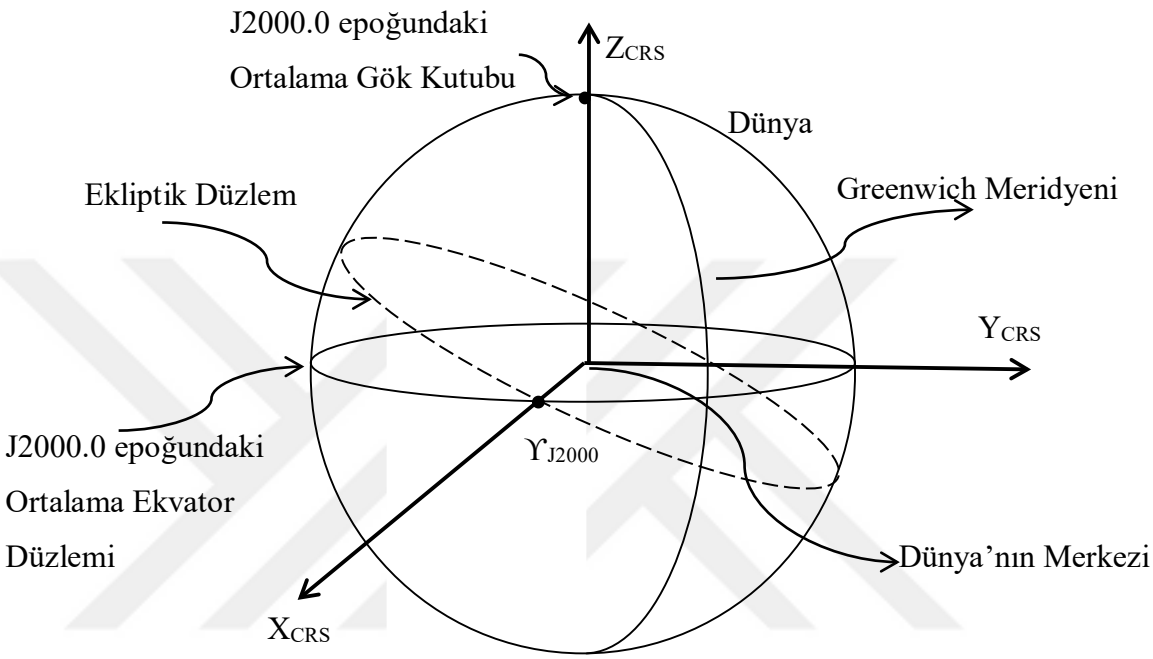
ICRS'in gerçekleştirilmesine, Uluslararası Göksel Referans Çatısı (ICRF) adı verilir. ICRS'in gerçekleştirilmesi bir dizi kompakt ekstragalaktik radyo kaynağının kesin koordinatlarından oluşur (örneğin; ICRF2 [82]). Kaynakları tanımlamak, konum istikrarını değerlendirmek için yeterince uzun bir veri aralığında çok sayıda gözlem içermelidir. ICRF konumları anlık ekvator, ekinoks, ekliptik ve epoktan bağımsızdır [73].

IAU, konvansiyonel referans sisteminin ana düzleminin J2000.0 epoğundaki ortalama ekvatora yakın olması gerektiğini ortaya koymuştur. Ekstragalaktik referans çatısını oluşturmak için kullanılan VLBI gözlemleri, göksel ara kutbun hareketini izlemek için de kullanılmaktadır. 2001'de IERS'ye sunulan VLBI çözümlerine dayanarak Konvansiyonel Göksel Referans Sistemi (CCRS) kayıklığı ve ICRS göksel kutbuna göre J2000.0 epoğundaki kutup çerçevesi MHB2000 nutasyon modeli ve güncellenmiş IERS nutasyon modeli kullanılarak tahmin edilmiştir [83].

IAU, Konvansiyonel Referans Kutup yönünün FK5 ile tutarlı olması gerektiğini söylemektedir. Presesyon hızındaki hatanın yıldızların görünen hareketleri tarafından emildiği varsayıldığında, tahmin edilen J2000.0 epoğundaki ortalama kutba göre FK5 kutup konumundaki belirsizlik ± 50 mas'dır [73].

CCRS'nin eksen yönleri (Şekil 2.8) ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- X ekseni dünyanın ağırlık merkezinden ekliptik düzlem ile J2000.0 epoğundaki ortalama gök ekvator düzleminin kesişimi olan ilkbahar noktasına doğrudur.
- Z ekseni dünyanın ağırlık merkezinden J2000.0 epoğundaki ortalama gök kutbunun gök küreyi deldiği doğrultudadır.
- Y ekseni J2000.0 epoğundaki ortalama ekvator düzlemi üzerinde X ve Z eksenlerine diktir ve sağ el sisteminde tanımlıdır.



Şekil 2.8. Konvansiyonel Göksel Referans Sistemi ve eksen yönleri.

ICRF1'in ilerleyen yıllarda bazı eksiklikleri tespit edilmiş ve bu eksiklikler ek gözlemler ve analizler yapılarak giderilmiştir. Bunun sonucunda ICRF Extension 1 ve 2 ortaya çıkmıştır. Tanımlanamayan kaynakların konumları güncellenmiştir ve yeni kaynaklar belirlenmiştir. 2006 yılında ise ICRF'nin hassasiyeti ve eksen yöneliminin sabitlenmesi için geniş ölçüde güncellemeye gidilmiştir. Kaynakların belirlenmesi ve koordinatları için IAU tarafından bir çalışma grubu oluşturulmuştur. Belirlenen yeni kaynak listesi 2009'da IAU tarafından kabul edilmiştir ve yeni çerçevenin adı Uluslararası Göksel Referans Çerçevesinin İkinci Gerçekleştirilmesi (ICRF2) olmuştur [82].

ICRF2, 3414 ekstragalaktik radyo kaynağının konumlarından (sağ ve dik açıklık açıları) oluşmaktadır. ICRF2 gerçekleştirmesinde 295 adet konumuna güvenilen radyo kaynağının koordinatlarına NNR (no-net-rotation) datum koşul denklemleri

uygulanmıştır. Tanımlanan kaynaklardan sadece 97 tanesi ICRF1'de bulunmaktadır. Yeni kaynaklar özellikle güney yarımküre olmak üzere homojen bir şekilde dağıtılmıştır. ICRF2'yi tanımlayan kaynakların konum hataları 0.1 mas'dan küçüktür.

ICRF'nin üçüncü versiyonu olan ICRF3, IAU'nun 2018 yılındaki genel kurul toplantısında yeni göksel referans çerçevesi olarak kabul edilmiştir ve 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren ICRF2'nin yerini almıştır [84]. VLBI ile gözlemlenen J2000.0 epoğundaki 4536 ekstragalaktik radyo kaynağından oluşmaktadır. Önceki versiyonlarına göre daha iyi bir kapsama alanı bulunmaktadır. Tüm kaynaklar için beklenen doğruluk 70-100 mikro-açı-saniyesi mertebesindedir.

2.4. Yersel Referans Sistemi

Yersel Referans Sistemi (TRS), uzaydaki günlük hareketiyle Dünya ile birlikte dönen mekansal bir referans sistemidir. Bu sistemde, Dünya'nın yüzeyindeki noktaların (kabuk-sabit) konumları, jeofiziksel etkiler (tektonik veya gelgit deformasyonları) nedeniyle kinematik koordinatlara sahiptir [73]. Yersel Referans Çatısı (TRF), TRS tanımına uygun olarak belirlenmiş lineer hızlara ve bir epok için tanımlı koordinatlara sahip fiziksel bir nokta kümesidir. İdeal bir TRS, Dünya'ya yakın ve onunla birlikte dönen üç boyutlu bir referans çatısı olarak tanımlanır. 3 boyutlu bir Öklid afin uzayı olarak kabul edilen fiziksel uzayın geometrisi, bir afin çatısının (*O, E*) seçilmesi yoluyla böyle bir sistemin standart modelini ortaya koyar. *O*, orijin olarak adlandırılmış ve uzayın bir noktasıdır. *E*, vektör uzayını baz alan bir vektördür. Bu vektörlerin ortak uzunluğu, TRS ölçeğini ve temel vektörlerle aynı doğrultuda olan birim vektörleri dizisi TRS'nin yönelimini belirleyecektir [73]:

$$\lambda = \left\| \overrightarrow{E_i} \right\|_i \qquad i = 1, 2, 3. \tag{2.16}$$

Burada, orijinin Dünya kütle merkezine yakın, yönelimin ekvatoral (Z ekseni kutup yönüdür) ve ölçeğin SI biriminde olduğu jeosentrik TRS'ler göz önünde bulundurmaktadır. Kartezyen, coğrafi ve diğer koordinat sistemleri mevcut durumda kullanılabilmektedir. Bu hipotez altında, Dünya'ya yakın herhangi bir noktanın kartezyen koordinatlarının bir TRS'den başka bir TRS'ye genel dönüşümü üç boyutlu benzerlik dönüşümü ile yapılır ($\vec{T}_{1,2}$ öteleme vektörü, $\lambda_{1,2}$ ölçek faktörü, $R_{1,2}$ dönüklük matrisi) [73]:

$$\overrightarrow{X}^{(2)} = \vec{T}_{1,2} + \lambda_{1,2} \cdot R_{1,2} \cdot \overrightarrow{X}^{(1)} \tag{2.17}$$

Bu kavram, yerel bir Kartezyen koordinat sisteminin mekansal kısmını kullanarak Einstein'ın Genel Görelilik Teorisi gibi göreli bir arka plan modeli çerçevesinde genelleştirilebilir [85].

Eşitlik (2.17)'nin uygulamasında, IERS doğrusallaştırılmış formülleri ve sembolojiyi kullanır. İki referans sistemi arasındaki standart dönüşüm 14 parametreli Öklid benzerliği kullanılarak yapılır (üç öteleme bileşeni (*T1*, *T2*, *T3*), bir ölçek faktörü (*D*), üç dönüklük açısı (*R1*, *R2*, *R3*) ve bunların birinci türevleri ($\dot{T}1, \dot{T}2, \dot{T}3, \dot{D}, \dot{R}1, \dot{R}2, \dot{R}3$)). Bir numaralı referans sisteminde ifade edilen bir koordinat vektörünün ($\overrightarrow{X_1}$), iki numaralı başka bir referans sisteminde ifade edilen koordinat vektörüne ($\overrightarrow{X_2}$) dönüşümü Eşitlik (2.18)'deki gibi olur:

$$\overrightarrow{X_2} = \overrightarrow{X_1} + \vec{T} + D\overrightarrow{X_1} + R\overrightarrow{X_1} \tag{2.18}$$

Burada; $\vec{T} = \vec{T}_{1,2}$, $D = \lambda_{1,2} - 1$, $R = (R_{1,2} - I)$ ve I birim matrisdir. T ve R matrisleri ise aşağıdaki gibidir:

$$T = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix}, \; R = \begin{pmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{pmatrix} \tag{2.19}$$

Eşitlik (2.18)'in uzay jeodezisi teknikleri ile sağlanan istasyon koordinat setleri için doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Genellikle, $\overrightarrow{X_1}, \overrightarrow{X_2}, T, D, R$ zamanın bir fonksiyonudur. Eşitlik (2.18)'in zamana göre türevi alınırsa;

$$\dot{\overrightarrow{X_2}} = \dot{\overrightarrow{X_1}} + \dot{\vec{T}} + \dot{D}\overrightarrow{X_1} + D\dot{\overrightarrow{X_1}} + \dot{R}\overrightarrow{X_1} + R\dot{\overrightarrow{X_1}} \tag{2.20}$$

eşitliği elde edilir. D ve R, 10^{-5} seviyesinde ve $\dot{\overrightarrow{X}}$ yaklaşık olarak yıllık 10 cm dir. Bundan dolayı, $D\dot{\overrightarrow{X_1}}$ ve $R\dot{\overrightarrow{X_1}}$ 100 yılda yaklaşık olarak 0.1 mm'yi temsil eden ihmal edilebilir değerlerdir. Bu sebeple Eşitlik (2.20) aşağıdaki gibi yazılabilir:

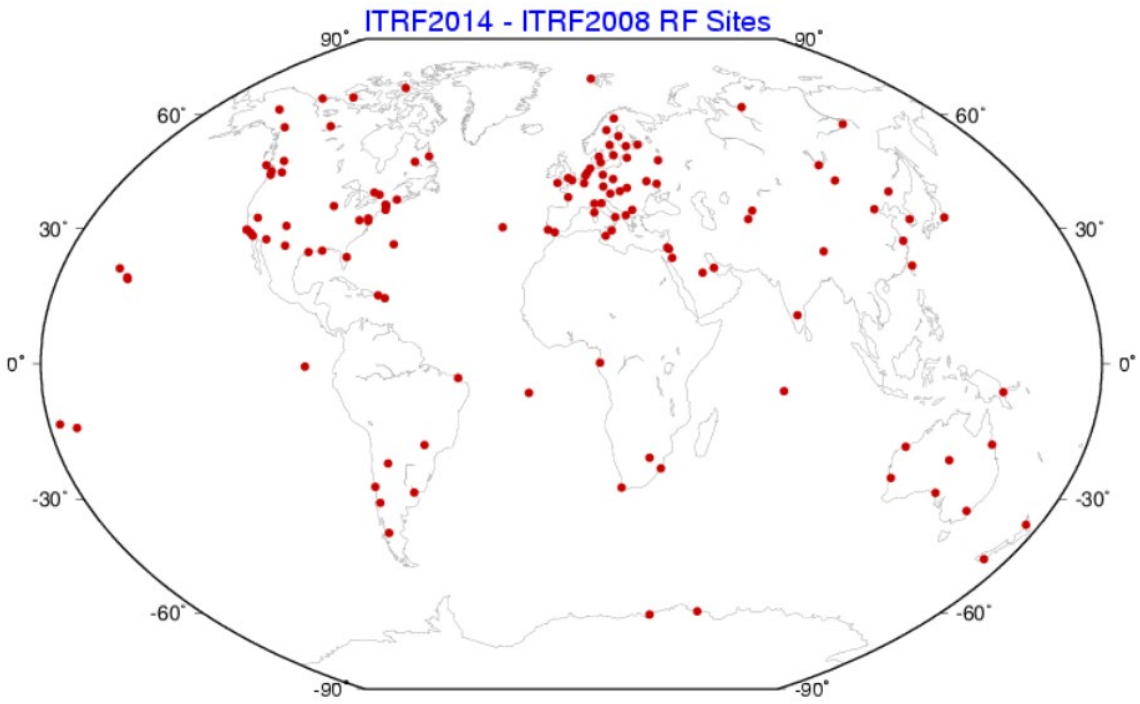
$$\dot{\overrightarrow{X_2}} = \dot{\overrightarrow{X_1}} + \dot{\vec{T}} + \dot{D}\overrightarrow{X_1} + \dot{R}\overrightarrow{X_1} \tag{2.21}$$

Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS), bir Konvansiyonel Yersel Referans Sisteminin (CTRS) başlangıç noktasını, ölçeğini, dönüklüğünü ve zaman evrimini

tanımlamak için gereken modelleme ile birlikte bir dizi kabulden oluşur [86]. ITRS, 1991 yılında Viyana'da kabul edilen 2 numaralı IUGG (Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği) kararı ile tanımlanan ideal bir referans sistemidir. Sistem VLBI, LLR, SLR, GNSS ve DORIS jeodezi teknikleri ile gözlemlenen bir dizi istasyonun hız ve koordinat tahminlerine dayanarak Uluslararası Yersel Referans Çatısı (ITRF) ile gerçekleştirilir (örneğin, ITRF2014 [87]). ITRS, IERS Yer Yönelim Parametreleri (EOP, Earth orientation parameters, örneğin: IERS C04 14 günlük EOP kombinasyon serisi [88]) kullanılarak ICRS'e bağlanabilir.

Şimdiye değin IERS tarafından 13 adet ITRS gerçekleştirmesi (kataloğu) yayınlanmıştır. Günümüzde ITRF2014 [87] (epok 2010.00) kullanılmaktadır. Farklı epoklardaki gözlemleri kıyaslamak için ITRF'in sürümleri kullanılır. Farklı ITRF koordinatları arasındaki koordinat dönüşümü belli bir epoğu için IERS tarafından sunulan 14 parametre ile (üç öteleme, bir ölçek faktörü,üç dönüklük ve bunların zamana göre değişimleri) Helmert dönüşüm yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebilir.

ITRF2014'ün orijini 2010.0 epoğundaki sıfır dönüklük parametreleri ve ILRS (International Laser Ranging Service) zaman serilerinden elde edilen ITRF2014 ile ILRS SLR uzun vadeli çözüm arasında sıfır dönüklük hızları olacak şekilde tanımlanır. ITRF2014 ölçeği, ITRF2014 ile VLBI ve SLR ölçek/hızlarının ortalaması arasında sıfır ölçek ve ölçek hızı olacak şekilde tanımlanır. ITRF2014'ün yönelimi, 2010.0 epoğundaki sıfır dönüklük parametreleri ve ITRF2014 ve ITRF2008 arasındaki sıfır dönüklük hızları olacak şekilde tanımlanır. ITRF2014'den ITRF2008'e olan dönüşüm parametreleri Tablo (2.2) ve Şekil (2.9)'da gösterilen 125 bölgede bulunan 127 istasyon kullanılarak kestirilmiştir. İstasyon isimlerine http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2014/core_network_ITRF2014.txt adresinden ulaşabilmektedir (Son erişim tarihi:11.01.2020).



Şekil 2.9. ITRF2014 ve ITRF2008 arasındaki dönüşüm parametrelerinin kestiriminde kullanılan istasyonlar [89]

Tablo 2.2. Epok 2010.0'daki dönüşüm parametreleri ve ITRF2014'den ITRF2008'e olan hızları [89]

	T1 mm	T2 mm	T3 mm	D 10^{-9}	R1 mas	R2 mas	R3 mas
	1.6	1.9	2.4	-0.02	0.000	0.000	0.000
+/-	0.2	0.1	0.1	0.02	0.006	0.006	0.006
Hızlar	0.0	0.0	-0.1	0.03	0.000	0.000	0.000
+/-	0.2	0.1	0.1	0.02	0.006	0.006	0.006

2.5. GCRS ve ITRS Arasındaki CIO Tabanlı IERS Konvansiyonlarını Esas Alan Kinematik Dönüşüm

2000 yılından 2009 yılına kadar amacı ICRS'nin doğruluğuna ve iyileştirilmiş özelliklerine ve aynı zamanda modern astro-jeodezik gözlemlerin hassasiyetine uymak olan Tablo (2.3)'deki IAU ve IUGG kararları onaylanmıştır [90].

Bu kararlar, referans sistemlerinin tanımını ve astronomi için zaman ölçeklerini geliştirmiş, Dünya'nın yöneliminin ifade edilme şeklini değiştirmiş ve yersel sistemlerden göksel sistemlere dönüşümde yüksek doğruluklu modeller benimsenmiştir.

IAU ve IUGG kararlarını operasyonel olarak uygulamak için kullanılan modeller, prosedürler, veriler ve yazılımlar IERS Konvansiyonlarında ve Temel Astronomi Standartları (SOFA) faaliyeti tarafından sunulmuştur. Bu kararlara ilişkin yeni terminoloji IAU "Temel Astronomi Adlar Dizini (NAF)" Çalışma Grubu tarafından önerilmiştir [91].

Tablo 2.3.Referans Sistemleri Hakkında IAU 2000-2009 ve IUGG 2003-2007 Kararları [90].

IAU 2000 / IUGG 2003 Kararları	IAU 2006 & IUGG 2007 Kararları	IAU 2009 Kararları	Amaç (μas doğruluk ile tutarlılık için)
Karar B1.3 GCRS ve BCRS'nin tanımı **Karar B1.5** Zaman dönüşümü için genişletilmiş göreli çerçeve	**Karar 2** GTRS ve ITRS'nin tanımı	**Karar B2** ICRF2'nin kabul edilmesi	Astronomik Referans Sistemlerinin tanımındaki gelişim
Karar B1.6 IAU 2000 Presesyon-Nutasyon Modeli	**Karar B1** Ekliptiğin tanımı ve P03 Presesyonunun kabul edilmesi	**Karar B1** IAU 2009 Astronomik Sabitler Sisteminin kabul edilmesi	Yüksek doğruluklu astronomik modellerin kabul edilmesi
Karar B1.7 Göksel Ara Kutbun (CIP) Tanımı **Karar B1.8** CEO ve TEO'nun tanımı ve kullanımı	**Karar B2** Referans Sistemleri üzerine IAU 2000 Kararlarını tamamlamak 'Ara' kutup ve orijini bağdaştırmak, BCRS/GCRS dönüklük kabulleri		EOP'nin tanımında ve kavramında düzeltmeler
Karar B1.9 TT'nin yeniden tanımı	**Karar B3** TDB'nin yeniden tanımı		Koordinat zaman ölçeklerinin tanımındaki gelişim

ITRS'den GCRS'ye CIO temelli dönüşümün genel formülü aşağıdaki eşitlikteki gibi yazılabilir:

$$[GCRS] = Q(t)R(t)W(t)[ITRS] \tag{2.22}$$

Burada, $Q(t)$ CIP'ın göksel hareketi, $R(t)$ dönüklük açısı, $W(t)$ CIP'ın yersel hareketi olarak tanımlanmaktadır. IAU 2000 ve 2006 konvansiyonlarına göre TT ve TDB zaman ölçeklerinin tanımlamaları yapılmıştır. Eşitlik (2.22)'deki t zaman parametresi TT ölçeğinde temel epoktan (J2000.0) itibaren geçen Julyen yüzyılı olup:

$$t = (\text{TT} - 01\ \text{Ocak}\ 2000\ 12{:}00\ \text{TT})\ \text{ve gün}/36525 \tag{2.23}$$

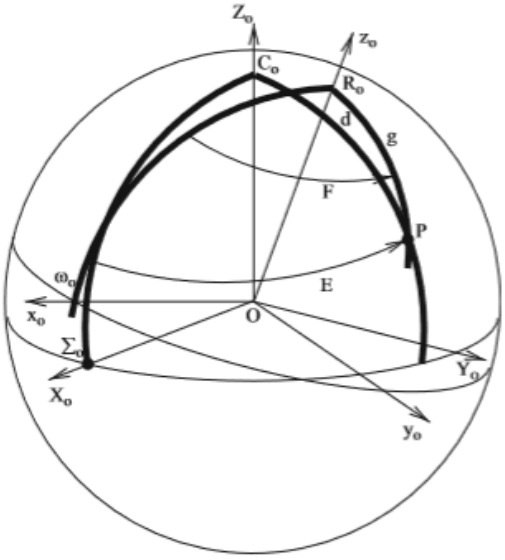
eşitliği ile elde edilir.

IAU 2000 Karar B1.7'ye göre CIP, GCRS'deki ITRS'nin kutup hareketini frekans uzayında göksel ve yersel iki kısma ayıran bir ara kutuptur. Bu kabule göre, CIP'ın 2 günden daha büyük periyotlu hareketleri nutasyona, 2 günden daha küçük periyotlu hareketleri kutup gezinmesine dahil edilmektedir (Şekil 2.10).

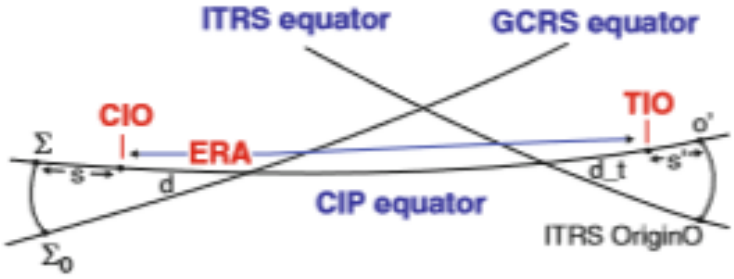
Şekil 2.10. CIP'ın ITRS ve GRCS'deki hareketi [73].

IAU 2006 Karar B2'ye göre $W(t)$ dönüşümünü uygulayarak ITRS'den gerçekleştiği gibi t zamanındaki sistem "Yersel Ara Referans Sistemi (TIRS)" olarak tanımlanır. CIP'ı z ekseni ve TIO'yu (Yersel Ara Orijin) anlık ekvator düzlemi üzerindeki x ekseni olarak kullanır. Aynı durum göksel referans sistemi için "Göksel Ara Referans Sistemi (CIRS)" olarak tanımlanır ve CIP'ı z ekseni, CIO'yu anlık ekvator düzlemi üzerindeki x ekseni olarak kullanır [73]. IAU 2000 kararlarındaki CIO tabanlı kabule göre, ITRS ve GCRS arasındaki dönüşüm yeni tanımlanmış EOP (CIP'nin GCRS ve ITRS'deki konumu ve ERA (Yer dönüklük açısı, stellar angle)) ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.11 ve Şekil 2.12). CIP'ın ITRS ve GCRS'deki konumu CIP birim vektörünün x ve y bileşenlerinden sağlanır. Bu bileşenler "koordinat" olarak adlandırılır ve sayısal ifadeleri, referans sisteminin z eksenine göre karşılık gelen açıların (tam olarak sinüsleri) açı saniyesi cinsinden yaklaşık değerlerini temsil etmek için $1296000''/2\pi$ faktörü ile çarpılır. ITRS ve TIRS ile ilgili kutup hareketinden meydana gelen dönüşüm matrisi şöyle ifade edilebilir:

$$W(t) = R_3(-s') \cdot R_2(x_p) \cdot R_1(y_p) \tag{2.24}$$



Şekil 2.11. Göksel Ara Kutbun GCRS ve ITRS'deki Koordinatları (CIP, P ile ifade edilmiştir) [90].



Şekil 2.12. CIP ekvatoru boyunca Yer Dönüklük Açısı (ERA) [90]

Eşitlik (2.24)'te x_p ve y_p ITRS'deki CIP'ın kutupsal koordinatlarıdır. s', kutup hareketi nedeniyle CIP ITRS'ye göre hareket ederken ITRS'deki "dönmeyen orijinin (NRO)" kinematik tanımına karşılık gelen CIP ekvatoru üzerindeki TIO'nun konumunu sağlayan "TIO konumlandırıcı" olarak adlandırılan bir açısal değerdir (Şekil 2.12). x_p ve y_p koordinatlarının bir fonksiyonu olarak TIO konumlandırıcı, s' aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$s'(t) = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t} (x_p \dot{y}_P - \dot{x}_p y_p) dt \tag{2.25}$$

s', sadece kutup hareketindeki en büyük değişikliklere duyarlıdır. Chandler ve yıllık yalpalanmalar için mevcut ortalama genliklerin kullanılması ile TIO konumlandırıcı aşağıdaki basit eşitlikle yeterli doğrulukta hesaplanabilir [92]:

$$s' = -47\,\mu as\ t \tag{2.26}$$

CIP ekseni etrafında Dünya'nın dönmesinden kaynaklanan CIO tabanlı dönüşüm matrisi şöyle ifade edilebilir:

$$R(t) = R_3(-ERA) \tag{2.27}$$

Burada ERA, CIP ekvatorunda t zamanında CIO ve TIO arasındaki Yer Dönüklük Açısıdır (Şekil 2.12):

$$ERA(T_u) = 2\pi(0.7790572732640 + 1.00273781191135448T_u) \tag{2.28}$$

Burada $T_u = (\text{UT1 Julian Günü - 2451545.0})$ ve UT1=UTC+(UT1-UTC)'dir. GCRS'deki CIP'ın hareketinden kaynaklanan CIO tabanlı dönüşüm matrisi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Q(t) = R_3(-E)\cdot R_2(-d)\cdot R_3(s) \tag{2.29}$$

GCRS'deki CIP'ın kutupsal koordinatları olan E ve d ile kartezen koordinatları arasındaki ilişki:

$$\begin{aligned} &X = \sin d\cos E,\quad Y = \sin d\sin E,\quad Z = \cos d \\ &E = \arctan\frac{Y}{X},\quad d = \arccos Z = \arccos(\sqrt{1 - X^2 + Y^2}) \end{aligned} \tag{2.30}$$

eşitliklerinden elde edilir. CIP, GCRS'ye göre hareket ederken GCRS'deki NRO'nun kinematik tanımına karşılık gelen CIP ekvatoru üzerindeki CIO'nun konumunu sağlayan "CIO konumlandırıcı (s)", X ve Y koordinatlarının bir fonksiyonu olarak [93]:

$$s(t) = -\int_{t_0}^{t}\frac{X(t)\dot{Y}(t) - Y(t)\dot{X}(t)}{1 + Z(t)}dt - (\sigma_0 N_0 - \sum_0 N_0) \tag{2.31}$$

eşitliğinden elde edilir. σ_0 ve $\sum_0$, sırasıyla J2000.0 epoğundaki CIO'nun konumları ve GCRS'nin x orijinidir ve N_0, GCRS ekvatorundaki J2000.0'daki ekvatorun yükseliş düğümüdür. $Q(t)$, X ve Y'yi doğrudan içeren eşdeğer bir biçimde tanımlanabilir:

$$Q(t) = \begin{pmatrix} 1 - aX^2 & -aXY & X \\ -aXY & 1 - aY^2 & Y \\ -X & -Y & 1 - a(X^2 + Y^2) \end{pmatrix}\cdot R_3(s) \tag{2.32}$$

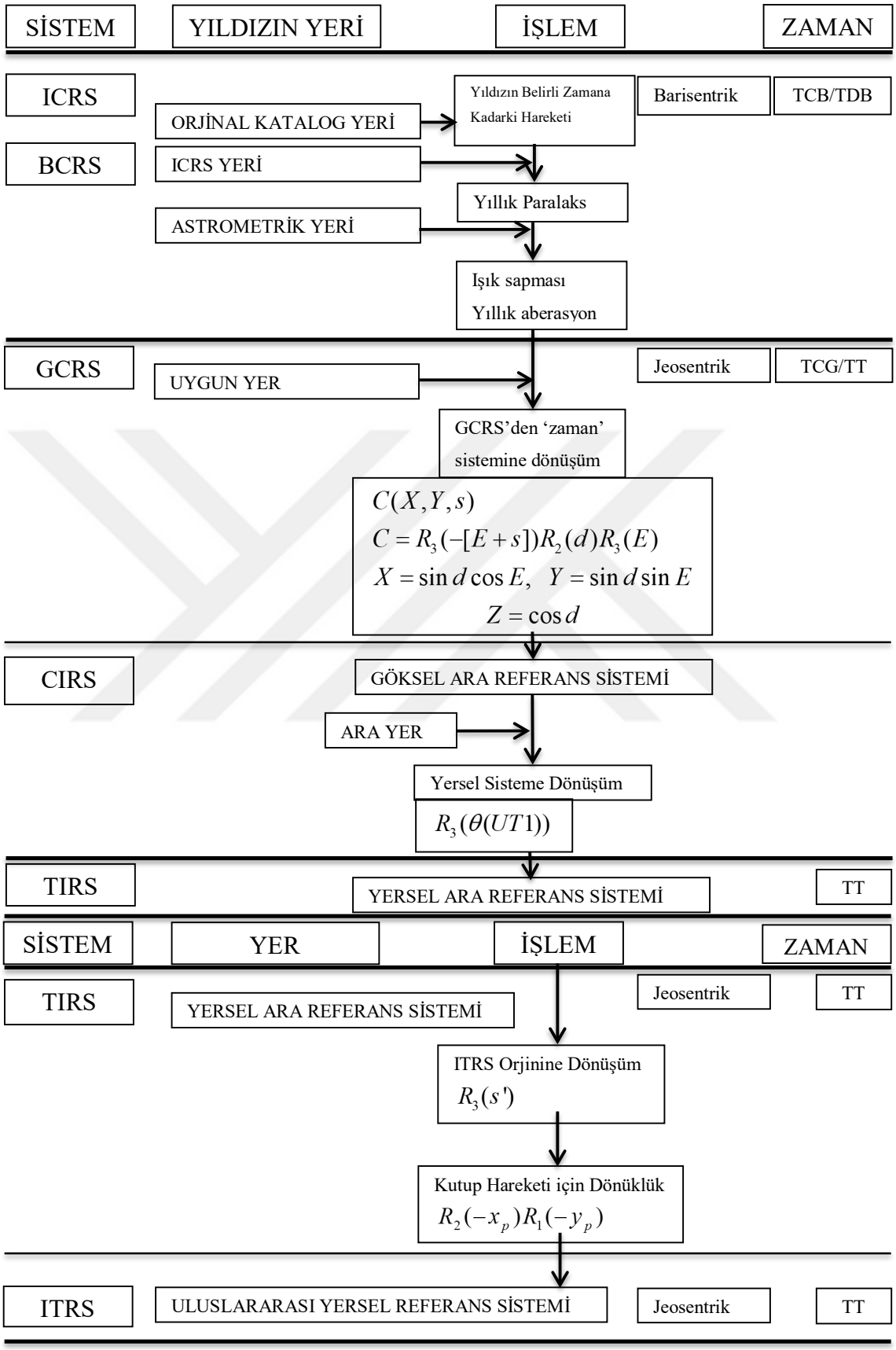
$a = 1/2 + 1/8(X^2 + Y^2)$ olduğu için, 1 μas doğrulukla $a = 1/(1 + \cos d)$ olarak yazılabilir. IAU 2000 presesyon-nutasyon modeline dayanan önceki gelişmelerin yerini IERS 2003 Konvansiyonlarında ve Capitaine vd. [94] tarafından sağlanan X ve Y parameterleri almıştır [73]:

$$
\begin{aligned}
X \;=\; & -0.016617'' \;+\; 2004.191898''t \;-\; 0.4297829''t^2 \\
& -\; 0.19861834''t^3 \;+\; 0.000007578''t^4 \;+\; 0.0000059285''t^5 \\
& +\; \sum\nolimits_i [(a_{s,0})_i \sin(ARGUMAN) \;+\; (a_{c,0})_i \cos(ARGUMAN)] \\
& +\; \sum\nolimits_i [(a_{s,1})_i t \sin(ARGUMAN) \;+\; (a_{c,1})_i t \cos(ARGUMAN)] \\
& +\; \sum\nolimits_i [(a_{s,2})_i t^2 \sin(ARGUMAN) \;+\; (a_{c,2})_i t^2 \cos(ARGUMAN)] \\
& +\cdots, \\
Y \;=\; & -0.006951'' \;-\; 0.023896''t \;-\; 22.4072747''t^2 \\
& +\; 0.00190059''t^3 \;+\; 0.001112526''t^4 \;+\; 0.0000001358''t^5 \\
& +\; \sum\nolimits_i [(b_{c,0})_i \cos(ARGUMAN) \;+\; (b_{s,0})_i \sin(ARGUMAN)] \\
& +\; \sum\nolimits_i [(b_{c,1})_i t \cos(ARGUMAN) \;+\; (b_{s,1})_i t \sin(ARGUMAN)] \\
& +\; \sum\nolimits_i [(b_{c,2})_i t^2 \cos(ARGUMAN) \;+\; (b_{s,2})_i t^2 \sin(ARGUMAN)] \\
& +\cdots
\end{aligned}
\tag{2.33}
$$

Burada *t* parametresi Eşitlik (2.23)'de verilen ifade ile aynıdır ve *ARGUMAN* ise güneş sistemi gezegenleri, ay ve güneşin yörünge hareketlerinden kaynaklı herbir gelgit periyoduna ilişkin astronomik faz açılarıdır. Bu ofsetler kullanılarak CIP'ın doğru göksel konumu aşağıdaki gibi elde edilir [73]:

$$
X \;=\; X(IAU\ 2006\ /\ 2000A) \;+\; \delta X, \quad \mathrm{Y} = Y(IAU\ 2006\ /\ 2000A) \;+\; \delta Y \tag{2.34}
$$

Burada $X(IAU\ 2006\ /\ 2000A)$ ve $Y(IAU\ 2006\ /\ 2000A)$, CIP'ın IAU 2006/2000A presesyon-nutasyon modelinden hesaplanan koordinatları; δX ve δY , IAU 2006/2000A modeli için IERS tarafından sağlanan ve IERS'ye de IVS tarafından sağlanan Gök Kutbu Ofsetlerini (CPO, celestial pole offsets) ifade etmektedir [73]. Serbest çekirdek nutasyonu (Free Core Nutation, FCN), manto ile iç çekirdeğin etkileşiminin neden olduğu Dünya'ya göre Yer dönme ekseninin serbest geriye giden (retrograde) günlük hareketidir. Diğer bir ifade ile Yer'in dönme yönünün tersine (kuzey gök kutbundan dünyaya bakıldığında saat ibresi yönü) gerçekleşen CIP'in TRF'e (kabuğa) göre hareketidir. CIP'in tanımı nedeniyle, bu hareket GCRS'de CIP'in bir hareketi olarak görünür. Bu etki, değişken genlik ve faz ile sonuçlanan, zamanla değişen uyarma ve sönümleme ile serbest bir hareket olduğundan, IAU 2000A nutasyon modeline bir FCN modeli dahil edilmemiştir. Sonuç olarak, IAU 2006/2000A modelinde FCN yer almaz. GCRS'deki CIP'in 0.1-0.3 mas seviyesinde yarı-periyodik modellenmemiş hareketi hala mevcuttur.



Şekil 2.13. GCRS'den ITRS'ye CIO Temelli Dönüşüm [73].

3. İSTASYON KONUMLARINA ETKİYEN JEODİNAMİK ETKİLER

Çeşitli fiziksel etkilerden dolayı referans noktalarının yer değiştirmelerini tahmin eden modeller ortaya konulmuştur. 3 çeşit yer değiştirmeden bahsedilebilinir:

- Referans noktalarının kabuktaki konvansiyonel yer değiştirmeleri olup referans noktalarının anlık konum değişimleridir ($X_R(t)$). Genel olarak bu konvansiyonel anlık konumlar, uzay ve uydu jeodezisi ölçülerinin analizlerinde dengeleme öncesi koordinatların yaklaşık değerlerinin hesabında kullanılır. Bunlar; güniçi ve daha uzun tüm gelgit periyotlarını içeren katı Yer gelgitleri, okyanus ve atmosfer kütlelerinin gelgitsel ve gelgitsel olmayan yüklemeleri, hidroloji yüklemeleri, Yer'in dönme ekseninin şekil ekseninden sapmalarına bağlı olarak meydana gelen kutup gelgitleridir. Ayrıca, lineer yapıdaki tektonik plaka hareketleri de referans noktalarının konvansiyonel yer değiştirmeleri kategorisinde ele alınabilir.
- Referans noktalarının bölgesel yer değiştirmeleri; değişen bölgesel çevresel yükler ile ilişkili gelgitsel olmayan fakat harmonik yapıda olabilecek hareketleri içerir. Bunlara örnek olarak heyelan, deprem ve yer altı suyu değişimlerine bağlı hareketler verilebilir.
- Genellikle tekniğe özel olan, gözlem araçlarındaki iç referans noktalarını etkileyen yer değiştirmelerdir. Örneğin, VLBI antenlerinde anten referans noktalarının antenin ağırlığı ve sıcaklığa bağlı deformasyonu verilebilir [73].

Yer değiştirmelerin ilki jeofiziksel modellerden veya jeofizik modellerden türetilmiş gridlenmiş konvolüsyon sonuçları ile tahmin edilebilir. Son kategori, jeodezik gözlem araçlarını etkilediği kanıtlanmış deneye dayalı fiziksel etkileri içerir.

3.1. Katı Yer Gelgiti

Dünya katı bir cisim gibi davranmaz, ama kuazi elastik şekilde gelgit kuvvetlerine cevap verir. Böylece, katı yer gelgitleri (SET) geniş bir bileşenler skalasına sahiptir [95]. Bu etkiler çok küçük deformasyonlara neden olduğu için doğrusallaştırılabilirler [96]. Gelgitten kaynaklanan istasyon yer değiştirmelerinin küresel harmonik derece ve mertebesi, Love (h_{nm}) ve Shida (l_{nm}) sayıları ile ifade edilir. Bu sayıların değerleri istasyonun enlemine ve gelgit frekansına bağlıdır [97]. Enlem bağımlılığı ve bantlar

arası değişim, dünyanın dönmesinden dolayı Coriolis kuvvetinden ve Dünya'nın elipsliğinden kaynaklanır. Uzun dönem gelgit bandında en çok görülen bir başka frekans bağımlılığı, elastik Love sayılarında frekans bağımlı düzeltmelere neden olan iççekirdek yapısının katı ve elastik olmamasıdır. Yer'in dönme ekseninde oluşan yalpalamadan dolayı ortaya çıkan bozucu merkezkaçın yanı sıra okyanus gelgit yüklemesi ve elastik olmayan (visko elastik) Love sayısı, gelgit yer değiştirmelerinin bozucu gelgit potansiyelinin zamansal anlamda biraz gerisinde kalmasına neden olmaktadır. İstasyon konumlarının belirlenmesinde 1 mm'lik bir hassasiyet istendiğinde tüm bu etkilerin dikkate alınması gerekir [73]. Etkili Love ve Shida sayılarının enlem bağımlılığını hesaba katmak için, Mathews vd. [98] tarafından türetilen h ve l parametreleri kullanılır. Bu temsilde enlem bağımlılığı h', $h^{(2)}$ ve l', $l^{(1)}$, $l^{(2)}$ ek parametreleri açısından ifade edilirken, $h^{(0)}$ ve $l^{(0)}$ parametreleri h_{2m} ve l_{2m} 'yi ifade eder [73]. Bu parametreler istasyon yer değiştirmelerine yaptıkları katkılarla tanımlanır.

Gelgitsel bir frekans (f) teriminden dolayı yer değiştirme vektörü ($\Delta\vec{r_f}$), Mathews vd. [98]'in tanımlayıcı denkleminin (Eşitlik 3.4) değerlendirilmesinden oluşan aşağıdaki ifadelerle elde edilir [73].

Uzun bir periyotta gelgit frekansı f için:

$$\Delta\vec{r_f} = \sqrt{\frac{5}{4\pi}} H_f \begin{Bmatrix} \left[h(\phi)\left(\frac{3}{2}\sin^2\phi - \frac{1}{2}\right) + \sqrt{\frac{4\pi}{5}} h' \right] \cos\theta_f \hat{r} \\ +3l(\phi)\sin\phi\cos\phi\cos\theta_f \hat{n} \\ +\cos\phi\left[3l^{(1)}\sin^2\phi - \sqrt{\frac{4\pi}{5}} l' \right] \sin\theta_f \hat{e} \end{Bmatrix} \tag{3.1}$$

Günlük bir periyotta gelgit frekansı f için:

$$\Delta\vec{r_f} = -\sqrt{\frac{5}{24\pi}}H_f \begin{Bmatrix} h(\phi)3\sin\phi\cos\phi\sin(\theta_f+\lambda)\hat{r} \\ +\left[3l(\phi)\cos 2\phi - 3l^{(1)}\sin^2\phi + \sqrt{\frac{24\pi}{5}}l'\right]\sin(\theta_f+\lambda)\hat{n} \\ +\left[(3l(\phi) - \sqrt{\frac{24\pi}{5}}l')\sin\phi - 3l^{(1)}\sin\phi\cos 2\phi\right]\cos(\theta_f+\lambda)\hat{e} \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

Yarı-günlük bir periyotta gelgit frekansı f için:

$$\Delta\vec{r_f} = \sqrt{\frac{5}{96\pi}}H_f \begin{Bmatrix} h(\phi)3\cos^2\phi\cos(\theta_f+2\lambda)\hat{r} \\ -6\sin\phi\cos\phi\left[l(\phi)+l^{(1)}\right]\cos(\theta_f+2\lambda)\hat{n} \\ -6\cos\phi\left[l(\phi)+l^{(1)}\sin^2\phi\right]\sin(\theta_f+2\lambda)\hat{e} \end{Bmatrix} \quad (3.3)$$

eşitlikleri elde edilir. Yukarıdaki ifadeler:

$$\begin{aligned} h(\phi) &= h^{(0)} + h^{(2)}(3\sin^2\phi - 1)/2, \\ l(\phi) &= l^{(0)} + l^{(2)}(3\sin^2\phi - 1)/2, \end{aligned} \quad (3.4)$$

$\phi =$ istasyonun jeosentrik enlemi

$H_f = f$ gelgit frekansının genliği

$\lambda =$ istasyonun doğu enlemi

$\theta_f =$ frekanslı gelgit bileşeni için gelgit argümanı

$\hat{r} =$ radyal yöndeki birim vektör

$\hat{e} =$ doğu yönündeki birim vektör

$\hat{n} =$ kuzey yönündeki $\hat{r}$'ye dik birim vektör

Gelgit genliklerinin dönüşümünde Tablo 3.1'de verilen dönüşüm faktörleri kullanılır. Eşitlik (3.1, 3.2 ve 3.3), Love ve Shida parametrelerinin tümünün gerçek sayı olduğunu varsaymaktadır. Kompleks sayıları genelleştirmek için Eşitlik (3.5 ve 3.6) uygulanır.

$$L\cos(\theta_f + m\lambda) \rightarrow L^R\cos(\theta_f + m\lambda) - L^I\sin(\theta_f + m\lambda), \quad (3.5)$$

$$L\sin(\theta_f + m\lambda) \rightarrow L^R\sin(\theta_f + m\lambda) - L^I\cos(\theta_f + m\lambda), \quad (3.6)$$

Burada L; $h^{(0)}$, $h^{(2)}$, h', $l^{(0)}$,$l^{(1)}$,$l^{(2)}$ ve l' için genel bir semboldür ve gerçek ve sanal bölümlerden oluşur. Bu 7 parametrenin kompleks değerleri kullanılarak günlük katı yer gelgiti hesaplanır ve Love/Shida sayılarının ilgili değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Rezonans formül değerleri arasındaki fark Tablo 3.3'deki $h_{21}^{(0)}$ ve $l_{21}^{(0)}$ tablo değerlerine dâhil edilmiştir. Bu farkın Tablo 3.4'teki sınırın üzerinde bir katkısı olduğu tek durum, ψ_1 gelgiti nedeniyle oluşan radyal yer değiştirmedir.

Tablo 3.1. Doodson ve Hartman & Wenzel konvansiyonlarına göre tanımlanmış olan Cartwright-Tayler genliklerinin dönüşüm faktörleri [73].

Doodson	Hartman & Wenzel
$f_{20} = -\frac{\sqrt{4\pi}}{\sqrt{5}}\frac{D_1}{g_e} = -0.426105$	$f'_{20} = \frac{2\sqrt{\pi}}{g_e} = 0.361788$
$f_{21} = -\frac{2\sqrt{24\pi}}{3\sqrt{5}}\frac{D_1}{g_e} = -0.695827$	$f'_{21} = -\frac{\sqrt{8\pi}}{g_e} = -0.511646$
$f_{22} = \frac{\sqrt{96\pi}}{3\sqrt{5}}\frac{D_1}{g_e} = 0.695827$	$f'_{22} = \frac{\sqrt{8\pi}}{g_e} = 0.511646$
$f_{30} = -\frac{\sqrt{20\pi}}{\sqrt{7}}\frac{D_1}{g_e} = -0.805263$	$f'_{30} = \frac{2\sqrt{\pi}}{g_e} = 0.361788$
$f_{31} = \frac{\sqrt{720\pi}}{8\sqrt{7}}\frac{D_1}{g_e} = 0.603947$	$f'_{31} = \frac{\sqrt{8\pi}}{g_e} = 0.511646$
$f_{32} = \frac{\sqrt{1440\pi}}{10\sqrt{7}}\frac{D_1}{g_e} = 0.683288$	$f'_{32} = \frac{\sqrt{8\pi}}{g_e} = 0.511646$
$f_{33} = -\frac{\sqrt{2880\pi}}{15\sqrt{7}}\frac{D_1}{g_e} = -0.644210$	$f'_{33} = -\frac{\sqrt{8\pi}}{g_e} = -0.511646$

Tablo 3.1'de Doodson sabiti $D_1 = 2.63358352855\,\mathrm{m^2\ s^{-2}}$, $g_e \equiv g$ ekvatoral yarıçaptaki yer çekimi = 9.79828685 ($GM = 3.986004415\times10^{14}\ \mathrm{m^3\ s^{-2}}$, $R_e = 6378136.55$ m eşitliklerinden elde edilen)'dir [73].

Yer değiştirmelerin hesaplanmasında load Love sayıları sabit nominal değerler olarak kabul edilir. 2. derece gelgitler için kullanılan değerler: $h_{21}^{'(nom)} = -1.001$, $l_{21}^{'(nom)} = 0.0295$, $k_{21}^{'(nom)} = -0.3075$ dir. Günlük banttaki rezonanslar load Love sayılarının değişmesine neden olduğundan, sonuçlara düzeltmeler yapılması gerekir. Bu düzeltmeler, ilgili $h_{21}^{(0)}$ ve $l_{21}^{(0)}$ katı yer gelgit Love sayıları için $\delta h^{(OT)}$ ve $\delta l^{(OT)}$ etkili okyanus gelgit katkıları

açısından ifade edilebilir. Kabuk anelastisitesine bağlı olarak, bölgesel gelgit bandı boyunca (nm=20) $h_{20}^{(0)}$ ve $l_{20}^{(0)}$ 'deki farklılıklar, hâlihazırda belirtilen anelastisite modeline dayanan formüllerle açıklanmaktadır:

$$h_{20}^{(0)} = 0.5998 - 9.96\times10^{-4}\left\{\cot\frac{\alpha\pi}{2}\left[1-\left(\frac{f_m}{f}\right)^{\alpha}\right]+i\left(\frac{f_m}{f}\right)^{\alpha}\right\}, \tag{3.7}$$

$$l_{20}^{(0)} = 0.0831 - 3.01\times10^{-4}\left\{\cot\frac{\alpha\pi}{2}\left[1-\left(\frac{f_m}{f}\right)^{\alpha}\right]+i\left(\frac{f_m}{f}\right)^{\alpha}\right\}, \tag{3.8}$$

Eşitlik (3.7 ve 3.8)'de f bölgesel gelgit bileşeninin frekansı, f_m 200 saniyelik bir periyoda eşdeğer referans frekansı ve $\alpha = 0.15$'dir.

Tablo 3.2.Love yer değiştirme sayıları için rezonans formülündeki parametreler [73].

	$h^{(0)}$		$h^{(2)}$	
α	Gerçek L_α	Sanal L_α	Gerçek L_α	Sanal L_α
0	$.60671\times10^{+0}$	$-.2420\times10^{-2}$	$-.615\times10^{-3}$	$-.122\times10^{-4}$
1	$-.15777\times10^{-2}$	$-.7630\times10^{-4}$	$.160\times10^{-5}$	$.116\times10^{-6}$
2	$.18053\times10^{-3}$	$-.6292\times10^{-5}$	$.201\times10^{-6}$	$.279\times10^{-8}$
3	$-.18616\times10^{-5}$	$.1379\times10^{-6}$	$-.329\times10^{-7}$	$-.217\times10^{-8}$
	$l^{(0)}$		$l^{(1)}$	
α	Gerçek L_α	Sanal L_α	Gerçek L_α	Sanal L_α
0	$.84963\times10^{-1}$	$-.7395\times10^{-3}$	$.121\times10^{-2}$	$.136\times10^{-6}$
1	$-.22107\times10^{-3}$	$-.9646\times10^{-5}$	$-.316\times10^{-5}$	$-.166\times10^{-6}$
2	$-.54710\times10^{-5}$	$-.2990\times10^{-6}$	$.272\times10^{-6}$	$-.858\times10^{-8}$
3	$-.29904\times10^{-7}$	$-.7717\times10^{-8}$	$-.545\times10^{-8}$	$.827\times10^{-11}$
	$l^{(2)}$		l'	
α	Gerçek L_α	Sanal L_α	Gerçek L_α	Sanal L_α
0	$.19334\times10^{-3}$	$-.3819\times10^{-5}$	$-.221\times10^{-3}$	$-.474\times10^{-7}$
1	$-.50331\times10^{-6}$	$-.1639\times10^{-7}$	$.576\times10^{-6}$	$.303\times10^{-7}$
2	$-.66460\times10^{-8}$	$.5076\times10^{-9}$	$.128\times10^{-6}$	$-.378\times10^{-8}$
3	$.10372\times10^{-7}$	$.7511\times10^{-9}$	$-.655\times10^{-8}$	$-.291\times10^{-9}$

Tablo 3.2'de L_α rezonans katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 3.3.2. derece gelgitler için Love yer değiştirme sayısı parametreleri [73].

Adı	Periyot	Frekans	$h^{(0)R}$	$h^{(0)I}$	$h^{(2)}$	h'
Yarı-günlük		-2	0.6078	-0.0022	-0.0006	
Günlük						
$2Q_1$	6.86	0.85461	0.6039	-0.0027	-0.0006	
σ_1	7.1	0.85946	0.6039	-0.0026	-0.0006	
135,645	9.12	0.89066	0.6036	-0.0026	-0.0006	
Q_1	9.13	0.8908	0.6036	-0.0026	-0.0006	
ρ_1	9.56	0.89565	0.6035	-0.0026	-0.0006	
145,545	13.63	0.92685	0.6028	-0.0025	-0.0006	
O_1	13.66	0.927	0.6028	-0.0025	-0.0006	
τ_1	14.77	0.93246	0.6026	-0.0025	-0.0006	
$N\tau_1$	23.94	0.95835	0.6011	-0.0024	-0.0006	
No_1	27.55	0.96381	0.6005	-0.0023	-0.0006	
χ_1	31.81	0.96865	0.5998	-0.0023	-0.0006	
π_1	121.75	0.99181	0.5878	-0.0015	-0.0006	
P_1	182.62	0.99454	0.5817	-0.0011	-0.0006	
S_1	365.26	0.99727	0.5692	-0.0004	-0.0006	
165,545	6798.38	0.99985	0.5283	0.0023	-0.0007	
K_1	Sonsuz	1	0.5236	0.003	-0.0007	
165,565	-6798.38	1.00015	0.5182	0.0036	-0.0007	
165,575	-3399.19	1.00029	0.512	0.0043	-0.0007	
ψ_1	-365.26	1.00273	1.0569	0.0036	-0.0001	
166,564	-346.64	1.00288	0.9387	-0.005	-0.0003	
ϕ_1	-182.62	1.00546	0.6645	-0.0059	-0.0006	
θ_1	-31.81	1.03135	0.6117	-0.003	-0.0006	
J_1	-27.55	1.03619	0.6108	-0.003	-0.0006	
Oo_1	-13.66	1.073	0.608	-0.0028	-0.0006	
Uzun periyot						
55,565	6798.38	0.000147	0.6344	-0.0093	-0.0006	0.0001
S_{sa}	182.62	0.005461	0.6182	-0.0054	-0.0006	0.0001
M_m	27.55	0.036193	0.6126	-0.0041	-0.0006	0.0001
M_f	13.66	0.073002	0.6109	-0.0037	-0.0006	0.0001
75,565	13.63	0.073149	0.6109	-0.0037	-0.0006	0.0001

Adı	Periyot	Frekans	$l^{(0)R}$	$l^{(0)I}$	$l^{(1)}$	$l^{(2)}$	l'
Yarı-günlük		-2	0.0847	-0.0007	0.0024	0.0002	
Günlük							
Q_1	9.13	0.8908	0.0846	-0.0006	0.0012	0.0002	-0.0002
145,545	13.63	0.92685	0.0846	-0.0006	0.0012	0.0002	-0.0002
O_1	13.66	0.927	0.0846	-0.0006	0.0012	0.0002	-0.0002
No_1	27.55	0.96381	0.0847	-0.0006	0.0012	0.0002	-0.0002
P_1	182.62	0.99454	0.0853	-0.0006	0.0012	0.0002	-0.0002
165,545	6798.38	0.99985	0.0869	-0.0006	0.0011	0.0002	-0.0003
K_1	Sonsuz	1	0.087	-0.0006	0.0011	0.0002	-0.0003
165,565	-6798.38	1.00015	0.0872	-0.0006	0.0011	0.0002	-0.0003
ψ_1	-365.26	1.00273	0.071	-0.002	0.0019	0.0002	0.0001
ϕ_1	-182.62	1.00546	0.0828	-0.0007	0.0013	0.0002	-0.0002
J_1	-27.55	1.03619	0.0845	-0.0006	0.0012	0.0002	-0.0002
Oo_1	-13.66	1.073	0.0846	-0.0006	0.0012	0.0002	-0.0002
Uzun Periyot							
55,565	6798.38	0.000147	0.0936	-0.0028	0	0.0002	
S_{sa}	182.62	0.005461	0.0886	-0.0016	0	0.0002	
M_m	27.55	0.036193	0.087	-0.0012	0	0.0002	
M_f	13.66	0.073002	0.0864	-0.0011	0	0.0002	
75,565	13.63	0.073149	0.0864	-0.0011	0	0.0002	

Tablo 3.3'te *R,* gerçek kısmı; *I*, sanal kısmı ifade etmektedir. Periyotlar güneş günü, frekanslar yıldız günündeki devir sayısı biriminde verilmiştir.

Jeopotansiyel değişikliklerde olduğu gibi katı yer gelgitlerinden dolayı oluşan istasyon konum değişikliklerinin hesaplanması IERS2010 Konvansiyonlarında anlatıldığı şekilde iki aşamalı bir prosedür kullanılarak gerçekleştirilir. İlk adımdaki hesaplamalar, 2. derece gelgit potansiyelini içerir ve bu adımda h_{2m} ve l_{2m} Love/Shida sayıları kullanılır. 2. aşamada ihtiyaç duyulan hesaplamaları en aza indirmek için Tablo 3.3'teki değerler referans seçilir. 3. derece gelgitlerin neden olduğu yer değiştirmeler, h_3 ve l_3 sabit değerleri kullanılarak hesaplanır. Bu düzeltmelerin hesaplamaları ikinci adımı oluşturur.

Love ve Shida sayılarının frekansa bağlı değişimlerini ilgili nominal değerlerinden saptamak ve aynı zamanda bölgesel gelgitlerden faz dışı katkıları hesaplamak için ilk adımın sonuçlarına yönelik düzeltmeler gerekir. Gelgit potansiyelinden kaynaklanan toplam yer değiştirme, adım 1 ve 2'de hesaplanan yer değiştirmelerin toplamıdır. Hesaplama aşamaları aşağıdaki gibidir [73]:

1.Aşama: Zaman uzayında hesaplanan düzeltmeler

Eş fazlı	2 ve 3.derece için	Nominal değerler
	2.derece için →	$h_2 \rightarrow h(\phi) = h^{(0)} + h^{(2)}\left[(3\sin^2\phi - 1)/2\right]$
		$l_2 \rightarrow l(\phi) = l^{(0)} + l^{(2)}\left[(3\sin^2\phi - 1)/2\right]$
		$h^{(0)} = 0.6078, h^{(2)} = -0.0006; l^{(0)} = 0.0847, l^{(2)} = 0.0002$
	3.derece için →	$h_3 = 0.292, l_3 = 0.015$
Faz dışı	sadece 2.derece	Nominal değerler
	Günlük gelgitler →	$h^I = -0.0025, l^I = -0.0007$
	Yarı-günlük gelgitler →	$h^I = -0.0022, l^I = -0.0007$
Katkı	Enlem bağımlıdan	Nominal değerler
	Günlük gelgitler →	$l^{(1)} = 0.0012$
	Yarı-günlük gelgitler →	$l^{(1)} = 0.0024$

2.Aşama: Frekans uzayında hesaplanan ve 1.adımdan elde edilenlere eklenen düzeltmeler

Eş fazlı 2.derece için

Günlük gelgitler → Tablo 3.4'deki tüm bileşenlerin toplamı

Yarı-günlük gelgitler → İhmal edilebilir

Eş fazlı ve faz dışı 2.derece için

Uzun periyotlu gelgitler → Tablo 3.5'deki tüm bileşenlerin toplamı

$h_{2m}^{(0)}$ ve $l_{2m}^{(0)}$ için nominal değerlere sahip 2.derece gelgitlerden dolayı yer değiştirme

1.aşama hesaplamalarının ilk adımında Love ve Shida sayıları için tüm 2. derece gelgitlerde ortak olan h_2 ve l_2 gerçek nominal değerleri kullanılır. Yarı-günlük gelgitler için bunların değer olarak seçilmesinin hesaplamalarda en ekonomik yol olduğu kanıtlanmıştır. Nominal değerleri kullanırken 2. derece gelgitlerden dolayı istasyonun yer değiştirme vektörü:

$$\Delta\vec{r} = \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j R_e^4}{GM_\oplus R_j^3} \left\{ h_2 \hat{r} \left(\frac{3(\widehat{R_j} \cdot \hat{r})^2 - 1}{2} \right) + 3l_2 (\widehat{R_j} . \hat{r}) \left[\widehat{R_j} - (\widehat{R_j} . \hat{r}) \hat{r} \right] \right\}, \tag{3.9}$$

şeklinde hesaplanır. Yukarıdaki eşitlikle;

GM_j : Ay (j=2) veya Güneş (j=3) için yerçekimi katsayıları,

$GM_\oplus$: Dünyanın yerçekimi katsayısı,

$\widehat{R_j}, R_j$: Yer merkezinden Ay ya da Güneşe olan birim vektör ve bu vektörün büyüklüğü,

R_e : Dünyanın ekvatoral yarıçapı,

$\hat{r}, r$: Yer merkezinden istasyona olan birim vektör ve bu vektörün büyüklüğü,

h_2 : 2.derece nominal Love sayısı,

l_2 : 2.derece nominal Shida sayısıdır.

h_2 ile orantılı olan kısım, gelgit kaynaklı istasyon yer değiştirmesinin radyal (yaklaşık yerel düşey) bileşenini verir ve l_2 deki terimler, radyal yöne dik (yaklaşık yerel yatay düzlem) vektör yer değiştirmesini temsil eder.

Tarif edilen hesaplama $h^{(2)} = -0.0006$ ile yukarıda verilen sabit nominal değere basit bir şekilde $h^{(2)}\left[(3\sin^2\phi - 1)/2\right]$ ekleyerek $h^{(2)}$ 'den kaynaklanan enlem bağımlılığını içerecek şekilde genelleştirilebilir. Benzer bir terimin ($l^{(2)} = 0.0002$) nominal $l^{(2)}$ değerine eklenmesi ile, yatay yer değiştirmeye karşılık gelen katkısı dikkate alınmış olur. Elde edilen yer değiştirmeler küçüktür, radyal olarak 0.4 mm'yi ve yatay doğrultuda 0.2 mm'yi geçmez.

3.derece gelgitlerden kaynaklanan yer değiştirme

3. derece Love sayıları, amaçlanan doğruluk derecesine göre yapılan hesaplamalarda reel ve sabit sayı olarak alınabilir. Bu gelgitlerden kaynaklanan yer değiştirme vektörü aşağıdaki şekilde verilir:

$$\Delta\vec{r} = \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j R_e^5}{GM_\oplus R_j^4}\left\{h_3\hat{r}\left(\frac{5}{2}(\widehat{R_j}\cdot\hat{r})^3 - \frac{3}{2}(\widehat{R_j}\cdot\hat{r})\right) + l_3\left(\frac{15}{2}(\widehat{R_j}.\hat{r})^2 - \frac{3}{2}\right)\left[\widehat{R_j} - (\widehat{R_j}.\hat{r})\hat{r}\right]\right\}, \quad (3.10)$$

Sadece Ay'ın etkisinin hesaplanması yeterlidir, Güneş'ten kaynaklanan terim göz ardı edilebilir. Eşitlik (3.10)'daki yer değiştirmenin yatay kısmı 0.2 mm'yi geçmez, ancak radyal yer değiştirme 1.7 mm'ye kadar ulaşabilir.

$l^{(1)}$ teriminden kaynaklanan yatay yer değiştirmeye etkiler

$l^{(1)}$ 'in sanal kısmı, gerçek kısmının bant içi değişimleri olarak ele alınarak göz ardı edilir. Φ_j : Ay veya Güneşin jeosentrik enlemi, λ_j : Ay veya Güneşin Greenwich'den olan doğu boylamı, X_j, Y_j, Z_j yersel referans çatısında gök cisminin kartezyen koordinatları olmak üzere Legendre fonksiyonları:

$$P_2^0(\sin\Phi_j) = \frac{1}{R_j^2}\left(\frac{3}{2}Z_j^2 - \frac{1}{2}R_j^2\right), \quad (3.11)$$

$$P_2^1(\sin\Phi_j)\cos\lambda_j = \frac{3X_jZ_j}{R_j^2},$$
$$P_2^1(\sin\Phi_j)\sin\lambda_j = \frac{3Y_jZ_j}{R_j^2}, \quad (3.12)$$

$$P_2^2(\sin\Phi_j)\cos 2\lambda_j = \frac{3}{R_j^2}(X_j^2 - Z_j^2),$$
$$P_2^1(\sin\Phi_j)\sin 2\lambda_j = \frac{6}{R_j^2} X_j Y_j, \tag{3.13}$$

şeklinde oluşturulur ve günlük periyottaki etki ($l^{(1)} = 0.0012$):

$$\vec{\delta t} = -l^{(1)} \sin\phi \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j R_e^4}{GM_\oplus R_j^3} P_2^1(\sin\Phi_j)\left[\sin\phi\cos(\lambda-\lambda_j)\hat{n} - \cos 2\phi \sin(\lambda-\lambda_j)\hat{e}\right] \tag{3.14}$$

şeklinde hesaplanır. Günlük ve yarı-günlük periyotlardaki gelgitlerin neden olduğu yatay düzlemdeki yer değiştirmeye $l^{(1)}$ teriminin etkisi sırasıyla 0.8 mm ve 1 mm'ye kadar olabilir.

$h_{2m}^{(0)}$ ve $l_{2m}^{(0)}$'in sanal kısımlarının oluşturduğu faz dışı etkiler

h^I ve l^I, $h_{2m}^{(0)}$ ve $l_{2m}^{(0)}$'in sanal kısımlarını temsil eder. Günlük gelgitlerden radyal (δr) ve yatay ($\vec{\delta t}$) yer değiştirmelere katkılar ($h^I = -0.0025, l^I = -0.0007$):

$$\delta r = -\frac{3}{4} h^I \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j R_e^4}{GM_\oplus R_j^3} \sin 2\Phi_j \sin 2\phi \sin(\lambda - \lambda_i), \tag{3.15}$$

$$\vec{\delta t} = -\frac{3}{2} l^I \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j R_e^4}{GM_\oplus R_j^3} \sin 2\Phi_j \left[\cos 2\phi \sin\left(\lambda-\lambda_j\right)\hat{n} + \sin\phi\cos\left(\lambda-\lambda_j\right)\hat{e}\right]. \tag{3.16}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Yarı-günlük gelgitlerin katkıları ($h^I = -0.0022, l^I = -0.0007$):

$$\delta r = -\frac{3}{4} h^I \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j R_e^4}{GM_\oplus R_j^3} \cos^2\Phi_j \cos^2\phi \sin(\lambda - \lambda_i), \tag{3.17}$$

$$\vec{\delta t} = -\frac{3}{2} l^I \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j R_e^4}{GM_\oplus R_j^3} \cos^2\Phi_j \left[\sin 2\phi \sin 2\left(\lambda-\lambda_j\right)\hat{n} - 2\cos\phi\cos 2\left(\lambda-\lambda_j\right)\hat{e}\right]. \tag{3.18}$$

şeklinde elde edilir. Bölgesel gelgitlerden faz dışı katkı, zaman uzayında kapalı bir ifadeye sahip değildir.

2. aşamanın hesaplamaları $h_{2m}^{(0)}$ ve $l_{2m}^{(0)}$'nin bant içi değişimlerini dikkate alır. Sanal kısımların değişimleri ise ihmal edilebilir. Bununla birlikte, bölgesel gelgitler için sanal kısımdan gelen katkılar 2. aşamada hesaplanmalıdır.

Love ve Shida sayılarının frekans bağımlılığı için getirilen düzeltmeler

(a) Günlük banttaki katkılar

Hem eş fazlı (ip) hem de faz dışı (op) parçaları içeren düzeltmeler, f frekansının bir günlük gelgit teriminden dolayı radyal (δr) ve yatay ($\delta\vec{t}$) istasyon yer değiştirmeleri:

$$\delta r = \left[\delta R_f^{(ip)} \sin\left(\theta_f + \lambda\right) + \delta R_f^{(op)} \cos\left(\theta_f + \lambda\right)\right] \sin 2\phi, \tag{3.19}$$

$$\begin{aligned}\delta\vec{t} = &\left[\delta T_f^{(ip)} \cos\left(\theta_f + \lambda\right) - \delta T_f^{(op)} \sin\left(\theta_f + \lambda\right)\right] \sin\phi\hat{e} \\ &+\left[\delta T_f^{(ip)} \sin\left(\theta_f + \lambda\right) + \delta T_f^{(op)} \cos\left(\theta_f + \lambda\right)\right] \cos 2\phi\hat{n}\end{aligned} \tag{3.20}$$

eşitliklerinden elde edilebilir. Burada;

$$\begin{aligned}\begin{pmatrix}\delta R_f^{(ip)} \\ \delta R_f^{(op)}\end{pmatrix} &= -\frac{3}{2}\sqrt{\frac{5}{24\pi}} H_f \begin{pmatrix}\delta h_f^R \\ \delta h_f^I\end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix}\delta T_f^{(ip)} \\ \delta T_f^{(op)}\end{pmatrix} &= -3\sqrt{\frac{5}{24\pi}} H_f \begin{pmatrix}\delta l_f^R \\ \delta l_f^I\end{pmatrix},\end{aligned} \tag{3.21}$$

şeklindedir. δh_f^R ve δh_f^I, Eşitlik (3.9 ve 3.15)'te kullanılan sırasıyla h_2 ve h^I nominal değerlerinden f frekansındaki $h^{(0)R}$ ve $h^{(0)I}$ 'nın farlılıklarıdır. δl_f^R ve δl_f^I, Eşitlik (3.9 ve 3.16)'da kullanılan sırasıyla l_2 ve l^I nominal değerlerinden f frekansındaki $l^{(0)R}$ ve $l^{(0)I}$ 'nın farlılıklarıdır.

(b) Uzun dönem bandından katkılar

f frekansının bölgesel gelgit terimi radyal (δr) ve yatay ($\delta\vec{t}$) düzeltmeleri, hem eş fazlı hem de faz dışı etkilerini içerir. Eşitlik (3.1, 3.5 ve 3.6) kullanılarak radyal veya yatay düzeltme:

$$\delta r = \left(\frac{3}{2}\sin^2\phi - \frac{1}{2}\right)\left(\delta R_f^{(ip)} \cos\theta_f + \delta R_f^{(op)} \sin\theta_f\right), \tag{3.22}$$

$$\delta\vec{t} = \left(\delta T_f^{(ip)} \cos\theta_f + \delta T_f^{(op)} \sin\theta_f\right) \sin 2\phi\hat{n}, \tag{3.23}$$

eşitliklerinden hesaplanır. Burada;

$$\begin{aligned}\begin{pmatrix}\delta R_f^{(ip)} \\ \delta R_f^{(op)}\end{pmatrix} &= \sqrt{\frac{5}{4\pi}} H_f \begin{pmatrix}\delta h_f^R \\ -\delta h_f^I\end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix}\delta T_f^{(ip)} \\ \delta T_f^{(op)}\end{pmatrix} &= \frac{3}{2}\sqrt{\frac{5}{4\pi}} H_f \begin{pmatrix}\delta l_f^R \\ -\delta l_f^I\end{pmatrix},\end{aligned} \tag{3.24}$$

şeklindedir.

Tablo 3.4. Günlük gelgitler için Love ve Shida sayılarının frekans bağımlılığından kaynaklanan düzeltmeler [73].

İsim	Frekans	Doodson	τ	s	h	p	N'	p_s	l	l'	F	D	Ω	$\Delta R_f^{(ip)}$	$\Delta R_f^{(op)}$	$\Delta T_f^{(ip)}$	$\Delta T_f^{(op)}$
Q_1	13.39866	135.655	1	-2	0	1	0	0	1	0	2	0	2	-0.08	0.00	-0.01	0.01
	13.94083	145.545	1	-1	0	0	-1	0	0	0	2	0	1	-0.10	0.00	0.00	0.00
O_1	13.94303	145.555	1	-1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	-0.51	0.00	-0.02	0.03
No_1	14.49669	155.655	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0.06	0.00	0.00	0.00
π_1	14.91787	162.556	1	1	-3	0	0	1	0	1	2	-2	2	-0.06	0.00	0.00	0.00
P_1	14.95893	163.555	1	1	-2	0	0	0	0	0	2	-2	2	-1.23	-0.07	0.06	0.01
	15.03886	165.545	1	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-0.22	0.01	0.01	0.00
K_1	15.04107	165.555	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.00	-0.78	-0.67	-0.03
	15.04328	165.565	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1.73	-0.12	-0.10	0.00
ψ_1	15.08214	166.554	1	1	1	0	0	-1	0	-1	0	0	0	-0.50	-0.01	0.03	0.00
ϕ_1	15.12321	167.555	1	1	2	0	0	0	0	0	-2	2	-2	-0.11	0.01	0.01	0.00

Tablo 3.4'te birimler mm, radyal düzeltmeli tüm terimler 0.05 mm'den büyük gösterilmiştir. Nominal değerler gerçek kısım için $h_2 = 0.6078$ ve $l_2 = 0.0847$, sanal kısım için $h^I = -0.0025$ ve $l^I = -0.0007$, frekanslar derece/saat (degrees per hour) biriminde verilmiştir.

Tablo 3.5. Bölgesel gelgitler için Love ve Shida sayılarının frekans bağımlılığından kaynaklanan düzeltmeler [73].

İsim	Frekans	Doodson	τ	s	h	p	N'	p_s	l	l'	F	D	Ω	$\Delta R_f^{(ip)}$	$\Delta R_f^{(op)}$	$\Delta T_f^{(ip)}$	$\Delta T_f^{(op)}$
	0.00221	55.565	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.47	0.16	0.23	0.07
S_{sa}	0.08214	57.555	0	0	2	0	0	0	0	0	-2	2	-2	-0.20	-0.11	-0.12	-0.05
M_m	0.54438	65.455	0	1	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	-0.11	-0.09	-0.08	-0.04
M_f	1.09804	75.555	0	2	0	0	0	0	0	0	-2	0	-2	-0.13	-0.15	-0.11	-0.07
	1.10024	75.565	0	2	0	0	1	0	0	0	-2	0	-1	-0.05	-0.06	-0.05	-0.03

Tablo 3.5'te radyal düzeltme terimlerinin 0.05 mm'den büyük olanları mm biriminde verilmiştir. Nominal değerler gerçek kısım için $h = 0.6078$ ve $l = 0.0847$, frekanslar saat/derece (degrees per hour) biriminde verilmiştir. Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te listelenen ΔR_f ve ΔT_f değerleri, 1 mm'lik bir doğruluğun sağlanması için dikkate alınması gereken bileşenlere aittir [73].

Kalıcı Deformasyon

Yukarıda açıklanan gelgit modeli aslında zamandan bağımsız bir bölüm içerir, böylece analizde bu modeli dikkate alarak elde edilen koordinatlar "konvansiyonel serbest gelgit (conventional tide free)" değerler olacaktır. Bu bölüm bir kullanıcının "ortalama gelgit (mean tide)" koordinatlarını konvansiyonel serbest gelgit koordinatlardan hesaplamasına izin verir.

Özellikle 2. derece bölgesel gelgit üretme potansiyeli, $H_0 = -0.31460$ m genlikte ve sıfır frekansın bir spektral bileşenini içerir ve etkisi, Eşitlik (3.9)'un zamandan bağımsız bir bileşeni vasıtasıyla yer değiştirme modeline girer. 1. aşamada kullanıldığı gibi Love sayısı için aynı nominal değerler: $h_2 = 0.6078$, $l_2 = 0.0847$, $h^{(2)} = -0.0006$, $l^{(2)} = 0.0002$ şeklindedir. Eşitlik (3.9)'a göre kalıcı yer değiştirmenin radyal bileşeni (Eşitlik 3.25):

$$\left[-0.1206 + 0.0001 P_2(\sin\phi)\right] P_2(\sin\phi) \tag{3.25}$$

metre biriminde ve yatay bileşeni (Eşitlik 3.26):

$$\left[-0.0252 - 0.0001 P_2(\sin\phi)\right] \sin 2\phi \tag{3.26}$$

kuzeye doğru pozitif değer alır ve metre birimindedir. Bunlar ortalama gelgit konumunu elde etmek için konvansiyonel serbest gelgitinin hesaplanmış gelgit düzeltmeli konumuna eklenecek vektörün bileşenleridir. Ortalama gelgit düzeltmesi örneğin radyal bileşeni kutuplarda yaklaşık -12 cm ve ekvatorda yaklaşık +6 cm'dir [73].

3.2. Okyanus Gelgit Yüklemesi

Okyanus gelgitleri, okyanus kütle dağılımında geçici değişikliklere sonrasında okyanus tabanı basınç değişimlerine ve dolayısı ile kabuk üzerinde değişken yüklemelere sebep olur. Bundan dolayı yeryüzünde ve özellikle kıyı kesimlerinde 100 mm'ye kadar ulaşabilen harmonik yapıda yer değişimleri meydana gelir [73], [99]. Okyanuslardaki uzak ancak yaygın gelgitlerin neden olduğu okyanus gelgit yüklemeleri (OTL, ocean tide loading) radyal yer değiştirmeleri kıta içlerinde bile genellikle santimetre seviyesini aşmaktadır. Yatay yer değiştirmeler ise dikey yer değiştirmenin yaklaşık olarak üçte biri civarındadır. Sığ kıta sahanlığıyla çevrili ada bölgelerine yakın gelgitler açık okyanus gelgitlerinden birkaç santimetre büyük olabilir, buna göre yerel OTL yer değiştirmeleri desimetre seviyesini aşabilmektedir [99]. Karmaşık kıyı şeritleri gelgit akıntılarını bozmaktadır. Bundan dolayı yerel gelgitin faz gecikmesi ve belirli bir zamandaki OTL

yer değiştirmesinin büyüklüğü kısa mesafelerde önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu nedenle OTL, istasyon konumunu kayda değer miktarda birkaç saatlik süre boyunca değiştirecek jeofizik bir etkidir.

OTL yer değiştirmesinin frekansı okyanus ve katı yer gelgitlerini takip eder: Şöyle ki, gelgit gücünün büyük çoğunluğu 12 saate yakın dört yarı-günlük periyotta ve 24 saate yakın dört günlük periyottadır. Ancak az olsa dahi yaklaşık olarak iki haftada bir aylık ve yarıyıllık periyotlardaki etkilerde ayrıca ilgili okyanus gelgit yüklemesi yer değiştirme modellerinde yer almaktadır (Tablo 3.6). Bir istasyonun konumunun birkaç saatlik uzay/uydu jeodezisi ölçülerinden türetilmesi sırasındaki kısa süreli ortalama, OTL ile ilgili hatayı gideremez. Bu nedenle uzay/uydu jeodezisi tabanlı ölçüler ile mutlak istasyon konumunun kestirimi aşamasında, OTL yer değiştirmelerinin öncül koordinatların tahmini sırasında her ölçü epoğu için istasyon koordinatlarına düzeltme olarak getirilmesi gerekir.

Tablo 3.6. Ana gelgit bileşenleri, periyotları ve M_2 gelgitine göre normalize edilmiş potansiyelin küresel genliği.

Bileşen	Periyot	Normalize Edilmiş Potansiyel
M_2	12 sa 25 dk	1.00
S_2	12 sa 00 dk	0.47
N_2	12 sa 39 dk	0.19
K_2	11 sa 58 dk	0.13
K_1	23 sa 56 dk	0.58
O_1	25 sa 50 dk	0.41
P_1	24 sa 04 dk	0.19
Q_1	26 sa 52 dk	0.08
M_f	13.66 gün	0.11
M_m	27.32 gün	0.06
S_{sa}	182.62 gün	0.05

Tablo 3.6'da gelgit potansiyeli enlem bağımlıdır; hidrodinamik etkiler okyanus gelgit genliklerini daha da değiştirecek ve bu rakamlar sadece yaklaşık göreceli değerlerdir.

Akışkan kütlelerle birlikte katı yeryüzü, kendisine etki eden herhangi bir kuvvet içermeyen bir sistem olarak kabul edildiğinde, ortak kütle merkezinin konumu uzayda sabittir. Okyanus gelgitleri akışkan kütlelerin yer değiştirmesine sebep olduğundan, akışkan kütlelerin kütle merkezi periyodik olarak hareket eder. Bu hareket katı

yeryüzünün kütle merkezinin ters bir hareketi ile telafi edilmelidir. Katı yeryüzüne sabitlenmiş istasyonlar bu karşı harekete bağımlıdırlar.

Ay ve Güneş'in Yer üzerinde oluşturduğu gelgit gravite potansiyeli bir dizi gelgitsel harmonik ile tanımlanabilir [100]–[103]. Okyanusların tepkisi katı yeryüzünden farklı olarak sıvı akışını etkileyen yerel ve bölgesel koşullara büyük ölçüde bağlıdır. Küresel olarak okyanus gelgit tepkisini tanımlamak için kapalı formdaki analitik ifadeler yeterli değildir. Bunun yerine, gridlenmiş formüller gereklidir. OTL yer değiştirmeleri bir katı Dünya modeli (örneğin; Guttenberg-Bullen veya Preliminary Reference Earth Models) ile bir okyanus gelgit modelinin (örneğin; FES2014, GOT4.10 veya TPXO9) birleştirilmesiyle hesaplanır. Radyal olarak simetrik, dönmeyen, elastik, izotropik bir Yer modeli kullanılabilir (örneğin; PREM: Preliminary Reference Earth Model). Bu modellerden okyanus gelgit yüklemesi yer değiştirmelerinin tahmininde bir dizi bilgisayar programları mevcuttur: SPOTL [2], GOTIC2 [4], CARGA [5] ve OLFG/OLMPP [1]. Tablo 3.7'de Schwiderski ve Szeto [104]'dan beri geliştirilen küresel anlamda önemli okyanus gelgit modelleri listelenmektedir. Okyanus gelgit modelleri, hidrodinamik diferansiyel denklem çözümlerinden elde edilen hidrodinamik fonksiyonlara altimetre uyduları ölçülerinin ve mareograf ölçülerinin girdi olarak kullanılması ile elde edilirler [73].

Belirli bir gelgit harmoniği nedeniyle belirli bir bölgedeki kabuk yüklemesi, tüm okyanus yüzeyleri boyunca gelgit yüksekliklerinin ağırlık fonksiyonu (elastik load Green Fonksiyonu [13]) ile çarpılıp toplanmasından (konvolüsyon integrali ile) hesaplanır [73]. Tüm gelgitlerin etkisi toplanarak toplam yükleme yer değiştirmesi:

$$\Delta c = \sum_j A_{cj} \cos(\chi_j(t) - \phi_{cj}) \tag{3.27}$$

şeklinde hesaplanabilir. Eşitlik (3.27)'de Δc , belirli bir istasyonun t anındaki yer değiştirme bileşenlerini (radyal, batı, güney) ifade eder. A_{cj} genliği ve ϕ_{cj} Greenwich boylamına göre faz gecikmesini göstermektedir. $\chi_j(t)$ ise, t anındaki her bir gelgit için ayrı ayrı hesaplanan astronomik argümanlar (açılar) olarak tanımlanır.

Geleneksel olarak uzun periyotlu (m=0), günlük (m=1) ve yarı-günlük (m=2) bantlarda bir dizi ayrık harmonikler esas alınır. Dikkate alınan bu 11 ana gelgit ise şunlardır: yarı-

günlük gelgitler: M_2, S_2, N_2, K_2, günlük gelgitler: K_1, O_1, P_1, Q_1 ve uzun periyotlu gelgitler: M_f, M_m, S_{sa}. Diğer gelgit bileşenleri (toplam 342 gelgit) için genlikler ve fazlar 11 ana gelgitin enterpolasyonu ile elde edilir [102].

Tablo 3.7.Chalmers Üniversitesi Yükleme Servisinde mevcut okyanus gelgit modelleri.

Model Kodu	Referans	Girdi	Çözünürlük
Schwiderski	Schwiderski [7]	Gelgit ölçeği	1º x 1º
CSR3.0, CSR4.0	Eanes ve Bettadpur [105]	TOPEX/Poseidon Altimetre T/P + Le Provost Yüklemesi	1º x 1º 0.5º x 0.5º
TPXO5	Egbert vd. [106]	T/P Altimetre ters hidrodinamik çözüm	256 x 512
TPXO6.2	Egbert ve Erofeeva [8]	T/P Altimetre ters hidrodinamik çözüm	0.25º x 0.25º
TPXO7.0, TPXO7.1	Egbert ve Erofeeva [8]	T/P Altimetre ters hidrodinamik çözüm	0.25º x 0.25º
TPXO8-Atlas	Egbert ve Erofeeva [8]	T/P Altimetre ters hidrodinamik çözüm	0.16º x 0.16º
TPXO9-Atlas	Egbert ve Erofeeva [8]	T/P Altimetre ters hidrodinamik çözüm	0.16º x 0.16º
FES94.1	Le Provost vd. [107]	Sayısal model	0.5º x 0.5º
FES95.2	Le Provost vd. [108]	Sayısal model+ benzer altimetre	0.5º x 0.5º
FES98	Lefèvre vd. [109]	Sayısal model+ benzer gelgit ölçeği	0.25º x 0.25º
FES99	Lefèvre vd. [110]	Sayısal model+ benzer altimetre ve gelgit ölçeği	0.25º x 0.25º
FES2004	Letellier [111]	Sayısal model	0.125ºx 0.125º
FES2012	Carrere vd. [11]	Sayısal model + daha iyi çözünürlük	0.0625ºx0.0625º
FES2014	Carrere vd. [112]	Sayısal model + FES2012'den %50 daha çok veri	0.0625ºx0.0625º
GOT99.2b, GOT00.2	Ray [37]	T/P	0.5º x 0.5º
GOT4.7	Ray [37]	T/P	0.5º x 0.5º
GOT4.10	Ray [113]	Önceki versiyonları ile aynıdır, sadece T/P verisi yoktur	0.5º x 0.5º
EOT08a	Savcenko ve Bosch [114]	Çok işlevli altimetre	0.125ºx 0.125º
AG06a	Andersen [115]	Çok işlevli altimetre	0.5º x 0.5º
NAO.99b	Matsumoto vd. [116]	Sayısal model + benzer T/P	0.5º x 0.5º

Sadece 11 ana gelgit ile Eşitlik (3.27) kullanıldığında, küçük gelgit ve düğüm modülasyonlarının tamamen ihmal edilmesi önerilmez. Bu durum yüksek enlemlerde 5 mm'ye kadar hatalara yol açar. Okyanus kaynaklı yer değiştirmeye ek etkiler, günlük gelgit bandındaki Yaklaşık Günlük Serbest Yalpalanmadan (Nearly Diurnal Free Wobble, NDFW) dolayı Love yükleme sayılarının (Love load numbers) frekans bağımlılığından kaynaklanmaktadır.

Belirli bir istasyonun 11 ana gelgit için $(1 \le j \le 11)$ A_{cj} genlikleri ve ϕ_{cj} Greenwich faz gecikmeleri okyanus yükleme servisinden elektronik ortamda elde edilebilir [1]. Bu veriler BLQ veya HARPOS olarak adlandırılan formatlarla elde edilebilir. BLQ formatı için bir örnek Tablo 3.8'de gösterilmiştir. Yer değiştirmelerde batı ve güney yönleri pozitif olarak kabul edilmiştir. Chalmers okyanus gelgit yükleme servisi, katsayıların Tablo 3.7'de gösterilen 23 gelgit modelinden herhangi birinden seçerek hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

Tablo 3.8.BLQ formatında okyanus yükleme dosyası örneği.

Columns designate tides M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_f, M_m and S_{sa}.

$$

ONSALA

$$ FES2014b ID:2019-01-30 11:35:39

$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)

$$ Onsala, RADI TANG lon/lat: 11.9264 57.3958 0.000

.00367	.00113	.00081	.00033	.00233	.00123	.00073	.00010	.00090	.00052	.00054
.00149	.00035	.00035	.00010	.00040	.00042	.00013	.00009	.00013	.00007	.00006
.00058	.00022	.00017	.00005	.00027	.00010	.00008	.00003	.00001	.00001	.00000
-63.9	-37.6	-88	-39.2	-55.2	-105.4	-56.8	-162.6	18.2	12	2.5
85	117.9	58.1	120.9	96.5	34.2	92	-2.1	-169.9	-174.8	176.9
111.3	140.8	91.4	142.9	44.6	-48	37.3	-157.8	91.1	63.8	-155.3

Tablo 3.8'de her istasyon kaydı okyanus gelgit modeli, istasyon adı ve coğrafi koordinatlar hakkında bilgi içeren bir başlık bölümünden oluşur. İlk üç sayı dizisi metre cinsinden radyal, batı ve güney bileşen genliklerini ve takip eden üç sayısı dizisi bunlara karşılık gelen derece cinsinden Greenwich meridyenine göre faz gecikme açılarını gösterir.

Okyanus gelgit yükleme değerlerinin doğruluğu büyük oranda kullanılan modelin doğruluğuna bağlıdır. Farklı elastik Yer modelleri farklı Green fonksiyonları üretirler ancak fonksiyonlar arası farklılıklar toplam yer değiştirmenin %2'sinden daha azdır. Günümüzde yükleme değerindeki belirsizliğe en büyük etkiyi yapan okyanus gelgit modelindeki hatalardır. Bu nedenle en güncel okyanus gelgit modellerinin kullanılması tavsiye edilir. Bununla birlikte, eski modeller bazen iç tutarlılık için tercih edilebilir. Gelgit modellerinin sahanlık alanlardaki doğruluğu açık denizden veya karaların iç kesimlerinden daha fazla hataya sahiptir. Kıyı bölgelerindeki okyanus gelgit yüklemelerinin oluşturduğu farklı modellerden hesaplanan konum değişimleri arasındaki farklar karaların iç kesimlerine kıyasla daha büyüktür.

Okyanus gelgit yükleme servisini kullanarak genlik ve faz tabloları oluştururken, "yer merkezli hareket için yükleme değerlerini düzeltmek gerekiyor mu?" sorusunu cevaplamak gerekmektedir. "Hayır" cevabı katsayıların, okyanus gelgitinden kaynaklanan yer merkezli hareketin geniş ölçekte etkisini içermediği anlamına gelmektedir. Bu durum Dünya'nın kütle merkezine duyarlı olmayan "kabuk-sabit" bir çerçevede verilen istasyon koordinatları için uygundur (örneğin VLBI istasyon koordinatlarına getirilecek düzeltmelerde okyanus yüklemesi kaynaklı Yer'in ağırlık merkezi değişimleri dikkate alınmaz. Çünkü VLBI ölçüleri Yer'in ağırlık merkezine duyarlı değildir). "Evet" cevabı katsayıların hesabında, okyanus gelgitinden kaynaklanan yer merkezli hareketin dikkate alınması anlamına gelir. Bu durum uydu dinamiği gözlemlerini kullanarak "kütle merkezi" belirleyebilen (ölçüleri Yer'in ağırlık merkezine duyarlı) jeodezi teknikleri: GNSS, DORIS ve SLR ölçülerinin analizinde dikkate alınmalıdır.

Okyanus gelgit kütlesinden dolayı kabuk sabit referans çatısı orijini $dX(t)$, $dY(t)$, $dZ(t)$ Scherneck tarafından verilen yönteme göre hesaplanabilir. Örneğin,

$$dX(t) = \sum_{k=1}^{11} X_{in}(k)\cos(\chi_k(t)) + \chi_{cr}(k)\sin(\chi_k(t)) \tag{3.28}$$

eşitliği ile elde edilebilir. Burada eş fazlı ($_{in}$) ve çapraz faz ($_{cr}$) genlikleri (metre biriminde) çeşitli okyanus modellerinde listelenmektedir. $dY(t)$ ve $dZ(t)$ benzer şekilde formüle edilmektedir. Örneğin bu düzeltme sp3 yörünge formatındaki kütle merkezinden beklenen kabuk-sabit çerçeveye GPS yörüngelerinin dönüştürülmesinde uygulanmalıdır:

$$X_{kabuk-sabit} = X_{kütle\ merkezi} - dX \tag{3.29}$$

Eşitlik (3.29)'da görüldüğü gibi öteleme vektörü kütle merkezinden sp3 yörünge formatına dönüştürülürken çıkarılmalıdır.

3.3. Kutup Gelgiti

Dünya yüzeyindeki konumlara göre Dünya'nın dönme ekseni yönündeki değişiklikler, istasyon koordinatlarında birkaç santimetreye kadar ulaşan değişikliklerle sonuçlanan bölgesel deformasyonlara neden olur [117]. Bu etkileri modellemek için, yüksek frekanslı temel periyodik hareketlerden arınmış yersel referans sistemine göre

Dünya'nın dönme ekseninin düşük frekanslı hareketlerinin esas alınması uygundur. Bu model 1900'den 2018'e kadar kutup hareketi gözlemlerine uyan en-küçük-kareler kestirimi ile türetilen seküler kutup ile tanımlanan doğrusal bir temsil ile sağlanmaktadır. Seküler kutbun koordinatları (x_s, y_s) mili-açı-saniyesi biriminden verilir:

$$x_s = 55.0 + 1.677(t - 2000), y_s = 320.5 + 3.460(t - 2000) \tag{3.30}$$

Yersel bir referans sisteminde X, Y, Z eksenlerini dikkate aldığımızda yeryüzündeki bir noktada Dünya'nın dönmesinden kaynaklanan merkezkaç potansiyeli aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır:

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2}[\left|\vec{r}\right|^2 \left|\vec{\Omega}\right|^2 - (\vec{r}\cdot\vec{\Omega})^2], \\ \vec{\Omega} &= \left|\vec{\Omega}\right|[m_1\hat{x} + m_2\hat{y} + (1+m_3)\hat{z}] \end{aligned} \tag{3.31}$$

Burada m_1, m_2 seküler kutbun koordinatlarından (x_s, y_s) anlık dönme kutbunun zaman bağımlı sabitidir, m_3 dönme hızındaki kesirli varyasyon ve $\vec{r}$ istasyona doğru yönlendirilmiş yer merkezli vektördür. Milimetre seviyesinin altındaki yer değiştirmelere neden olan m_3'teki değişimleri ihmal ederek m_1 ve m_2 terimleri, boylam λ ve ko-enleme θ sahip bir istasyonun V potansiyelinde bir sapma meydana getirir [118]:

$$\Delta V(r,\theta,\lambda) = -\frac{\left|\vec{\Omega}\right|^2 \left|\vec{r}\right|^2}{2}\sin 2\theta(m_1\cos\lambda + m_2\sin\lambda) \tag{3.32}$$

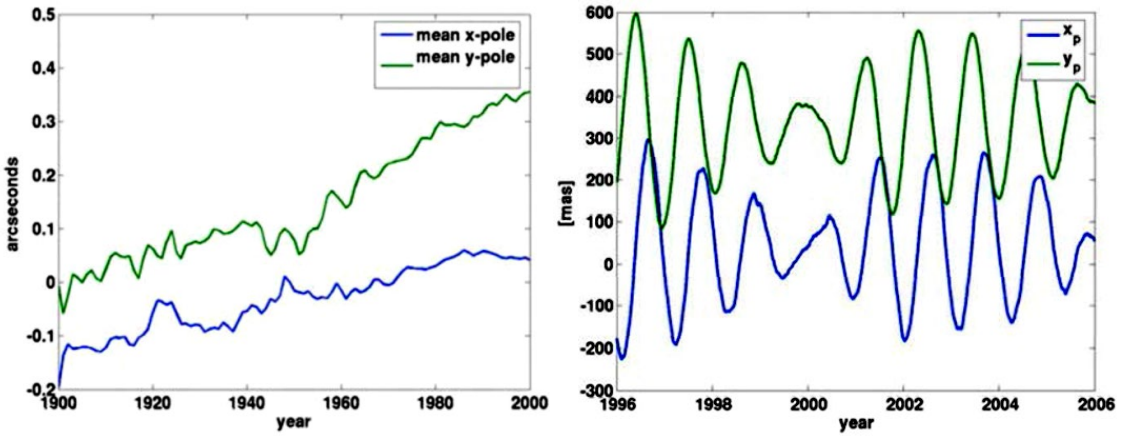
ΔV potansiyelinden dolayı radyal S_r ve yatay S_θ, S_λ yer değiştirmeler Love ve Shida sayıları $h_2 = 0.6207, l_2 = 0.0836$ kullanılarak elde edilir [119]:

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} S_r \\ S_\theta \\ S_\lambda \end{pmatrix} = \frac{1}{\left|g_{0,r}\right|}\begin{pmatrix} h_2\Delta V \\ l_2\partial_\theta\Delta V \\ \dfrac{l_2}{\sin\theta}\partial_\lambda\Delta V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -32(m_1\cos\lambda + m_2\sin\lambda)\sin 2\theta \\ -9(m_1\cos\lambda + m_2\sin\lambda)\cos 2\theta \\ 9(m_1\cos\lambda - m_2\sin\lambda)\cos\theta \end{pmatrix} \tag{3.33}$$

m_1 ve m_2 değişkenleri (açı saniyesi biriminde) kutup hareketi (x_p, y_p) değişkenlerinden elde edilebilir:

$$\begin{aligned} m_1 &= x_p - x_s \\ m_2 &= -(y_p - y_s) \end{aligned} \tag{3.34}$$

m_1 ve m_2 değişkenleri IERS2010 Konvansiyonları Bölüm 5'te tanımlanmıştır. Seküler kutbun koordinatları (x_s, y_s) Şekil 3.1a'da [95] ve 1996-2006 yılları arasındaki uzun dönemli kutup koordinatları ise Şekil 3.1b'de [95] gösterilmiştir. m_1 ve m_2 değişkenleri en çok 0.8 açı saniyesi cinsinden değiştiği göz önüne alındığında maksimum radyal yer değiştirme yaklaşık 25 mm iken yatay yer değiştirme 7 mm civarındadır.



(a) (b)

Şekil 3.1. Seküler kutup koordinatları ve 1996-2000 yılları arasındaki uzun dönemli kutup koordinatları [95].

Sağ el ekvatoral koordinat sisteminde bir istasyonun kartezyen koordinatları X, Y ve Z ise, kutup gelgitinden dolayı bu koordinatlardaki değişimler aşağıdaki gibi hesaplanır [73]:

$$[dX, dY, dZ]^T = R^T [S_\theta, S_\lambda, S_r]^T \tag{3.35}$$

Eşitlik (3.35)'teki rotasyon matrisi ise:

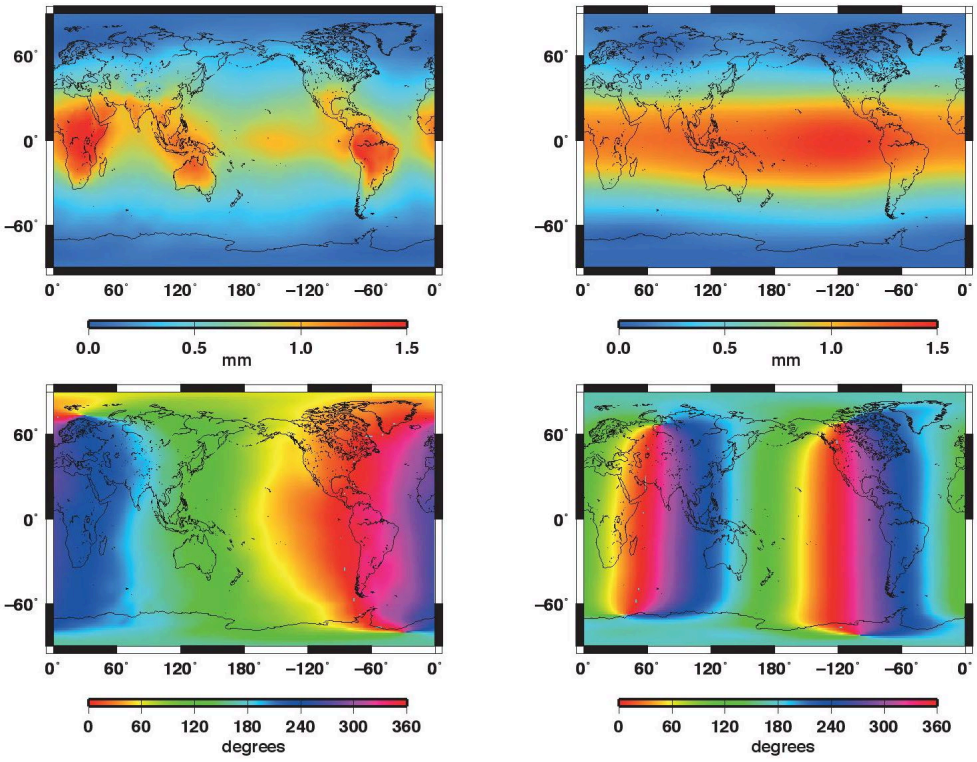
$$R = \begin{pmatrix} \cos\theta\cos\lambda & \cos\theta\sin\lambda & -\sin\theta \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \sin\theta\cos\lambda & \sin\theta\sin\lambda & \cos\theta \end{pmatrix} \tag{3.36}$$

şeklindedir.

3.4. Atmosfer Gelgit Yüklemesi

Dünya yüzeyi ve okyanuslar ile birlikte aynı zamanda atmosferde de gelgitler meydana gelmektedir. Ancak, atmosferde oluşan baskın kısım gelgitsel gravite etkisi değil güneş ısısı değişimi kaynaklıdır [95]. Atmosfer gelgit yüklemesi yüzey basıncı ve sıcaklık kayıtlarından gözlemlenebilir. Atmosferin günlük ısınması, günlük (S_1), yarı-günlük

(S_2) ve daha yüksek harmoniklerde yüzey basınç salınımlarına neden olmaktadır. Bu atmosferik gelgitler Yer kabuğunda periyodik hareketlere sebep olur [120]. Dikey deformasyon genliği bazı okyanus gelgit yükleme etkilerine eşittir ve bu nedenle istasyon hareket modelinde göz önünde bulundurulmalıdır [121]. IERS2010 Konvansiyonlarının tavsiyesi Ray ve Ponte (RP03) [122] S_1 ve S_2 gelgit modelini kullanarak istasyon yer değiştirmesini hesaplamaktır [73]. Şekil 3.2'de RP03 modelinden türetilen S_1 ve S_2 gelgitlerinin tahmini dikey deformasyonlarının genlik ve fazları gösterilmektedir.



Şekil 3.2. RP03 modelinden türetilen S1 ve S2 gelgitlerinin tahmini dikey deformasyonlarının genlik (üstteki şekiller, mm) ve fazları (alttaki şekiller, derece) [73].

S_1 ve S_2, RP03 gelgit modeli, van den Dool vd. [123] tarafından belirtilen prosedürü kullanarak Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) işlevsel küresel yüzey basınç alanlarından türetilmiştir. S_2 modeli 428 barometre istasyonuyla karşılaştırılarak test edilmiştir [122]. Bu testler çok daha az kapsamlı olmasına rağmen, S_1 modelleri için benzer karşılaştırmalar bulunmuştur. Barometre istasyonları türetilmiş

gelgit alanlarında küçük faz hataları ortaya çıkarmıştır. Bu hataların kökeni anlaşılamamıştır.

Elastik Green Fonksiyonları hesaplamalarda kullanılmıştır. Viskoelastisitede değişiklikler göz önüne alındığında, Francis ve Mazzega [124], M_2 okyanus gelgit radyal yüzey yer değiştirmesi genliğinin %1.5 oranında ve fazın %3 oranında değişebildiğini, yani okyanus gelgit modelinin kendisindeki belirsizliklerle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir bir miktar olduğunu göstermiştir. S_2 radyal yer değiştirmesi üzerindeki %1.5'lik bir etki genlikte 0.05 mm'dir. Bu miktar basınç modellerindeki belirsizlikten daha düşüktür ve göz ardı edilebilmektedir. Ek olarak, farklı Green fonksiyonlarından türetilen tahmini yer değiştirmelerdeki farklılıklar 0.1 mm RMS (root mean square) düzeyindedir, bu nedenle farklı Yer modelleri için türetilmiş Green fonksiyonlarını kullanarak düzeltmeler yapmak gereksiz görülmüştür. Üç boyutlu yüzey yer değiştirmeleri, okyanusların yüke karşı katı yeryüzü olarak tepki verdiği varsayılarak belirlenir. Ayrıca, okyanus gelgit yüklemesi nedeniyle okyanusun atmosferik gelgitlere vereceği tepkinin istasyon yer değiştirmeleri vasıtasıyla ayrı ayrı modellendiğine dikkat edilmelidir.

Herhangi bir coğrafi konumda ve zamanda yukarı (up), doğu (east), kuzey (north) bileşenleri olarak ifade edilen gelgit deformasyonu $d(u,e,n)_{S_1}$ ve $d(u,e,n)_{S_2}$ 'nin toplamı:

$$d(u,e,n)_{S_1} = A_{d1}(u,e,n) * \cos(\omega_1 T) + B_{d1}(u,e,n) * \sin(\omega_1 T) \tag{3.37}$$

$$d(u,e,n)_{S_2} = A_{d2}(u,e,n) * \cos(\omega_2 T) + B_{d2}(u,e,n) * \sin(\omega_2 T) \tag{3.38}$$

şeklinde elde edilir. Burada $A_{d1}, B_{d1}, A_{d2}, B_{d2}$ deformasyon bileşenleri olarak aynı uzunluk biriminde ifade edilen yüzey yer değiştirme katsayılarıdır. *T*, UT1 zamanındaki gün ve ω_1, ω_2 atmosferik gelgitlerin (S_1,S_2) frekansıdır.

Yüzey yer değiştirme katsayıları ($A_{d1}, B_{d1}, A_{d2}, B_{d2}$), basınç kütle katsayıları $(\cos_{S_1}, \sin_{S_1}, \cos_{S_2}, \sin_{S_2})$ ile Green fonksiyonlarının küresel bir konvolüsyon toplamı yapılarak her istasyon için belirlenmektedir. Gridler, jeodezik veri analizi için kullanılan

iki temel referans çatısı için hazırlanmıştır: katı Yer'in merkezi (CE) ve Dünya + atmosfer + okyanusun kütle merkezi (CM).

Tablo 3.9.S_1-S_2 atmosferik basınç yüklemesinin kütle merkezi düzeltme katsayıları.

	A_1	B_1	A_2	B_2
dX	2.1188E-04	-7.6861E-04	1.4472E-04	-1.7844E-04
dY	-7.2766-04	-2.3582E-04	-3.2691E-04	-1.5878E-04
dZ	-1.2176E-05	3.2243E-05	-9.6271E-05	1.6976E-05

Okyanus gelgit yüklemesinde olduğu gibi atmosferik gelgit kütlesinden dolayı kabuk sabit referans çatısı orijininin ötelemesinin (yer merkezli hareket) hesaplanması gerekebilir. $dX(t), dY(t), dZ(t)$ Scherneck tarafından verilen yönteme göre:

$$dX(t) = A_1 \cos(\omega_1 T) + B_1 \sin(\omega_1 T) + A_2 \cos(\omega_2 T) + B_2 \sin(\omega_2 T) \quad (3.39)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Burada ω_1 = 1 döngü/gün ve ω_2 =2 döngü/gün'dür. A_1, B_1, A_2, B_2 metre biriminde atmosferik gelgitlerin eş fazlı ve faz dışı bileşenlerinin genlikleridir ve Tablo 3.9'da gösterilmiştir. Okyanus gelgit yüklemesinde olduğu gibi bu düzeltme, sp3 yörünge formatında beklenen kütle merkezinden kabuk-sabit referans çatısına GPS yörüngesini dönüştürmek için uygulanmalıdır.

3.5. Gelgitsel Olmayan Atmosfer Yüklemesi

Okyanus gelgitlerine kıyasla zamanla değişen atmosferik bir basınç dağılımı, kabuksal deformasyona neden olabilir. Rabbel ve Schuh [125] ilk olarak VLBI bazlarının belirlenmesi üzerindeki etkilerini tahmin etmişler ve mevsimsel değişimlerde milimetreler seviyesinde değişime yol açabileceği sonucuna varmışlardır. Okyanus gelgit yüklemesi etkilerinin aksine atmosferik yükleme analizi iyi bilinen bir periyodik itici kuvvetin varlığından faydalanmamaktadır. Aksi halde, Green fonksiyon teknikleri ile atmosferik yükleme tahmini okyanus yükleme etkilerini hesaplamak için kullanılan yöntemlerle aynıdır. Rabbel ve Schuh dikey kabuk yer değiştirmesinin basınç dağılımına bağımlılığının basitleştirilmiş bir formunu önermektedir [68]. İstasyonun anlık basıncını ve alanı 2000 km yarıçapla çevreleyen dairesel bir bölge üzerinde

ortalama bir basınç anomalisi içerir. Dikey yer değiştirme (mm) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta r = -0.35\Delta p - 0.55\overline{p} \tag{3.40}$$

Burada Δp, standart basınca göre (p_{STD}) lokal basınç anomalisidir ($p - p_{STD}$, mbar) :

$$p_{STD} = 1013.25\exp(-h/8.567) \tag{3.41}$$

Basınç anomalisinin ($\overline{p}$) yukarıda bahsedilen 2000 km'lik dairesel bölge üzerinde ortalaması alınır. İstasyon yüksekliği (*h*, km) standart referans elipsoidine göre hesaplanmalıdır:

$$\begin{aligned} h &= \frac{r_{sp}}{\cos\phi} - \frac{R_E}{\sqrt{1-e_1^2\sin^2\phi}}, \\ \phi &= \tan^{-1}\left[\frac{z + e_2^2 R_E \sin^3\theta(1-f)}{r_{sp} - e_1^2 R_E \cos^3\theta}\right], \\ \theta &= \tan^{-1}\left[\frac{z}{r_{sp}(1-f)}\right] \end{aligned} \tag{3.42}$$

Burada istasyonun kartezyen konumu *x*, *y*, *z*'dir. $r_{sp} = \sqrt{x^2 + y^2}$ Dünya'nın dönme ekseninden olan uzaklık, *f* basıklık, e_1^2, e_2^2 birincil ve ikincil eksentrisitenin karesi, ϕ jeodezik enlem, θ jeodezik boylamdır. Bu yer değiştirmedeki referans noktası, standart basınçtaki istasyonun konumu olduğuna dikkat edilmelidir. Bölgesel olarak referans verilen Δr , dönüklük matrisleri kullanılarak yer merkezli koordinat sistemine dönüştürülür.

Böyle bir temel model VLBI analizlerine dâhil edilmiştir. Basınç anomalisinin karakterizasyonu için bir mekanizma, ikinci derece bir polinom olarak bir alanı çevreleyen iki boyutlu yüzey basıncı dağılımını ifade eder:

$$\overline{p} = \iint_C dxdyp(x,y) \Big/ \iint_C dxdy \tag{3.43}$$

Buradan hesapla aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$\begin{aligned} \overline{p} &= \Delta p + (A_3 + A_5)R^2/4 \\ \Delta r &= -0.90\Delta p - 0.14(A_3 + A_5)R^2 \end{aligned} \tag{3.44}$$

Mevcut herhangi bir alan basıncı ölçümü ikinci dereceden bir integrasyon ile A_{1-5} katsayılarını belirleyebilir. Bu bilgiler ışığında ilk adım olarak, Eşitlik (3.44)'teki yerel katsayının ölçeklendirilmesi için istasyona bağlı basıklık (*f*) faktörü tanımlanmıştır:

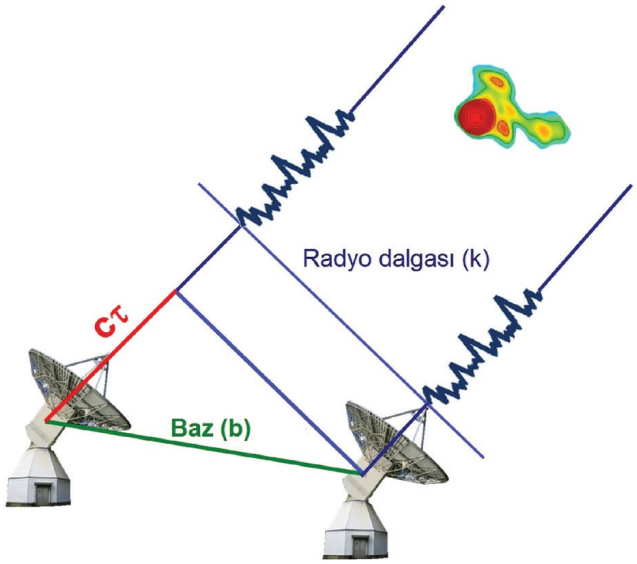
$$\Delta r = -0.90(1+f)\Delta p - 0.14(A_3 + A_5)R^2 \tag{3.45}$$

Bu eşitlik farklı istasyonları çevreleyen farklı coğrafi özellikleri hesaba katabilir. Özellikle basıklık, okyanusun 2000 km yarıçapındaki bölümüne bağlı olabilir [68].

4. VLBI UZAY JEODEZİSİ TEKNİĞİ

Çok Uzun Baz Enterferometrisi (VLBI), koordinatları göksel referans çatısını tanımlayan ekstra galaktik radyo dalgalarını gözlemleyen bir uzay jeodezisi tekniğidir. VLBI, tüm Yer yönelim parametrelerine (EOP: Earth orientation parameters) ölçüleri duyarlı tek uzay jeodezisi tekniğidir. VLBI radyo teleskopları (antenleri) dünyayı kıtalararası bazlarla kaplar. VLBI tarafından gözlemlenen ekstra galaktik radyo kaynaklarına yıldıza benzer radyo kaynakları (kuasar) da denir. Ayrıca, VLBI özellikle uluslararası yersel referans çatısının (ITRS: International terrestrial reference frame) gerçekleştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır [59], [68], [126].

VLBI, iki veya daha fazla VLBI anteninden alınan ve ekstragalaktik radyo kaynakları tarafından yayılan mikrodalga sinyallerinin (S ve X bandı) gelişindeki zaman farkını ölçer (Şekil 4.1). Genellikle, jeodezik VLBI 24 saatlik oturumlardan oluşur ve bu süreçte bir dizi farklı ekstragalaktik radyo kaynağı gözlemlenir. Mikrodalgalar hava koşullarından (bulutlar, yağmur) optik dalgalara göre daha az etkilendiklerinden dolayı VLBI ölçümleri mikrodalga frekanslarında yapılmaktadır. VLBI istasyonlarındaki radyo antenleri, radyo kaynaklarından yayılan zayıf sinyalleri 2 ile 13 dakika arasında algılar, örnekler, sayısallaştırır ve kaydeder. Antenlerin geri ünitelerdeki harddisklere kaydedilen sinyaller 2.3 GHz (S-bandı) ve 8.4 GHz (X-bandı) frekanslarına sahiptir ve bu sinyallerin dalga uzunlukları sırasıyla 13 ve 3.5 cm'dir [68].



Şekil 4.1. VLBI ölçü prensibi [127].

Çok sayıda periyodik gelgit etkisi sinyalleri, santimetre seviyelerinde uzay jeodezisi gözlemlerinde yer alır. Lokal jeolojik ve hidrolojik hareketler, tektonik hareketler, katı yer gelgitleri, okyanus gelgit yükleme etkileri ve atmosfer basınç yükü VLBI gözlem denklemlerinde göz önünde bulundurulur. İyonosferik etkiler frekansları iyi ayrılmış iki radyo dalgası frekans gecikme ölçülerinin lineer kombinasyonları alınarak kolayca elde edilebilirken, troposferin daha düşük irtifalardaki katkısının kaldırılması daha zordur. Aslında troposferin yeterli doğrulukla modellenememesi günümüzde radyo dalgası kullanan tüm uydu ve uzay jeodezisi tekniklerinin en büyük hata kaynağı olmaya devam etmektedir [59].

4.1. VLBI Ölçü Modeli

VLBI, uzak bir kuasar tarafından yayılan bir radyo dalgasının iki yer-sabit antende algılanan sinyalin varış zamanları arasındaki farkı ölçen bir geometrik tekniktir. Küresel bir anten ağı ile gözlemlenen birçok kuasardan çok sayıda zaman farkı ölçülerini kullanan VLBI tekniği yersel referans çatısını, göksel referans çatısını ve Yer yönelim parametrelerini belirler. VLBI gözlem eşitliği (gecikme modeli) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\tau = -\frac{1}{c}\cdot\overrightarrow{b^T}\cdot W\cdot R\cdot Q\cdot\vec{k} + \Delta\tau_{baz\ gecikmesi} + \Delta\tau_{saat} + \Delta\tau_{troposfer} + \Delta\tau_{iyonosfer} + \cdots \qquad (4.1)$$

Burada c, ışık hızı; k, uzay-sabit, ekvatoral, göksel bir referans sistemde (CRS: Celestial reference system) tanımlanan kuasar birim vektörü; b, yer-sabit, ekvatoral, yersel bir referans sisteminde tanımlanan VLBI istasyonlarının oluşturduğu baz vektörü; $\Delta\tau_{baz\ gecikmesi}$, birinci ve ikinci istasyon arasındaki dalga yayılımı sırasında, CRS'deki ikinci antenin hareketinden dolayı gecikme düzeltmesi; $\Delta\tau_{saat}$, istasyonlarda yer alan atomik saatlerin frekans tutarsızlıkları ve senkronizasyon düzeltmesi; $\Delta\tau_{troposfer}$, troposfer sinyal gecikmesi düzeltmesi; $\Delta\tau_{iyonosfer}$, iyonosfer sinyal gecikmesi düzeltmesidir [59].

VLBI gecikme modeli öncelikle Dünya yüzeyinden ekstragalaktik nesnelere VLBI gözlemlerinin analizi için tasarlanmıştır. VLBI saatleri eşgüdümlü evrensel zaman (UTC) ile senkronize edilir. Radyo kaynaklarının (kuasarların) ICRF katalog koordinatları BCRS'de ve VLBI antenlerinin koordinatları ITRF'de tanımlıdır. Hesaplanan gecikme (ölçü) GCRS'de radyo dalgasının birinci istasyona varış

zamanından (t_1) ikinci istasyona varış zamanının (t_2) çıkarılması ile elde edilir. İki veya daha fazla VLBI anteninin aynı anda herhangi bir kuasara yaptığı gözleme tarama (scan) denir. Taramaların (ölçülerin) UTC zaman etiketi (ölçü epoğu) olarak ve ölçü denkleminde yer alan tüm skaler ve vektörel büyüklüklerin t_1'de gerçekleştiği varsayılır ve t_1 ölçüm için zaman referans olarak işlev görür. Bununla birlikte, UTC zaman sisteminde tanımlı t_1, geometrik modelin her bir parametresinin yaklaşık değerini hesaplarken ilgili zaman ölçeğine dönüştürülmelidir. Örneğin, istasyon konumlarına ve Yer dönme parametrelerine (ERP) getirilen jeodinamik düzeltmelerin hesabında yersel zaman (TT) ölçeğine dönüşüm yapılmalıdır [59].

İlk olarak, gözlem epoğuna ilişkin hız düzeltmeleri ve diğer jeodinamik konum değişimleri VLBI anteni ITRS katalog koordinatlarına uygulanır. Böylece, tarama epoğundaki anten ITRS koordinatları (x_{ITRS}) türetilir. Ölçü (tarama) epoğundaki ITRS'den GCRS'ye dönüşüm Eşitlik (2.22)'den elde edilir. Eşitlikteki matrislerin açıklaması Bölüm 2.5'te ayrıntılı şekilde yer almaktadır. Gözlem epoğundaki VLBI anteninin x_{GCRS} koordinatları, $\vec{x}_i(t_1)$ elde edildikten sonra ilgili epoktaki gravitasyonel ve vakum gecikmeleri hesaplanır.

4.1.1. Gravitasyonel Gecikme

J'inci yerçekimi oluşturan uzay objesinin neden olduğu ekstragalaktik radyo kaynağının sinyalindeki gravitasyonel gecikme:

$$\Delta T_{gravJ} = 2\frac{GM_j}{c^3}\ln\frac{\left|\vec{R}_{1J}\right| + \vec{K}\cdot\vec{R}_{1J}}{\left|\vec{R}_{2J}\right| + \vec{K}\cdot\vec{R}_{2J}} \tag{4.2}$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada; G yer çekimi sabiti, M_J J'inci yerçekimi oluşturan uzay objesinin kütlesi, c ışık hızı, $\vec{R}_{iJ}$ J'inci yerçekimi oluşturan uzay objesinden i'inci antene (alıcı) olan vektördür. Mutlak değer işareti karşılık gelen vektörün normunu göstermektedir ($\left|\vec{x}\right| = \sqrt{\sum x_i^2}$). $\vec{K}$ gravitasyonel ve aberasyonel bükülmedeki barisentırdan (güneş sisteminin ağırlık merkezinden) radyo kaynağına (kuasara) olan birim vektördür:

$$\vec{K} = [\cos\delta\cos\alpha \quad \cos\delta\sin\alpha \quad \sin\delta] \tag{4.3}$$

Burada δ ve α radyo kaynağının BCRS'de tanımlanmış deklinasyon ve sağ açıklık değerleridir. Dünya'nın neden olduğu sinyal üzerindeki gravitasyonel gecikme şu şekilde hesaplanabilir:

$$\Delta T_{grav\oplus} = 2\frac{GM_{\oplus}}{c^3}\ln\frac{\left|\vec{x}_1\right| + \vec{K}\cdot\vec{x}_1}{\left|\vec{x}_2\right| + \vec{K}\cdot\vec{x}_2} \tag{4.4}$$

Burada $\vec{x}_i$ t_1 epoğundaki i'inci antenin GCRS'deki koordinatlarını ve $M_{\oplus}$ Dünya'nın kütlesini temsil etmektedir. $\vec{R}_{iJ}$ vektörü, radyo dalgasının J'inci yerçekimi oluşturan uzay objesine en yakın olduğunda t_{1J} zamanında hesaplanmalıdır. Böylece t_1 için zaman düzeltmesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} t_{1J} &= t_1 - \frac{\vec{K}(\vec{X}_J(t_1) - \vec{X}_1(t_1))}{c} \\ \vec{X}_J(t_{1J}) &= \vec{X}_J(t_1) + \vec{V}_J(t_{1J} - t_1) \end{aligned} \tag{4.5}$$

Burada $\vec{X}_J$ ve $\vec{V}_J$ J'inci yerçekimi oluşturan uzay objesinin barisentrik konum ve hız vektörleridir. X_J ve t_{1J} iteratif bir yaklaşımla bulunabilir. Birinci anten ile J'inci yerçekimi oluşturan uzay objesi arasındaki fark vektörü ise:

$$\vec{R}_{1J}(t_1) = \vec{X}_1(t_1) - \vec{X}_J(t_{1J}) \tag{4.6}$$

eşitliğinden hesaplanabilir. t_1 epoğundaki i'inci antenin $\vec{X}_i$ barisentrik koordinatları, antenin GCRS koordinatlarından ve yermerkezli $\vec{X}_{\oplus}(t_1)$ barisentrik koordinatlarından elde edilebilir. $\vec{x}_i(t_1)$ ise:

$$\vec{X}_i(t_1) = \vec{X}_{\oplus}(t_1) + \vec{x}_i(t_1) \tag{4.7}$$

ve J'inci yerçekimi oluşturan uzay objesi ile ikinci anten arasındaki vektör, birinci istasyondan ikinci istasyona radyo dalgasının varış süresi boyunca Yer'in uzaydaki hareketi sonucu ikinci antenin BCRS'de konum değişimini dikkate alarak aşağıdaki gibi türetilebilir:

$$\vec{R}_{2J} = \vec{X}_2(t_1) - \frac{\vec{V}_{\oplus}}{c}(\vec{K}\cdot\vec{b}) - \vec{X}_J(t_{1J}) \tag{4.8}$$

Burada $\vec{V}_{\oplus}$, yermerkezinin barisetrik hız vektörünü ve $\vec{b}$, t_1 epoğundaki GCRS'de tanımlı baz vektörünü ($\vec{x}_2(t_1) - \vec{x}_1(t_1)$) temsil etmektedir. Sonuç olarak gravitasyonel gecikme, Dünya'yı da içeren tüm gravite oluşturan uzay objelerinin meydana getirdiği gecikmelerin skaler toplamına eşittir [59]:

$$\Delta T_{grav} = \sum_{j} \Delta T_{gravJ} \tag{4.9}$$

4.1.2. Vakum Gecikme ve Geometrik Gecikme

Toplam yermerkezli vakum gecikmesi:

$$t_{v2} - t_{v1} = \frac{\Delta T_{grav} - \frac{\vec{K}\cdot\vec{b}}{c}[1 - \frac{(1+\gamma)\cdot U}{c^2} - \frac{\left|\vec{V}_{\oplus}\right|^2}{2c^2} - \frac{\vec{V}_{\oplus}\cdot\vec{\omega}_2}{c^2}] - \frac{\vec{V}_{\oplus}\cdot\vec{b}}{c^2}(1 + \vec{K}\cdot\vec{V}_{\oplus}/2c)}{1 + \frac{\vec{K}\cdot(\vec{V}_{\oplus} + \vec{\omega}_2)}{c}} \tag{4.10}$$

eşitliğinden elde edilir. BCRS'de kullanılan genel rölativite teorisine göre $\gamma = 1$, ω_i i'inci antenin yermerkezli hızı, U ise Dünya'nın kütlesi ihmal edildiğinde Yer'in ağırlık merkezindeki gravite potansiyeli enerjisini temsil etmektedir:

$$U = \frac{GM_{\odot}}{\left|\vec{R}_{\oplus\odot}\right|} \tag{4.11}$$

Burada $\vec{R}_{\oplus\odot}$ güneşten Dünya'nın merkezine olan vektörü ve $M_{\odot}$ güneşin kütlesini temsil etmektedir. Eşitlik (4.10)'daki t_{vi}, i'inci VLBI alıcısının bir radyo sinyali ulaştığında yerçekimsel bükülmeyi içeren ancak atmosferik gecikmeyi ve bükülmeyi ihmal eden "vakum" jeosentrik koordinat zamanıdır (TCG) [128]. Gravitasyonel ve vakum gecikmelerinin hesaplanmasında kullanılan vektörel büyüklüklerin bazıları, örneğin $\vec{X}_{\oplus}, \vec{V}_{\oplus}, \vec{X}_J, \vec{V}_J$, gezegensel efemerislerden, örneğin JPL421, sağlanabilir [59].

Geometrik gecikme, troposfer gecikmesinin geometrik kısmına vakum gecikmesinin eklenmesiyle elde edilebilir:

$$t_{g2} - t_{g1} = t_{v2} - t_{v1} + \delta t_{atm1}\frac{\vec{K}(\vec{\omega}_2 - \vec{\omega}_1)}{c} \tag{4.12}$$

Burada δt_{atm1}, t_1 gözlem epoğundaki birinci antendeki troposferik gecikmenin hidrostatik kısmıdır ve:

$$\delta t_{atm1} = \frac{\Delta L_h^{st(1)}(t_1)\cdot m_h^{st(1)}(\varepsilon, t_1)}{c} \tag{4.13}$$

eşitliği ile elde edilir. Burada $\Delta L_h^{st(1)}(t_1)$, t_1 epoğundaki birinci antendeki troposfer başucu hidrostatik gecikmesini, m_h hidrostatik izdüşüm fonksiyonunu ve ε yükselme açısını temsil etmektedir. Baz vektörüne, yükselme ve azimut açılarına bağımlı olan

düzeltmeler, örneğin termal deformasyon, eksen ofset düzeltmesi ve hidrostatik troposfer gecikmesi, uygulandıktan sonra toplam gecikme ($t_2 - t_1$), geometrik gecikmeden ($t_{g2} - t_{g1}$) elde edilebilir:

$$t_2 - t_1 = t_{g2} - t_{g1} + \tau_{termal\ def12} + \tau_{eksen\ ofsetleri12} + \tau_{trop12} \tag{4.14}$$

Gözlemin başucu mesafesi ve azimutu, TRF'ye dönüştürüldükten sonra kuasar (kaynak) vektörü $\vec{k}$ 'dan hesaplanır. Böylece, izdüşüm fonksiyonu, troposfer gradyanları, troposfer hidrostatik ve ıslak eğik gecikmeleri için değerler aberasyon için düzeltilir. Kaynak vektörü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\vec{k}_i = \vec{K} + \frac{\vec{V}_\oplus + \vec{\omega}_i}{c} - \vec{K}\frac{\vec{K}\cdot(\vec{V}_\oplus + \vec{\omega}_i)}{c} \tag{4.15}$$

VLBI gözlem verilerinin gözlemlenen gecikmeye ek olarak iyonosfer gecikmesini (iyonosferin dağıtıcı etkisini hesaplamak için çift frekanslı ölçülerin doğrusal kombinasyonu kullanılır) içerdiğine dikkat edilmelidir. Böylece, iyonosfer gecikmesinin gözlemlenen gecikmeden daha önce indirgendiği varsayılmaktadır. Karşılık gelen her bir gözlem için indirgenmiş gözlem değeri (*oc*, indirgenmiş ölçüler, observed minus computed) aşağıdaki eşitlik ile elde edilebilir:

$$oc = \tau_{gözlemlenen} - (t_2 - t_1) \tag{4.16}$$

oc vektörü temel olarak senkronizasyon ve frekans tutarsızlıklarını, troposfer başucu ıslak gecikmesini, troposfer gecikmesinin azimutal asimetrik kısımlarını ve ($t_2 - t_1$)'yi hesaplamak için kullanılan öncül değerlerin etkisini içerir ve bunların tümü analizin parametre kestirim aşamasında kestirilirler [59], [68], [73], [127], [129].

4.1.3. Saat Hatası Gecikmesi

Geleneksel olarak VLBI analizinde, senkronize olmamalarından kaynaklanan iki saat arasındaki zaman farkı bir ofset ile tahmin edilir ve karşılık gelen saatlerin frekans kararsızlıkları ağırlıklı en-küçük-kareler (EKK) dengelemesi ile parçalı lineer ofsetlerle (piece-wise lineer offset, PLO) kestirilir. Diğer yandan Herring vd. [130], daha doğru VLBI parametreleri üretmek için bağıl saat hatalarını tahmin etmek amacı ile bir Kalman filtresi kullanılmasını önermiştir. VLBI analizi için kestirilen parametrelerin çoğu tamsayı saatleri, tamsayı saatlerinin katları veya kesirleri epoklarında PLO ile modellenmiştir. Saat hatalarını tanımlamak için bir saatin okumaları sabitlendikten (hatasız kabul edilerek) sonra kalan tüm saatlere EKK ile ikinci dereceden bir polinom

geçirilir. Bu adım ilk EKK dengelemesi olarak adlandırılır. Bu ilk adımda, saatlerin polinom katsayıları ve bir başucu ıslak gecikme ofseti tüm oturum ve her bir istasyon için kestirilir. Basit bir polinomun yanı sıra saat gecikme hatalarını modellemek için:

$$\Delta\tau_{saat}^{POLY}(t) = \beta_0 + \beta_1(t-t_0) + \beta_2(t-t_0)^2 \tag{4.17}$$

eşitliği kullanılır. İkinci EKK dengelemesinde Eşitlik (4.18)'teki PLO fonksiyonu kullanılarak:

$$\Delta\tau_{saat}^{PLOF}(t) = x_1 + \frac{t-t_1}{t_2-t_1}(x_2-x_1) \tag{4.18}$$

yüksek frekanslı gün-içi zamansal çözünürlükte (örneğin 20 dakika aralıklı) saat hataları kestirilir, diğer bir ifade ile saat hatalarına ilişkin sinyaller ölçülerden indirgenir. Eşitlik (4.17 ve 4.18)'deki *t*, gözlem epoğudur. $\Delta\tau_{saat}^{POLY}(t)$, ikinci dereceden polinom tarafından temsil edilen *t* gözlem epoğundaki saat gecikme hatasıdır. t_0, oturum başlamadan önce UTC saatlerinin ilk tamsayılarındaki saat kestirim epoğunu temsil eder. β_j, bir saatin polinom katsayısıdır. x_1 ve x_2, sırasıyla t_1 ve t_2 tamsayı kestirim epoğundaki saatlerin PLO'sudur. *t*'deki toplam saat hatası ise:

$$\Delta\tau_{saat}(t) = \Delta\tau_{saat}^{POLY}(t) + \Delta\tau_{saat}^{PLOF}(t) \tag{4.19}$$

eşitliği ile elde edilir.

4.1.4. Troposfer Gecikmesi

Atmosferin elektriksel nötr bölümü (troposfer) boyunca elektromanyetik mikrodalga sinyallerinin yayılmasının modellenmesi, uzay jeodezisi tekniklerinin çoğu için ortak bir ilgi alanıdır. Radyo dalgalarının yayılımı esnasında vakum ortama kıyasla oluşan gecikme ve bükülme mikrodalga sinyallerin varış gecikmelerine, ΔL_{trop} neden olur. Rastgele bir doğrultudaki troposfer sinyal gecikmesi, istasyon ile troposferin en yüksek kısmı arasındaki eğik yol (*S*) boyunca bükülme etkisi ve kırılma indisinin (*n*) çizgisel integrali:

$$\Delta L_{trop} = \int_s n\,ds - \int_g dg = \int (n-1)\,ds + S - G \tag{4.20}$$

şeklinde tanımlanır. Burada; *G* vakumdaki bir sinyalin yolu olarak tanımlanabilen geometrik yoldur ancak nötr atmosferde elektromanyetik sinyaller *S* eğik yol boyunca

yayılır (Şekil 4.2). Bükülme etkisi $(S-G)$, troposfer modellemesine dahil edilmelidir. Böylece troposfer sinyal gecikmesi:

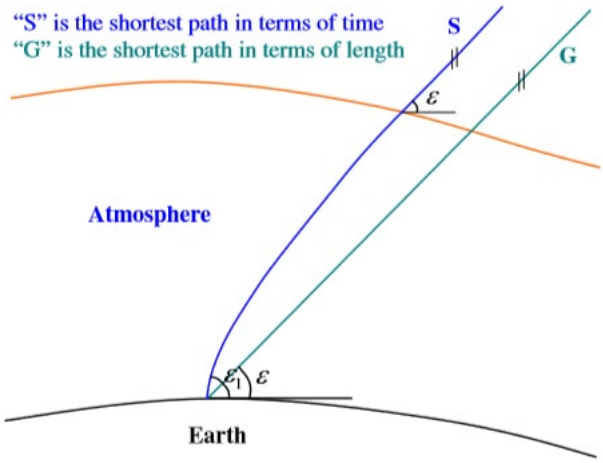
$$\Delta L_{trop} = \int_s (n-1)ds = 10^{-6}\int_s Nds = 10^{-6}[\int_s N_h ds + \int_s N_\omega ds] \tag{4.21}$$

şeklinde elde edilir. Burada N kırıcılık değeridir. N'yi kullanmak yerine ΔL_{trop}, kuru havadaki kısmi basınç (p_d), su buharı basıncı (e) ve sıcaklık (T) ile türetilebilir:

$$\Delta L_{trop} = 10^{-6}[\int_s (k_1 \frac{p_d}{T} Z_d^{-1} + k_2 \frac{e}{T} Z_\omega^{-1} + k_3 \frac{e}{T^2} Z_\omega^{-1})ds] \tag{4.22}$$

ya da:

$$\Delta L_{trop} = 10^{-6}[\int_s k_1 \frac{R}{m_d}\rho ds + \int_s (k_2^{'} \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2})Z_\omega^{-1} ds] \tag{4.23}$$



Şekil 4.2. Nötr atmosferdeki ışının kırılması [59].

Burada $R = 8.314510 \pm 0.00007$ (birimi $\frac{Pa \cdot m^3}{K \cdot mol}$), evrensel gaz sabitidir. $k_1 = 77.6 \pm 0.05$ (birimi $\frac{K}{hPa}$), $k_2 = 70.4 \pm 2.2$ (birimi $\frac{K}{hPa}$), $k_3 = 373900 \pm 1200$ (birimi $\frac{K^2}{hPa}$) ve $k_2^{'} = k_2 - k_1 \frac{m_\omega}{m_d}$ empirik katsayılardır. Z_d^{-1} ve Z_ω^{-1}, sırasıyla kuru hava ve su buharı için ters yoğunluk katsayılarıdır. $\rho = \rho_d + \rho_\omega$ ise toplam yoğunluktur.

Eşitlik (4.21) hidrostatik, ıslak ve gradyan gecikmelerine şu şekilde ayrıştırılabilir [131]:

$$\Delta L_{trop} = ZHD \cdot m_h(\varepsilon) + ZWD \cdot m_\omega(\varepsilon) + m_h(\varepsilon)\cot(\varepsilon)[G_N \cos(\alpha) + G_E \sin(\alpha)] \quad (4.24)$$

Burada ε lokal ufuk çizgisinden olan yükselim açısı, α jeodezik kuzeyden olan azimut açısı, *ZHD* istasyon koordinatlarından ve toplam basınçtan hesaplanan başucu hidrostatik gecikmesi, *ZWD* başucu ıslak gecikmesidir. m_h ve m_ω ise sırasıyla hidrostatik ve ıslak troposfer sinyal izdüşüm fonksiyonlarıdır. G_E ve G_N sırasıyla troposfer doğu ve kuzey gradyanlarıdır.

Hidrostatik gecikmeler, Eşitlik (4.16)'da verilen ölçüler vektöründen parametre kestiriminden önce indirgenir. Her gözlemden hidrostatik gecikmeyi indirgemek için *ZHD,* Saastamoinen [46] fonksiyonuna göre hesaplanır [131].

$$ZHD = 0.0022768 \frac{p}{1 - 0.00266\cos(2\varphi) - 0.28 \cdot 10^{-6} h} \quad (4.25)$$

Burada p toplam yüzey basıncını (hPa biriminde), φ ve h sırasıyla istasyonun enlemini ve elipsoidal yüksekliğini temsil etmektedir.

Troposfer izdüşüm fonksiyonları, troposferin azimutsal simetrik olduğunu varsayar. Troposfer izdüşüm fonksiyonları kesirli bir formulasyonu kullanılır [132]:

$$m_{h,\omega}(\varepsilon) = \cfrac{1 + \cfrac{a_{h,\omega}}{1 + \cfrac{b_{h,\omega}}{1 + c_{h,\omega}}}}{\sin\varepsilon + \cfrac{a_{h,\omega}}{\sin\varepsilon + \cfrac{b_{h,\omega}}{\sin\varepsilon + c_{h,\omega}}}} \quad (4.26)$$

Burada $a_{h,\omega}, b_{h,\omega}$ ve $c_{h,\omega}$ izdüşüm fonksiyonunun hidrostatik ve kuru katsayılarıdır. Bu katsayıların belirlenme farklılıklarına göre troposfer izdüşüm fonksiyonları birbirlerinden ayrılırlar (örneğin; GMF, VMF1, NMF, IMF).

Troposfer gecikmeleri uzay jeodezisi ölçülerinde indirgenemeyen en büyük hata kaynağıdır. Troposfer gecikme modellerindeki belirsizlikler başucu gecikmeleri ve istasyon yükseklikleri arasındaki yüksek korelasyon nedeniyle özellikle istasyon konumunun yükseklik bileşenine ve tüm jeodezik kestirimlere etki etmektedir. Baz uzunlukları ve istasyon yükseklikleri gibi kesme açılarının ve farklı izdüşüm fonksiyonlarının jeodezik parametreler üzerindeki etkisi farklı çalışmalarda

araştırılmıştır. Troposfer gradyanları, azimuthal asimetrik gecikmelerin modellenmesinde kullanılan parametreler olarak VLBI ve GNSS gözlemlerinin analizinde genellikle kestirilirler. MacMillan [133]'a göre, gradyanlar kestirilirse, VLBI baz uzunluğu tekrarlanabilirlikleri 8 mm'ye kadar iyileştirilebilir, bu nedenle gradyanlar TRF ve CRF gerçekleştirilmeleri için önemlidir [59].

4.1.5. VLBI Gecikme Modelinin Yer Yönelim Parametreleri, Anten ve Kuasar Koordinatlarına Göre Kısmî Türevleri

Kısmî türevlerin kestirilen parametrelere göre hesaplanmasında hesaplama kolaylığı sağlaması ve ihmal edilen terimlerin kestirim doğruluğuna anlamlı bir katkı sağlamaması nedeni ile ölçü denkleminin tümü yerine temel bir gecikme modeli kullanılır. Bu basit modelde, sinyalin birinci istasyondan ikinci istasyona varışında geçen zamanda ikinci antenin BCRS'deki hareketinden ötürü oluşan baz gecikmesi dikkate alınmaz. Ayrıca, gök cisimlerinin kütlelerinden kaynaklı sinyalde oluşan gravitasyonel gecikme ve istasyon konumlarınıın GCRS ve BCRS arasındaki Lorentz dönüşümü dikkate alınmaz. Bu basit gecikme modeli:

$$\tau = \vec{K} \cdot Q \cdot R \cdot W \cdot \vec{b} \tag{4.27}$$

şeklindedir. Bu eşitlikte $\vec{K}$ BCRS'de, $\vec{b}$ TRF'de tanımlıdır. TRF'deki Greenwich meridyeni boyunca CIP koordinatına (x_p) göre basitleştirilmiş VLBI gecikme modelinin kısmi türevi:

$$\frac{\partial \tau}{\partial x_p} = \vec{K} \cdot Q \cdot R \cdot \frac{\partial W}{\partial x_p} \cdot \vec{b} \tag{4.28}$$

eşitliği ile elde edilir. Burada;

$$\frac{\partial W}{\partial x_p} = R_3(s') \cdot \begin{bmatrix} -\sin x_p & 0 & -\cos x_p \\ 0 & 0 & 0 \\ \cos x_p & 0 & -\sin x_p \end{bmatrix} \cdot R_1(y_p) \tag{4.29}$$

270^o doğu boylamı boyunca TRF'deki CIP koordinatına (y_p) göre Eşitlik (4.27)'deki gecikme modelinin kısmi türevi:

$$\frac{\partial \tau}{\partial y_p} = \vec{K} \cdot Q \cdot R \cdot \frac{\partial W}{\partial y_p} \cdot \vec{b} \tag{4.30}$$

eşitliği ile elde edilir. Burada;

$$\frac{\partial W}{\partial y_p} = R_3(s') \cdot R_2(x_p) \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin y_p & \cos y_p \\ 0 & -\cos y_p & -\sin y_p \end{bmatrix} \tag{4.31}$$

*UT*1'e göre gecikme modelinin kısmi türevi:

$$\frac{\partial \tau}{\partial (UT1)} = \vec{K} \cdot Q \cdot \frac{\partial R}{\partial (-ERA)} \cdot \frac{\partial (-ERA)}{\partial (UT1)} W \cdot \vec{b} \tag{4.32}$$

eşitliği ile elde edilir. Burada;

$$\frac{\partial R}{\partial (-ERA)} = \begin{bmatrix} -\sin(-ERA) & \cos(-ERA) & 0 \\ -\cos(-ERA) & -\sin(-ERA) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{4.33}$$

ve

$$\frac{\partial (-ERA)}{\partial (UT1)} = -ak = -1.00273781191135448 \tag{4.34}$$

CRS'deki göksel kutbun hareketinden kaynaklanan dönüşüm matrisi Eşitlik (2.29)'da verilen dört dönüşüm matrisinden oluşmaktadır. *E*, *d* ve *s*'nin hesaplamaları Eşitlik (2.30 ve 2.31)'de verilmiştir. CIP'ın CRF'deki *X* koordinatına göre gecikme modelinin kısmi türevi:

$$\frac{\partial \tau}{\partial X} = \vec{K} \cdot \frac{\partial Q}{\partial X} \cdot R \cdot W \cdot \vec{b} \tag{4.35}$$

şeklindedir. Burada;

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial X} = & \frac{\partial R_3(-E)}{\partial (-E)} \cdot \frac{\partial (-E)}{\partial X} \cdot R_2(-d) \cdot R_3(E) \cdot R_3(s) \\ & + R_3(-E) \cdot \frac{\partial R_2(-d)}{\partial (-d)} \cdot \frac{\partial (-d)}{\partial X} \cdot R_3(E) \cdot R_3(s) \\ & + R_3(-E) \cdot R_2(-d) \cdot \frac{\partial R_3(E)}{\partial (E)} \cdot \frac{\partial (E)}{\partial X} \cdot R_3(s) \\ & + R_3(-E) \cdot R_2(-d) \cdot R_3(E) \cdot \frac{\partial R_3(s)}{\partial (s)} \cdot \frac{\partial (s)}{\partial X} \end{aligned} \tag{4.36}$$

Eşitlik (4.36 ve 4.41)'de R_1, R_2, R_3 birinci, ikinci ve üçüncü eksenlerdeki dönüklük matrisleri ve $\partial R_{1,2,3} / \partial$ ise dönüklük açılarına göre dönüklük matrislerinin kısmi türevidir. Eşitlik (4.36)'daki diğer değerler ise:

$$\frac{\partial (-E)}{\partial X} = \frac{Y}{X^2 + Y^2} \tag{4.37}$$

$$\frac{\partial(-d)}{\partial X}=\frac{X}{\sqrt{1-(X^2+Y^2)}\sqrt{X^2+Y^2}} \tag{4.38}$$

$$\frac{\partial s}{\partial X}=\frac{-Y}{2} \tag{4.39}$$

şeklindedir. CIP'ın CRF'deki Y koordinatina göre gecikme modelinin kısmi türevi:

$$\frac{\partial \tau}{\partial Y}=\vec{K}\cdot\frac{\partial Q}{\partial Y}\cdot R\cdot W\cdot\vec{b} \tag{4.40}$$

şeklindedir. Burada;

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial Y}=&\frac{\partial R_3(-E)}{\partial(-E)}\cdot\frac{\partial(-E)}{\partial Y}\cdot R_2(-d)\cdot R_3(E)\cdot R_3(s)\\&+R_3(-E)\cdot\frac{\partial R_2(-d)}{\partial(-d)}\cdot\frac{\partial(-d)}{\partial Y}\cdot R_3(E)\cdot R_3(s)\\&+R_3(-E)\cdot R_2(-d)\cdot\frac{\partial R_3(E)}{\partial(E)}\cdot\frac{\partial(E)}{\partial Y}\cdot R_3(s)\\&+R_3(-E)\cdot R_2(-d)\cdot R_3(E)\cdot\frac{\partial R_3(s)}{\partial(s)}\cdot\frac{\partial(s)}{\partial Y}\end{aligned} \tag{4.41}$$

şeklindedir. Eşitlik (4.41)'daki diğer değerler ise:

$$\frac{\partial(-E)}{\partial Y}=\frac{-X}{X^2+Y^2} \tag{4.42}$$

$$\frac{\partial(-d)}{\partial Y}=\frac{Y}{\sqrt{1-(X^2+Y^2)}\sqrt{X^2+Y^2}} \tag{4.43}$$

$$\frac{\partial s}{\partial Y}=\frac{-X}{2} \tag{4.44}$$

şeklinde yazılabilir. Kuasarın sağ açıklığına (α) göre gecikme modelinin kısmı türevi:

$$\frac{\partial \tau}{\partial \alpha}=\frac{\partial\vec{K}}{\partial\alpha}\cdot Q\cdot R\cdot W\cdot\vec{b} \tag{4.45}$$

şeklindedir. Burada;

$$\frac{\partial\vec{K}}{\partial\alpha}=\begin{bmatrix}-\cos\delta\sin\alpha & \cos\delta\cos\alpha & 0\end{bmatrix} \tag{4.46}$$

şeklinde yazılabilir. Kuasarın deklinasyonuna (δ) göre gecikme modelinin kısmı türevi:

$$\frac{\partial \tau}{\partial \delta}=\frac{\partial\vec{K}}{\partial\delta}\cdot Q\cdot R\cdot W\cdot\vec{b} \tag{4.47}$$

şeklindedir. Burada;

$$\frac{\partial \vec{K}}{\partial \delta} = \begin{bmatrix} -\sin\delta\cos\alpha & -\sin\delta\sin\alpha & \cos\delta \end{bmatrix} \tag{4.48}$$

şeklinde yazılabilir. Antenlerin TRF koordinatlarına göre (örneğin X bileşeni için) gecikme modelinin kısmı türevi:

$$\frac{\partial \tau}{\partial X_{ant1}} = \vec{K} \cdot Q \cdot R \cdot W \cdot \frac{\partial \vec{b}}{\partial X_{ant1}} \tag{4.49}$$

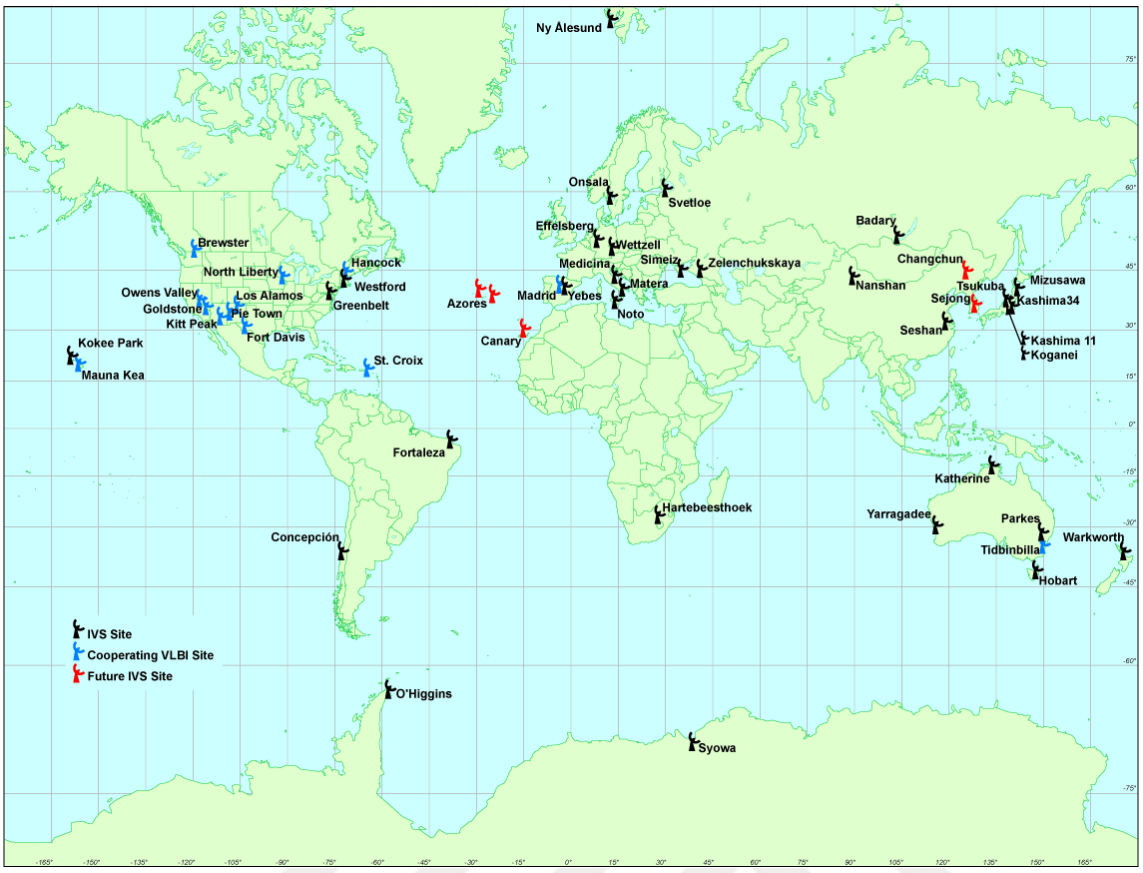
şeklindedir. Burada;

$$\frac{\partial \vec{b}}{\partial X_{ant1}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4.50}$$

şeklindedir.

4.2. Uluslararası VLBI Jeodezi ve Astrometri Servisi (IVS)

VLBI yaklaşık 50 yıldır jeodezinin bir parçasıdır ve 1999'dan beri Uluslararası VLBI Jeodezi ve Astrometri Servisi (IVS) tarafından koordine edilmektedir. IVS, CIP'ın ITRS'deki konumunu, Yer'in dönme ekseninin uzaya göre mutlak dönüklüğünü, CIP'ın GCRS'deki konumunu, BCRS'deki kuasar koordinatlarını, TRF'deki anten kartezyen koordinatlarını ve hızlarını, troposfer başucu ıslak gecikmelerini (ZWD), troposfer gradyanlarını Yer ve uzay bilimlerinin kullanımına sunmaktadır. IVS düzenli olarak IERS'e operasyonel IVS Analiz Merkezlerinin bireysel çözümlerinin bir kombinasyonu olarak elde edilen günlük çözünürlükte bir Yer yönelim parametre (EOP) seti sunar. IVS Analiz Merkezleri ayrıca, oturum bazında CRF (IVS-CRF oturumları) ve TRF (IVS-T2 oturumları) gerçekleştirilmesi için datumdan bağımsız normal denklemleri intra-teknik kombinasyon merkezlerine sunar. Tüm IVS verileri ve ürünleri veri merkezlerinde arşivlenir. IVS tüm ölçü, ürün ve yazılım arşivlerini ücretsiz ve kısıtlamasız şekilde jeodezi, jeofizik, uzay bilimleri ve astrometri ile ilgili alanlarda araştırma çalışmalarına açmıştır. IVS istasyon ağı Şekil 4.3'te gösterilmiştir [59], [134]–[136].



Şekil 4.3. IVS istasyon ağı [137].

IVS'nin belirlediği amaçlar ise şunlardır:

- Jeodezik, jeofizik ve astrometri araştırma ve operasyonel faaliyetleri desteklemek için hizmet sunmak,
- Jeodezi ve astrometri VLBI tekniğinin her alanında araştırma ve geliştirme faaliyetlerini teşvik etmek,
- VLBI ürünleri kullanıcıları topluluğu ile etkileşimde bulunmak ve VLBI'ı küresel Dünya gözlem sistemine (GGOS) entegre etmek.

5. PARAMETRE KESTİRİMİ

5.1. En-Küçük-Kareler (EKK) Dengelemesi (Gauss Markov Modeli)

Fiziksel bir olgu veya bir dizi olay, matematiksel modeller ile açıklanabilir. Matematiksel modelin genellikle iki bölümden oluştuğu düşünülmektedir: Fonksiyonel model ve stokastik model. Fonksiyonel model genel olarak, ele alınan fiziksel durum veya olayın belirleyici (nedensellik) özelliklerini tanımlayacaktır. Öte yandan, stokastik model ilgili değişkenlerin belirsiz (olasılıksal) özelliklerini açıklar. Hem fonksiyonel hem de stokastik modeller birlikte düşünülmelidir. Gözlemler (ölçüler, L_i) ve bilinmeyenler (x) arasındaki fonksiyonel model:

$$\phi_i(x) = L_i + v_i \tag{5.1}$$

şeklinde oluşturulabilir. Burada, v gözlemlerin düzeltmeleridir. Stokastik model gözlemlerin varyans-kovaryans matrisi (K_{ll}) tarafından temsil edilmektedir. K_{ll}'nin elemanları:

$$K_{ll} = \begin{bmatrix} s_1^2 & r_{12}s_1s_2 & \cdots & r_{1n}s_1s_n \\ r_{21}s_1s_2 & s_2^2 & \cdots & r_{2n}s_2s_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1}s_1s_n & r_{n2}s_2s_n & \cdots & s_n^2 \end{bmatrix} \tag{5.2}$$

gözlemlerin hassasiyetleri, s_i ve gözlemler arasındaki korelasyonlardan, r_{ik} oluşmaktadır. Gözlemlerin ağırlık matrisi ise:

$$P = s_0^2 K_{ll}^{-} \tag{5.3}$$

şeklinde elde edilir. Burada, s_0 birim ağırlığın öncül standart sapmasıdır. s_0 bir popülasyonun (örneğin; gözlem seti) beklenen değerinin üzerindeki değişkenliğin veya dağılımın bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. Dengeleme, sadece mevcut verinin benzersiz bir belirleme için gereken minimum değeri aştığı durumlarda (belirlenen sistem üzerinden) anlamlıdır. Veriler genellikle olasılıksal varyasyonlara (hata olarak bilinir) tabi olan gözlemlerden elde edildiğinden fazlalık veriler genellikle her bir alt kümenin başka bir alt kümeden farklı sonuçlar vermesi bakımından tutarsızdır. Tek bir çözüm elde etmek ve parametreleri (x) sabitlemek için gözlemlere (L) ek bir koşul (örneğin; en-küçük-kareler) uygulanır. En-küçük-karelerdeki (EKK) ek koşul:

$$\left[v^T P v \right] = minimum \tag{5.4}$$

şeklinde gözlemsel düzeltmelerin karelerinin toplamının minimum olmasıdır [138], [139]. Eşitlik (5.1)'de verilen fonksiyon, $\phi(x)$ doğrusal değildir. Ancak Gauss Markov modeli için doğrusal bir ilişki gereklidir. Bundan dolayı, fonksiyon Taylor serisi açılımının sıfır ve birinci dereceden terimleri kullanılarak parametrelerin öncül değerleri etrafında doğrusallaştırılır:

$$L_i + v_i = \phi_i(x_0) + \sum_j \frac{\partial \phi_i}{\partial x_j}\delta x_j + \frac{1}{2!}\sum_j \sum_k \frac{\partial \phi_i}{\partial x_j \partial x_k}\delta x_j \delta x_k + \ldots \tag{5.5}$$

Burada $\delta x_j = x_j - x_{0j}$, j'inci indirgenmiş bilinmeyen parametre olarak adlandırılır. Eşitlik (5.5)'in sağdan ikinci terimden sonraki terimleri doğrusal değildir. Bu nedenle, dengeleme için sadece ilk iki terim (sıfır ve birinci derece) orijinal gerçek değere (x_j) yaklaşan doğrusal bir ifade oluşturmak için kullanılır. n tane gözlem ve u tane bilinmeyen parametre için fonksiyonel model aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned}
v_1 &= (\frac{\partial \phi_1}{\partial x_1})\delta x_1 + (\frac{\partial \phi_1}{\partial x_2})\delta x_2 + \cdots + (\frac{\partial \phi_1}{\partial x_u})\delta x_u - l_1 \\
v_2 &= (\frac{\partial \phi_2}{\partial x_1})\delta x_1 + (\frac{\partial \phi_2}{\partial x_2})\delta x_2 + \cdots + (\frac{\partial \phi_2}{\partial x_u})\delta x_u - l_2 \\
&\vdots \\
v_n &= (\frac{\partial \phi_n}{\partial x_1})\delta x_1 + (\frac{\partial \phi_n}{\partial x_2})\delta x_2 + \cdots + (\frac{\partial \phi_n}{\partial x_u})\delta x_u - l_n
\end{aligned} \tag{5.6}$$

Burada l_i indirgenmiş gözlemdir (gözlemlenen – kestirimin öncül değeri ile hesaplanan):

$$l_i = L_i - \phi_i(x_0) \tag{5.7}$$

Eşitlik (5.6)'yı matris formunda yazmak gerekirse:

$$v = A\delta x - l \tag{5.8}$$

şeklinde yazılabilir. Burada v gözlemlerin düzeltme vektörü, A katsayılar matrisi ve l ise indirgenmiş gözlem vektörüdür. Eşitlik (5.8)'de verilen doğrusallaştırılmış gözlem denklemleri Eşitlik (5.4)'te verilen ek kritere uygulanarak çözülebilir [59], [139]–[142]:

$$\begin{aligned}
v^T Pv &= (A\delta x - l)^T P(A\delta x - l) = (\delta x^T A^T - l^T)P(A\delta x - l) \\
&= \delta x^T A^T PA\delta x - \delta x^T A^T Pl - l^T PA\delta x + l^T Pl
\end{aligned} \tag{5.9}$$

Burada $\delta x^T A^T Pl$ ve $l^T PA\delta x$ skaler büyüklüklerdir, bundan dolayı $\delta x^T A^T Pl = l^T PA\delta x$ olarak elde edilir. Eşitlik (5.9) bu koşula göre yazıldığında aşağıdaki eşitlik gibi olmaktadır:

$$v^T Pv = \delta x^T A^T PA\delta x - 2l^T PA\delta x + l^T Pl \tag{5.10}$$

δx vektörüne göre Eşitlik (5.10)'un kısmı türevi alınırsa;

$$\partial(v^T Pv) = \delta x^T A^T PA\partial x + \partial x^T A^T PA\delta x - 2l^T PA\partial x \tag{5.11}$$

eşitliği elde edilir. Burada $\delta x^T A^T PA\partial x$ ve $\partial x^T A^T PA\delta x$ simetrik matrislerdir ve $\delta x^T A^T PA\partial x = \partial x^T A^T PA\delta x$. Eşitlik (5.10)'un türevi, Eşitlik (5.11) sıfıra eşitlendiğinde:

$$\begin{aligned} \partial(v^T Pv) &= 2\delta x^T A^T PA\partial x - 2l^T PA\partial x = 0^T \partial x \\ \partial(v^T Pv) &= 2(\delta x^T A^T PA - l^T PA)\partial x = 0^T \partial x \end{aligned} \tag{5.12}$$

denklem sistemini minimum yapan parametre setini elde etmek mümkün olur. Eşitlik (5.12)'nin her iki tarafını 2'ye böldükten sonra, parantez içerisindeki matrislerin transpozesi (devriği) alınır. Sonuç olarak elde edilen denklem sistemi Eşitlik (5.13)'te verilen normal denklemlerdir [59]:

$$A^T PA\delta x - A^T Pl = 0 \tag{5.13}$$

x bilinmeyen parametre vektörü ise Eşitlik (5.14)'teki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \delta x \\ x &= x_0 + (A^T PA)^{-} A^T Pl = x_0 + N^{-} b \end{aligned} \tag{5.14}$$

Burada *N* normal denklemlerin katsayıları matrisini, *b* normal denklemlerin sabit terimleri vektörünü temsil etmektedir. *N* ve *b* ise:

$$\begin{aligned} N &= A^T PA \\ b &= A^T Pl \end{aligned} \tag{5.15}$$

şeklinde elde edilir. Birim ağırlıklı ölçünün standart sapması:

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T Pv}{n-u}} \tag{5.16}$$

eşitliği ile hesaplanır. Kestirilen parametrelerin varyans-kovaryans matrisi ise:

$$K = m_0 N^{-} \tag{5.17}$$

eşitliği ile elde edilir.

5.2. Kalman Filtresi

Bir günü ve hatta bir haftayı kapsayacak şekilde uzun zaman dilimlerini içeren, global polihedronu saran bir ağa ait uzay jeodezisi teknikleri ölçüleri ve ölçü denklemleri EKK kestirimine konu olduğunda kestirime konu parametrelerin bir kısmı saatlik ve hatta daha kısa zaman dilimlerinde kestirilmelidir. Özellikle saat hataları ve troposfer sinyal gecikmeleri gibi stokastik bir takım parametrelerin gün içi zamansal çözünürlükte

kestirimi için parçalı lineer ofset (PLO) fonksiyonları [59] kullanılmaktadır. Ancak, PLO fonksiyonları, tahmini tüm parametrelerin toplam doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilecek olan kısa süreli rasgele varyasyonları yakalayamamaktadır. Kalman filtresi ve benzer yöntemler, her gözlem epoğu için tüm parametre setini kestirebilir, bu nedenle Kalman filtresinde herhangi bir parametreyi PLO fonksiyonları ile kestirmeye gerek yoktur. VLBI veri analizinde Kalman filtresi uygulamanın avantajları Herring vd. [130]'nde gösterilmektedir. Ayrıca yine VLBI ölçülerinin analizinde Nilsson vd. [143] Kalman filtresi kullanmıştır. Bu bölümde Kalman filtresinin temel teorisi anlatılmaktadır. Daha ayrıntılı bilgi için örneğin; Brown ve Hwang [144]'a bakılabilir.

Bir Kalman filtresinde, tahmin ve kestirim ardışık olarak her ölçü epoğunda yapılır. Bilinmeyen parametrelerin (x) stokastik süreçlerle tanımlanabileceği varsayılmaktadır. Böylece t_i epoğundaki bilinmeyen parametre değerleri t_{i-1} epoğundaki değerler ile:

$$x(t_i) = F(t_i)x(t_{i-1}) + w_i \tag{5.18}$$

şeklinde ilişkilidir. Burada $F(t_i)$ durum geçiş (transition) matrisi ve w_i stokastik sürecin gürültüsüdür (process noise). t_i epoğunda $x(t_i)$ ile ilişkili gerçekleştirilen $z(t_i)$ gözlemleri vardır.

$$z(t_i) = H(t_i)x(t_i) + v_i \tag{5.19}$$

Burada $H(t_i)$ gözlem modelinin tasarım (jacobian) matrisi ve v_i gözlemlerin düzeltmeleridir. t_{i-1} epoğundaki kestirilmiş (gözlem güncellemesi gerçekleştirilmiş) parametreler $x(t_{i-1})$ ve bunların varyans-kovaryans matrisleri $P(t_{i-1})$ kullanılarak:

$$\begin{aligned} x_p(t_i) &= F(t_i)x(t_{i-1}) \\ P_p(t_i) &= F(t_i)P(t_{i-1})F(t_i)^T + Q(t_i) \end{aligned} \tag{5.20}$$

eşitlikleri ile t_i epoğundaki tahmin değerleri $x_p(t_i)$ ve $P_p(t_i)$ elde edilir. Burada, $Q(t_i) = \left\langle w_i w_i^T \right\rangle$ stokastik süreç gürültüsünün (w_i) varyans-kovaryans matrisidir. Eşitlik (5.20) Kalman filtresinin tahmin (prediction) kısmıdır. Sonrasında, t_i epoğundaki en uygun parametre kestirimlerini bulmak için kestirimler gözlemler $z(t_i)$ ile birleştirilebilir. Böylece, kestirim aşaması diğer bir ifade ile ölçüler ile gözlem güncellemesi (measurement update, estimation):

$$x(t_i) = x_p(t_i) + K(t_i)\left[z(t_i) - H(t_i)x_p(t_i) \right]$$
$$P(t_i) = P_p(t_i) - K(t_i)H(t_i)P_p(t_i) \tag{5.21}$$

eşitlikleri ile gerçekleştirilir. Burada t_i epoğundaki kestirilmiş parametre vektörü $x(t_i)$ ve kestirilen parametrelerin varyans-kovaryans matrisi $P(t_i)$ elde edilmiş olur. Kalman kazanç matrisi, $K(t_i)$:

$$K(t_i) = P_p(t_i)H(t_i)^T \left[R(t_i) + H_i P_p(t_i) H(t_i)^T \right]^{-1} \tag{5.22}$$

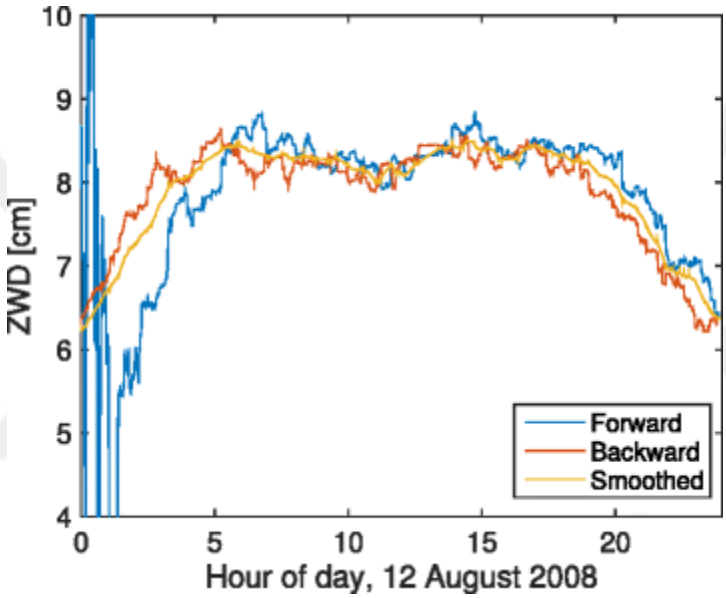
eşitliği ile elde edilir. Eşitlik (5.22)'de verilen $R(t_i) = \left\langle v_i v_i^T \right\rangle$, gözlemlerin varyans-kovaryans matrisini temsil etmektedir.

Kalman filtresi, ilk epoktaki bilinmeyen parametreler, $x_p(t_0)$ ve buna karşılık gelen varyans-kovaryans matrisi, $P_p(t_0)$ için bir ilk tahminle başlatılır. Ardından, filtre son epok işlenene kadar zaman içinde ileri gider. Zaman içinde sabit olarak modellenen parametreler, örneğin istasyon ve radyo kaynağı koordinatları, her epokta iyileştirilir ve böylece son epoklardaki kestirimler bu parametrelerin nihai tahminleridir. Saatler ve troposferik parametreler gibi zamansal değişimlere sahip stokastik parametreler için durum farklıdır. Filtre zaman içinde sıralı olarak ileriye doğru yürütüldüğünden, bu parametrelerin belirli bir epoktaki kestirimleri sadece bu epokta ve öncesinde elde edilen gözlemlere bağlı olacaktır. Böylece özellikle başlangıçta Kalman filtresi yakınsamadan önce, sonuçlar yüksek bir belirsizliğe sahip olacak ve bu nedenle güvenilir olmayacaktır. Örnek olarak Şekil 5.1'de 12 Ağustos 2008'de VLBI oturumu için zamanla ileri doğru çalışan bir Kalman filtresi ile Ny-Ålesund istasyonu için kestirilen troposfer başucu ıslak sinyal gecikmelerini (ZWD, zenith wet delay) göstermektedir [143]. ZWD'nin stabilize edilmeden önceki ilk birkaç saat içinde oldukça değişken olduğu görülmektedir. Bu sorunu çözmek ve başlangıçta da güvenilir sonuçlar elde etmek için, filtre son epoktan başlayarak ve ilk epokta bitirerek zamanda geriye doğru çalıştırılır. Bu geriye doğru olan Kalman filtre döngüsü, son epokta ileri Kalman filtre döngüsünün tahminleri ile başlatılır, bu nedenle ileri Kalman filtre döngüsü gibi yakınsama için herhangi bir zamana ihtiyaç duyulmaz ve tüm epoklar için daha güvenilir kestirimler elde edilir (Şekil 5.1). Bununla birlikte, geriye doğru Kalman filtre döngüsünün sonuçları yine de optimal olmayacaktır. Çünkü, bir epoktaki tahminler çoğunlukla bu epoktaki ve sonraki epoklardaki tahminlere bağlı olacaktır ve

daha önceki epoklardaki gözlemlere çok fazla bağlı olmayacaktır. Böylece, ileri (forward) döngü (x_f) sonuçlarını geri (backward) döngü (x_b) tarafından elde edilenlerle en uygun şekilde birleştirerek yumuşatılmış (smoothed) (x_s) çözüm:

$$P_s(t_i) = \left[P_f(t_i)^{-1} + P_b(t_i)^{-1} \right]^{-1}$$
$$x_s(t_i) = P_s(t_i) \left[P_f(t_i)^{-1} x_f(t_i) + P_b(t_i)^{-1} x_b(t_i) \right] \quad (5.23)$$

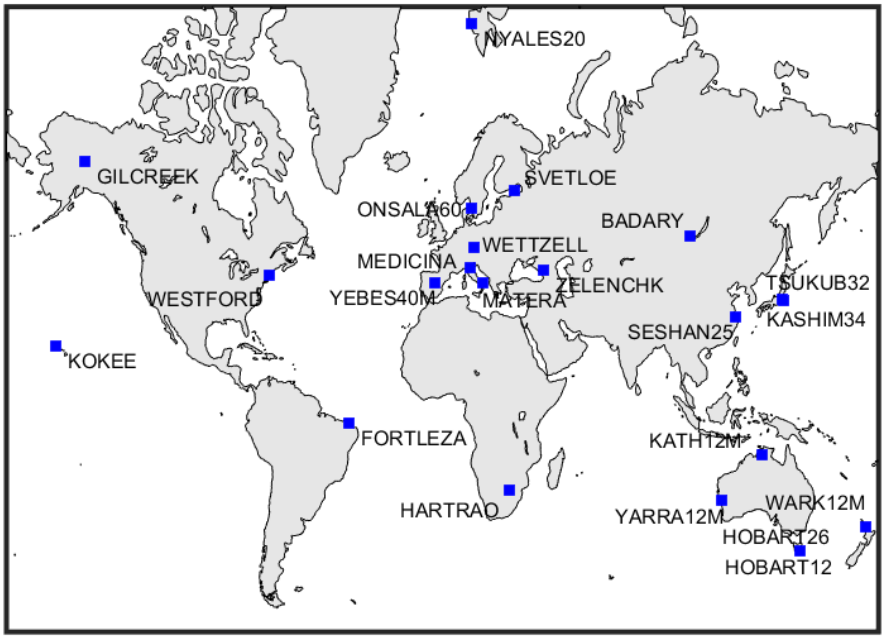
şeklinde hesaplanır. Burada $P_s(t_i)$, $P_f(t_i)$ ve $P_b(t_i)$ sırasıyla $x_s(t_i), x_f(t_i)$ ve $x_b(t_i)$'nin varyans-kovaryans matrisleridir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi ileri ve geri Kalman filtre çözümlerine kıyasla daha düzgün zaman serileri elde edilir.



Şekil 5.1. 12 Ağustos 2008 tarihinde Kalman filtresi ile Ny-Ålesund istasyonu için kestirilen ZWD [143].

6. UYGULAMA

Bu tez çalışması kapsamında, global ölçekte dağılıma sahip, belli kriterleri sağlayan 22 adet jeodezik VLBI istasyonunda oluşan okyanus yüklemesi kaynaklı yer değiştirmeler günlük VLBI oturumlarının analizi ile elde edilmiştir. Sonrasında, VLBI ölçülerinden kestirilen bu yer değiştirmeler ilgili global okyanus modellerinden hesaplanan tahmin değerleri ile tanımlayıcı istatistik ölçütler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tez çalışması kapsamında; ilk adımda, seçilen 22 adet VLBI istasyonunun TRF koordinatlarının 2 saat aralıklı parçalı lineer ofsetleri (PLO) ve standart kestirim hataları (formal uncertainities) UT tam saatlerinde (0 UT, 2 UT, ..., 20 UT, 22 UT) VieVS (Vienna VLBI and Satellite Software [145]) yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. 2000 ve 2018 yılları arasındaki günlük IVS oturumları uygulamaya esas ölçü seti olarak ele alınmıştır. Her istasyon için 2 saat aralıklı lokal toposentrik koordinat (radyal, batı, güney) zaman serileri ölçü olarak ele alınarak EKK ve Kalman Filtresi kestirim yöntemleri ile okyanus gelgit yüklemesi yarı-günlük (M_2, S_2, N_2, K_2) ve günlük (K_1, O_1, P_1, Q_1) ana gelgitlerin genlikleri ve Greenwich faz gecikmesi bileşenleri kestirilmiştir. Son olarak, okyanus gelgit yüklemesi VLBI kestirim değerleri ile FES2014b [112], TPXO9-Atlas [8] ve GOT4.10c [113] global okyanus gelgit modelleri değerleri fazör vektörlerinin farkları ölçütü esas alınarak karşılaştırılmıştır. Uygulamaya esas VLBI istasyonların dağılımı Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Analizlere dahil edilen istasyonların küresel dağılımları.

Tablo 6.1. Uygulamada esas alınan VLBI istasyonları, işletildiği ülkeler, yaklaşık coğrafi koordinatları, uygulamaya esas gözlem aralıkları ve iki saat aralıklı koordinat kestirimlerinin standart hatalarının ortancaları (medyanları).

İstasyon	Ülkesi	IVS Adlandırmaları	Enlem (◦)	Boylam (◦)	İlk – Son Gözlem (yılın günü)				Standart hataların ortancaları (cm)			Noktanın Bölgesi (En yakın deniz kıyısına olan mesafesi km biriminde)
									R	E	N	
Ny-Ålesund	Norway	NYALES20	78.93	11.87	2000	11	2018	256	1.3	0.5	0.6	Deniz kenarı (2)
Gilmore Creek	Canada	GILCREEK	64.98	-147.49	2000	04	2005	362	1.0	0.6	0.7	Kara (535)
Svetloe	Russia	SVETLOE	60.53	29.78	2003	65	2018	215	1.2	0.6	0.9	Deniz kenarı (42)
Onsala	Sweden	ONSALA60	57.39	11.93	2000	27	2018	234	0.9	0.4	0.8	Deniz kenarı (1)
Badary	Russia	BADARY	51.77	102.23	2007	135	2018	173	1.2	0.7	1.1	Kara (1849)
Wettzell	Germany	WETTZELL	49.14	12.88	2000	04	2018	256	0.9	0.5	0.9	Kara (374)
Medicina	Italy	MEDICINA	44.52	11.65	2000	27	2018	173	0.9	0.5	0.9	Kara (51)
Zelenchukskaya	Russia	ZELENCHK	43.79	41.57	2006	25	2018	215	1.1	0.9	1.1	Kara (98)
Westford	USA	WESTFORD	42.61	288.51	2000	12	2014	247	0.9	0.6	0.9	Deniz kenarı (44)
Matera	Italy	MATERA	40.65	16.70	2000	04	2018	152	1.0	0.6	1.0	Kara (29)
Yebes	Spain	YEBES40M	40.52	-3.09	2008	294	2018	215	0.9	0.5	0.9	Kara (261)
Tsukuba	Japan	TSUKUB32	36.10	140.09	2000	11	2016	363	0.8	0.8	0.9	Deniz kenarı (44)
Kashima	Japan	KASHIM34	35.95	140.66	2000	66	2017	256	1.1	1.0	1.1	Deniz kenarı (3)
Seshan	China	SESHAN25	31.10	121.20	2000	12	2018	122	1.0	0.9	1.0	Deniz kenarı (43)
Kokee Park	USA	KOKEE	22.13	200.33	2000	04	2018	215	1.3	1.0	1.2	Deniz kenarı (5)
Fortleza	Brazil	FORTLEZA	-3.88	321.57	2000	05	2018	215	1.6	1.6	1.2	Deniz kenarı (5)
Katherine	Australia	KATH12M	-14.28	132.15	2011	168	2018	215	1.1	1.1	0.8	Kara (227)
Hartebeesthoek	South Africa	HARTRAO	-25.89	27.68	2000	45	2018	256	1.5	1.3	1.4	Kara (489)
Yarragadee	Australia	YARRA12M	-29.05	115.34	2011	173	2018	215	1.6	1.3	1.4	Deniz kenarı (47)
Warkworth	New Zealand	WARK12M	-36.43	174.66	2011	269	2018	152	1.3	0.7	1.3	Deniz kenarı (3)
Hobart	Australia	HOBART26	-42.80	147.44	2000	81	2018	171	1.4	1.2	1.4	Deniz kenarı (8)
Hobart	Australia	HOBART12	-42.81	147.44	2010	309	2017	171	1.2	1.0	1.2	Deniz kenarı (8)

İstasyonların hangi ülke tarafından işletildikleri, IVS adları, coğrafi konumları, gözlem aralıkları, radyal, doğu ve kuzey bileşenlerindeki karesel ortalama hatalarının (standart hatalarının) ortancaları (medyanları) Tablo 6.1'de gösterilmektedir. Tablo 6.1'de son üç sütunda yer alan R, E, N kısaltmaları sırası ile radyal, doğu ve kuzey koordinat bileşenlerini ifade etmektedir. İstasyonların tabloda üstten aşağı sıralaması enlem değerleri esas alınarak kuzeyden güneye doğrudur. En yakın kıyı şeridine 150 km'den daha az olan VLBI istasyonları, genel kabul olduğu için kıyı bölgesindeki (deniz kenarındaki) istasyon olarak kabul edilmiştir.

Analiz yapılan istasyonların zaman içerisindeki oturumlara katılım durumu ve toplam 2 saatlik PLO koordinat kestirim sayısı Şekil 6.2'de gösterilmektedir. Şekil 6.2'de verilen toplam kestirim sayılarından görüleceği gibi 2 saatlik PLO koordinatları en çok Wettzell (Almanya) istasyonunda aralıksız yaklaşık 5 yıl 8 ay boyunca ve en az KASHIM34 (Japonya) istasyonunda aralıksız yaklaşık 3 ay boyunca elde edilmiştir.

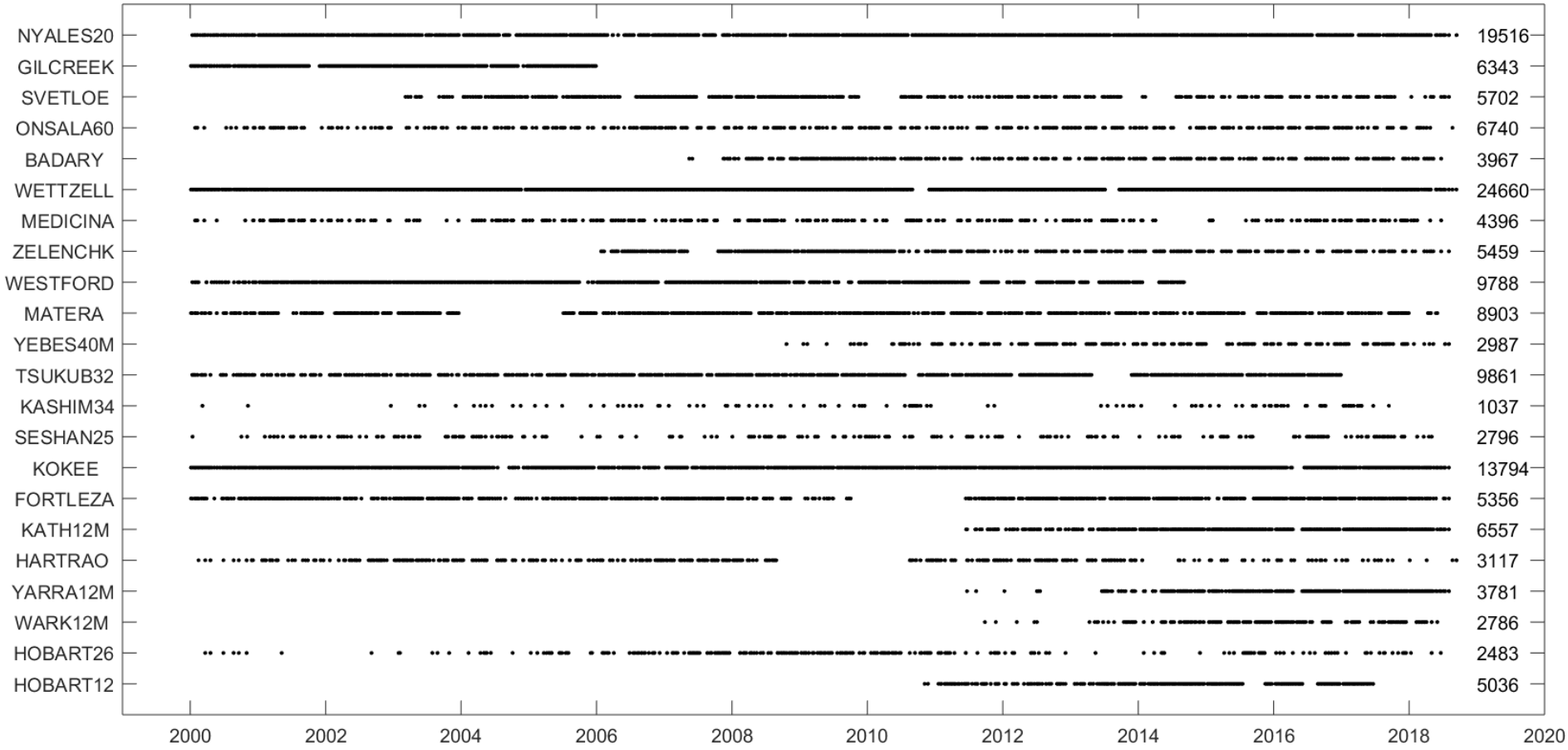
İstasyonların 2 saat aralıklı radyal koordinat kestirimlerinin standart hatalarının ortancalarının çoğu istasyon için 1 cm'den daha büyük olduğu görülür. Nemin daha fazla olduğu yerleşkelerde, örneğin; Fortaleza (Brezilya), Hobart (Tazmanya), Warkworth (Yeni Zelanda) ve Yarragade (Avustralya) 2 saat aralıklı koordinat kestirimlerinin standart hatalarının ortancalarının diğer istasyonlara oranla daha büyük çıkmasının nedeninin, ölçülerden yeterince indirgenemeyen troposfer gecikme sinyallerinin (özellikle ıslak kısım) koordinat bileşenlerine (özellikle radyal bileşene) yayılması olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte güney yarım kürede yer alan istasyonların koordinat bileşenlerinin standart hatalarının ortancalarının kuzey yarım küredeki istasyonlara göre daha büyük olmasının en önemli nedenlerinden birinin hem güney yarım küredeki VLBI istasyonlarının sayıca az ve dağılımca homojen olmaması hem de güney gök küresinde gözlem yapılan kuasarların aynı şekilde kuzey gök küresine göre sayıca az ve dağılımca homojen olmaması sonucu ölçü sayısı azlığı ve ölçü geometrisi bozukluğu olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, yarı-günlük ve günlük periyotlardaki temel gelgitlerin bileşenlerinin (genlik ve faz) kestirim duyarlıklarının en kötü ihtimalle birkaç milimetre ve birkaç derece saniyesi mertebelerinde olması beklenmektedir. Diğer bir ifade ile her bir koordinat bileşenine (radyal, batı, güney) ait her bir gelgit (M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1 ve

Q_1) için eş fazlı ve faz dışı bileşenlerin kestirim hatalarının en fazla birkaç mm olması beklenmektedir. Çünkü, bir dengeleme probleminde kestirim parametrelerinin duyarlıkları, dengelemenin serbestlik derecesine bağlı olarak, ölçü duyarlıklarının yaklaşık 10 katı kadardır.

6.1 Günlük VLBI Oturumlarının Analizi

Günlük VLBI oturumlarının analizinden istasyon koordinatlarının kestirimi, 2 saatlik aralıklarla PLO fonksiyonları [146] kullanılarak UT tam saatlerinde (0UT, 2 UT, ...,22UT), VieVS yazılımı [145] ile gerçekleştirilmiştir. Tüm parametreler klasik Gauss Markov EKK yöntemi ile kestirilmiştir. Analizler sonucunda 2 saat aralıklı istasyon koordinatları ve standart hataları zaman serileri elde edilmiştir. Operasyonel anlamdaki güçlüklerden ötürü GNSS tekniğinde olduğu gibi VLBI tekniğinde sürekli oturumlar gerçekleştirilememekte ve bunun sonucunda koordinat zaman serisi VLBI için kesikli yapıda elde edilmektedir. VLBI günlük oturumlarının analizinde, nutasyon ofsetleri, kutup gezinmesi bileşenleri ve UT1-UTC, Yer yönelim parametrelerinin her biri her bir oturum için günlük tek ofset şeklinde kestirilmiştir. Nutasyon ofsetlerinin öncül değerleri IAU2006 presesyon, IAU2000A nutasyon modeli [73] değerlerine IERS C04 14 serisi [147] model düzeltmeleri eklenerek elde edilmiştir. Radyo kaynağı (kuasar) koordinatları, kestirilen koordinatlara ilişkin CRF'in, ICRF3 (http://hpiers.obspm.fr/icrs-pc/newwww/icrf/index.php) ile eksen dönüklükleri sıfır olacak şekilde NNR koşul denklemleri normal denklem sistemine uygulanarak kestirilmiştir. Oturumlara katılan istasyonlarda bulunan ve ölçülere zaman etiketi konulurken referans alınan atomik saatlerden biri hatasız kabul edilmiştir. Oturuma katılan diğer saat okumaları ile sabit alınan saat okumaları arasındaki farklar (senkronizasyon hataları) her saat için kuadratik bir polinomun katsayıları ve 30 dakika aralıklı PLO'lar şeklinde modellenmiş, bir ön dengeleme ile kestirilerek ölçülerden parametre kestirimi öncesi indirgenmiştir.



Şekil 6.2. VLBI istasyonlarının yıllara göre oturumlara katılım durumu ve koordinat kestirim dağılımları (sağ eksen, istasyonların her biri için 2 saat aralıklı toplam koordinat kestirim sayısını göstermektedir).

Troposfer sinyal gecikme modeli olarak tüm uydu-uzay jeodezisi teknikleri ölçülerinin analizinde de kullanılan lineer yapıdaki Davis vd. [131], [148];

$$\Delta\tau(\alpha,\varepsilon) = \mathrm{ZHD}\, m_h(\varepsilon) + \mathrm{ZWD}\, m_\omega(\varepsilon) + m_g(\varepsilon)\left[G_N \cos(\alpha) + G_E \sin(\alpha)\right] \tag{6.1}$$

modeli kullanılmıştır. Eşitlik (6.1)'de $\Delta\tau$ sinyal yolu boyunca oluşan troposfer toplam sinyal gecikmesini, ε lokal ufuk çizgisinden olan yükselim açısını, α jeodezik kuzeyden olan azimut açısını, *ZHD* başucu hidrostatik gecikmesini, *ZWD* başucu ıslak gecikmesini, m_h ve m_ω sırasıyla hidrostatik ve ıslak troposfer sinyal izdüşüm fonksiyonlarını, G_E ve G_N ise sırasıyla doğu ve kuzey düşey gradyanlarını temsil etmektedir. m_g, Chen ve Herring [149] tarafından formüle edilen bir gradyan izdüşüm fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Her bir VLBI istasyonunda ölçülen toplam yüzey basıncı değerlerinden ve istasyonun enleminden başucu yönündeki troposfer hidrostatik (kuru) sinyal gecikmeleri hesaplanmış [46] ve öncül olarak ölçülerden indirgenmiştir. Başucu troposfer ıslak sinyal gecikmeleri kestiriminde ise ölçü denklemlerinin ilgili katsayılar matrisini troposfer ıslak izdüşüm fonksiyonu değerleri oluşturacak şekilde 30 dakika aralıklı PLO'lar kestirilmiştir. Ölçü doğrultusundaki troposfer gecikmelerini elde edebilmek için, Vienna Mapping Functions 3 (VMF3 [150]) kullanılmıştır.

VLBI istasyonlarında oluşan jeodinamik yer değiştirmeler IERS2010 konvansiyonlarına [73] uygun modeller ile hesaplanmış ve parametre kestirimi öncesi anten koordinatlarına düzeltme olarak getirilmiştir. Bunlar: TRF katalog lineer hız düzeltmesi, katı Yer gelgitleri (IERS2010 konvansiyonları [73]), okyanus gelgit yüklemeleri (FES2004 [10]), atmosfer basıncı yüklemeleri [120] ve kutup gelgitleridir (IERS2010 konvansiyonları [73]).

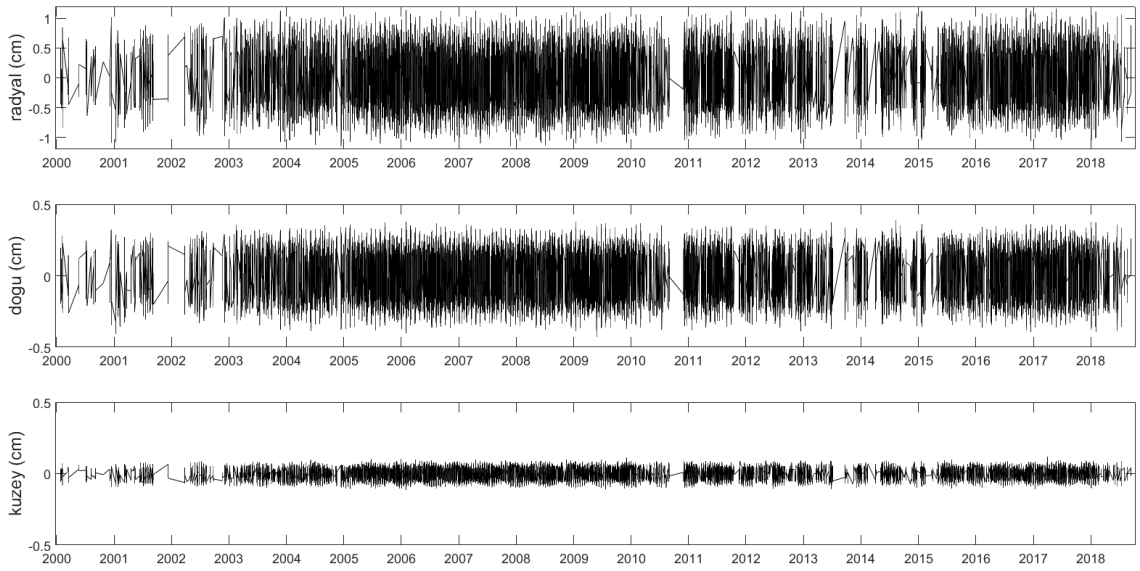
Bu çalışmanın analizlerine ilişkin özgün bir parametrizasyon kullanılmıştır. Şöyleki, 2000 yılından 2018 yılına değin her bir günlük oturumun analizinde sadece bir istasyonun 2 saat aralıklı PLO koordinatları kestirilmiş ve diğer tüm VLBI istasyonlarının koordinatları ITRF2014 [87] kataloğu öncül değerlerine sabit alınmıştır. Yine her bir oturumun analizinde 2 saatlik PLO koordinatları kestirilecek istasyon öncül koordinatlarına okyanus gelgit yüklemeleri model düzeltme değerleri eklenmemiştir. Fakat diğer istasyonların jeofizik düzeltme değerleri ilgili modellerden hesaplanarak eklenmiştir. Böylece, 2000-2018 yıllarını kapsayan toplam 3191 sayıdaki günlük oturum her bir istasyon için toplam 22 kez analiz edilmiştir. Tüm analizlerin sonlandırılması 48 çekirdekli bir iş istasyonunda bir ayı geçen bir sürede bitirilebilmiştir. Üzerinde herhangi bir kısıtlayıcı

denklem uygulanmadan tüm oturumlar için gün içi zamansal çözünürlükte (2 saatlik aralıkta) sadece bir istasyonun koordinatının kestiriminin ve ilgili istasyonun öncül koordinatlarına okyanus gelgit yüklemesi model düzeltmesi getirilmemesinin sonucu olarak ilgili istasyonun zaman serisinde okyanus gelgit yüklemesi kaynaklı yer değiştirmeler VLBI ölçülerine dayanarak elde edilmiştir.

Analizlerde, ilk olarak sorunlu oturumlar ve kaba hatalı ölçülerin belirlendiği bir tanı analizi gerçekleştirilmiştir. Sorunlu oturumların tespitinde temel ölçüt olarak birim ölçünün soncul standart sapması kullanılmış ve ilgili değerleri ±2 cm'den büyük olan oturumlardaki ölçülerin yeterli doğruluğa sahip olmadığı varsayılmıştır. Bu tür sorunlu oturumlardaki en sık rastlanan problem bir veya birkaç istasyonun tüm ölçülerinin korelasyon aşamasında kaba hatalı elde edilmesidir. Sorunlu oturumlardaki diğer bir hata kaynağı ise gözden kaçan ve düzeltilememiş saat sıçramaları olup tez hazırlama süresinin kısalığından ötürü binlerce oturumun problemli olanlarını tek tek düzeltmek yoluna gidilmemiş bu tür oturumlar da oturum setinden atılmıştır. Aynı analiz aşamasında ölçülerde kaba hatalı olanlar sonraki analizlerde ölçü setinden atılmak üzere belirlenmiştir. Bu işlemlerin ardından 2000 – 2018 yılları arasındaki analizleri gerçekleştirilecek oturumların son listesi (3191 adet oturum) belirlenmiştir. Kaba hatalı ölçüler her bir 3191 oturumun analiz edildiği ve tek bir istasyonun koordinat zaman serisinin kestirildiği yığın işlem (batch process) aşamasında oturumlardan atılmıştır. Her bir yığın işlem (batch process) 22 kez (seçilen VLBI istasyonu kadar) OTL yer değiştirmeleri kestirimi için gerçekleştirilmiştir. Wettzell (Almanya) VLBI istasyonunun 2 saatlik aralıklı PLO koordinat kestirimleri, diğer bir ifade ile VLBI analizleri sonucu elde edilen OTL yer değiştirmeleri Şekil 6.3'te verilmiştir.

6.2. VLBI ile Gözlemlenen İki Saat Aralıklı OTL Yer Değiştirmelerinden Yarı-günlük ve Günlük Ana Gelgit Bileşenlerinin Kestirimi

Okyanus gelgit yüklemesi nedeniyle deniz tabanı basınç değişimlerinden kaynaklanan, Yer kabuğundaki gelgit frekansı ve konuma bağlı harmonik yer değiştirmeler, $\Delta_{n,k}$ bir istasyondaki (n) k'inci koordinat bileşeni (örneğin; radyal, batı ve güney) ve bir t epoğu için harmonik fonksiyon Eşitlik (3.27)'de açıklanmıştır. Yarı-günlük periyotlardaki M_2, S_2, N_2, K_2; günlük periyotlardaki K_1, O_1, P_1, Q_1 ve uzun periyotlardaki M_f, M_m, S_{sa} ana gelgitler toplam gelgit sinyalinin %95'ten fazlasını açıklamaktadır [151].



Şekil 6.3. VLBI ölçülerinden kestirilen WETTZELL istasyonu 2 saat aralıklı OTL yer değiştirmeleri radyal, doğu ve kuzey bileşenleri.

Eşitlik (3.27)'ye göre okyanus gelgit modellerinden hesaplanan OTL yer değiştirmeleri için ana gelgitlerin genlik ve Greenwich faz gecikmeleri Bölüm 3.2'de anlatıldığı gibi Chalmers OTL Servisi'nden elde edilmiştir. Okyanus gelgitleri nedeniyle oluşan yermerkezli hareketin düzeltmesi OTL harmonik yer değiştirme katsayılarına getirilmemiştir. Çünkü, VLBI ölçüleri Yer'in ağırlık merkezine duyarlı değildir. OTL ana gelgit bileşenlerinden yer değiştirmelerin hesaplamalarında Ay yörüngesi düğüm noktasında (lunar node) 18.6 yıllık periyoda sahip (Ay'ın presesyon hareketi) düğüm modülasyonundan ötürü ana gelgitlerin yanharmoniklerine ilişkin düzeltmeler (nodal modulation düzeltmeleri [103]) getirilmemiştir. Bunun yerine, IERS2010 Konvansiyonlarında [73] önerildiği şekilde ana gelgitlerin gerçek ve sanal bileşenleri, tüm gelgitlere (toplam 342 gelgite) spline enterpole edilerek yüklemeye ait tüm gelgit spekturmu kullanılarak yer değiştirmeler hesaplanmıştır. IERS2010 Konvansiyonları [73] resmi web sitesinde sunulan bir Fortran programının, "hardisp.f" Matlab'a dönüştürülen fonksiyonları kullanılarak 342 adet gelgitin sanal ve gerçek bileşenleri ana gelgitlerden spline enterpolasyon ile elde edilmiştir. IERS2010 Konvansiyonlarında önerilen tüm gelgitleri (342 adet) dikkate alarak gerçekleştirilen hesap ile sadece ana gelgitleri dikkate alan hesaba göre yaklaşık 5 mm'ye varan OTL yer değiştirmesi doğruluk artışı olduğu farklı çalışmalarda ortaya konulmuştur [102], [152], [153].

İki saatlik VLBI istasyonu koordinat zaman serisinden (VLBI ile gözlenen OTL yer değiştirmelerinden), $\Delta_{n,k}$ Eşitlik (3.27)'nin doğrusallaştırılmış şekli:

$$\Delta_{n,k} = \sum_j R_{n,j,k} \cos \chi_j(t) + I_{n,j,k} \sin \chi_j(t) \tag{6.2}$$

kullanılarak, yarı-günlük ve günlük OTL gelgitlerinin genlikleri ($A_{n,j,k}$) ve faz gecikmeleri ($\varphi_{n,j,k}$) kestirilmiştir. Şöyleki, ilk olarak Eşitlik (6.2)'de *n* istasyon indeksi olmak üzere, $R_{n,j,k} = A_{n,j,k} \cos \varphi_{n,j,k}$ ve $I_{n,j,k} = A_{n,j,k} \sin \varphi_{n,j,k}$ *k*'inci koordinat bileşeninin ve *j*'inci gelgitin gerçek ve sanal kısımları kestirilmiştir. Daha sonra kestirilen gelgitlerin gerçek ve sanal kısımları, genliğe ve Greenwich faz gecikmesine dönüştürülmüştür. Yarı-günlük ve günlük OTL gelgitlerinin genlikleri, $A_{n,j,k} = \sqrt{R_{n,j,k}^2 + I_{n,j,k}^2}$ şeklinde ve Greenwich faz gecikmeleri, $\varphi_{n,j,k} = \arctan(I_{n,j,k} / R_{n,j,k})$ şeklinde hesaplanmıştır. Genliklerin ve faz gecikmelerinin hataları, kestirilen gerçek ve sanal kısımlarının standart kestirim hatalarından varyans yayılma kuralı (genel hata yayılma kuralı) kullanılarak hesaplanmıştır. Burada şunu belirtmek gerekir ki, yarı-günlük ve günlük gelgit bileşenlerinin kestirimi öncesi uzun periyotlu gelgitlerden (M_f, M_m ve S_{sa}) kaynaklanan yer değiştirmeler FES2004 modelinden hesaplanmış ve konum zaman serilerinden parametre kestirimi öncesi indirgenmiştir.

6.3. Uygulamada Kullanılan Okyanus Gelgit Modelleri ve Bu Modellerden Yer Değiştirmelerin Hesabı

Okyanus gelgit yüklemesini hesaplamak için FES2014b [112], TPXO9-Atlas [8] ve GOT4.10c [113] okyanus gelgit modelleri kullanılmıştır. FES2014b, 2014 – 2016 yılları arasında geliştirilen FES (Sonlu Eleman Çözümü, Finite Element Solution) gelgit modelinin son sürümüdür. FES2012 modelinin geliştirilmiş bir versiyonudur. FES2014b, daha uzun altimetre zaman serilerinden ve daha iyi altimetre standartlarından, gelişmiş modelleme ve veri asimilasyon tekniklerinden, daha doğru bir okyanus batimetrisinden yararlanır. FES2014b özellikle kıyı ve sığ bölgelerde ve ayrıca bazı derin okyanus bölgelerinde ve Arktik bölgesinde FES2012 ve GOT4.10'a kıyasla doğruluğu daha yüksek sonuçlar vermektedir. FES2014'ün gridleme çözünürlüğü 1/16º'dir [112].

TPXO9-Atlas modeli Arktik ve Antarktika dahil olmak üzere tüm kıyı alanları için 1/6 derece temel global çözüm olan TPXO9.v1 ve 1/30 derece çözünürlüklü yerel çözümleri birleştirilerek elde edilen 1/30 derece çözünürlüklü güncel tam küresel çözümdür. Ölçeği

logaritmiktir. Tüm TPXO9-Atlas yamaları (lokal gelgit modelleri), asimilasyon için aynı altimetre veri setlerini kullanarak, TPXO9-Atlas batimetri ve sınır koşulları kullanılarak elde edilmektedir [8].

Tüm GOT (Goddard/Grenoble Ocean Tide) serileri, çok uydulu altimetri verilerinin ampirik gelgit analizlerine dayanmaktadır. Hesaplanan genlik ve faz verileri, derin okyanus için yeterli, ancak sığ denizlerinde ve kıyı sularında kısmen yetersiz bir çözünürlük olan 0.5 derecelik küresel bir gridlemeye sahiptir. GOT4.10 önceki versiyonları olan 4.7,4.8 ve 4.9 ile aynıdır, ancak Topex/Poseidon uydularının verisi olmadan sadece Jason-1 ve Jason-2 uydularından gelen veriler kullanılmıştır. Diğer tüm işlemler ve veriler değiştirilmemiştir. Jason uyduları için dikkate alınan kuru troposferik düzeltme, orijinal T/P verilerini içeren S_2 hava gelgit hatasını içermemektedir (Ray, 2013). Bu tez çalışması kapsamında esas alınan OTL tahmin modellerine; FES2014b, TPXO9-Atlas ve GOT4.10c ilişkin detaylı bilgiye sırası ile Carrere vd. [112], Egbert ve Erofeeva [8] ve Ray [113]'den ulaşılabilir.

Yersel zamandaki (TT) t anında bir jeodezik istasyonun OTL yer değiştirmesi, $d_{R,E,N}(\theta,\lambda,t)$ okyanusların tüm gelgit nokta yükleri üzerindeki integrali [13], [154], [155] alınarak:

$$
\begin{aligned}
d_R(\theta,\lambda,t) &= \frac{G}{ga}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\rho H(\theta',\lambda')G_R(\psi)a^2\sin\theta' d\theta' d\lambda' \\
\begin{Bmatrix} d_E(\theta,\lambda,t) \\ d_N(\theta,\lambda,t) \end{Bmatrix} &= \frac{G}{ga}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\rho H(\theta',\lambda')G_H(\psi)\begin{Bmatrix} \sin\alpha \\ \cos\alpha \end{Bmatrix}a^2\sin\theta' d\theta' d\lambda'
\end{aligned}
\tag{6.3}
$$

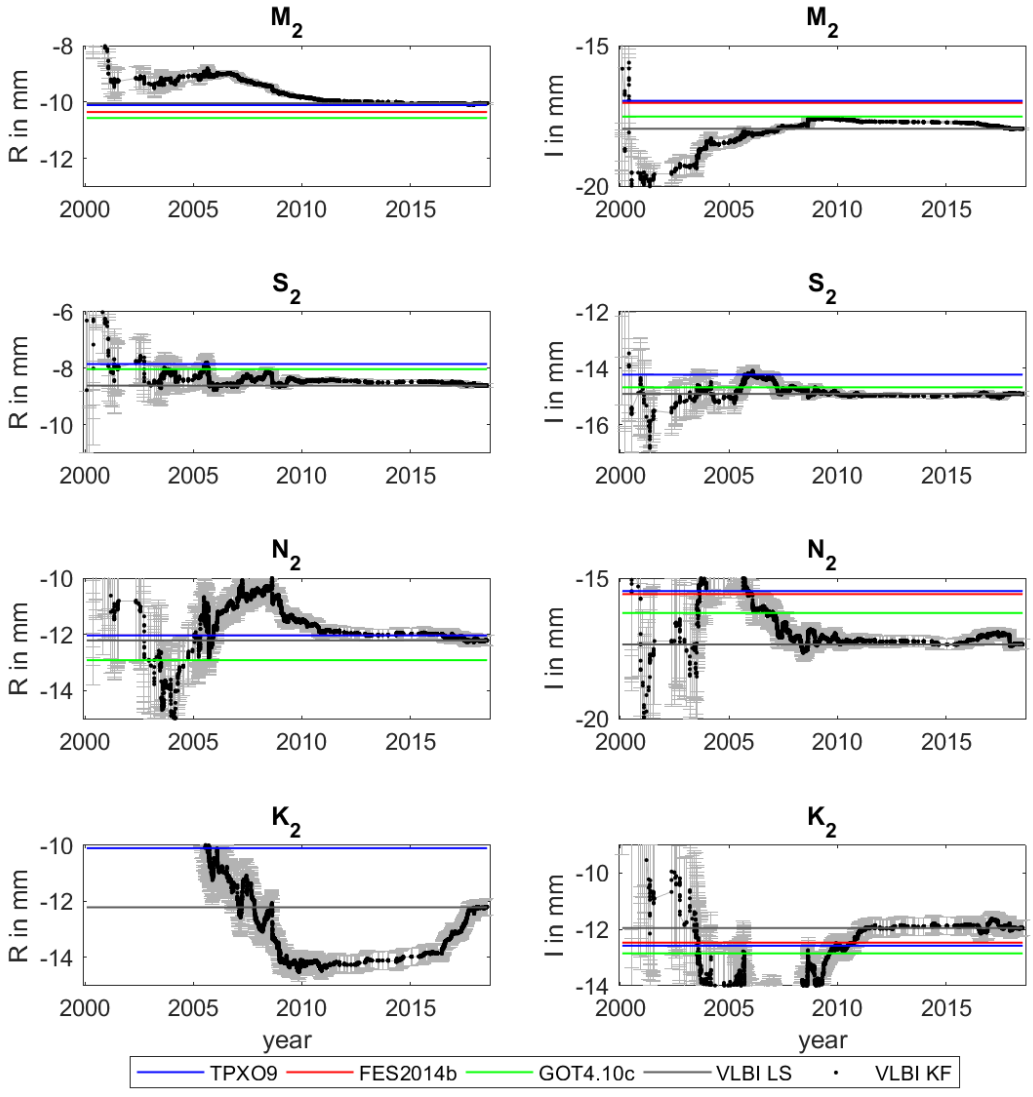
şeklinde hesaplanır. Eşitlik (6.3)'te (θ,λ) ve (θ',λ') sırasıyla jeodezik istasyonun (hedef) ve yükleme noktasının (kaynak) jeosentrik ko-enlem ve boylamını temsil etmektedir. G evrensel yerçekimi sabiti, g ortalama yeryüzü gravitesi, a Dünya'nın yarıçapı (küresel), ρ deniz suyu yoğunluğu, α istasyonun yükleme noktasına olan azimutu ve H ise küresel okyanus gelgit modellerinden (örneğin; SCHW81 [7], TPXO9-Atlas [9], FES2014b [11], [12] veya GOT4.10c [113]) türetilen yükleme noktasındaki gelgit yüksekliğidir. Radyal G_R ve yatay G_H bileşenler için Eşitlik (6.3)'te verilen Green fonksiyonu:

$$G_R(\psi) = \sum_{n=1}^{\infty} h_n' P_n(\cos\psi)$$
$$G_H(\psi) = \sum_{n=1}^{\infty} l_n' \frac{\partial P_n(\cos\psi)}{\partial\psi} \tag{6.4}$$

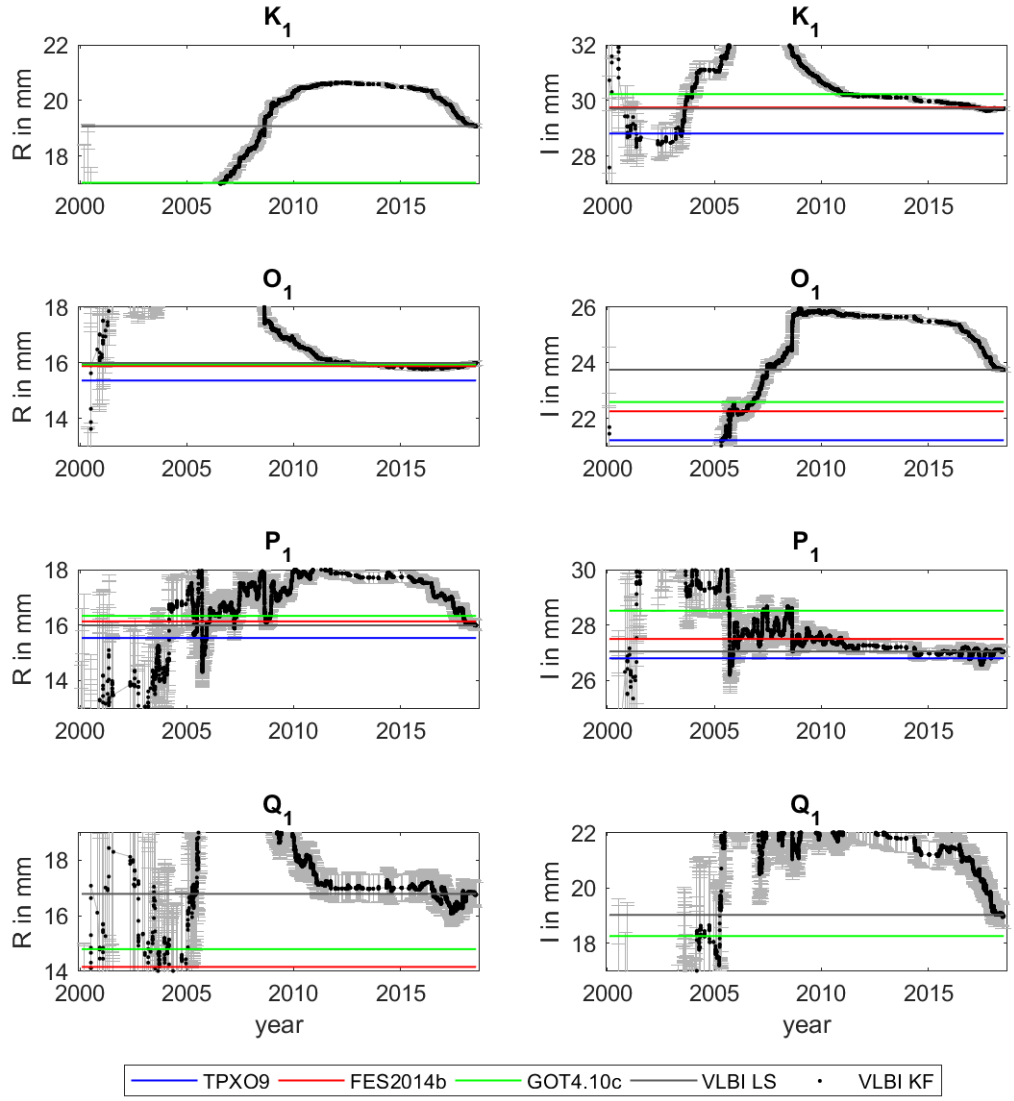
eşitliğinden hesaplanır. Burada ψ istasyondan (hedef) yükleme noktasına olan açısal mesafeyi, P_n, n'inci derece Legendre polinomunu, h_n' ve l_n' ise küresel olarak simetrik, dönmeyen, elastik ve izotropik (SNREI, symmetric, nonrotating, elastic, isotropic) Yer modeli için yüksek küresel bir harmonik dereceye n kadar hesaplanması gereken load Love sayılarını [13] temsil etmektedir. Kıta ve okyanus yapılarına dayalı yeryüzü yüküne Yer kabuğunun elastik tepkisini formüle eden Green fonksiyonu, ilk olarak Gutenberg-Bullen standart Yer modeli kullanılarak Farrell [13] tarafından hesaplanmıştır ve sonrasında ise Ön Referans Yer Modeli (PREM: Preliminary Reference Earth Model [156]) kullanılarak Pagiatakis [19] ve Jentzsch [157] tarafından geliştirilmiştir. Gelgitsel yer değiştirmeleri ve gelgitsel gravite değişim parametrelerini hesaplamak için küresel bir okyanus gelgit modelinin gridlenmiş gelgit yükseklikleri üzerinden Green fonksiyonu konvolüsyon toplamını (katlama integralini) gerçekleştiren OLFG/OLMPP [1], SPOTL [2], NLOADF [3], GOTIC2 [4], CARGA [5] ve LoadDef [6] gibi yazılımlar günümüze kadar geliştirilmiştir. Yer modellerinin elastik özellikleri ve yoğunluk profilleri (Love sayıları) gibi konvolüsyon hatalarının yanısıra küresel okyanus gelgit modellerinin sığ sular üzerindeki modelleme yetersizlikleri kıyı bölgeleri çevresinde (kıyılardan ~150 km mesafeye kadar) OTL yer değiştirmelerinin doğruluğunu önemli ölçüde kısıtladığı kanıtlanmıştır. OTL yer değiştirmelerinin hesaplanmasında, okyanus yüzeyleri boyunca oluşan okyanus gelgit yüksekliklerinin Green fonksiyonları ile çarpılıp toplanması esasına dayanan konvolüsyon integrali ile hesabına ilişkin ayrıntılı bilgiye Farrell [13], [18], Pagiatakis [19], [20], Scherneck [1], [21], Agnew [2], [3], Scherneck ve Bos [22], Khan ve Scherneck [14], Bos ve Baker [5], Yuan ve Chao [16], Bos ve Scherneck [155] ve Martens vd. [6]'den ulaşılabilir.

7. SONUÇLAR

Okyanus gelgit model katsayıları bölüm 3.2'de anlatıldığı gibi Chalmers OTL Servisi kullanılarak elde edilmiştir. 22 istasyon için 3 koordinat bileşeni, 8 gelgit ve her gelgit için birer gerçek (inphase, eş faz, *R*) ve sanal (out-of-phase, faz dışı, *I*) bileşen olmak üzere toplam 1056 (22x3x8x2) gelgit bileşen değeri model katsayılarından hesaplanmış, VLBI ölçülerinden klasik Gauss Markov modeli EKK ve Kalman filtresi kullanılarak kestirilmiştir. KOKEE (Kauai adası, Hawaii takım adaları, ABD) VLBI isyasyonunda oluşan OTL yer değiştirmelerinin yarı-günlük ve günlük ana gelgitlerine ilişkin kestirilen eş fazlı ve faz dışı bileşenlerin model ve kestirim değerleri Şekil 7.1 ve 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.1. KOKEE istasyonu okyanus gelgit yüklemesi **yarı-günlük** periyotlardaki (M_2, S_2, N_2, K_2) radyal yer değiştirmelerin gerçek (R:eş fazlı) ve sanal (I: faz dışı) bileşenleri.



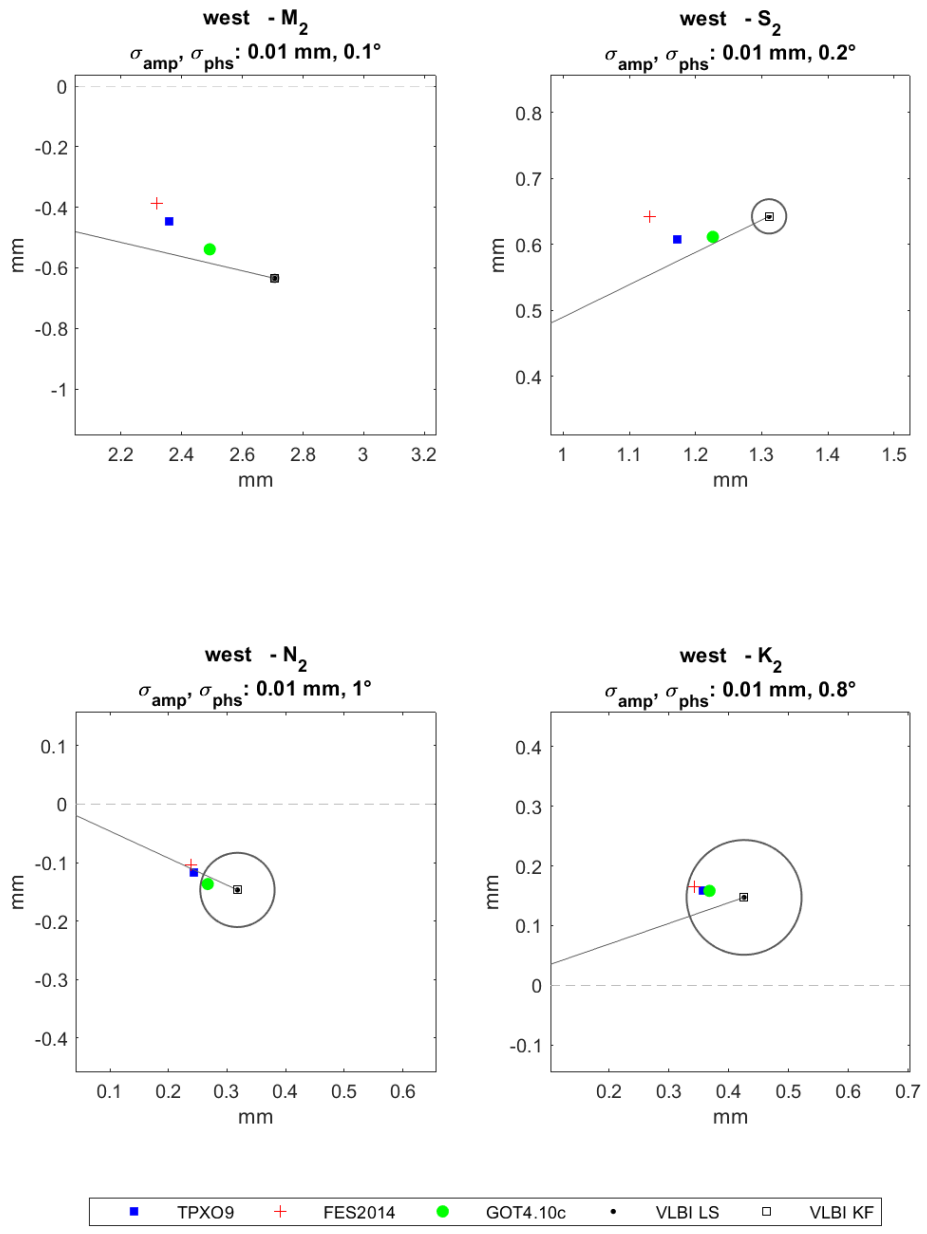
Şekil 7.2. KOKEE istasyonu okyanus gelgit yüklemesi **günlük** periyotlardaki (K_1, O_1, P_1, Q_1) radyal yer değiştirmelerin gerçek (R: eş fazlı) ve sanal (I: faz dışı) bileşenleri.

Klasik Gauss Markov modeli ve Kalman filtresinin her ikisi de sonuçta EKK yönteminin birer uygulaması olduğundan ve ölçüler vektörü her ikisinde de aynı olduğu için klasik Gauss Markov ve Kalman filtresi yöntemleri ile elde edilen gelgitlerin gerçek ve sanal bileşenleri birbirleri ile aynı sonuçları vermiştir. İlgili değerler Ek-1'de sunulmuştur.

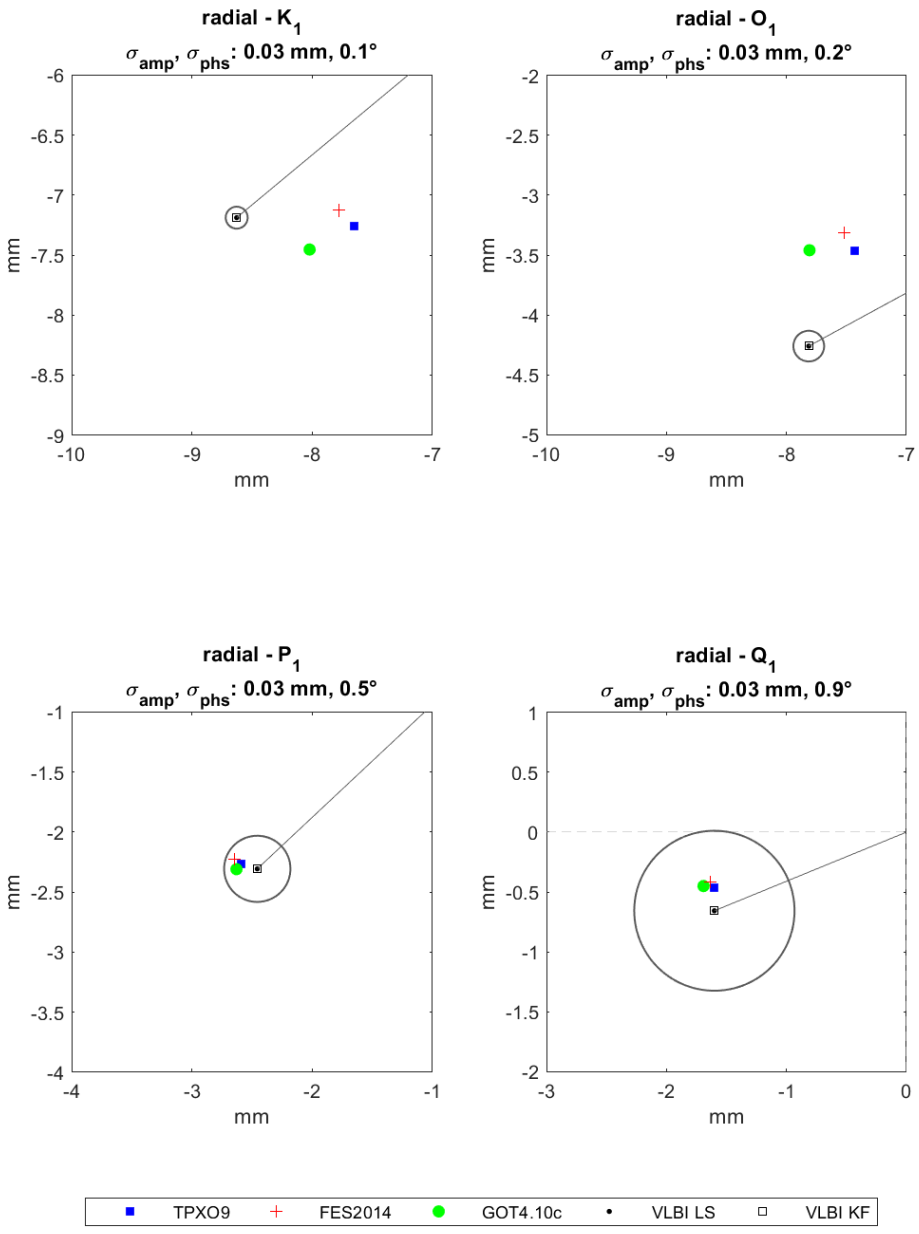
Diğer istasyonlara ait OTL yarı-günlük ve günlük ana gelgitleri yer değiştirmelerinin gerçek ve sanal bileşenleri Ek-2'de bulunmaktadır. Kalman filtresi ile her koordinat epoğu için kestirilen gelgit bileşenlerinin istasyonlara, koordinat bileşenine ve gelgit bileşenine bağlı olarak yakınsama sürelerinin farklı olduğu görülmüştür. Örneğin, Kalman filtresi

kestirimlerine bakıldığında tüm istasyonlar ve koordinat bileşenleri için M_2 ve N_2 gelgitleri 1 ila 6 yıl içerisinde yakınsamışlardır. Bu çalışmada yakınsama değeri (ardışık kestirim değerleri arasındaki fark) 0.1 mm olarak kabul edilmiştir. Diğer taraftan Warkworth (Kuzey Ada, Yeni Zelanda), Yarragade (Batı Avustralya), Katherine (Kuzey Avustralya), Seshan (Şangay, Çin) ve Kashima (Japonya) VLBI istasyonlarının bulunduğu bölgenin karmaşık kıyı yapısına ve sığ derinlikte kıta sahanlığına sahip olmasının, çoğu gelgit bileşeninin yakınsama süresinin 10 yılı bulmasına neden olduğu düşünülmektedir. Teorik bir bakış açısı ile f_1 ve f_2 gibi iki farklı frekansa sahip iki farklı spektranın ayrıştırılması için gerekli olan zaman serisinin minimum süresi $\geq 1/|f_1 - f_2|$ [158] şeklinde tanımlansa da VLBI ile kestirilen 2 saat aralıklı istasyon koordinatlarının eşit zaman aralıklı dağılıma sahip olmaması gelgit bileşenlerinin kestirim yakınsaması süresini uzatmaktadır. Foreman [158] eşitliğine göre 12.42 saat periyotlu M_2 gelgiti ile 12.66 saat periyotlu N2 gelgitinin ayrıştırılabilmesi (resolve) için en az 27.3 günlük yüksek frekanslı bir veriye ihtiyaç olmaktadır. Fakat VLBI verisi 2 saatlik koordinatları hem gürültü içermektedir hem de eşit aralıklı değildir. Bu durumda özellikle S_2 (12 saat) ve K_2 (11.967 saat) gibi periyotları birbirine çok yakın gelgitlerin ayrıştırılmasında bazı istasyonlar için 6 yılı bulan gürültüsü düşük koordinat zaman serisine ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte kestirilen R (inphase: eş fazlı) ve I (out-of-phase: faz dışı) bileşenlerinde kimi istasyonlarda çok belirgin bir şekilde görülen mevsimsel ve yıllık periyotlu salınımların (Yebes (İspanya), Seshan (Çin), Kokee (ABD) ve Tsukuba (Japonya)) bu çalışmada istasyonlardan parametre kestirimi öncesi indirgenmeyen hidroloji yüklemesi ve gelgitsel olmayan okyanus yüklemesi sinyalleri olabileceği yorumu yapılmıştır.

Okyanus gelgit modelleri, EKK ve Kalman filtresi yöntemi ile hesaplanan ana gelgit değerlerinin yer değiştirme bileşenleri üzerindeki yarı-günlük ve günlük gelgitlerinin fazör vektörleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 7.3 ve Şekil 7.4). Ek-3'te tüm istasyonlar için hesaplanan fazör vektörleri bulunmaktadır.



Şekil 7.3. TSUKUB32 (Japonya) istasyonu okyanus gelgit yüklemesi **yarı-günlük** periyotlarda batı bileşenindeki yer değiştirmelerin fazör vektörleri.



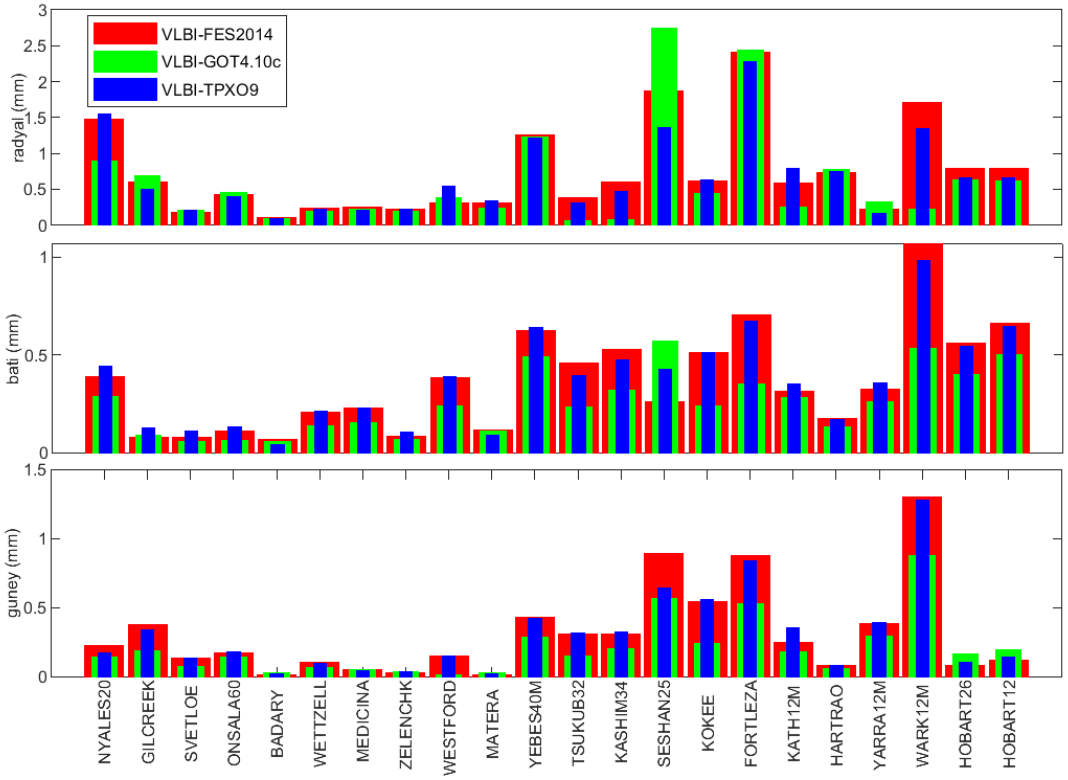
Şekil 7.4. FORTLEZA (Brezilya) istasyonu okyanus gelgit yüklemesi **günlük** periyotlarda radyal bileşenindeki yer değiştirmelerin fazör vektörleri.

Şekil 7.4'te günlük periyotlardaki ana gelgitlere ilişkin fazör vektörleri verilen Fortaleza (Brezilya) istasyonu, Şekil 6.1 ve Tablo 6.1'de görüleceği gibi Atlantik Okyanusuna 5 km mesafede ve okyanus yüklemesi periyodik yer değiştirme genliklerinin en büyük olduğu jeodezik yerleşkelerden biridir. İlgili istasyondaki VLBI ölçülerinden kestirilen K_1 ve O_1 radyal bileşenine ilişkin gelgitler FES2014b, GOT4.10c ve TPXO9-Atlas jeofizik okyanus gelgit modellerinden elde edilenleri ile 1-sigma hata elipsleri de dikkate alındığında açık

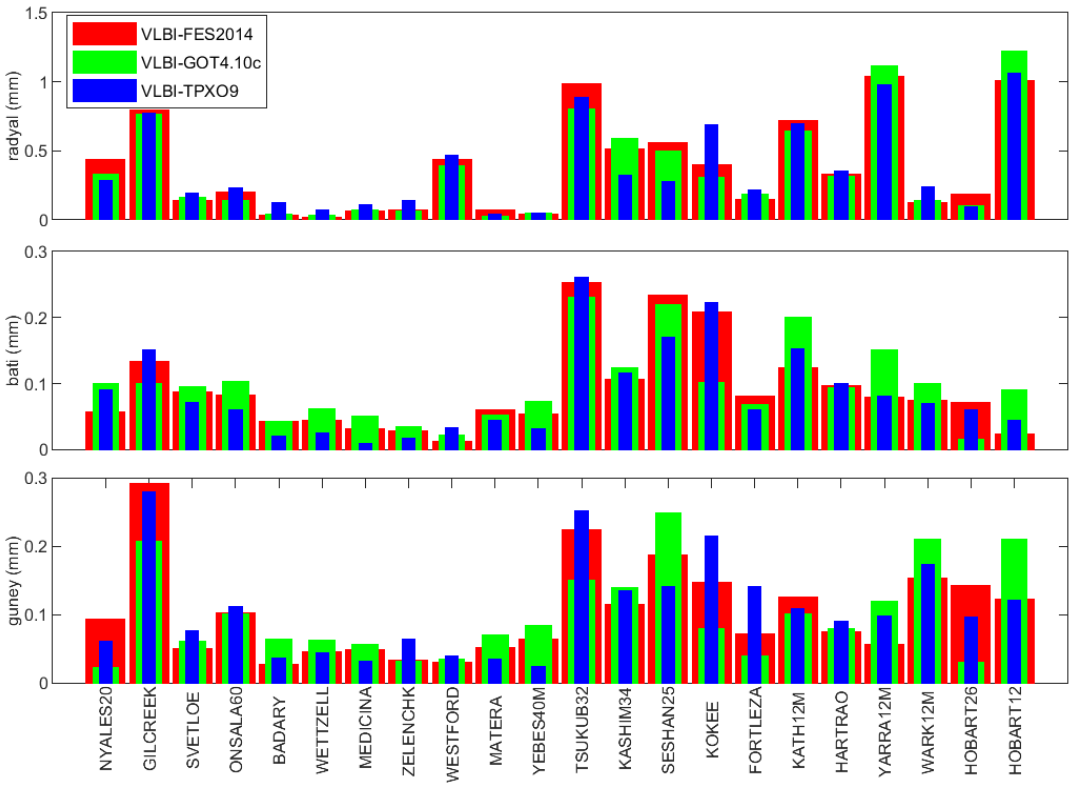
bir şekilde farklı elde edilmiştir. Buna rağmen P_1 ve Q_1 radyal gelgitlerinin jeofizik modellerden tahminleri VLBI kestirimlerinin hata elipsleri içerisinde kalmış olmakla birlikte kestirilen değerlerin model değerlerden VLBI ölçü doğruluğu sınırları içerisinde farklı olduğu söylenemez. VLBI gözlemlerinden elde edilen yarı-günlük ve günlük ana gelgit bileşenlerinin kestirilen genliklerinin ve fazlarının okyanus gelgit modellerine (FES2014b, TPXO9-Atlas, GOT4.10c) uyum düzeyini değerlendirmek için, fazör vektörlerinin vektörel farkları alınarak elde edilen fark vektörlerinin genlikleri bir metrik olarak kullanılmıştır. Fark vektörlerinin genlikleri:

$$\left|d_{n,j,k}\right| = \left|A_{VLBI}(\cos\varphi_{VLBI} + i\sin\varphi_{VLBI})_{n,j,k} - A_{MODEL}(\cos\varphi_{MODEL} + i\sin\varphi_{MODEL})_{n,j,k}\right| \qquad (7.1)$$

eşitliği ile elde edilmiştir. Burada, j gelgit bileşenini (örneğin M_2), k koordinat bileşenini (radyal, batı ve güney) ve n ilgili jeodezik istasyonu temsil etmektedir. Uygulamada kullanılan okyanus gelgit modelleri ile VLBI gözlemleri arasındaki fazör fark vektörlerinin genlikleri Şekil 7.5, Şekil 7.6, Ek-4 ve Ek-5'te gösterilmiştir.



Şekil 7.5 VLBI istasyonlarında kestirilen M_2 gelgiti fazör vektörleri ile okyanus gelgit modellerinden hesaplanan M_2 gelgiti fazör vektörleri farklarının genlikleri.



Şekil 7.6. VLBI istasyonlarında kestirilen O_1 gelgiti fazör vektörleri ile okyanus gelgit modellerinden hesaplanan O_1 gelgiti fazör vektörleri farklarının genlikleri.

12.42 saat periyotlu M_2 gelgitinin astronomik argumanı (açısı), $\chi_j(t)$ herhangi bir t anı için Ay'ın ortalama anomalisinin 2 katına eşittir. Diğer bir ifade ile M_2 gelgiti sadece Ay'ın yörünge hareketine bağlı olarak Yer'in dış gravite alanı içerisinde bir gelgit potansiyeli oluşturur. Bunun sonucunda da kara ve denizlerde gravite, istasyon konumu ve Yer dönme ekseninin gök ve yer sabit koordinat sistemlerinde tanımlı konumları gibi jeodezik parametrelerde diğer gelgitlere kıyasla en büyük genlikli salınımlar meydana gelir. Şekil 7.5'te OTL M_2 gelgiti için verilen fazör fark vektörlerine bakıldığında tüm koordinat bileşenleri için Seshan, Fortaleza ve Warkworth istasyonlarında modellerin VLBI kestirimleri ile farkları 1 – 3 mm arasında olup diğer istasyonlara göre uyuşumsuzluğun daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Ny-Alesund (Norveç), Seshan, Tsukuba, Kashima, Kokee ve Warkworth istasyonlarında GOT4.10c ve FES2014b modelleri arasındaki farkların tüm koordinat bileşenleri için 5 – 10 mm arasında olduğu ve diğer istasyonlardaki model farklarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 7.5, Şekil 7.6, Ek-4 ve Ek-5'te verilen tüm gelgitlere ve tüm jeodezik ortak yerleşkelere ilişkin fazör fark vektörleri genliklerine bakıldığında Tsukuba, Kashima ve Seshan istasyonlarının VLBI kestirimleri ile model değerleri arasında diğer istasyonlara göre daha fazla fark

olduğu görülür. Modellerden hesaplanan değerler ile VLBI kestirimleri arasında oluşan bu farkların nedeninin Japonya ve Kore (Kuzey ve Güney) arasındaki Japon Denizinin sığ olması ve özellikle Japonya kıyılarının karmaşık bir yapıda olması sonucu bu bölgedeki okyanus gelgit modelleri yetersizlikleri, kıyı bölgelerinde grid çözünürlüklerinin artırılması için gerçekleştirilen enterpolasyon hataları ve gelgit yüksekliklerinin Green fonksiyonu ile konvolüsyonu sonucu oluşan hataların bileşkesi olduğu düşünülmektedir. Ek-4 ve Ek-5'teki Hobart (Tazmanya) VLBI ortak yerleşkesindeki HOBART12 ve HOBART26 istayonlarına ait fazör fark vektörleri genliklerine bakıldığında tüm koordinat bileşenleri ve tüm gelgitler için TPXO9-Atlas ve FES2014b modellerinin birbirleri ile uyumlu ve VLBI ile kestirilenlere göre yine GOT4.10c modeline göre daha uyumlu olduğu görülür. VLBI ve modeller arasındaki fazör fark vektörlerinin genliklerine bakıldığında mm'den küçük değerler ile en iyi uyum tüm gelgitler ve koordinat bileşenleri için Svetloe (Rusya), Badary (Rusya), Onsala (İsveç), Wettzell (Almanya), Medicina (İtalya), Matera (İtalya), Zelenchuksaya (Rusya), Hartebeesthoek (Güney Afrika) ve Westford (ABD) istasyonlarında elde edilmiştir (Ek-4 ve Ek-5).

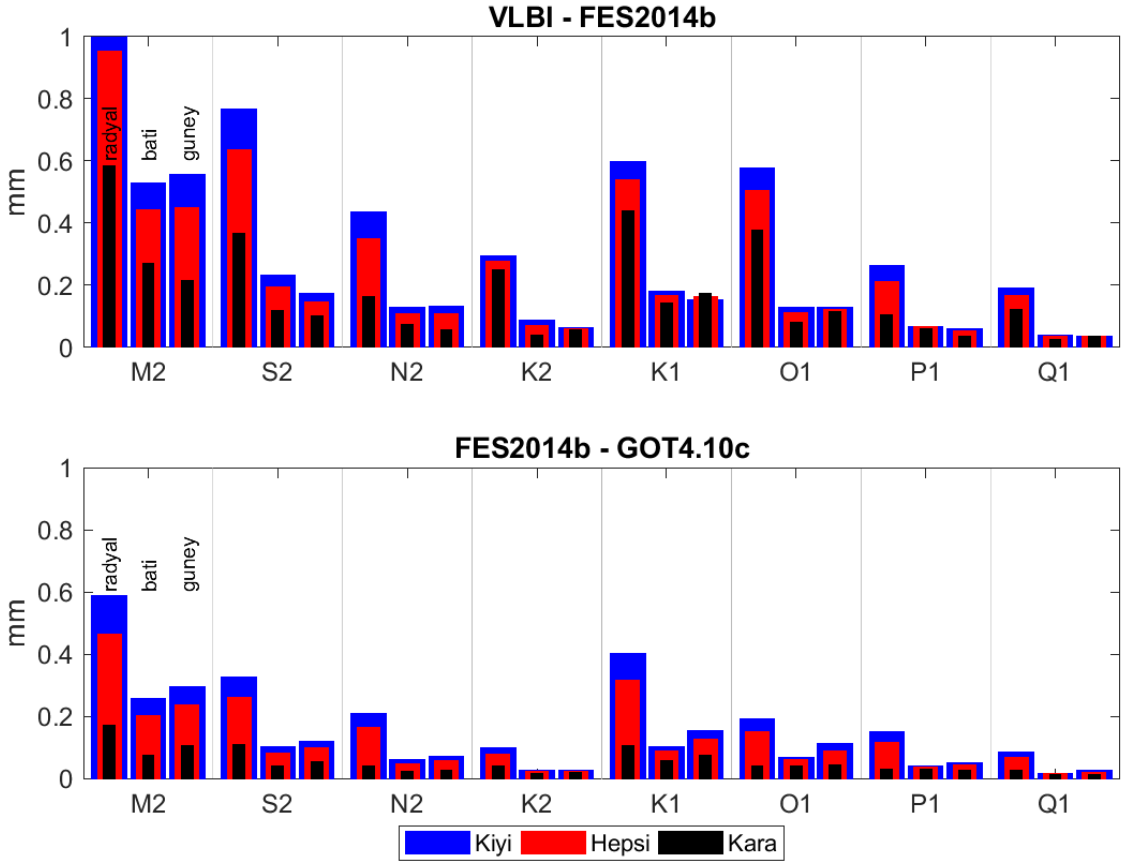
VLBI kestirimleri ve okyanus gelgit modelleri arasındaki genel uyumu değerlendirmek için *j*'inci gelgit bileşeni ve *k*'inci koordinat bileşeni için tüm istasyonlar arasındaki gözlemlenen ve modellenen fazör fark vektörleri genliklerinin RMS'i:

$$RMS_{j,k}^{misfits} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left|d_{n,j,k}\right|^2} \tag{7.2}$$

eşitliğinden hesaplanmış ve Şekil (7.7)'de sunulmuştur.

Yarı-günlük ve günlük ana gelgitlerin fazör fark vektörleri genliklerinin RMS'lerine bakıldığında kıyı bölgelerinde hem VLBI ile modeller hem de modeller kendi aralarında iç kesimlere (kara) kıyasla daha az uyumludur. Bu durumun doğal nedeninin okyanus gelgitleri modelleri (bu çalışma için: FES2014b, GOT4.10c ve TPXO9-Atlas), konvolüsyon integrali, Green fonksiyonu (Guttenberg – Bullen veya PREM Yer modelleri), kıyı bölgelerinde gerçekleştirilen okyanus gelgit yükseklikleri gridlerinin çözünürlüğünün arttırılması için gerçekleştirilen enterpolasyon (bilineer) hataları diğer bir ifade ile model hataları olduğu düşünülmektedir. Şekil 7.7'ye bakıldığında VLBI fazör fark vektörlerinin tüm istasyonlar için modellerle uyumunun modellerin kendi arasındaki uyumundan daha kötü olduğu görülür. Bununla birlikte M_2 gelgiti tüm koordinat

bileşenlerinde ve S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1 gelgitleri radyal koordinat bileşenlerinde VLBI - modeller ile model - model RMS değerleri arasında yüksek korelasyon görülmektedir. Modeller arasındaki fazör fark vektörleri genliklerinin RMS'i tüm koordinat bileşenleri için 0.5 mm'nin altında kalırken VLBI – modeller için 1 mm'den daha küçük RMS değerleri elde edilmiştir. Hem modellerin kendi arasındaki hem de VLBI ile modeller arasındaki fazör fark vektörleri genliklerinin RMS'leri radyal koordinat bileşeni için sırasıyla M_2, S_2, K_1 ve O_1 gelgitlerinde 0.3 – 1 mm arasında değerleri almıştır. M_2 gelgiti için en iyi uyumun FES2014b ve TPXO9-Atlas okyanus gelgit modelleri arasında olduğu görülmüştür. Aynı gelgit (M_2) için en kötü uyumun kıyı bölgelerdeki jeodezik istasyonlarda radyal bileşende VLBI ile tüm modeller arasında olduğu tespit edilmiştir. Modeller arasındaki en kötü uyumun M_2 ve K_1 gelgitlerine ilişkin radyal koordinat bileşenlerinde, VLBI ile modeller arasındaki en kötü uyumun ise M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1 gelgitleri radyal koordinat bileşenlerinde olduğu saptanmıştır.



Şekil 7.7. Okyanus gelgit modelleri ve kıyı, kara ve tüm istasyonlar üzerindeki VLBI kestirimleri arasındaki yarı-günlük ve günlük ana gelgit fazör vektör farklarının RMS'i.

VLBI ölçülerinin analizi ile kestirilen OTL yer değiştirme modeli ve bu çalışmada esas alınan okyanus gelgit modelleri (FES2014b, GOT4.10c ve TPXO9-Atlas) CONT17 sürekli VLBI oturumlarının analizinde ayrı ayrı koordinatların öncül değerlerine düzeltme olarak getirilmiş, günlük istasyon koordinatları, günlük baz vektörleri, günlük Yer dönüklük parametreleri (xp, yp, UT1-UTC) tekrarlanabilirliklerine herhangi bir iyileşmenin sağlanmış olup olmadığını test etmek amacıyla bakılmıştır. Hem VLBI ile kestirilen hem de esas alınan okyanus gelgit modellerinin hiçbiri için hem istasyon koordinatları, hem baz vektörleri hem de Yer dönüklük parametreleri tekrarlanabilirliklerinde anlamlı bir fark (1 mm, 1 μas veya 1 μs) oluşturmamıştır. Bunun üzerine istasyonların öncül koordinatlarına okyanus gelgitleri düzeltmesi hiç getirilmemiştir. İlgili parametrelerin tekrarlanabilirliklerine tekrar bakılmış; tüm istasyonlarda ve tüm bazlarda sadece 1 – 2 mm tekrarlanabilirlik farklılıkları, tüm Yer dönüklük parametrelerinde ise 1 – 3 μas veya μs tekrarlanabilirlik farklılıkları (anlamsıza yakın: mevcut VLBI kestirim belirsizliklerinden küçük) görülmüştür. Günlük ve yarı-günlük periyotlar için öncül koordinat değerlerine getirilen bu düzeltmelerin günlük tek ofset şeklinde kestirilen parametrelere ve türevlerine olan etkisinin ortadan kalktığı görülmüştür. Diğer bir ifade ile günlük zamansal çözünürlükte gerçekleştirilen kestirim parametreleri üzerinde okyanus gelgit modellerinin değiştirilmesinin anlamlı (1 mm, 1 μas veya 1 μs) bir etki oluşturmadığı görülmüştür. Diğer taraftan kestirilen VLBI OTL yer değiştirme ampirik (deneysel) modelinin doğrulamasının nasıl yapılacağına ilişkin farklı bilim insanlarının görüşlerine başvurulmasına rağmen bu konuda bir çözüm geliştirilememiştir. Konuyla ilgili literatürde her ne kadar farklı uzay jeodezisi teknikleri ile elde edilen okyanus gelgitleri kaynaklı yer değiştirmelerin global okyanus modelleri ile karşılaştırılması yapılsa da farklı öncül OTL modellerinin mutlak anlamda günlük zamansal çözünürlükte kestirilen parametreler üzerinde anlamlı farklılık sağlayabildiğine ilişkin bilgi veya kanıt taranan hiçbir yayında yer almamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] H.-G. Scherneck, A parametrized solid earth tide model and ocean tide loading effects for global geodetic baseline measurements, Geophys. J. Int., vol. 106, no. 3, pp. 677–694, **1991**.

[2] D. C. Agnew, SPOTL: Some Programs for Ocean-Tide Loading, pp. 1–35, 1996.

[3] D. C. Agnew, NLOADF: A program for computing ocean-tide loading, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 102, no. B3, pp. 5109–5110, 1997.

[4] K. Matsumoto, T. Sato, T. Takanezawa, and M. Ooe, GOTIC2: A Program for Computation of Oceanic Tidal Loading Effect, J. Geod. Soc. Japan, vol. 47, no. 1, pp. 243–248, **2001**.

[5] M. S. Bos and T. F. Baker, An estimate of the errors in gravity ocean tide loading computations, J. Geod., vol. 79, no. 1–3, pp. 50–63, **2005**.

[6] H. R. Martens, M. Simons, S. Owen, and L. Rivera, Observations of ocean tidal load response in South America from subdaily GPS positions, Geophys. J. Int., vol. 205, no. 3, pp. 1637–1664, **2016**.

[7] E. W. Schwiderski, On charting global ocean tides, Rev. Geophys., vol. 18, no. 1, p. 243, **1980**.

[8] G. D. Egbert and S. Y. Erofeeva, Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides, J. Atmos. Ocean. Technol., vol. 19, no. 2, pp. 183–204, **2002**.

[9] G. D. Egbert, S. Y. Erofeeva, and R. D. Ray, Assimilation of altimetry data for nonlinear shallow-water tides: Quarter-diurnal tides of the Northwest European Shelf, Cont. Shelf Res., vol. 30, no. 6, pp. 668–679, **2010**.

[10] F. H. Lyard, F. Lefèvre, T. Letellier, and O. Francis, Modelling the global ocean tides: Modern insights from FES2004, Ocean Dyn., vol. 56, no. 5–6, pp. 394–415, **2006**.

[11] L. Carrere, F. H. Lyard, M. Cancet, A. Guillot, and L. Roblou, FES2012: A New Global Tidal Model Taking Advantage of Nearly 20 Years of Altimetry, in Proceedings of Meeting 20 Years of Altimetry, **2013**.

[12] L. Carrere, F. H. Lyard, M. Cancet, and A. Guillot, Finite Element Solution FES2014, a new tidal model – Validation results and perspectives for improvements, in ESA Living Planet Conference, **2016**.

[13] W. E. Farrell, Deformation of the Earth by surface loads, Rev. Geophys., vol. 10, no. 3, p. 761, **1972**.

[14] S. A. Khan and H.-G. Scherneck, The M2 ocean tide loading wave in Alaska: Vertical and horizontal displacements, modelled and observed, J. Geod., vol. 77, no. 3, pp. 117–127, **2003**.

[15] N. T. Penna, M. S. Bos, T. F. Baker, and H.-G. Scherneck, Assessing the accuracy of predicted ocean tide loading displacement values, J. Geod., vol. 82, no. 12, pp. 893–907, **2008**.

[16] L. Yuan and B. F. Chao, Analysis of tidal signals in surface displacement measured by a dense continuous GPS array, Earth Planet. Sci. Lett., vol. 355–356, pp. 255–261, **2012**.

[17] C. K. Shum, P. L. Woodworth, O. B. Andersen, G. D. Egbert, O. Francis, C. King, S. M. Klosko, C. Le Provost, X. Li, J.-M. Molines, M. E. Parke, R. D. Ray, M. G. Schlax, D. Stammer, C. C. Tierney, P. Vincent, C. I. Wunsch, Accuracy assessment of recent ocean tide models, J. Geophys. Res. Ocean., vol. 102, no. C11, pp. 25173–25194, **1997**.

[18] W. E. Farrell, A Discussion on the measurement and interpretation of changes of strain in the Earth - Earth tides, ocean tides and tidal loading, Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A, vol. 274, no. 1239, pp. 253–259, **1973**.

[19] S. D. Pagiatakis, The response of a realistic earth to ocean tide loading, Geophys. J. Int., vol. 103, no. 2, pp. 541–560,. **1990**.

[20] S. D. Pagiatakis, Program LOADSDP for the calculation of ocean load effects, Manuscripta Geod., vol. 17, pp. 315–320, **1992**.

[21] H.-G. Scherneck, Ocean tide loading: propagation of errors from the ocean tide into loading coefficients, Manuscripta Geod., vol. 18, pp. 59–71, **1993**.

[22] H.-G. Scherneck and M. S. Bos, Ocean Tide and Atmosphere Loading, in IVS 2002 General Meeting Proceedings, **2002**, pp. 205–214.

[23] T. F. Baker and M. S. Bos, Validating earth and ocean tide models using tidal gravity measurements, Geophys. J. Int., vol. 152, no. 2, pp. 468–485, **2003**.

[24] N. T. Penna, P. J. Clarke, M. S. Bos, and T. F. Baker, Ocean tide loading displacements in western Europe: 1. Validation of kinematic GPS estimates, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 120, no. 9, pp. 6523–6539, **2015**.

[25] M. S. Schenewerk, J. Marshall, and W. Dillinger, Vertical Ocean-loading Deformations Derived from a Global GPS Network, J. Geod. Soc. Japan, vol. 47, no. 1, pp. 237–242, **2001**.

[26] R. Dach and R. Dietrich, The ocean loading effect in the GPS analysis: A case study in the Antarctic Peninsula Region, Mar. Geod., vol. 24, no. 1, pp. 13–25, **2001**.

[27] C. R. Allinson, P. J. Clarke, S. J. Edwards, M. A. King, T. F. Baker, and P. R. Cruddace, Stability of direct GPS estimates of ocean tide loading, Geophys. Res. Lett., vol. 31, no. L15603, pp. 1–4, **2004**.

[28] M. A. King, N. T. Penna, J. C. Peter, and E. C. King, Validation of ocean tide models around Antarctica using onshore GPS and gravity data, J. Geophys. Res., vol. 110, no. B8, p. B08401, **2005**.

[29] I. D. Thomas, M. A. King, and P. J. Clarke, A comparison of GPS, VLBI and model estimates of ocean tide loading displacements, J. Geod., vol. 81, no. 5, pp. 359–368, **2007**.

[30] L. Yuan, B. F. Chao, X. Ding, and P. Zhong, The tidal displacement field at Earth's surface determined using global GPS observations, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 118, no. 5, pp. 2618–2632, **2013**.

[31] H. Schuh and L. Moehlmann, Ocean loading station displacements observed by VLBI, Geophys. Res. Lett., vol. 16, no. 10, pp. 1105–1108, **1989**.

[32] O. J. Sovers, Vertical ocean loading amplitudes from VLBI measurements, Geophys. Res. Lett., vol. 21, no. 5, pp. 357–360, **1994**.

[33] R. Haas and H. Schuh, Ocean loading observed by geodetic VLBI, in Proceedings of the 13th International Symposium on Earth Tides, **1998**, pp. 111–120.

[34] H.-G. Scherneck, R. Haas, and A. Laudati, Ocean Loading Tides For, In, and From VLBI, in IVS 2000 General Meeting Proceedings, **2000**, pp. 257–262.

[35] L. Petrov and C. Ma, Study of harmonic site position variations determined by very long baseline interferometry, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 108, no. B4, p. 2190, **2003**.

[36] J. F. Zumberge, M. B. Heflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, and F. H. Webb, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 102, no. B3, pp. 5005–5017, **1997**.

[37] R. D. Ray, A Global Ocean Tide Model From TOPEX/POSEIDON Altimetry: GOT99.2. Greenbelt: NASA/TM-1999-209478, **1999**.

[38] T. F. Baker, D. J. Curtis, and A. H. Dodson, Ocean tide loading and GPS, GPS World, vol. Mart, pp. 54–59, **1995**.

[39] H. Dragert, T. S. James, and A. Lambert, Ocean loading corrections for continuous GPS: A case study at the Canadian coastal site Holberg, Geophys. Res. Lett., vol. 27, no. 14, pp. 2045–2048, **2000**.

[40] S. A. Khan and C. C. Tscherning, Determination of semi-diurnal ocean tide loading constituents using GPS in Alaska, Geophys. Res. Lett., vol. 28, no. 11, pp. 2249–2252, **2001**.

[41] S. Vey, E. Calais, M. Llubes, N. Florsch, G. Woppelmann, J. Hinderer, M. Amalvict, M. F. Lalancette, B. Simon, F. Duquenne, J. S. Haase, GPS measurements of ocean loading and its impact on zenith tropospheric delay estimates: A case study in Brittany, France, J. Geod., vol. 76, no. 8, pp. 419–427, **2002**.

[42] M. A. King, Kinematic and static GPS techniques for estimating tidal displacements with application to Antarctica, J. Geodyn., vol. 41, no. 1–3, pp. 77–86, **2006**.

[43] H. S. Yun, D. H. Lee, and D. S. Song, Determination of vertical displacements over the coastal area of Korea due to the ocean tide loading using GPS observations, J. Geodyn., vol. 43, no. 4–5, pp. 528–541, **2007**.

[44] S. A. Melachroinos, R. Biancale, M. Llubes, F. Perosanz, F. H. Lyard, M. Vergnolle, M. N. Bouin, F. Masson, J. Nicolas, L. Morel, S. Durand, Ocean tide loading (OTL) displacements from global and local grids: Comparisons to GPS estimates over the shelf of Brittany, France, J. Geod., vol. 82, no. 6, pp. 357–371, **2008**.

[45] M. Vergnolle, M. N. Bouin, L. Morel, F. Masson, S. Durand, J. Nicolas, S. A. Melachroinos, GPS estimates of ocean tide loading in NW-France: Determination of ocean tide loading constituents and comparison with a recent ocean tide model, Geophys. J. Int., vol. 173, no. 2, pp. 444–458, **2008**.

[46] J. Saastamoinen, Contributions to the theory of atmospheric refraction, Bull. Géodésique, vol. 46, no. 3, pp. 279–298, **1972**.

[47] R. J. Eanes and A. Shuler, An improved global ocean tide model from TOPEX/Poseidon altimetry: CSR4.0, in 24th General Assembly, **1999**.

[48] K. Teke, J. Böhm, T. Nilsson, and H. Krásná, Sub-daily Antenna Position Estimates from the CONT11 Campaign, in Proceedings of the 21st Meeting of the European VLBI Group for Geodesy and Astrometry (EVGA), **2013**, pp. 131–134.

[49] D. D. McCarthy and P. K. Seidelmann, Time - From Earth Rotation to Atomic Physics. Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, **2009**.

[50] G. Seeber, Satellite Geodesy, 2nd ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, **2003**.

[51] W. Torge and J. Müller, Geodesy, 4th ed. Walter de Gruyter, **2012**.

[52] Anonim, Zaman Nedir? Zaman Çeşitleri. http://www.kariyerdersleri.com/nedir/zaman-nedir-zaman-cesitleri.aspx. (Erişim tarihi: **04-Apr-2020**).

[53] Anonim, Analemma. https://en.wikipedia.org/wiki/Analemma. (Erişim tarihi: **04-Apr-2020**).

[54] A. Üstün, Jeodezik Astronomi Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Konya, **2006**.

[55] D. D. McCarthy, Astronomical time, in Proceedings of the IEEE, **1991**, vol. 79, no. 7, pp. 915–920.

[56] BIPM, The International System of Units (SI Units), 9th ed. Bureau International des Poids et Mesures, **2019**.

[57] C. Jekeli, Geometric reference systems in geodesy, 2016th ed. USA: Division of Geodetic Science School of Earth Sciences Ohio State University, **2016**.

[58] A. Leick, L. Rapoport, and D. Tatarnikov, GPS Satellite Surveying, 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., **2015**.

[59] K. Teke, Sub-daily parameter estimation in VLBI data analysis, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft Nr. 87, Vienna University of Technology, Vienna, Austria., **2011**.

[60] J. M. Wahr and Z. Bergen, The effects of mantle anelasticity on nutations, earth tides, and tidal variations in rotation rate, Geophys. J. R. Astron. Soc., vol. 87, no. 2, pp. 633–668, **1986**.

[61] H. Moritz and I. I. Mueller, Earth Rotation Theory and Observation. New York: The Ungar Publiching Company, 370 Lexington Avenue, NY 10017, **1987**.

[62] B. F. Chao, D. N. Dong, H. S. Liu, and T. A. Herring, Libration in the Earth's rotation, Geophys. Res. Lett., vol. 18, no. 11, pp. 2007–2010, **1991**.

[63] R. D. Ray, D. J. Steinberg, B. F. Chao, and D. E. Cartwright, Diurnal and Semidiurnal Variations in the Earth's Rotation Rate Induced by Ocean Tides, Science. vol. 264, pp. 830–832, **1994**.

[64] T. A. Herring, The IERS 1996 theory of precession/nutation, IERS Conventions 1996, IERS Technical Note 21. Observatoire de Paris, pp. 25–32, **1996**.

[65] N. Capitaine, D. Gambis, D. D. McCarthy, G. Petit, J. Ray, B. Richter, M. Rothacher, E. M. Standish, J. Vondrak, Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions, in IERS Technical Note 29, **2002**.

[66] R. S. Gross, Ocean tidal effects on Earth rotation, J. Geodyn., vol. 48, no. 3–5, pp. 219–225, **2009**.

[67] D. S. Robertson, W. E. Carter, J. Campbell, and H. Schuh, Daily Earth rotation determinations from IRIS Very Long Baseline Interferometry, Nature, vol. 316, no. 6027, pp. 424–427, **1985**.

[68] O. J. Sovers, J. L. Fanselow, and C. S. Jacobs, Astrometry and geodesy with radio interferometry: Experiments, models, results, Rev. Mod. Phys., vol. 70, no. 4 PART II, pp. 1393–1454, **1998**.

[69] M. Rothacher, G. Beutler, T. A. Herring, and R. Weber, Estimation of nutation using the Global Positioning System, J. Geophys. Res., vol. 104, no. B3, pp. 4835–4859, **1999**.

[70] P. Steigenberger, U. Hugentobler, S. Lutz, and R. Dach, CODE Contribution to the First IGS Reprocessing Campaign, Technical Report. Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, TU München, **2011**.

[71] K. Teke, J. Böhm, M. Madzak, Y. Kwak, and P. Steigenberger, GNSS zenith delays and gradients in the analysis of VLBI Intensive sessions, Adv. Sp. Res., vol. 56, no. 8, pp. 1667–1676, **2015**.

[72] IERS, Polar motion. https://www.iers.org/IERS/EN/Science/EarthRotation/PolarMotionPlot.html?nn=12932. (Erişim tarihi: **04-Apr-2020**).

[73] G. Petit and B. Luzum, IERS 2010 Conventions, IERS Technical Notes 36, no. March. Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodasie, pp. 1–23, **2010**.

[74] S. Aoki, B. R. Guinot, G. H. Kaplan, H. Kinoshita, D. D. McCarthy, and P. K. Seidelmann, The New Definition of Universal Time, Astron. Astrophys., vol. 105, pp. 359–361, **1982**.

[75] J. Böhm, T. Hobiger, R. Ichikawa, T. Kondo, Y. Koyama, A. Pany, H. Schuh, K. Teke, Asymmetric tropospheric delays from numerical weather models for UT1 determination from VLBI Intensive sessions on the baseline Wettzell-Tsukuba, J. Geod., vol. 84, no. 5, pp. 319–325, **2010**.

[76] H. G. Walter and O. J. Sovers, Astrometry of fundamental catalogues : the evolution from optical to radio reference frames. Springer, **2000**.

[77] I. I. Mueller, Reference coordinate systems: An update, in Theory of Satellite Geodesy and Gravity Field Determination, F. Sansó and R. Rummel, Eds. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, **1992**, pp. 153–196.

[78] G. H. Kaplan, F. J. Josties, P. E. Angerhofer, K. J. Johnston, and J. H. Spencer, Precise radio source positions from interferometric observations, Astron. J., vol. 87, p. 570, **1982**.

[79] W. Fricke, Determination of the equinox and equator of the FK5, Astron. Astrophys., vol. 107, pp. L13–L16, **1982**.

[80] H. Schwan, Precession and galactic rotation in the system of the FK5, Astron. Astrophys., vol. 198, pp. 116–124, **1988**.

[81] F. Mignard and M. Frœschlé, Global and local bias in the FK5 from the Hipparcos data, Astron. Astrophys., vol. 354, no. 2, pp. 732–739, **2000**.

[82] A. L. Fey, D. Gordon, C. S. Jacobs, C. Ma, R. A. Gaume, E. F. Arias, G. Bianco, D. A. Boboltz, S. Böckmann, S. Bolotin, P. Charlot, A. Collioud, G. Engelhardt, J. M. Gipson, A.M. Gontier, R. Heinkelmann, S. Kurdubov, S. Lambert, S. Lytvyn, D. S. MacMillan, Z. Malkin, A. Nothnagel, R. Ojha, E. Skurikhina, J. Sokolova, J. Souchay, O. J. Sovers, V. Tesmer, O. Titov, G. Wang, V. Zharov, The Second Realization Of The International Celestial Reference Frame By Very Long Baseline Interferometry, Astron. J., vol. 150, no. 2, p. 58, **2015**.

[83] P. M. Mathews, T. A. Herring, and B. A. Buffett, Modeling of nutation and precession: New nutation series for nonrigid Earth and insights into the Earth's interior, J. Geophys. Res., vol. 107, no. B4, **2002**.

[84] IAU, The Third Realization of The International Celestial Reference Frame, in Proceedings of Thirtieth General Assembly, **2018**.

[85] C. Boucher, Relativistic effects in geodynamics, in Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry, **1986**, pp. 241–253.

[86] IUGG, 1991 Resolutions 2, in XX. IUGG General Assembly, **1991**.

[87] Z. Altamimi, P. Rebischung, L. Métivier, and X. Collilieux, ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 121, no. 8, pp. 6109–6131, **2016**.

[88] C. Bizouard, S. Lambert, O. Becker, and J. Y. Richard, Combined solution C04 for Earth Rotation Parameters consistent with International Terrestrial Reference Frame 2014. Observatoire de Paris, SYRTE, 61 av. de l'Observatoire, Paris, **2017**.

[89] Z. Altamimi, P. Rebischung, L. Métivier, and X. Collilieux, Analysis and results of ITRF2014. Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodasie, IERS2010 Conventions, IERS Technical Note 38, Frankfurt am Main, **2012**.

[90] N. Capitaine, The Determination of Earth Orientation by VLBI and GNSS: Principles and Results, in The Science of Time 2016 Time in Astronomy & Society, Past, Present and Future, E. F. Arias, L. Combrinck, P. Gabor, C. Hohenkerk, and P. K. Seidelmann, Eds. Springer, **2016**, pp. 167–196.

[91] N. Capitaine, A. H. Andrei, M. R. Calabretta, V. Dehant, T. Fukushima, B. R. Guinot, C. Y. Hohenkerk, G. H. Kaplan, S. A. Klioner, J. Kovalevsky, I. I. Kumkova, C. Ma, D. D. McCarthy, P. K. Seidelmann, P. T. Wallace, Proposed terminology in fundamental astronomy based on IAU 2000 resolutions, Highlights Astron., vol. 2, no. 14, pp. 474–475, **2006**.

[92] S. Lambert and C. Bouzard, Positioning the Terrestrial Ephemeris Origin in the International Terrestrial Reference Frame, Astron. Astrophys., vol. 394, no. 1, pp. 317–321, **2002**.

[93] N. Capitaine, B. R. Guinot, and D. D. McCarthy, Definition of the celestial ephemeris origin and of UT1 in the international celestial reference frame, Astron. Astrophys., vol. 355, no. 1, pp. 398–405, **2000**.

[94] N. Capitaine, J. Chapront, S. Lambert, and P. T. Wallace, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, Astron. Astrophys., vol. 400, no. 3, pp. 1145–1154, **2003**.

[95] P. J. M. Cerveira, Tidal and non-tidal contributions to surface loading processes on station coordinates, Doktora Tezi, Vermessung und Geoinformation Technische Universität Wien, **2006**.

[96] A. E. H. Love, Some problems of geodynamics. Cambridge: Cambridge University Press, **1911**.

[97] J. M. Wahr, Body tides on an elliptical, rotating, elastic and oceanless earth, Geophys. J. R. Astron. Soc., vol. 64, no. 3, pp. 677–703, **1981**.

[98] P. M. Mathews, B. A. Buffett, and I. I. Shapiro, Love numbers for a rotating spheroidal Earth: New definitions and numerical values, Geophys. Res. Lett., vol. 22, no. 5, pp. 579–582, **1995**.

[99] P. J. Clarke and N. T. Penna, Ocean tide loading and relative GNSS in the British Isles, Surv. Rev., vol. 42, no. 317, pp. 212–228, **2010**.

[100] D. E. Cartwright and R. J. Tayler, New Computations of the Tide-generating Potential, Geophys. J. R. Astron. Soc., vol. 23, no. 1, pp. 45–73, **1971**.

[101] D. E. Cartwright and A. C. Edden, Corrected Tables of Tidal Harmonics, Geophys. J. Int., vol. 33, no. 3, pp. 253–264, **1973**.

[102] T. Hartmann and H.-G. Wenzel, The HW95 tidal potential catalogue, Geophys. Res. Lett., vol. 22, no. 24, pp. 3553–3556, **1995**.

[103] Y. Tamura, A harmonic development of the tide-generating potential, Marées Terr. Bull. d'Informations, vol. 99, pp. 6813–6855, **1987**.

[104] E. W. Schwiderski and L. Szeto, The NSWC Global Ocean Tide Data Tape (GOTD), Its Features and Application, Random-Point Tide Program. NSWC-TR 81-254, Naval Surface Weapons Center, Dahlgren, VA, p. 19, **1981**.

[105] R. J. Eanes and S. Bettadpur, The CSR 3.0 global ocean tide model: diurnal and semi-diurnal ocean tides from TOPEX/POSEIDON altimetry, Technical Memorandum,. Center for Space Research, the University of Texas, Austin, **1995**.

[106] G. D. Egbert, A. F. Bennett, and M. G. G. Foreman, TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model, J. Geophys. Res., vol. 99, no. C12, p. 24821, **1994**.

[107] C. Le Provost, M. L. Genco, F. H. Lyard, P. Vincent, and P. Canceil, Spectroscopy of the world ocean tides from a finite element hydrodynamic model, J. Geophys. Res., vol. 99, no. C12, p. 24777, **1994**.

[108] C. Le Provost, F. H. Lyard, J.-M. Molines, M. L. Genco, and F. Rabilloud, A hydrodynamic ocean tide model improved by assimilating a satellite altimeter-derived data set, J. Geophys. Res. Ocean., vol. 103, no. C3, pp. 5513–5529, **1998**.

[109] F. Lefèvre, F. H. Lyard, and C. Le Provost, FES98: A new global tide finite element solution independent of altimetry, Geophys. Res. Lett., vol. 27, no. 17, pp. 2717–2720, **2000**.

[110] F. Lefèvre, F. H. Lyard, C. Le Provost, and E. J. O. Schrama, FES99: A Global Tide Finite Element Solution Assimilating Tide Gauge and Altimetric Information, J. Atmos. Ocean. Technol., vol. 19, no. 9, pp. 1345–1356, **2002**.

[111] T. Letellier, Etude des ondes de marée sur les plateaux continentaux, Doktora Tezi, **2005**.

[112] L. Carrere, F. H. Lyard, M. Cancet, and A. Guillot, FES2014, a new tidal model on the global ocean with enhanced accuracy in shallow seas and in the Arctic region, in EGU General Assembly Conference Abstracts, **2015**, p. 5481.

[113] R. D. Ray, Precise comparisons of bottom-pressure and altimetric ocean tides, J. Geophys. Res. Ocean., vol. 118, no. 9, pp. 4570–4584, **2013**.

[114] R. Savcenko and W. Bosch, EOT08a – empirical ocean tide model from multi-mission satellite altimetry. DGFI Report 81, Deutshes Geodätisches Forschungsinstitut, Munich, **2008**.

[115] O. B. Andersen, Global Ocean Tide Model. https://www.space.dtu.dk/english/research/scientific_data_and_models/global_ocean_tide_model. (Erişim tarihi: **22-Aug-2019)**.

[116] K. Matsumoto, T. Takanezawa, and M. Ooe, Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan, J. Oceanogr., vol. 56, pp. 567–581, **2000**.

[117] S. D. Desai, Observing the pole tide with satellite altimetry, J. Geophys. Res., vol. 107, no. C11, p. 3186, **2002**.

[118] J. M. Wahr, Deformation induced by polar motion, J. Geophys. Res., vol. 90, no. B11, p. 9363, **1985**.

[119] W. H. Munk and G. J. F. MacDonald, The Rotation of the Earth, Science, vol. 134, no. 3491, pp. 1683–1684, **1960**.

[120] L. Petrov and J. -P. Boy, Study of the atmospheric pressure loading signal in very long baseline interferometry observations, J. Geophys. Res., vol. 109, no. B3, p. B03405, **2004**.

[121] P. Tregoning and C. Watson, Atmospheric effects and spurious signals in GPS analyses, J. Geophys. Res., vol. 114, no. B9, p. B09403, **2009**.

[122] R. D. Ray and R. M. Ponte, Barometric tides from ECMWF operational analyses, Ann. Geophys., vol. 21, no. 8, pp. 1897–1910, **2003**.

[123] H. M. van den Dool, S. Saha, J. Schemm, and J. Huang, A temporal interpolation method to obtain hourly atmospheric surface pressure tides in Reanalysis 1979-1995, J. Geophys. Res. Atmos., vol. 102, no. D18, pp. 22013–22024, **1997**.

[124] O. Francis and P. Mazzega, Global charts of ocean tide loading effects, J. Geophys. Res., vol. 95, no. C7, p. 11411, **1990**.

[125] W. Rabbel and H. Schuh, The influence of atmospheric loading on VLBI-experiments., J. Geophys. - Zeitschrift fur Geophys., vol. 59, no. 3, pp. 164–170, **1986**.

[126] J. Campbell, From Quasar to Benchmarks: VLBI Links Heaven and Earth, in IVS 2000 General Meeting Proceedings, no. NASA/CP-2000-20, **2000**, pp. 19–34.

[127] K. Teke, E. T. Kayıkçı, J. Böhm, and H. Schuh, Çok Uzun Baz Enterferometrisi (VLBI) ölçülerinin modellenmesi, Jeodezi ve Jeoinformasyon Derg., vol. 1, no. 1, pp. 65–74, **2012**.

[128] O. J. Sovers and C. S. Jacobs, Observation Model and Parameter Partials for the JPL VLBI Parameter Estimation Software 'MODEST'-1994, Rev. 5, vol. 83–39, **1994**.

[129] J. Böhm, S. Böhm, T. Nilsson, A. Pany, L. Plank, H. Spicakova, K. Teke, H. Schuh, The New Vienna VLBI Software VieVS, in Proceedings of International Association of Geodesy Symposia, **2012**, Geodesy fo., vol. 136, pp. 1007–1011.

[130] T. A. Herring, J. L. Davis, and I. I. Shapiro, Geodesy by radio interferometry: the application of Kalman filtering to the analysis of very long baseline interferometry data, J. Geophys. Res., vol. 95, no. B8, pp. 12561–12581, **1990**.

[131] J. L. Davis, G. Elgered, A. E. Niell, and C. E. Kuehn, Ground-based measurement of gradients in the 'wet' radio refractivity of air, Radio Sci., vol. 28, no. 6, pp. 1003–1018, **1993**.

[132] J. W. Marini, Correction of Satellite Tracking Data for an Arbitrary Tropospheric Profile, Radio Sci., vol. 7, no. 2, pp. 223–231, **1972**.

[133] D. S. MacMillan, Atmospheric gradients from very long baseline interferometry observations, Geophys. Res. Lett., vol. 22, no. 9, pp. 1041–1044, **1995**.

[134] A. Nothnagel and C. Steinforth, IVS Analysis Coordination, CSTG Bulletin, Progress Report 2001, pp. 84–90, **2002**.

[135] W. Schlüter and D. Behrend, The international VLBI service for geodesy and astrometry (IVS): Current capabilities and future prospects, J. Geod., vol. 81, no. 6–8, pp. 379–387, **2007**.

[136] H. Schuh, C. Ma, and A. Nothnagel, Preface, J. Geod., vol. 81, no. 6–8, pp. 377–378, **2007**.

[137] IVS, IVS Network Stations. https://ivscc.gsfc.nasa.gov/stations/ns-map.html. (Erişim tarihi: **30-May-2020**).

[138] R. Hirvonen, Adjustment by least squares in geodesy and photogrammetry. New York: Frederick Ungar Publishing Co. Inc., **1971**.

[139] P. R. Wolf and C. D. Ghilani, Adjustment computations : statistics and least squares in surveying and GIS. New York: John Wiley & Sons, **1997**.

[140] E. Brockmann, Combination of solutions for geodetic and geodynamic applications of the Global Positioning System (GPS)., Technical Report 55, Geodätisch Geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Schweizerische Geodätische Kommission, **1997**.

[141] H. Demirel, Dengeleme Hesabı, 2. Baskı. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, **2005**.

[142] K.-R. Koch, Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, **1999**.

[143] T. Nilsson, B. Soja, M. Karbon, R. Heinkelmann, and H. Schuh, Application of Kalman filtering in VLBI data analysis, Earth, Planets Sp., vol. 67, no. 1, **2015**.

[144] R. G. Brown and P. Y. C. Hwang, Introduction to random signals and applied Kalman filtering with Matlab exercises, 4th ed. ABD: John Wiley & Sons, Inc., **2012**.

[145] J. Böhm, S. Böhm, J. Boisits, A. Girdiuk, J. Gruber, A. Hellerschmied, H. Krásná, D. Landskron, M. Madzak, D. Mayer, J. McCallum, L. McCallum, M. Schartner,

K. Teke, Vienna VLBI and Satellite Software (VieVS) for Geodesy and Astrometry, Publ. Astron. Soc. Pacific, vol. 130:044503, no. 986, pp. 1–6, **2018**.

[146] K. Teke, J. Boehm, H. Schuh, and E. Tanir, Piecewise Linear Offsets for VLBI Parameter Estimation, in Proceedings of the 19th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting, **2009**, pp. 63–67.

[147] C. Bizouard, S. Lambert, C. Gattano, O. Becker, and J. Y. Richard, The IERS EOP 14C04 solution for Earth orientation parameters consistent with ITRF 2014, J. Geod., vol. 93, no. 5, pp. 621–633, **2019**.

[148] J. L. Davis, T. A. Herring, I. I. Shapiro, A. E. E. Rogers, and G. Elgered, Geodesy by radio interferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length, Radio Sci., vol. 20, no. 6, pp. 1593–1607, **1985**.

[149] G. Chen and T. A. Herring, Effects of atmospheric azimuthal asymmetry on the analysis of space geodetic data, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 102, no. B9, pp. 20489–20502, **1997**.

[150] D. Landskron and J. Böhm, VMF3/GPT3: refined discrete and empirical troposphere mapping functions, J. Geod., vol. 92, no. 4, pp. 349–360, **2017**.

[151] K. Lambeck, Geophysical geodesy : the slow deformations of the earth. Oxford: Oxford University Press, **1988**.

[152] D. D. McCarthy, IERS 1996 Conventions, IERS Technical Notes 21. Verlag des Bundesamt für Kartographie und 673 Geodäsie, Frankfurt am Main., **1996**.

[153] H.-G. Scherneck, Explanatory supplement to the section 'Local Site Displacement due to Ocean Loading' of IERS 1996 Conventions Chapter 6 and 7. Verlag des 713 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, pp. 19–23, **1999**.

[154] K. H. Zahran, G. Jentzsch, and G. Seeber, Accuracy assessment of ocean tide loading computations for precise geodetic observations, J. Geodyn., vol. 42, no. 4–5, pp. 159–174, **2006**.

[155] M. S. Bos and H.-G. Scherneck, Computation of Green's Functions for Ocean Tide Loading, in Sciences of Geodesy - II, Guochang Xu, Ed. Springer, **2013**, pp. 1–52.

[156] A. M. Dziewonski and D. L. Anderson, Preliminary reference Earth model, Phys. Earth Planet. Inter., vol. 25, no. 4, pp. 297–356, **1981**.

[157] G. Jentzsch, Earth tides and ocean tidal loading, in Tidal Phenomena, H. Wilhelm, W. Zurm, and H. Gwenzel, Eds. Springer, **1997**, pp. 145–171.

[158] M. G. G. Foreman, Manual for tidal heights analysis and prediction, Pacific Mar. Sci. Rep., vol. 77–10, pp. 1–58, **1977**.

EKLER

EK 1 –Klasik Gauss Markov ve Kalman Filtresi Yöntemleri ile Elde Edilen Gelgitlerin Gerçek ve Sanal Bileşenleri

Klasik Gauss Markov

```
$$ Ocean loading displacement
$$
$$ OTL provider: Calculating from models using Least Square
$$ Created by Teke & Ozel
$$
$$ COLUMN ORDER:  M2  S2  N2  K2  K1  O1  P1  Q1  MF  MM SSA
$$
$$ ROW ORDER:
$$ AMPLITUDES (m)
$$   RADIAL
$$   TANGENTL    EW
$$   TANGENTL    NS
$$ PHASES (degrees)
$$   RADIAL
$$   TANGENTL    EW
$$   TANGENTL    NS
$$
$$ Displacement is defined positive in upwards, South and West direction.
$$ The phase lag is relative to Greenwich and lags positive. The STW105
$$ Greens function is used. The deficit of tidal water mass in the tide
$$ model has been corrected by subtracting a uniform layer of water with
$$ a certain phase lag globally.
$$
$$ CMC:  NO (corr.tide centre of mass)
$$
$$ OTL_Estimation_comp: m2 s2 n2 k2 k1 o1 p1 q1
$$ FES2014b_comp: Mf Mm Ssa
$$
$$ END HEADER
$$
  NYALES20
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:24
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ NYALES20              RADI TANG  lon/lat:  11.8697   78.9291    87.374
  .00923 .00331 .00215 .00115 .00047 .00200 .00038 .00066 .00189 .00118 .00116
  .00287 .00077 .00060 .00029 .00040 .00059 .00016 .00025 .00007 .00005 .00004
  .00153 .00040 .00033 .00012 .00058 .00019 .00013 .00002 .00003 .00001 .00001
   177.7 -134.9  158.2 -111.9  -65.4 -123.5  -56.6 -145.7   27.3   17.1    1.8
   -15.0   27.1  -34.7   22.7  123.4   53.4 -135.3   17.9 -164.6 -166.7  179.5
   -28.8   -9.0  -61.5   28.0  136.8   44.9  119.5  -53.8   28.9   16.8   -5.1
$$
  GILCREEK
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
```

```
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ GILCREEK              RADI TANG  lon/lat:-147.4975   64.9784   332.085
  .01002 .00310 .00164 .00210 .00611 .00418 .00238 .00118 .00106 .00064 .00061
  .00005 .00008 .00023 .00016 .00167 .00105 .00040 .00035 .00006 .00003 .00002
  .00291 .00116 .00047 .00054 .00212 .00107 .00080 .00039 .00016 .00006 .00003
   102.8  129.1   80.3  118.8   93.1   82.8  103.4  113.6   16.2   11.1    1.2
    74.2 -150.7   54.2   96.0  -25.2  -89.9  -33.1 -104.6  166.6  168.6  179.8
   -89.9  -42.1 -110.4  -64.3  -87.4 -115.9  -68.9 -100.9  130.7  101.7   14.2
$$
  SVETLOE
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ SVETLOE               RADI TANG  lon/lat:  29.7819   60.5323    86.036
  .00151 .00150 .00055 .00065 .00202 .00283 .00058 .00050 .00073 .00043 .00044
  .00094 .00020 .00020 .00021 .00065 .00039 .00020 .00029 .00006 .00005 .00005
  .00005 .00014 .00010 .00028 .00053 .00032 .00008 .00043 .00003 .00001 .00001
   -62.9   -6.7  175.9   -4.7  -69.7  -87.3  -51.4 -167.5   19.1   12.6    2.6
    29.7  114.6   52.8   96.5  115.0   51.0   80.5 -135.7 -158.1 -155.5 -175.7
   -62.2   21.0   31.1  -19.4   98.4  -22.5 -139.3  -13.3   54.8   27.3   -4.9
$$
  ONSALA60
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ ONSALA60              RADI TANG  lon/lat:  11.9264   57.3958    59.304
  .00328 .00096 .00110 .00010 .00341 .00128 .00082 .00089 .00090 .00052 .00054
  .00161 .00047 .00065 .00002 .00077 .00017 .00007 .00010 .00013 .00007 .00006
  .00076 .00030 .00018 .00011 .00041 .00027 .00043 .00032 .00001 .00001 .00000
   -64.5   -5.7  -64.0  -98.9  -56.8 -129.3  -55.3  -59.0   18.2   12.0    2.5
    86.4  103.0   42.2 -133.2  118.2   82.6  170.2   57.8 -169.8 -174.8  177.0
   122.0 -177.4  129.1  147.0   76.9 -105.2   67.4  141.9   93.8   66.8 -159.8
$$
  BADARY
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ BADARY                RADI TANG  lon/lat: 102.2339   51.7703   821.607
  .00121 .00183 .00157 .00069 .00258 .00184 .00268 .00143 .00038 .00022 .00020
  .00092 .00054 .00086 .00049 .00099 .00051 .00032 .00018 .00007 .00002 .00000
  .00080 .00095 .00015 .00039 .00015 .00025 .00020 .00038 .00005 .00002 .00001
   115.1   71.9   64.6 -111.5 -158.5 -111.6 -149.1 -137.6   16.5    9.7    0.5
    60.8   69.3   83.5   34.0 -114.1 -106.4 -135.0  -54.5  -31.7  -54.4 -140.5
   -15.5  -15.6  -38.0  -69.2  -38.5  164.4  118.8  115.4  165.8  142.9  176.6
$$
  WETTZELL
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ WETTZELL              RADI TANG  lon/lat:  12.8775   49.1450   669.119
  .00575 .00291 .00121 .00039 .00232 .00130 .00118 .00050 .00051 .00028 .00026
  .00219 .00063 .00052 .00013 .00036 .00010 .00013 .00009 .00005 .00003 .00003
  .00016 .00000 .00010 .00009 .00031 .00019 .00014 .00013 .00002 .00002 .00001
   -69.0  -19.1  -82.8  -70.4  -41.5 -116.8  -86.7  149.6    9.7    7.2    1.4
```

```
   74.5  100.1   54.0  105.7   89.0  155.6   90.0 -114.2 -177.2 -170.8  176.4
 -110.0  -31.4  -37.5  159.7  143.9 -129.0   81.9 -126.6 -176.0 -175.2  176.3
$$
  MEDICINA
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ MEDICINA              RADI TANG  lon/lat:  11.6469   44.5205    67.154
  .00500 .00257 .00210 .00139 .00336 .00120 .00102 .00014 .00044 .00024 .00021
  .00225 .00060 .00048 .00024 .00050 .00044 .00012 .00011 .00002 .00002 .00001
  .00037 .00042 .00019 .00002 .00045 .00030 .00028 .00053 .00004 .00003 .00002
   -84.8  -32.9  -79.8  -55.4  -57.6  -92.1  174.9 -115.7    3.5    5.7    0.8
    82.7   95.8   79.0  104.6  175.1 -157.9 -149.1   89.8  178.6 -170.4  173.7
   -80.9 -126.4 -162.0  -49.5   64.7  126.2 -135.3   93.0 -160.1 -164.1 -179.5
$$
  ZELENCHK
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ ZELENCHK              RADI TANG  lon/lat:  41.5652   43.7878  1175.058
  .00314 .00259 .00190 .00085 .00137 .00128 .00025 .00147 .00027 .00013 .00012
  .00125 .00026 .00035 .00054 .00010 .00025 .00015 .00019 .00003 .00003 .00003
  .00062 .00135 .00015 .00030 .00051 .00052 .00037 .00028 .00005 .00003 .00003
   -67.4   57.9 -102.9  113.3   98.8  -83.4  -45.1  -73.2    1.0   -1.3    5.1
    34.6  -65.1   22.3  114.3   58.4   96.3   64.6  135.2 -153.7 -154.0 -170.4
   136.4  136.1  100.2 -121.0  -81.4   71.1  -88.2   32.4 -155.8 -168.9 -176.1
$$
  WESTFORD
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ WESTFORD              RADI TANG  lon/lat: -71.4938   42.6129    86.764
  .00758 .00321 .00190 .00063 .00524 .00257 .00233 .00121 .00022 .00014 .00016
  .00335 .00036 .00104 .00044 .00053 .00082 .00022 .00007 .00005 .00004 .00004
  .00241 .00109 .00054 .00063 .00023 .00010 .00031 .00013 .00002 .00001 .00000
  -164.6 -150.4  176.8  153.5  -15.1    0.3  -22.7  -32.9   61.8   33.9    3.7
  -121.0 -147.6 -148.4  119.2  -23.2 -135.7 -145.0   43.2   96.8   50.0    3.6
   -29.0   -6.1  -45.8    1.9  -31.8  134.3  174.6  -87.0  -25.8  -63.6    9.3
$$
  MATERA
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ MATERA                RADI TANG  lon/lat:  16.7040   40.6495   543.364
  .00622 .00246 .00123 .00077 .00218 .00061 .00033 .00123 .00034 .00017 .00015
  .00151 .00050 .00036 .00003 .00022 .00020 .00012 .00013 .00002 .00002 .00001
  .00099 .00037 .00023 .00019 .00026 .00020 .00023 .00029 .00004 .00003 .00003
   -71.4  -43.0 -100.8  -57.0  -57.9  -96.4 -132.8  -83.8   -3.9    4.3    0.6
    60.8  111.4   70.8  -38.4  145.9  -81.2  157.5  114.4  177.4 -166.7  174.0
   -78.6  -49.4  -92.9 -105.4  -59.3 -174.6  -23.7   64.8 -147.5 -161.0 -179.0
$$
  YEBES40M
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
```

```
$$ YEBES40M              RADI TANG  lon/lat:  -3.0869   40.5247   988.925
  .01337 .00372 .00436 .00039 .00298 .00108 .00106 .00150 .00032 .00018 .00016
  .00428 .00132 .00070 .00020 .00040 .00011 .00023 .00013 .00001 .00001 .00000
  .00316 .00162 .00065 .00069 .00032 .00038 .00035 .00030 .00002 .00001 .00000
   -87.1  -76.8 -100.8 -121.4  -67.0 -101.4  -61.5   78.2    3.2    5.7    0.2
    63.6   77.3   59.1   33.8   13.3  -53.0  138.0  -91.0  115.1 -174.0  139.8
   -65.2  -26.9  -71.0  -65.4   19.6  125.8   88.1  -23.3  -42.2  -76.3 -152.3
$$
  TSUKUB32
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ TSUKUB32              RADI TANG  lon/lat: 140.0887   36.1031    84.646
  .00813 .00362 .00176 .00126 .01171 .00862 .00346 .00200 .00035 .00011 .00005
  .00302 .00191 .00036 .00040 .00264 .00235 .00060 .00022 .00010 .00003 .00000
  .00227 .00078 .00050 .00045 .00084 .00084 .00053 .00026 .00003 .00002 .00003
    55.7   64.8   76.8   37.2 -143.2 -154.5 -151.3 -173.4   -9.7  -29.5  -11.4
    -3.5   48.6  -24.6   45.7 -173.3  179.9 -170.3  151.1  -36.2  -39.9 -132.3
   -75.8  -20.2  -75.2  -74.8   65.4   57.1   75.7   18.2   54.0   39.1   -0.4
$$
  KASHIM34
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ KASHIM34              RADI TANG  lon/lat: 140.6601   35.9559    78.254
  .00857 .00424 .00136 .00078 .01009 .00821 .00637 .00060 .00037 .00012 .00005
  .00316 .00202 .00077 .00059 .00373 .00280 .00118 .00152 .00010 .00004 .00000
  .00317 .00121 .00055 .00108 .00195 .00130 .00101 .00057 .00003 .00003 .00004
    36.8   62.3  156.1   59.8 -156.9 -142.5 -131.5   89.4  -11.6  -30.7  -12.2
     2.1   47.4  -55.1   38.2 -166.5  169.8 -142.3 -167.4  -34.6  -39.7 -117.1
   -77.7   63.4  -37.4  179.5  102.4   53.6    4.7  -70.5   49.5   36.5   -0.3
$$
  SESHAN25
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ SESHAN25              RADI TANG  lon/lat: 121.1997   31.0992    29.418
  .00891 .00225 .00128 .00190 .00753 .00517 .00249 .00090 .00010 .00011 .00011
  .00169 .00092 .00076 .00036 .00273 .00280 .00069 .00024 .00007 .00003 .00002
  .00407 .00102 .00070 .00003 .00117 .00118 .00076 .00027 .00001 .00001 .00001
  -138.7  -88.6 -149.9  -46.9 -102.7 -123.0  -74.6 -130.7 -139.0 -151.1 -173.8
  -158.2 -139.7  146.2  127.7 -110.9 -133.5 -129.1  133.4  -46.5  -87.2 -166.9
   -17.0   30.2  -27.7 -146.3  133.8   77.6  154.1   83.1  148.9   66.2    2.6
$$
  KOKEE
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ KOKEE                 RADI TANG  lon/lat:-159.6651   22.1266  1176.594
  .01438 .00662 .00325 .00101 .01082 .00733 .00399 .00103 .00056 .00037 .00039
  .00265 .00067 .00045 .00060 .00233 .00044 .00058 .00024 .00001 .00001 .00000
  .00436 .00199 .00102 .00089 .00249 .00134 .00088 .00044 .00010 .00005 .00005
  -121.3 -122.7 -125.9 -120.1   66.1   55.7   52.8   55.2 -134.6 -155.5 -177.3
   131.8 -162.0  158.0   94.7   27.1  -31.0  -39.0  -59.1  165.6   75.6   -8.0
```

```
   96.0  140.5   90.6  142.3   99.9   83.0   91.0   66.4   -4.3    1.6   -0.0
$$
  FORTLEZA
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ FORTLEZA              RADI TANG  lon/lat: -38.4259   -3.8779    23.074
  .03918 .01372 .00763 .00265 .00251 .00394 .00373 .00109 .00115 .00061 .00053
  .00530 .00175 .00127 .00080 .00126 .00074 .00094 .00014 .00017 .00007 .00005
  .00562 .00109 .00105 .00103 .00193 .00083 .00059 .00041 .00017 .00009 .00007
    36.0   49.9   21.5   60.3   81.1   44.0  118.3    3.6 -176.2 -178.7 -179.6
    31.0   24.1    1.0   65.1 -151.1  -91.3  -47.1  -36.6  170.7  166.4  177.5
    52.0   71.0   22.4  105.0   92.9  123.3   17.8 -174.9 -178.3  177.4 -179.9
$$
  KATH12M
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ KATH12M               RADI TANG  lon/lat: 132.1524  -14.3755   189.249
  .00346 .00417 .00120 .00088 .00422 .00412 .00330 .00091 .00059 .00037 .00029
  .00169 .00137 .00052 .00063 .00243 .00116 .00102 .00049 .00005 .00002 .00001
  .00180 .00133 .00029 .00034 .00090 .00051 .00063 .00029 .00012 .00008 .00007
   123.6  143.3   94.9  -68.8   -3.8   -7.2    0.6  176.8 -175.3 -174.4 -179.0
    91.5  148.2   78.6  112.2  173.5  176.1  157.0 -167.7  -13.6 -114.9 -143.1
    69.1   57.7   74.6  -55.5  -51.9  -19.3   -3.0  -74.8 -170.1 -173.0 -179.8
$$
  HARTRAO
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ HARTRAO               RADI TANG  lon/lat:  27.6854  -25.8897  1415.704
  .01639 .00882 .00329 .00143 .00318 .00201 .00154 .00210 .00022 .00012 .00012
  .00195 .00090 .00044 .00142 .00183 .00199 .00086 .00052 .00002 .00001 .00001
  .00156 .00087 .00079 .00061 .00111 .00108 .00073 .00110 .00006 .00003 .00002
  -129.0  -75.4 -156.6 -140.0  102.3  104.0 -106.7   50.4 -155.3 -167.5 -178.1
    42.0   46.9  104.7   85.5  -69.5  -81.5  -99.9 -158.8  -51.1 -105.7  179.1
    84.7  174.4  -73.4  150.3  -19.8  -69.4   24.2  103.3  175.5  172.2  178.3
$$
  YARRA12M
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ YARRA12M              RADI TANG  lon/lat: 115.3456  -29.0471   248.205
  .00276 .00537 .00333 .00186 .01208 .00576 .00141 .00123 .00027 .00013 .00008
  .00256 .00132 .00058 .00283 .00378 .00073 .00173 .00048 .00008 .00002 .00001
  .00284 .00131 .00067 .00117 .00586 .00116 .00290 .00133 .00012 .00007 .00006
   160.8  -61.3  133.6 -117.5   12.5   -3.6   27.6  -91.1 -175.1 -178.4  177.6
  -146.7   19.0 -146.0  -36.9 -148.6 -174.1 -113.4  177.1  -16.2  -30.0  -30.1
  -129.1   83.6 -179.5  145.0   62.9  -86.5  105.6 -174.1 -173.9 -176.9  179.3
$$
  WARK12M
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ WARK12M               RADI TANG  lon/lat: 174.6633  -36.4348   127.914
```

```
 .03041 .00775 .00489 .00320 .00372 .00088 .00214 .00085 .00030 .00015 .00010
 .00906 .00084 .00227 .00050 .00013 .00032 .00083 .00039 .00001 .00000 .00001
 .00563 .00094 .00126 .00135 .00038 .00065 .00069 .00037 .00016 .00010 .00010
   58.7  142.2   21.4  111.9  158.5   44.6 -176.7   74.0   12.0    3.0   -1.0
  -18.4  -13.3  -39.3  158.7  141.0   33.3 -140.0  -97.3  -64.8  -73.2 -170.4
   14.0    0.1  -28.7   68.1  168.8  146.8 -160.2 -160.4 -163.6 -169.7 -179.0
$$
 HOBART26
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ HOBART26              RADI TANG  lon/lat: 147.4405  -42.8036    65.088
 .00936 .00178 .00173 .00039 .00790 .00837 .00366 .00167 .00064 .00037 .00034
 .00426 .00183 .00106 .00147 .00093 .00070 .00058 .00035 .00004 .00001 .00001
 .00202 .00106 .00031 .00027 .00093 .00129 .00015 .00103 .00015 .00009 .00008
  153.1  -91.5  106.3   43.2   83.5   63.8  110.9   87.9   10.6    5.9    0.3
   93.3  153.5   78.0  164.8  146.1  162.4  175.1 -177.1  -24.0  -44.9 -163.2
   70.8   17.8   32.7   14.0 -117.3 -153.8  138.7  -98.8 -166.9 -171.9 -179.2
$$
 HOBART12
$$ OTL_Estimation ID: 29-Oct-2019 14:02:25
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ HOBART12              RADI TANG  lon/lat: 147.4381  -42.8056    40.963
 .00948 .00137 .00370 .00131 .00373 .00506 .00328 .00172 .00064 .00037 .00034
 .00393 .00164 .00064 .00039 .00124 .00069 .00062 .00024 .00004 .00001 .00001
 .00167 .00124 .00053 .00044 .00108 .00110 .00087 .00026 .00015 .00009 .00008
  154.7  -38.3  147.6  -85.6   92.7   72.5   74.0   63.1   10.6    5.9    0.3
   95.7  140.0   84.7   63.3 -170.2  174.6  151.2  133.2  -24.0  -44.9 -163.2
   80.4  105.0   66.2    8.9 -142.0 -179.7 -152.3 -173.0 -166.9 -171.9 -179.2
$$ END TABLE
```

Kalman Filtresi

```
$$ Ocean loading displacement
$$
$$ OTL provider: Calculating from models using Least Square
$$ Created by Teke & Ozel
$$
$$ COLUMN ORDER:  M2  S2  N2  K2  K1  O1  P1  Q1  MF  MM SSA
$$
$$ ROW ORDER:
$$ AMPLITUDES (m)
$$   RADIAL
$$   TANGENTL    EW
$$   TANGENTL    NS
$$ PHASES (degrees)
$$   RADIAL
$$   TANGENTL    EW
$$   TANGENTL    NS
$$
$$ Displacement is defined positive in upwards, South and West direction.
```

```
$$ The phase lag is relative to Greenwich and lags positive. The STW105
$$ Greens function is used. The deficit of tidal water mass in the tide
$$ model has been corrected by subtracting a uniform layer of water with
$$ a certain phase lag globally.
$$
$$ CMC:  NO (corr.tide centre of mass)
$$
$$ OTL_Estimation_comp: m2 s2 n2 k2 k1 o1 p1 q1
$$ FES2014b_comp: Mf Mm Ssa
$$
$$ END HEADER
$$
  NYALES20
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ NYALES20              RADI TANG  lon/lat:  11.8697   78.9291    87.374
  .00918 .00318 .00216 .00077 .00117 .00176 .00035 .00054 .00188 .00118 .00116
  .00291 .00096 .00063 .00023 .00044 .00060 .00012 .00012 .00007 .00005 .00004
  .00154 .00069 .00039 .00021 .00076 .00050 .00023 .00012 .00003 .00001 .00001
   175.5 -137.0  168.8 -144.6   -7.3 -110.0    0.8 -150.9   27.3   17.1    1.8
   -16.5   31.2  -29.3   36.2   95.2   58.3   94.4   21.4 -165.1 -166.9  179.4
   -22.0   20.9  -34.1   16.1  140.4   67.1  142.6   12.4   29.2   17.1   -4.8
$$
  GILCREEK
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ GILCREEK              RADI TANG  lon/lat:-147.4975   64.9784   332.085
  .00962 .00375 .00175 .00120 .00603 .00428 .00182 .00083 .00106 .00064 .00061
  .00067 .00019 .00022 .00008 .00110 .00089 .00033 .00019 .00006 .00003 .00002
  .00357 .00128 .00068 .00037 .00264 .00164 .00078 .00033 .00017 .00006 .00003
   101.5  133.8   83.3  136.0  103.2   84.0   98.2   72.2   16.2   11.1    1.2
    70.2  -52.0   35.3  -53.6   -3.1  -44.7   -7.2  -64.6  166.8  168.9  179.8
   -83.3  -50.2 -104.3  -43.7  -98.4 -120.2 -102.4 -130.8  130.7  101.6   14.1
$$
  SVETLOE
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ SVETLOE               RADI TANG  lon/lat:  29.7819   60.5323    86.036
  .00179 .00075 .00039 .00021 .00172 .00141 .00049 .00022 .00073 .00043 .00044
  .00092 .00016 .00026 .00005 .00044 .00051 .00013 .00011 .00006 .00005 .00005
  .00040 .00010 .00008 .00003 .00028 .00015 .00009 .00003 .00003 .00001 .00001
   -68.3  -27.6  -99.1  -50.5  -62.0 -101.0  -64.6 -141.6   19.1   12.6    2.6
    36.2   71.8    7.1   62.2  100.1   48.3   98.5   14.6 -158.2 -155.6 -175.8
  -164.8 -142.9  163.0 -144.8   51.9  -21.7   55.1  -69.0   54.6   27.4   -4.3
$$
  ONSALA60
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ ONSALA60              RADI TANG  lon/lat:  11.9264   57.3958    59.304
  .00325 .00130 .00075 .00033 .00254 .00133 .00077 .00013 .00090 .00052 .00054
```

```
  .00156 .00041 .00034 .00010 .00050 .00049 .00015 .00008 .00013 .00007 .00006
  .00075 .00028 .00022 .00006 .00034 .00020 .00012 .00004 .00001 .00001 .00000
   -63.7  -41.4 -105.3  -57.9  -53.1 -113.0  -53.3 -174.3   18.2   12.0    2.5
    88.4  123.7   56.7  104.1  101.9   39.9   98.5   -4.5 -169.9 -174.8  176.9
   108.2  138.9   82.8  140.0   42.8  -37.5   44.7 -113.5   91.1   63.8 -155.3
$$
  BADARY
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ BADARY               RADI TANG  lon/lat: 102.2339   51.7703   821.607
  .00085 .00066 .00017 .00017 .00222 .00195 .00071 .00041 .00038 .00022 .00020
  .00055 .00034 .00017 .00008 .00049 .00031 .00016 .00005 .00007 .00002 .00000
  .00028 .00018 .00010 .00004 .00039 .00028 .00013 .00003 .00005 .00002 .00001
    85.3   80.2  111.7   61.5 -123.8 -128.1 -113.6 -135.2   16.5    9.7    0.5
   152.6  132.5  156.7  120.7 -116.6 -129.6 -106.9 -137.2  -31.7  -54.4 -140.3
    86.0   62.5   88.9   53.1  148.2  133.0  159.1  134.3  165.9  143.2  176.6
$$
  WETTZELL
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ WETTZELL             RADI TANG  lon/lat:  12.8775   49.1450   669.119
  .00537 .00189 .00115 .00051 .00210 .00103 .00065 .00009 .00051 .00028 .00026
  .00211 .00054 .00047 .00015 .00040 .00030 .00013 .00005 .00005 .00003 .00003
  .00034 .00017 .00004 .00005 .00035 .00010 .00011 .00001 .00002 .00002 .00001
   -72.0  -40.6  -91.9  -56.8  -61.9  -95.8  -62.4 -141.3    9.7    7.2    1.4
    79.4  114.8   55.8   98.5  101.0   40.4   98.0  -10.7 -177.1 -170.9  176.4
   -35.1   -4.1  -32.8  -26.6   40.3   -3.4   41.5  165.9 -176.4 -175.3  176.2
$$
  MEDICINA
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ MEDICINA             RADI TANG  lon/lat:  11.6469   44.5205    67.154
  .00561 .00204 .00121 .00053 .00222 .00105 .00067 .00011 .00044 .00024 .00021
  .00233 .00066 .00053 .00019 .00029 .00016 .00007 .00004 .00002 .00002 .00001
  .00082 .00028 .00014 .00007 .00024 .00006 .00007 .00003 .00004 .00003 .00002
   -71.4  -40.9  -87.7  -53.4  -67.5  -96.6  -65.9 -122.5    3.5    5.6    0.8
    77.5  107.5   55.0   92.9  151.3   32.3  152.0  -56.0  178.5 -170.4  173.8
   -66.4  -23.4  -89.0  -33.7   45.8   61.6   45.7  124.1 -160.2 -164.1 -179.5
$$
  ZELENCHK
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ ZELENCHK             RADI TANG  lon/lat:  41.5652   43.7878  1175.058
  .00283 .00113 .00067 .00029 .00072 .00088 .00024 .00017 .00027 .00013 .00012
  .00084 .00018 .00024 .00005 .00041 .00024 .00013 .00005 .00003 .00003 .00003
  .00074 .00018 .00015 .00007 .00067 .00040 .00020 .00008 .00005 .00003 .00003
   -67.5  -32.5  -81.6  -49.9 -126.8 -117.0 -122.7 -149.8    1.0   -1.3    5.1
    -0.5    1.6   -7.9   -9.0  118.6   69.6  123.6   51.7 -153.8 -154.0 -170.4
  -125.3 -109.4 -151.7 -121.1   19.4   20.9   25.1   10.1 -155.9 -169.0 -176.2
$$
```

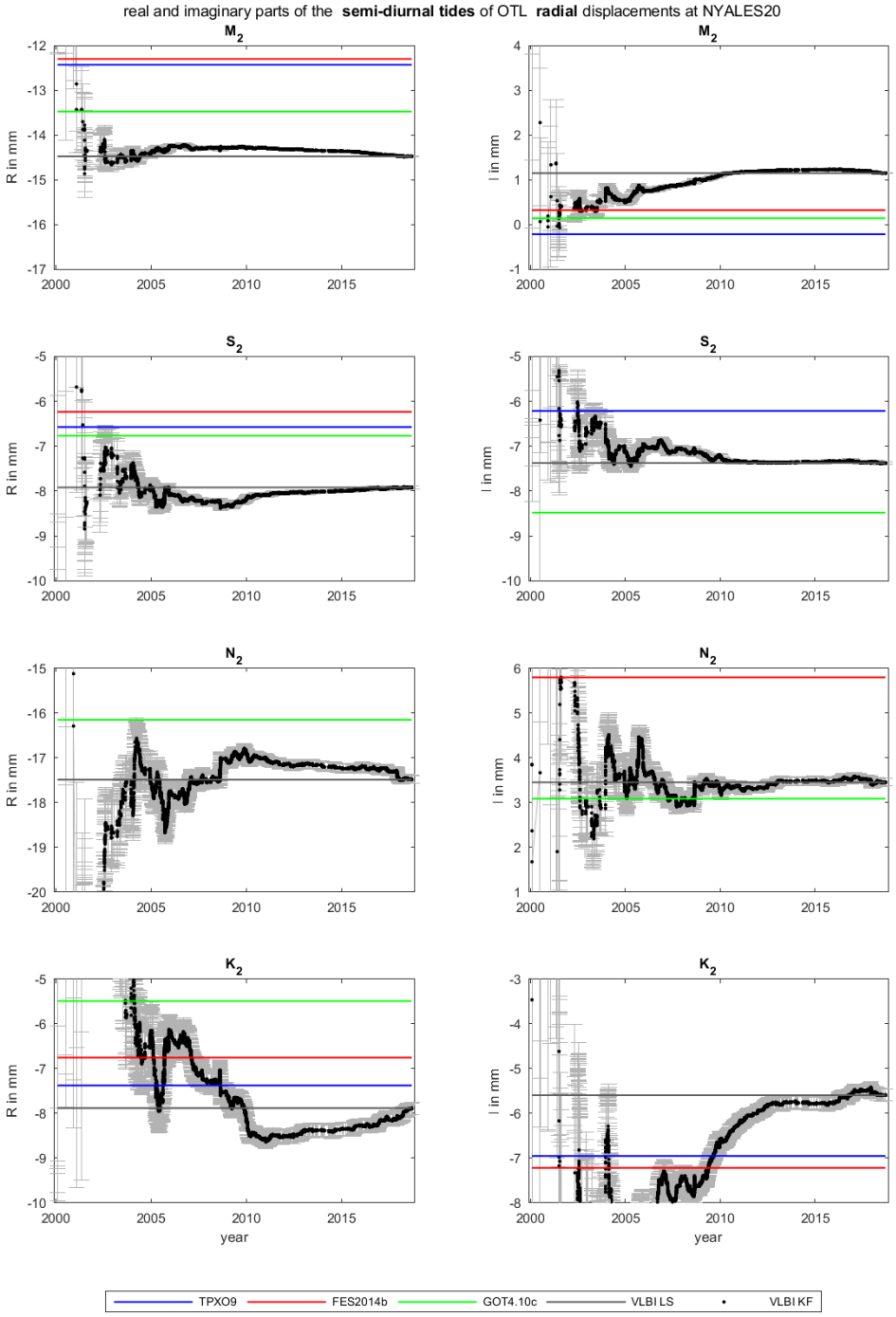
```
  WESTFORD
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ WESTFORD              RADI TANG  lon/lat: -71.4938   42.6129    86.764
  .00749 .00182 .00182 .00048 .00437 .00316 .00130 .00062 .00022 .00014 .00016
  .00378 .00049 .00093 .00014 .00048 .00022 .00013 .00003 .00005 .00004 .00004
  .00188 .00050 .00040 .00011 .00041 .00036 .00012 .00010 .00002 .00001 .00000
  -168.8 -168.2  177.5 -174.2   -7.0    3.7   -5.4   -9.6   61.8   33.9    3.7
  -128.7 -119.6 -150.9 -140.9  -17.1   31.7  -16.6   -7.5   96.7   49.9    3.6
   -16.4   11.4  -30.2   16.0  172.7 -153.1  172.4  178.6  -25.6  -63.3    9.1
$$
  MATERA
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ MATERA                RADI TANG  lon/lat:  16.7040   40.6495   543.364
  .00569 .00211 .00120 .00063 .00154 .00079 .00048 .00011 .00034 .00017 .00015
  .00134 .00025 .00033 .00007 .00038 .00017 .00012 .00001 .00002 .00002 .00001
  .00096 .00035 .00016 .00012 .00028 .00010 .00008 .00004 .00004 .00003 .00003
   -79.7  -57.2  -89.1  -73.4  -76.8 -102.8  -77.1 -112.6   -3.9    4.2    0.6
    65.3   98.7   42.7   76.5  137.8   74.7  136.8  -36.8  177.3 -166.6  174.0
   -78.0  -42.8  -94.2  -58.8   35.1   60.5   34.9  104.7 -147.6 -161.0 -179.0
$$
  YEBES40M
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ YEBES40M              RADI TANG  lon/lat:  -3.0869   40.5247   988.925
  .01460 .00484 .00319 .00110 .00244 .00040 .00084 .00018 .00032 .00018 .00016
  .00453 .00139 .00102 .00033 .00035 .00024 .00012 .00010 .00001 .00001 .00000
  .00331 .00120 .00065 .00026 .00025 .00020 .00007 .00010 .00002 .00001 .00000
   -87.4  -61.5 -102.5  -76.1  -67.4  -99.3  -64.4   88.4    3.2    5.7    0.2
    69.8   91.9   54.4   79.6   57.1  -28.3   55.6  -76.7  116.6 -174.0  141.1
   -61.2  -26.0  -79.2  -40.7  -24.9 -162.8  -35.3  158.8  -41.7  -74.8 -146.9
$$
  TSUKUB32
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ TSUKUB32              RADI TANG  lon/lat: 140.0887   36.1031    84.646
  .00795 .00434 .00121 .00142 .01123 .00890 .00337 .00173 .00035 .00011 .00005
  .00278 .00146 .00035 .00045 .00240 .00201 .00073 .00039 .00010 .00003 .00000
  .00225 .00076 .00047 .00019 .00195 .00151 .00060 .00029 .00003 .00002 .00003
    50.0   71.0   58.4   59.4 -140.2 -151.4 -136.8 -157.7   -9.7  -29.5  -11.5
   -13.2   26.1  -24.8   19.1 -173.4  174.2 -169.8  167.5  -36.3  -39.9 -132.9
   -78.2  -61.9  -89.3  -70.9   84.7   73.5   88.4   64.3   53.1   38.6   -0.5
$$
  KASHIM34
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ KASHIM34              RADI TANG  lon/lat: 140.6601   35.9559    78.254
  .00946 .00501 .00133 .00149 .01212 .00933 .00434 .00203 .00037 .00012 .00005
  .00306 .00156 .00036 .00041 .00243 .00196 .00088 .00044 .00010 .00004 .00000
```

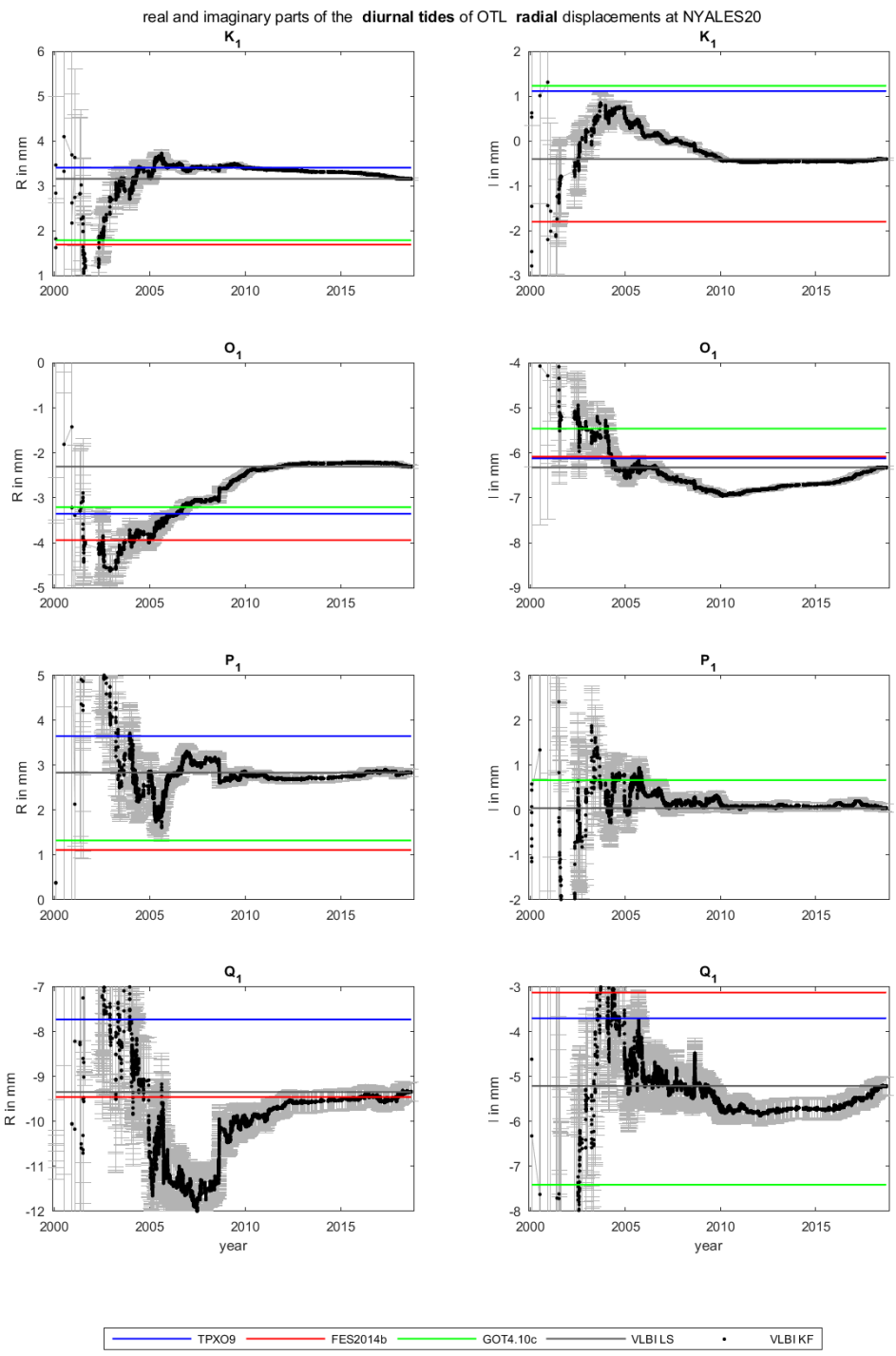
```
 .00218 .00071 .00042 .00015 .00182 .00136 .00065 .00028 .00003 .00003 .00004
   45.4   67.9   56.4   54.1 -141.0 -154.6 -142.9 -170.3  -11.6  -30.7  -12.2
  -12.9   24.6  -18.2   16.9 -172.9  172.4 -173.1  157.6  -34.7  -39.7 -118.1
  -75.1  -59.6  -85.0  -73.5   88.6   75.7   87.7   56.0   48.6   36.1   -0.3
$$
 SESHAN25
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ SESHAN25              RADI TANG  lon/lat: 121.1997   31.0992    29.418
 .00710 .00165 .00158 .00025 .00670 .00527 .00214 .00113 .00010 .00011 .00011
 .00234 .00056 .00055 .00008 .00250 .00173 .00079 .00036 .00007 .00003 .00002
 .00383 .00118 .00071 .00033 .00145 .00128 .00047 .00028 .00001 .00001 .00001
 -158.7 -155.5 -179.3 -171.4  -99.4 -108.8  -99.2 -126.9 -138.8 -151.1 -173.9
 -174.0 -176.7  176.0  166.8 -117.8 -134.4 -117.6 -152.3  -46.2  -86.9 -167.0
  -25.7   13.0  -38.0   -4.9  128.0  106.8  125.9   90.4  151.0   66.5    2.5
$$
 KOKEE
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ KOKEE                 RADI TANG  lon/lat:-159.6651   22.1266  1176.594
 .01300 .00506 .00257 .00136 .01301 .00751 .00383 .00127 .00056 .00037 .00039
 .00300 .00143 .00060 .00041 .00230 .00154 .00069 .00030 .00001 .00001 .00000
 .00463 .00196 .00082 .00059 .00208 .00142 .00061 .00025 .00010 .00005 .00005
 -119.2 -120.0 -125.1 -135.6   57.3   56.1   59.4   48.6 -134.6 -155.5 -177.3
  159.6 -172.5  154.0 -177.8   36.6   15.8   38.6    0.3  166.0   75.8   -8.0
   97.2  123.8   92.1  112.2  109.3   95.4  107.6   80.9   -4.3    1.6   -0.0
$$
 FORTLEZA
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ FORTLEZA              RADI TANG  lon/lat: -38.4259   -3.8779    23.074
 .03777 .01270 .00877 .00347 .00290 .00265 .00055 .00094 .00115 .00061 .00053
 .00513 .00198 .00110 .00064 .00020 .00043 .00007 .00017 .00017 .00007 .00005
 .00603 .00189 .00130 .00059 .00109 .00103 .00024 .00016 .00017 .00009 .00007
   34.1   51.5   22.3   47.0   97.5   34.0  114.5  -13.0 -176.2 -178.7 -179.6
   18.4   39.4    5.8   41.1  115.2   -5.7  127.0  -41.0  170.7  166.4  177.5
   52.2   79.6   29.8   86.8  120.8   94.3  121.0   67.0 -178.3  177.4 -179.9
$$
 KATH12M
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ KATH12M               RADI TANG  lon/lat: 132.1524  -14.3755   189.249
 .00246 .00089 .00091 .00019 .00358 .00295 .00130 .00081 .00059 .00038 .00029
 .00191 .00093 .00043 .00015 .00255 .00142 .00091 .00032 .00005 .00002 .00001
 .00126 .00067 .00024 .00012 .00053 .00038 .00020 .00013 .00012 .00008 .00007
  109.2   -2.1   84.6   17.5   -3.4  -10.8   -5.6  -23.9 -175.3 -174.4 -179.0
   89.5  112.0   76.4  119.2 -166.5  169.4 -170.6  153.9  -13.2 -115.1 -142.1
   36.0   95.8    0.6  109.8  -10.5  -22.7   -9.3  -40.9 -170.1 -173.0 -179.8
$$
 HARTRAO
```

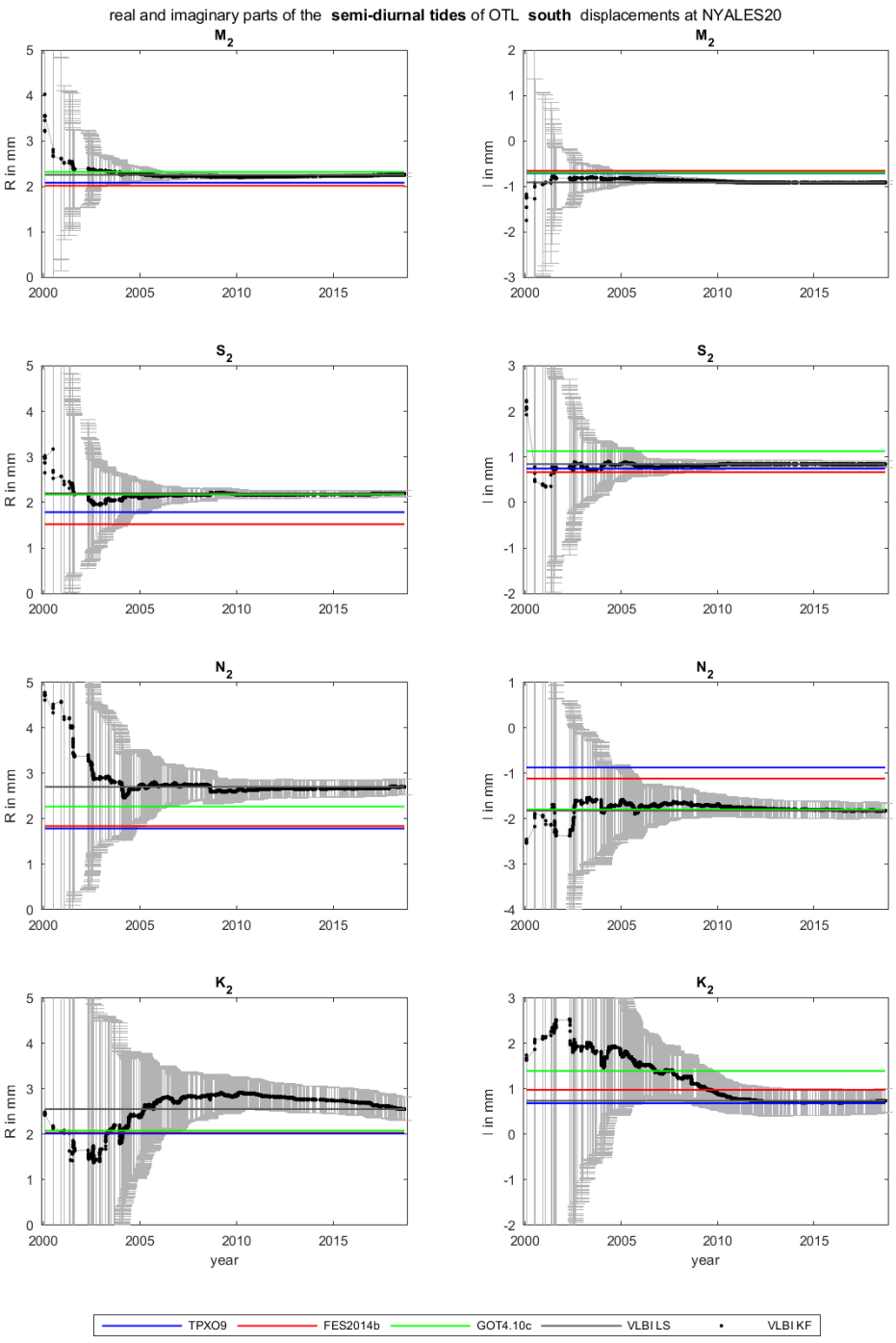
```
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ HARTRAO              RADI TANG  lon/lat:  27.6854  -25.8897  1415.704
  .01735 .00835 .00316 .00237 .00122 .00180 .00024 .00038 .00023 .00012 .00012
  .00065 .00027 .00013 .00004 .00073 .00073 .00020 .00019 .00002 .00001 .00001
  .00147 .00067 .00036 .00017 .00080 .00007 .00020 .00003 .00006 .00003 .00002
  -132.7 -105.9 -149.2 -120.0  125.4  124.6  154.3  105.5 -155.3 -167.5 -178.1
    58.2  -69.8   36.1  -50.6 -132.0 -160.3 -144.2  157.9  -51.5 -106.1  179.1
    68.6   82.6   50.9   73.2  137.3   57.4  140.7 -110.7  175.5  172.2  178.3
$$
  YARRA12M
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ YARRA12M             RADI TANG  lon/lat: 115.3456  -29.0471   248.205
  .00366 .00079 .00081 .00019 .00796 .00587 .00290 .00139 .00027 .00013 .00008
  .00254 .00119 .00047 .00023 .00146 .00081 .00054 .00020 .00008 .00003 .00001
  .00250 .00078 .00066 .00013 .00067 .00062 .00023 .00017 .00013 .00007 .00006
   148.6 -125.5  101.1 -122.9   15.1    5.5   11.6   -7.2 -175.1 -178.5  177.6
  -125.8  -74.9 -148.5  -68.6  155.3  144.5  150.5  126.6  -16.2  -30.0  -30.1
  -155.0 -105.1 -178.5 -109.6  -70.4 -107.1  -72.2 -121.3 -173.9 -176.9  179.3
$$
  WARK12M
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:10
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ WARK12M              RADI TANG  lon/lat: 174.6633  -36.4348   127.914
  .02681 .00542 .00470 .00112 .00381 .00056 .00119 .00029 .00030 .00015 .00010
  .00931 .00104 .00212 .00025 .00071 .00053 .00022 .00019 .00001 .00000 .00001
  .00630 .00132 .00154 .00027 .00136 .00095 .00047 .00026 .00016 .00010 .00010
    59.3  128.0   35.0  127.5 -173.0  118.6 -169.9   60.9   12.0    3.0   -1.0
   -22.4    2.9  -38.5  -31.3  -25.4  -65.0  -41.0 -102.1  -64.4  -74.0 -170.3
    18.6   35.7    0.1   24.7 -148.8 -174.9 -151.9  176.1 -163.6 -169.7 -179.0
$$
  HOBART26
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:11
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ HOBART26             RADI TANG  lon/lat: 147.4405  -42.8036    65.088
  .01035 .00170 .00266 .00028 .00710 .00661 .00234 .00160 .00064 .00037 .00033
  .00452 .00190 .00095 .00056 .00131 .00068 .00042 .00014 .00004 .00001 .00001
  .00129 .00075 .00029 .00022 .00164 .00135 .00053 .00029 .00015 .00009 .00008
   152.3 -120.1  128.5 -165.0   86.8   57.3   91.6   55.2   10.7    6.0    0.3
   105.0  134.6  110.4  131.0 -162.7 -165.2 -161.2  176.8  -24.2  -45.6 -163.8
   103.1  101.8   89.2  110.0 -142.9 -159.4 -141.2 -165.3 -166.8 -171.9 -179.2
$$
  HOBART12
$$ OTL_Estimation ID: 23-Apr-2020 16:21:11
$$ Computed using CARGA at SEGAL (UBI/IDL)
$$ HOBART12             RADI TANG  lon/lat: 147.4381  -42.8056    40.963
  .01034 .00169 .00244 .00019 .00634 .00546 .00231 .00143 .00064 .00037 .00033
  .00463 .00185 .00087 .00044 .00118 .00059 .00042 .00013 .00004 .00001 .00001
  .00133 .00076 .00026 .00018 .00147 .00114 .00054 .00027 .00015 .00009 .00008
```

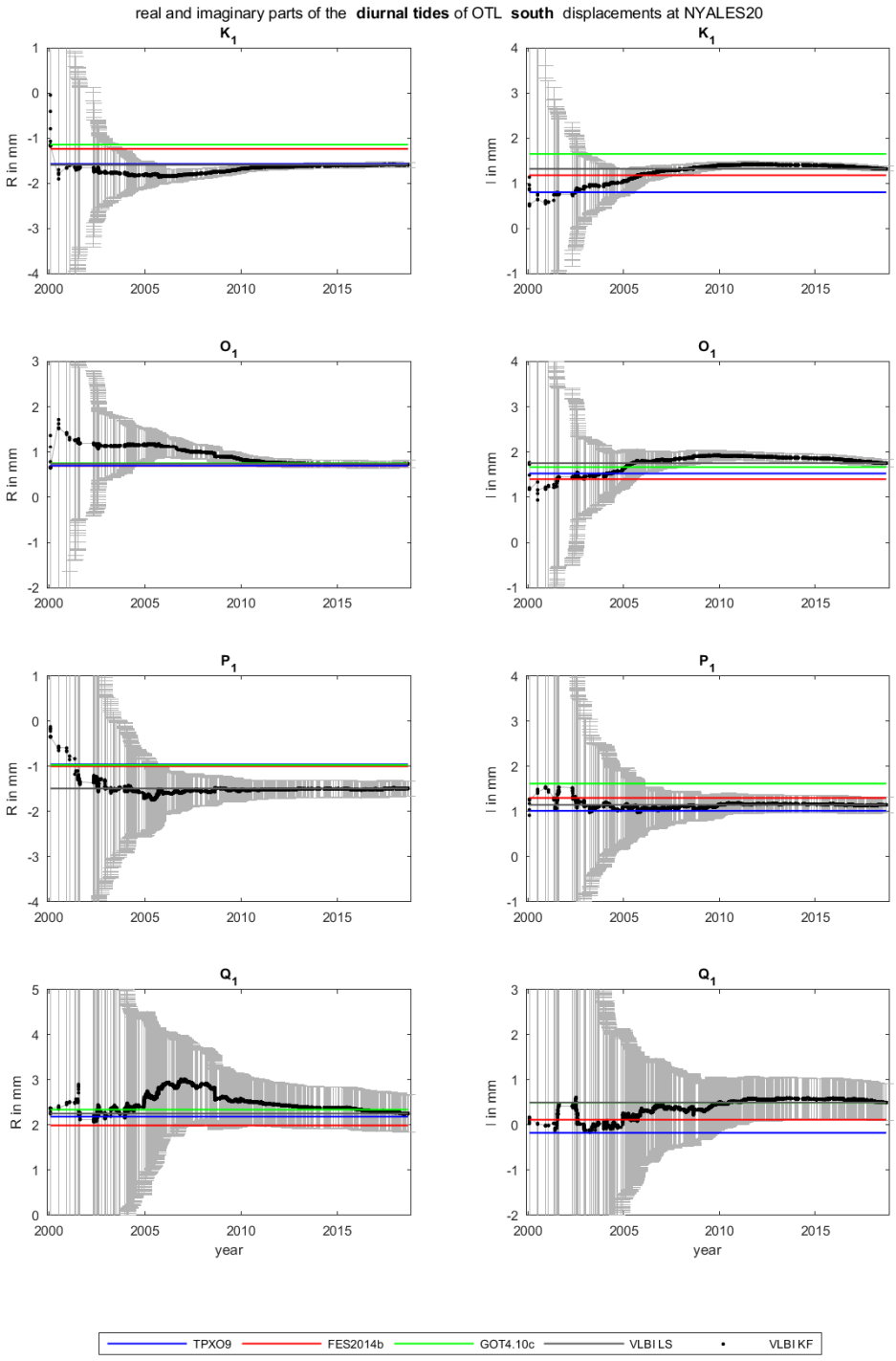
```
  152.0 -116.0  127.5 -132.9   88.3   56.6   83.9   50.3   10.7    6.0    0.3
  104.5  136.4  107.3  128.8 -161.6 -162.9 -163.6  172.9  -24.2  -45.7 -163.8
  103.0  102.3   85.0  103.0 -141.4 -160.0 -144.8 -168.1 -166.8 -171.9 -179.2
$$ END TABLE
```

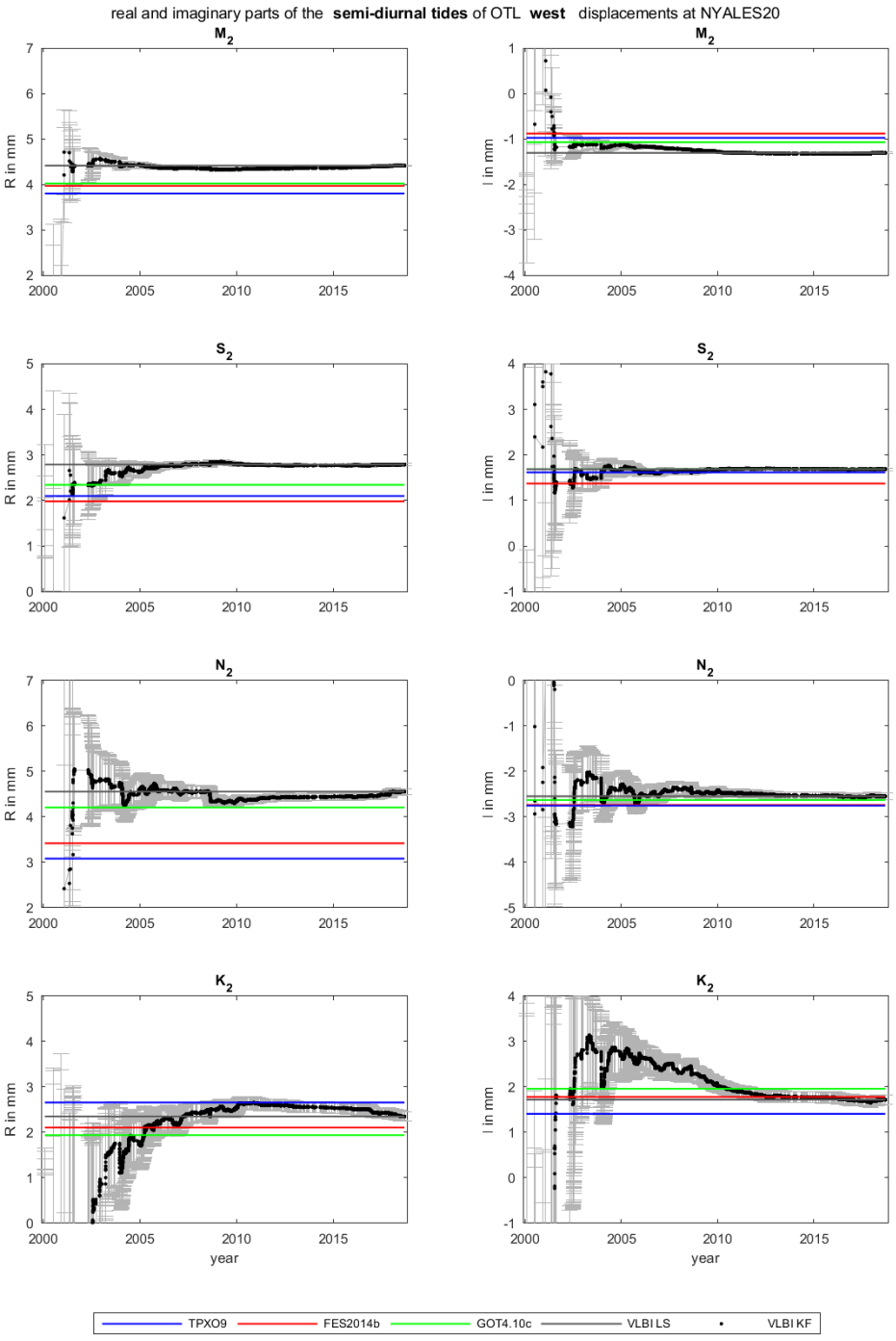
EK 2 –İstasyonlara Ait Okyanus Gelgit Yüklemesi Yarı-Günlük ve Günlük Periyotlardaki Yer Değiştirmelerin Gerçek ve Sanal Bileşenleri

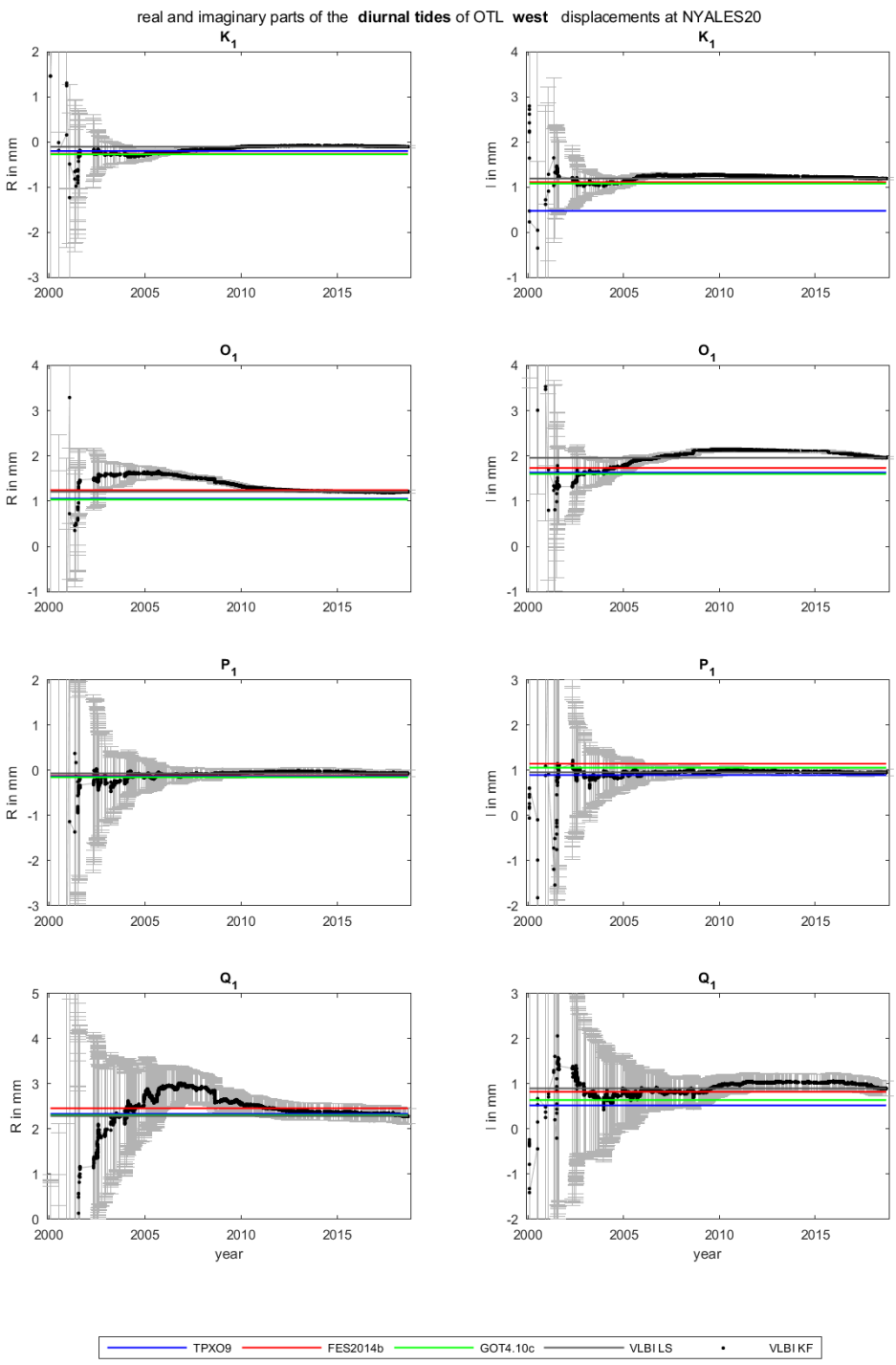


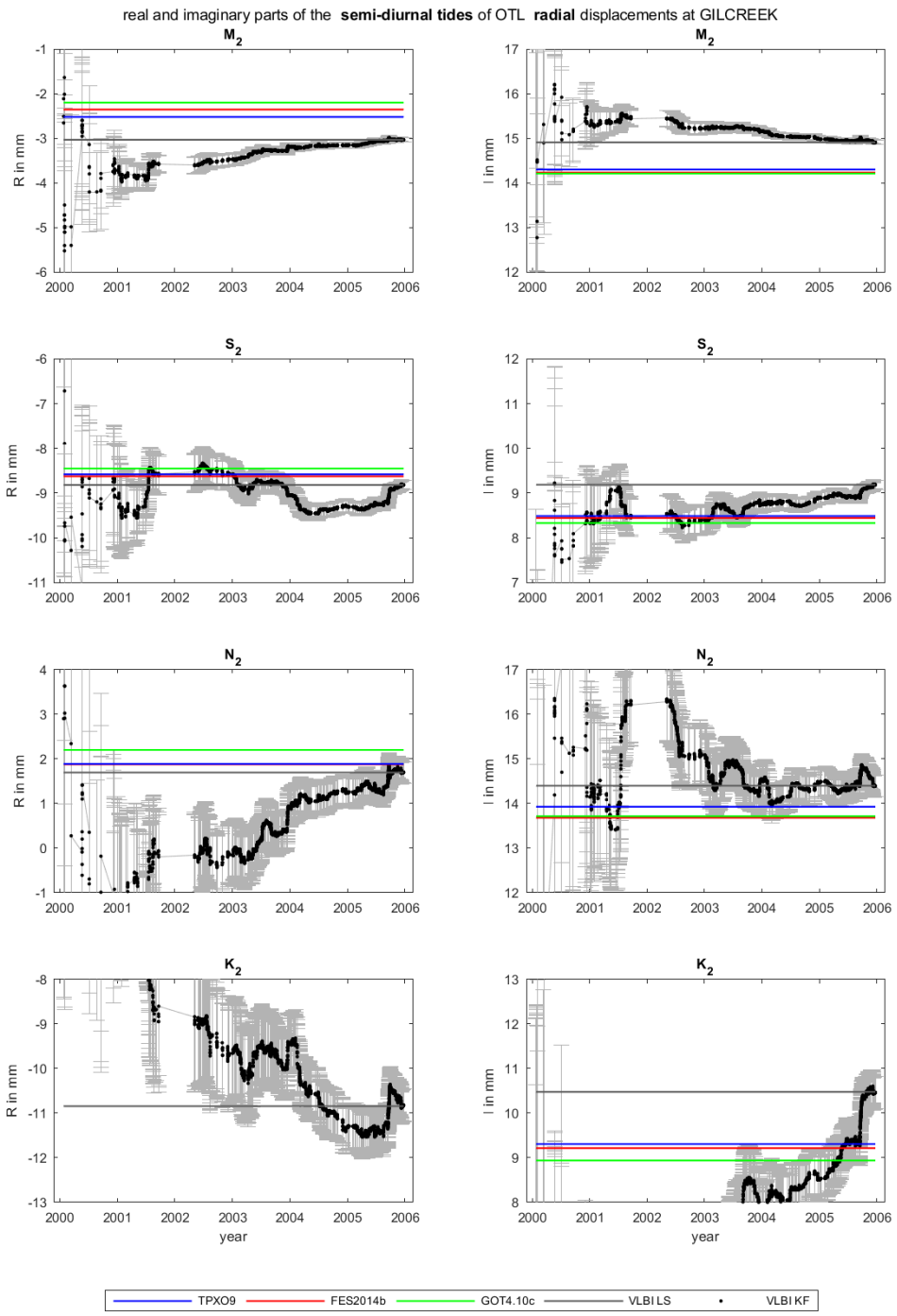

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at NYALES20
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

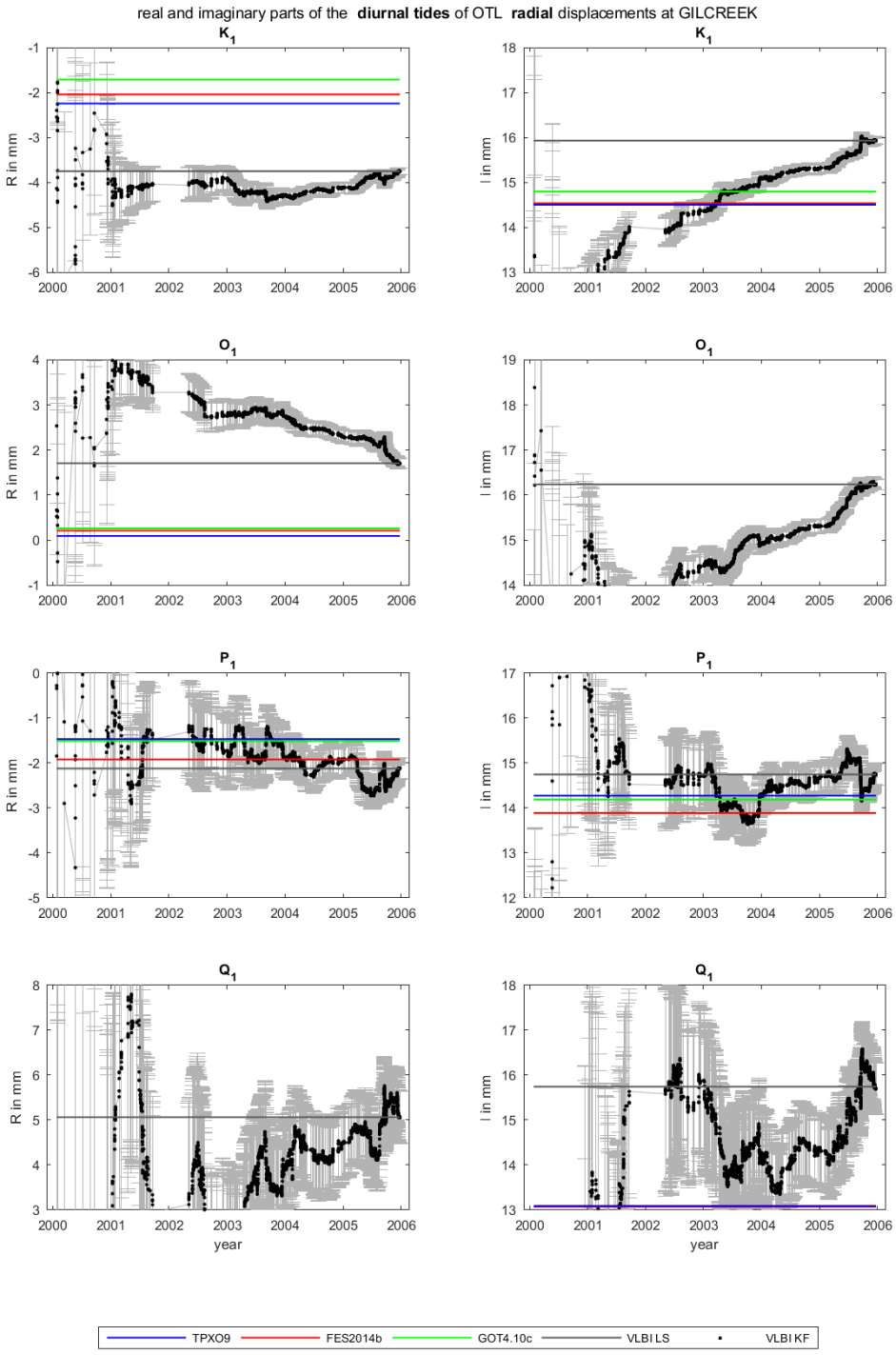

real and imaginary parts of the **semi-diurnal tides** of OTL **south** displacements at NYALES20
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

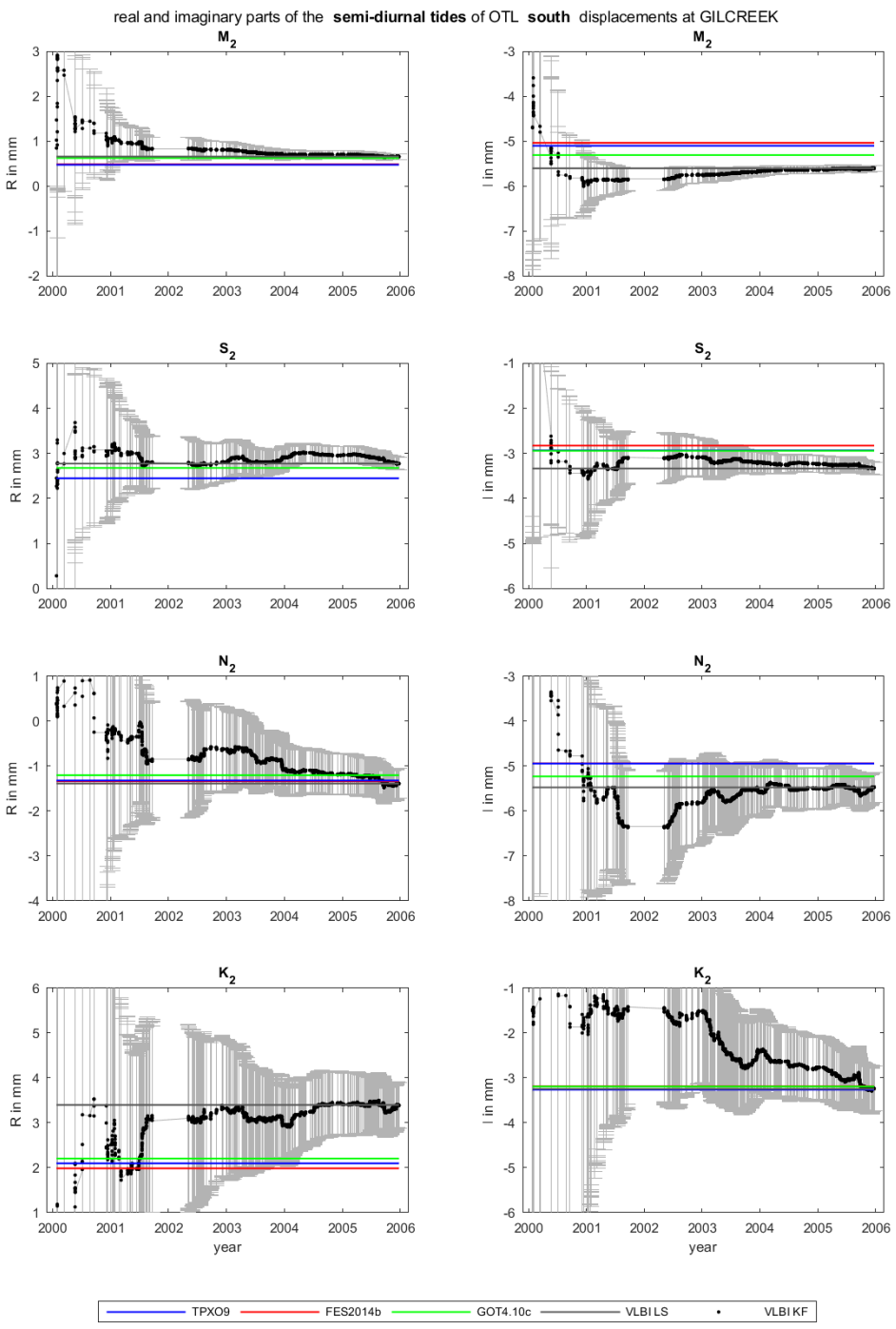

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at NYALES20
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

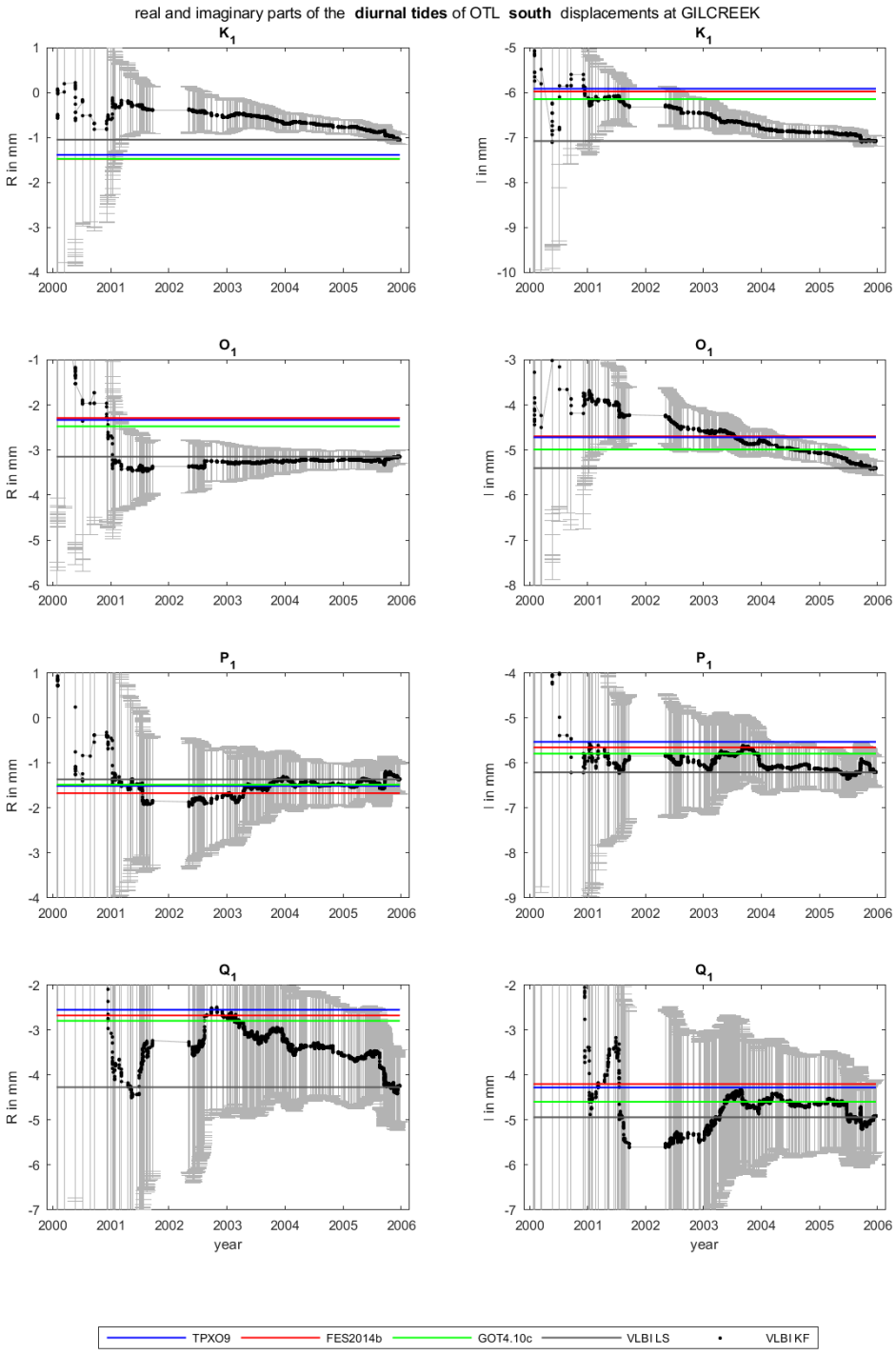

real and imaginary parts of the **semi-diurnal tides** of OTL **west** displacements at NYALES20
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

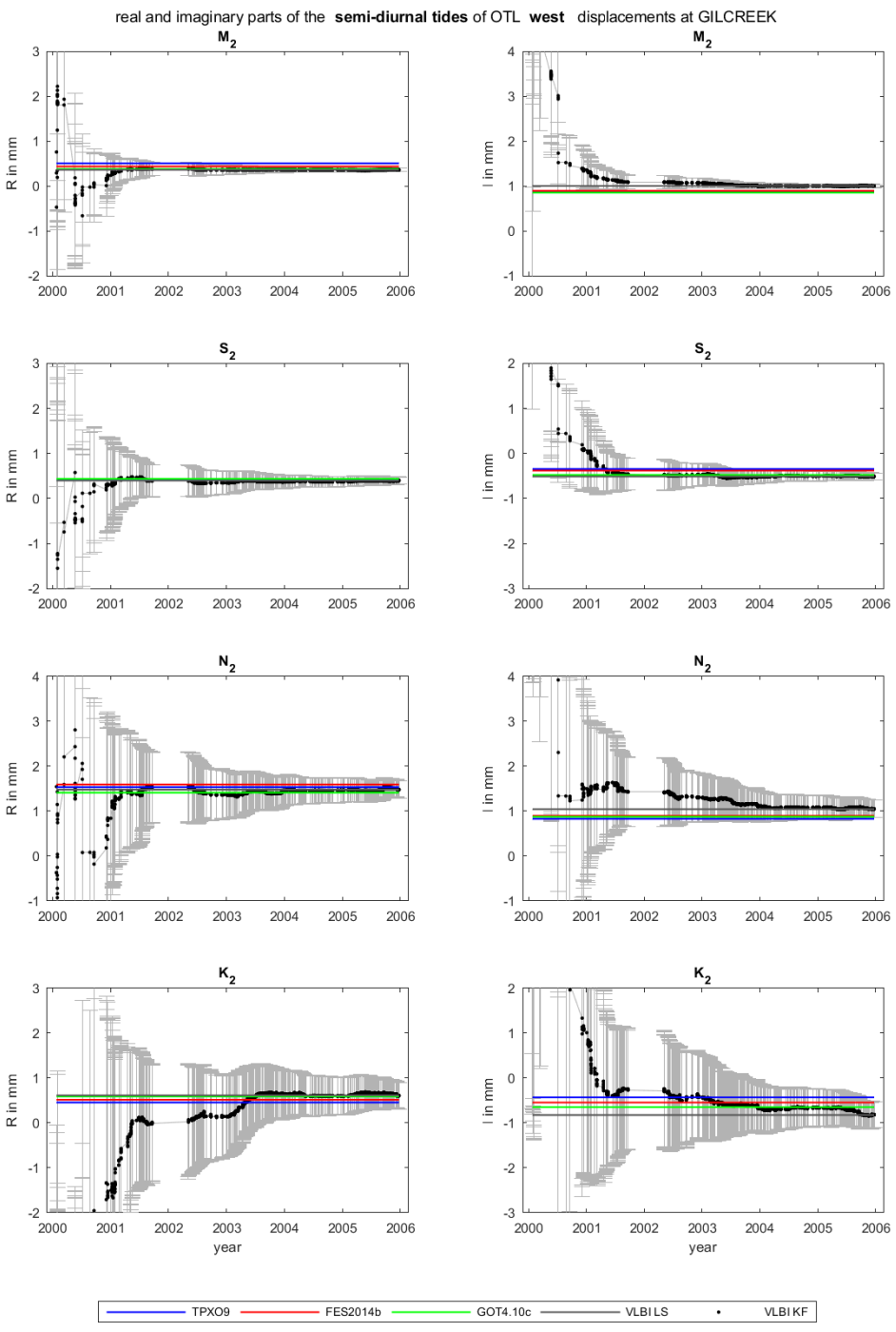

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at NYALES20
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

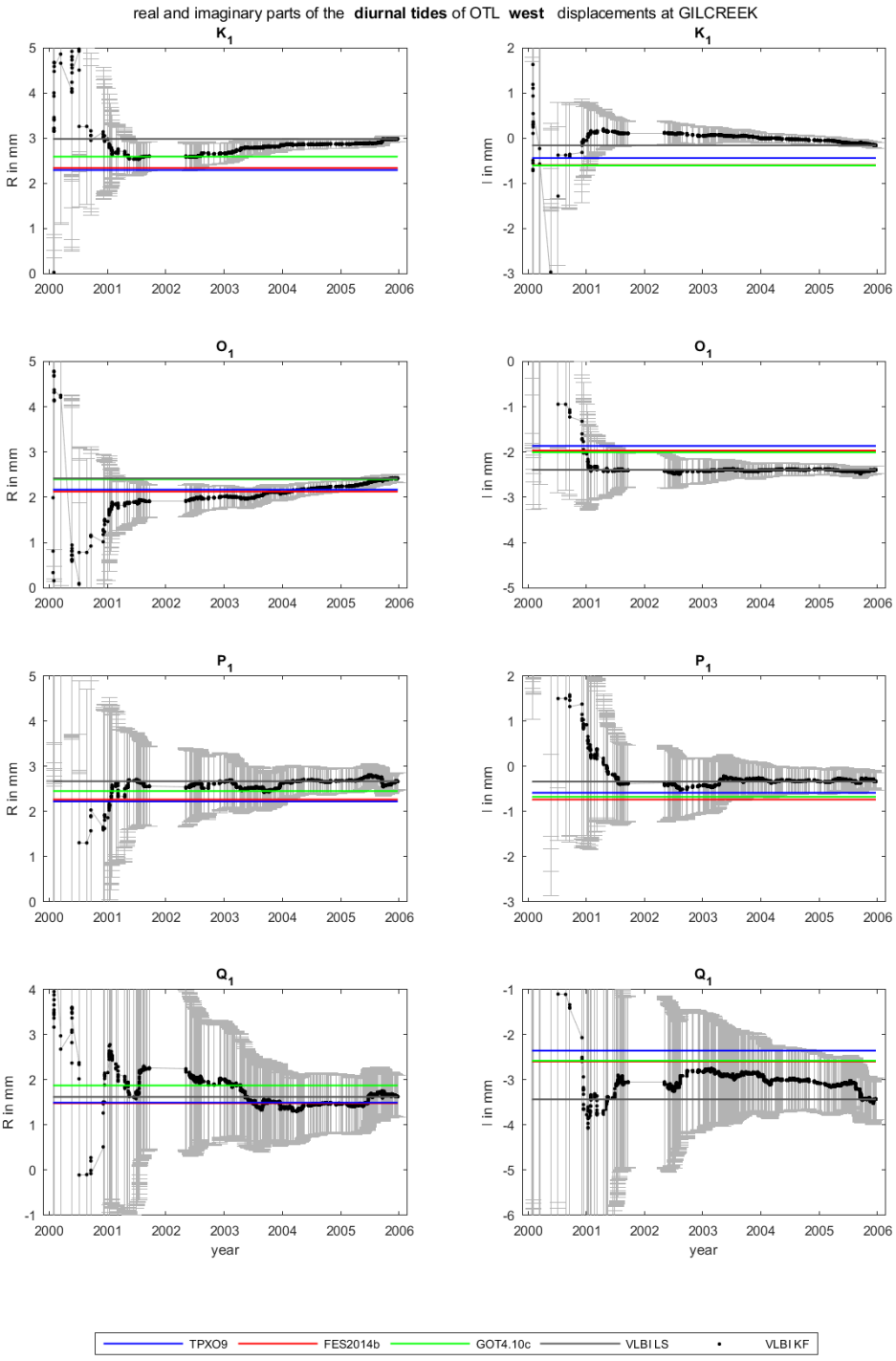

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at GILCREEK
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

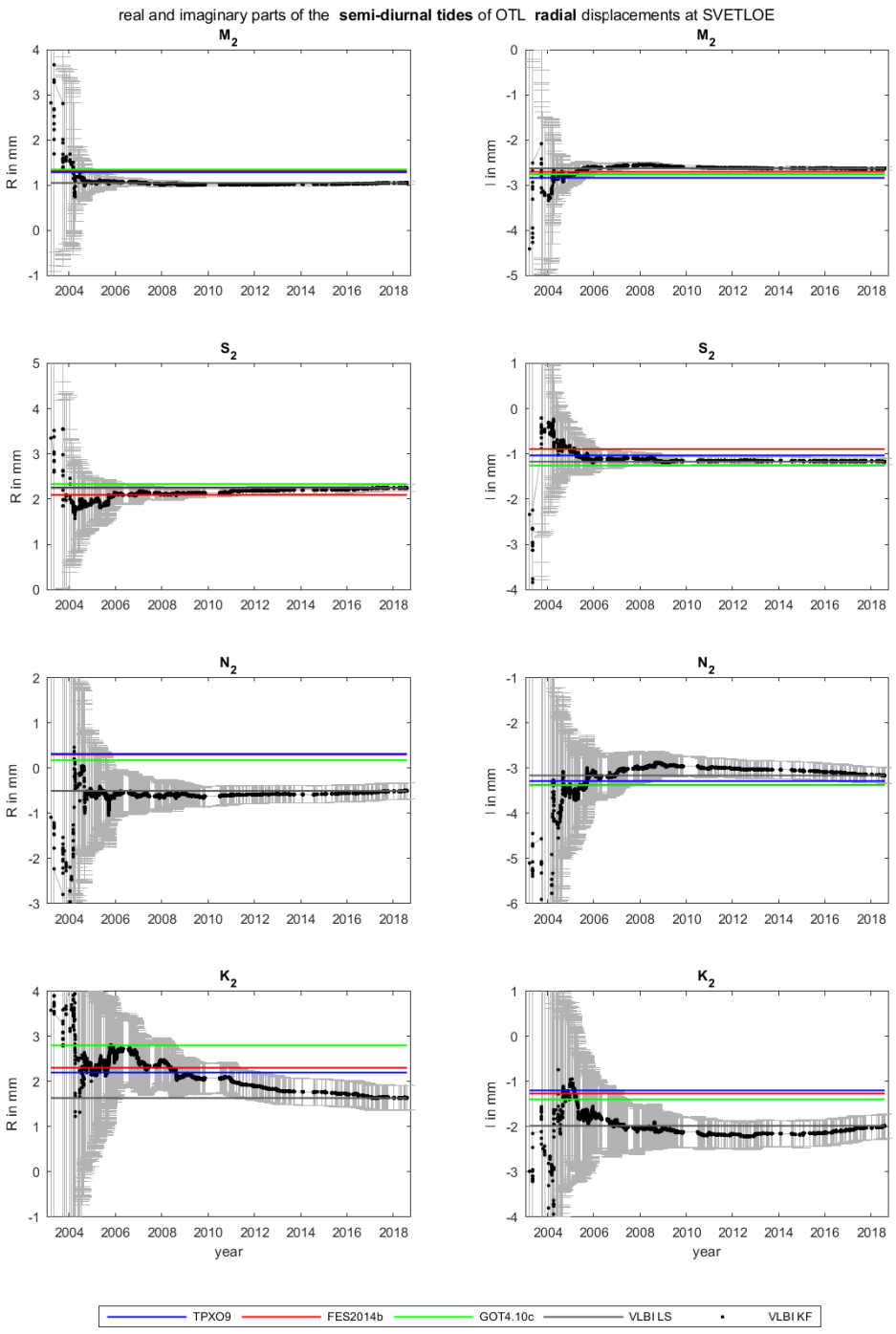

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at GILCREEK
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

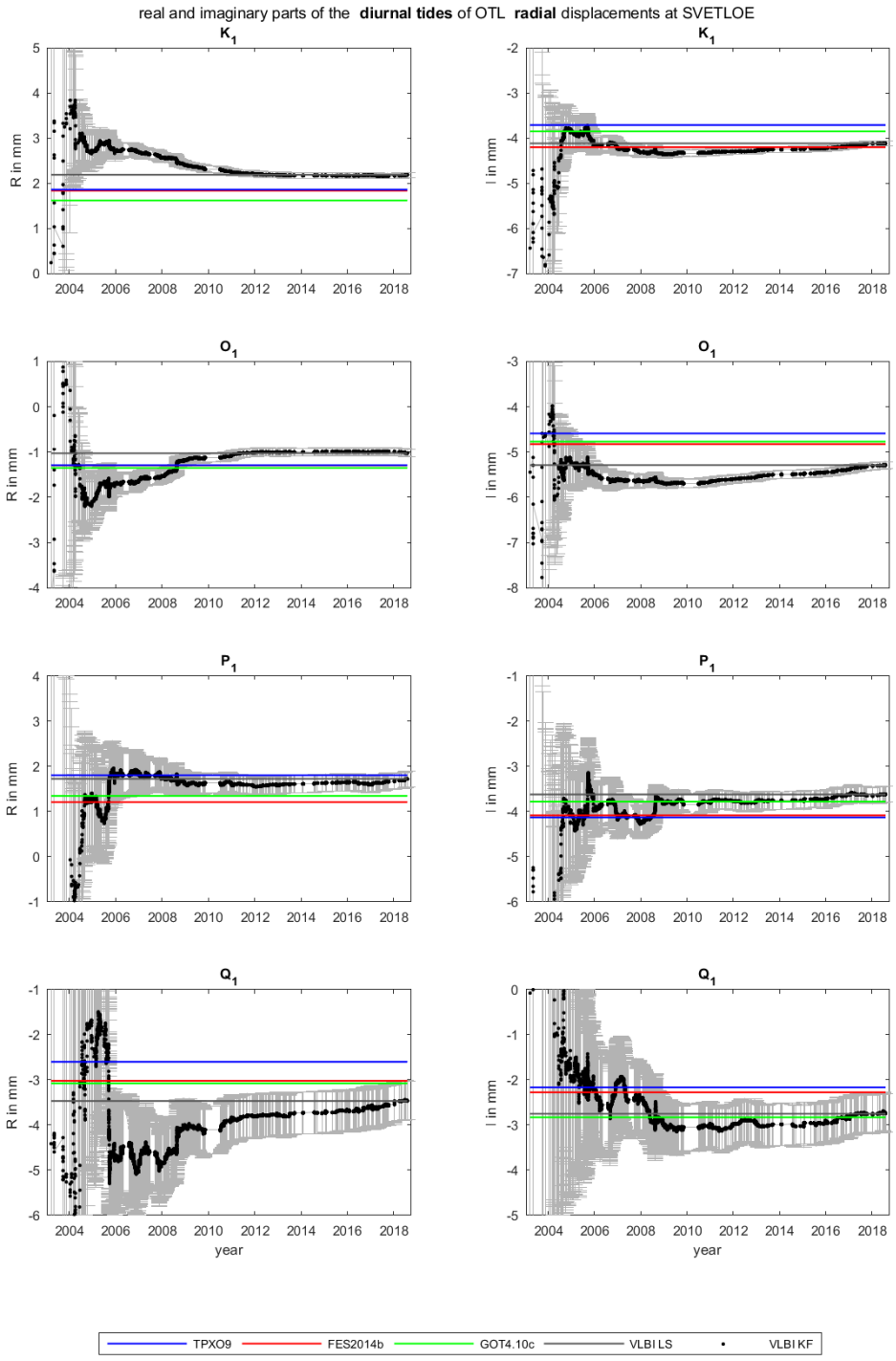

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at GILCREEK
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

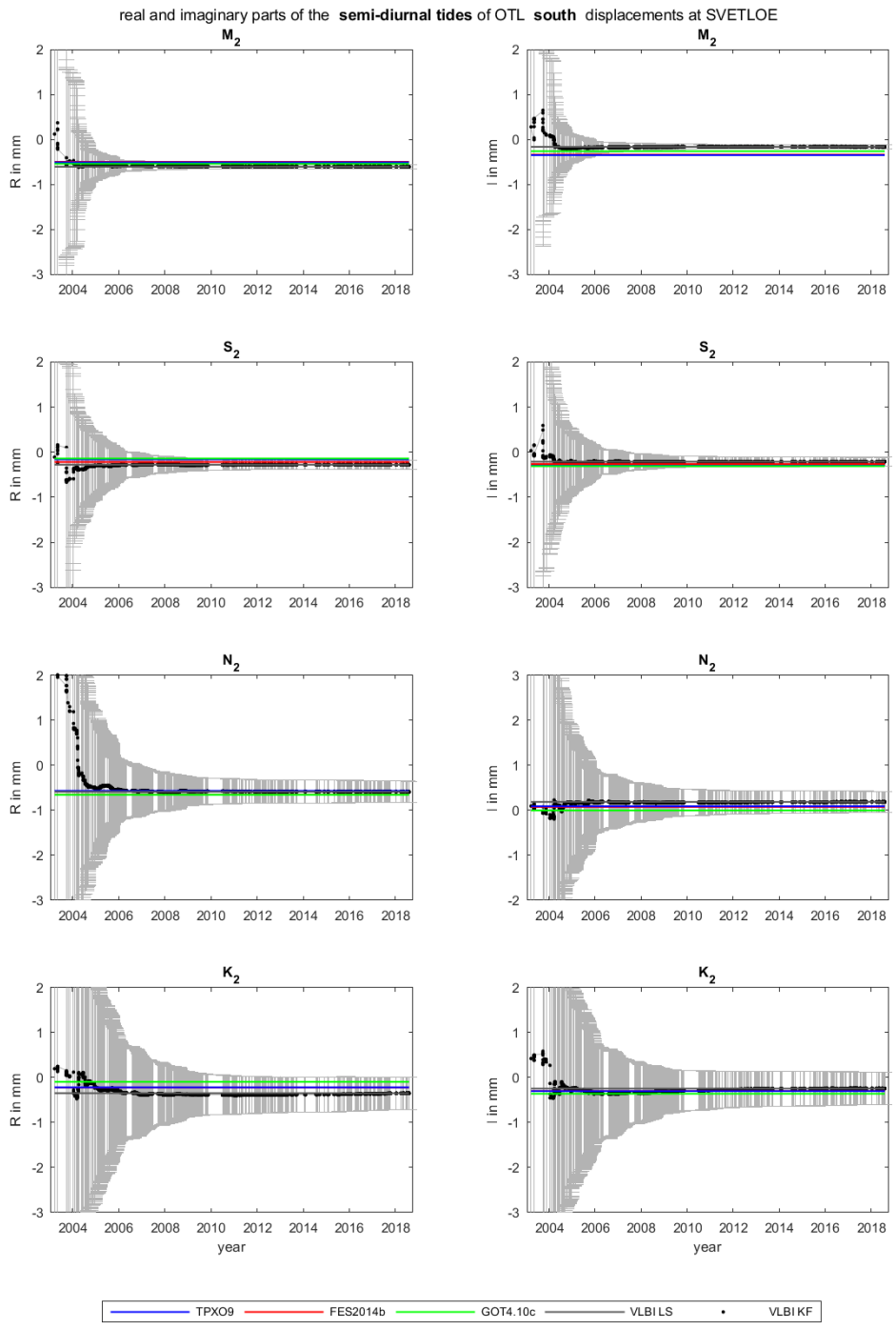

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at GILCREEK
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

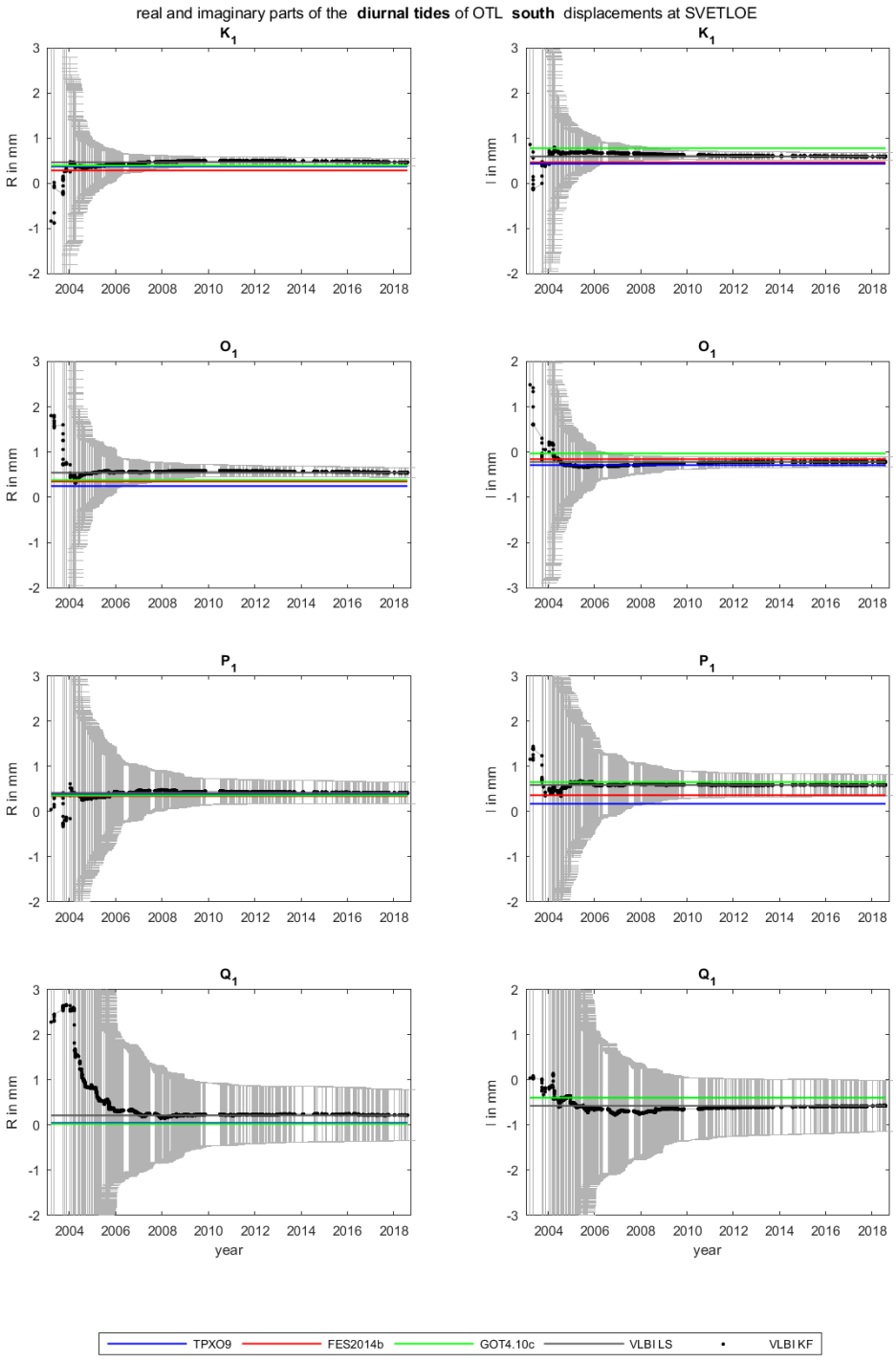

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at GILCREEK
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

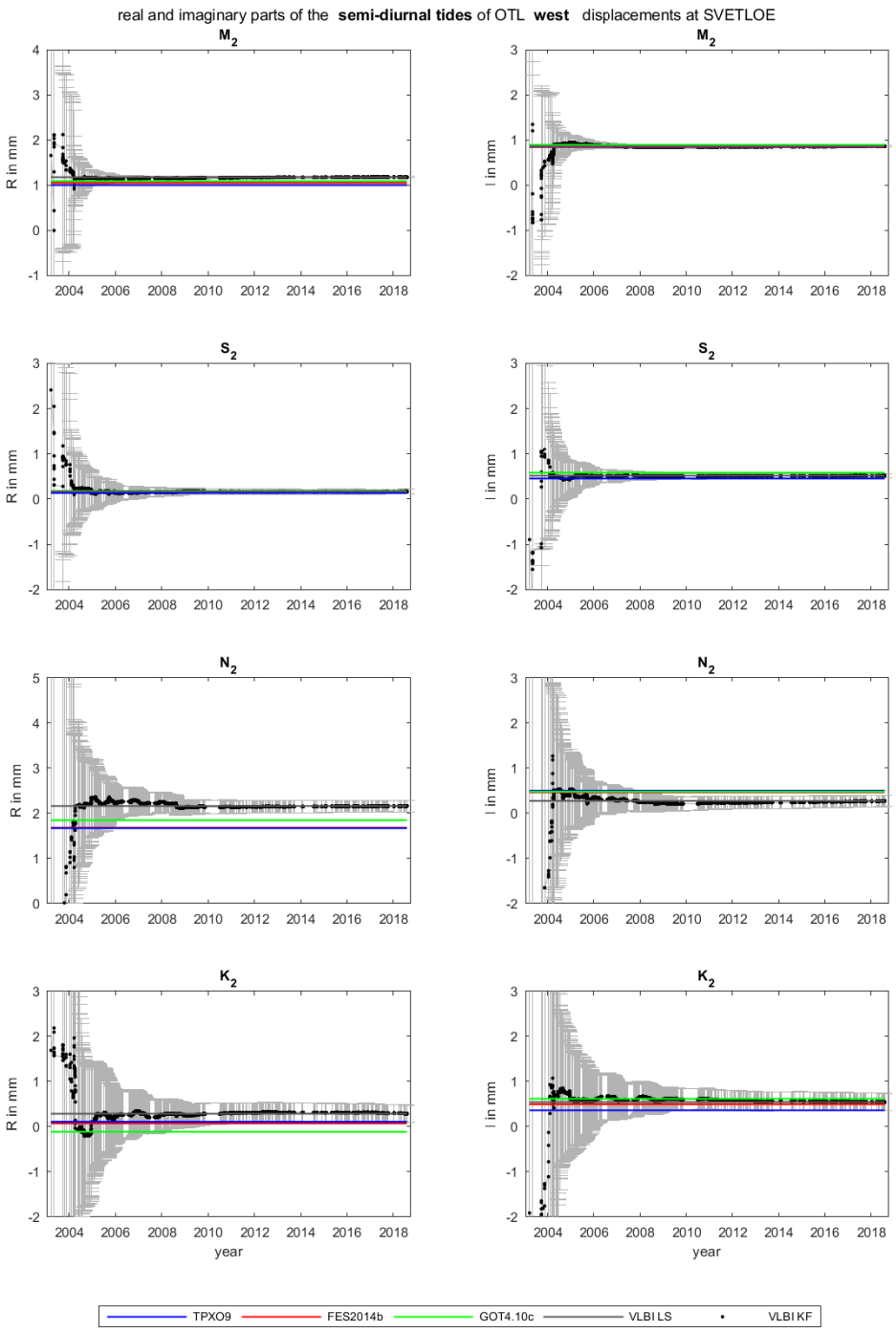

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at GILCREEK
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

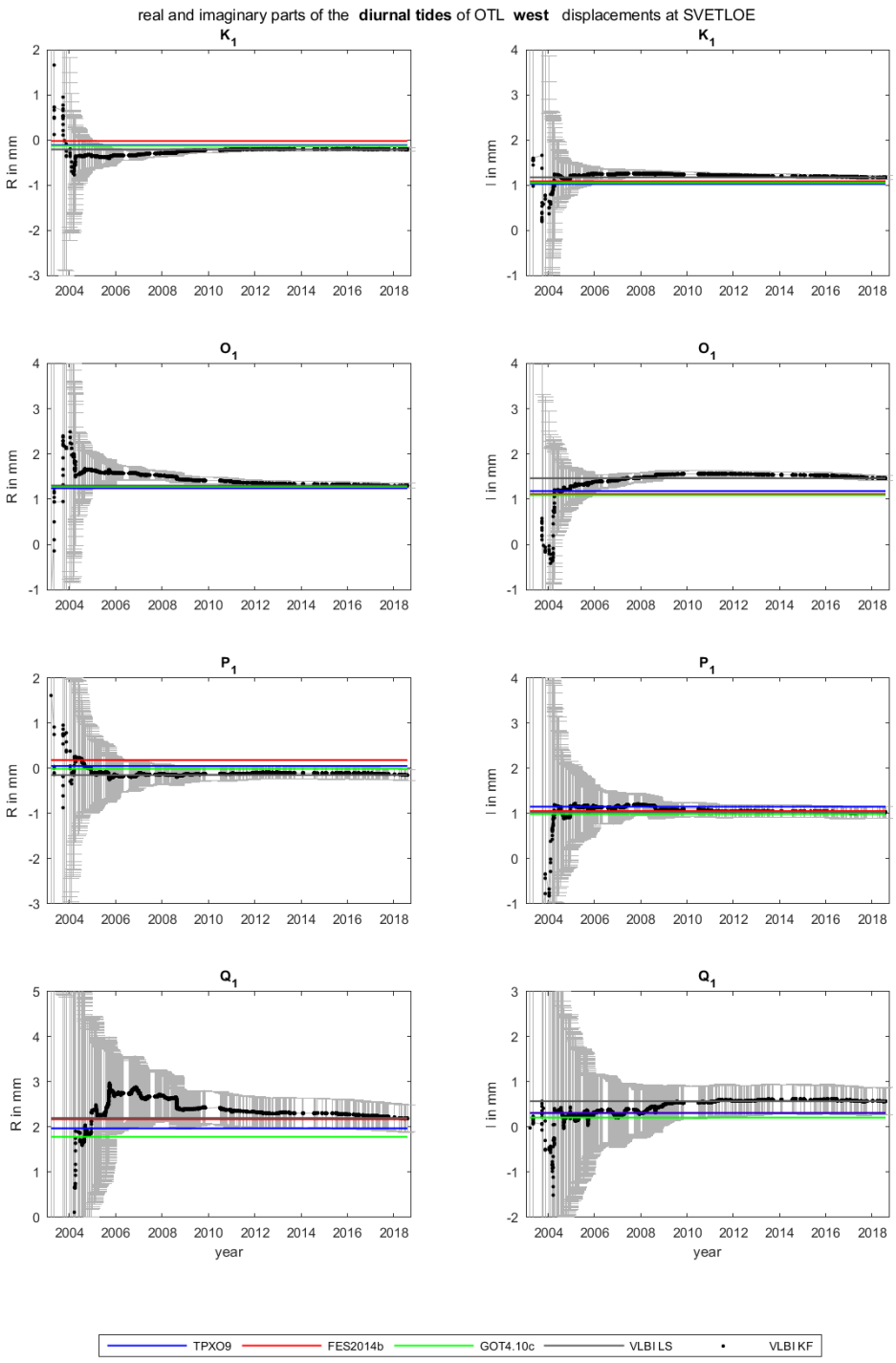

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at SVETLOE
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

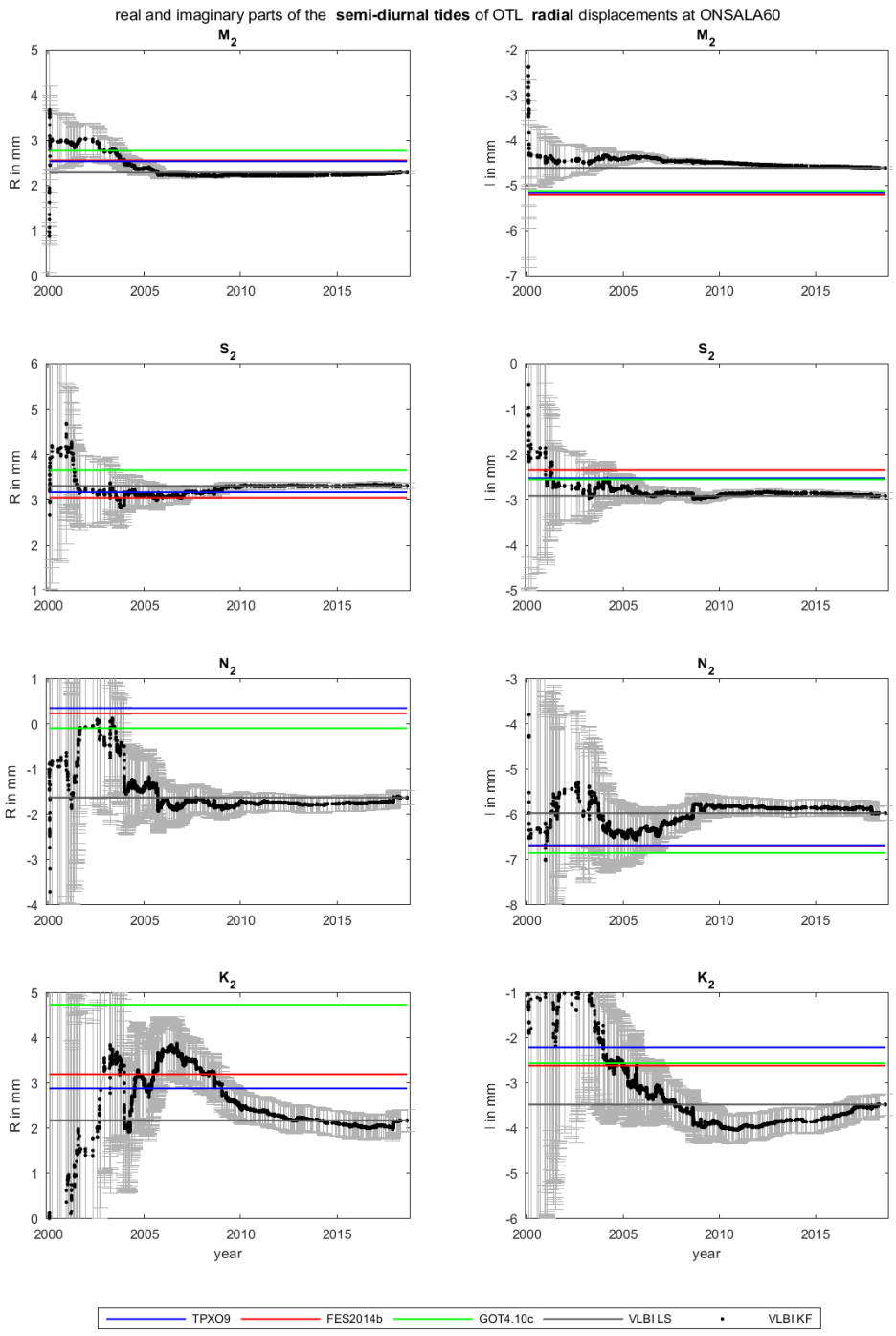

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at SVETLOE
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

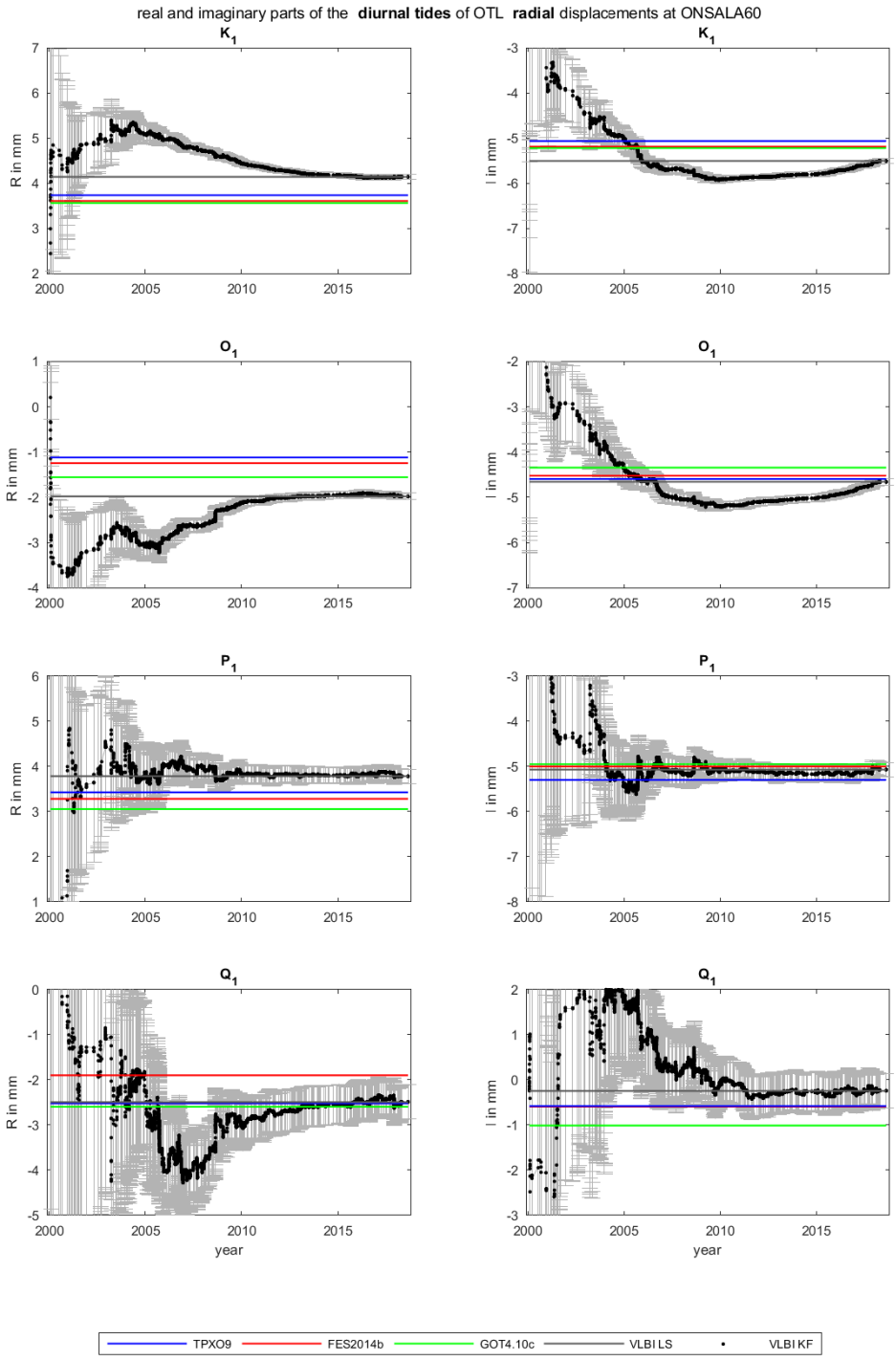

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at SVETLOE
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

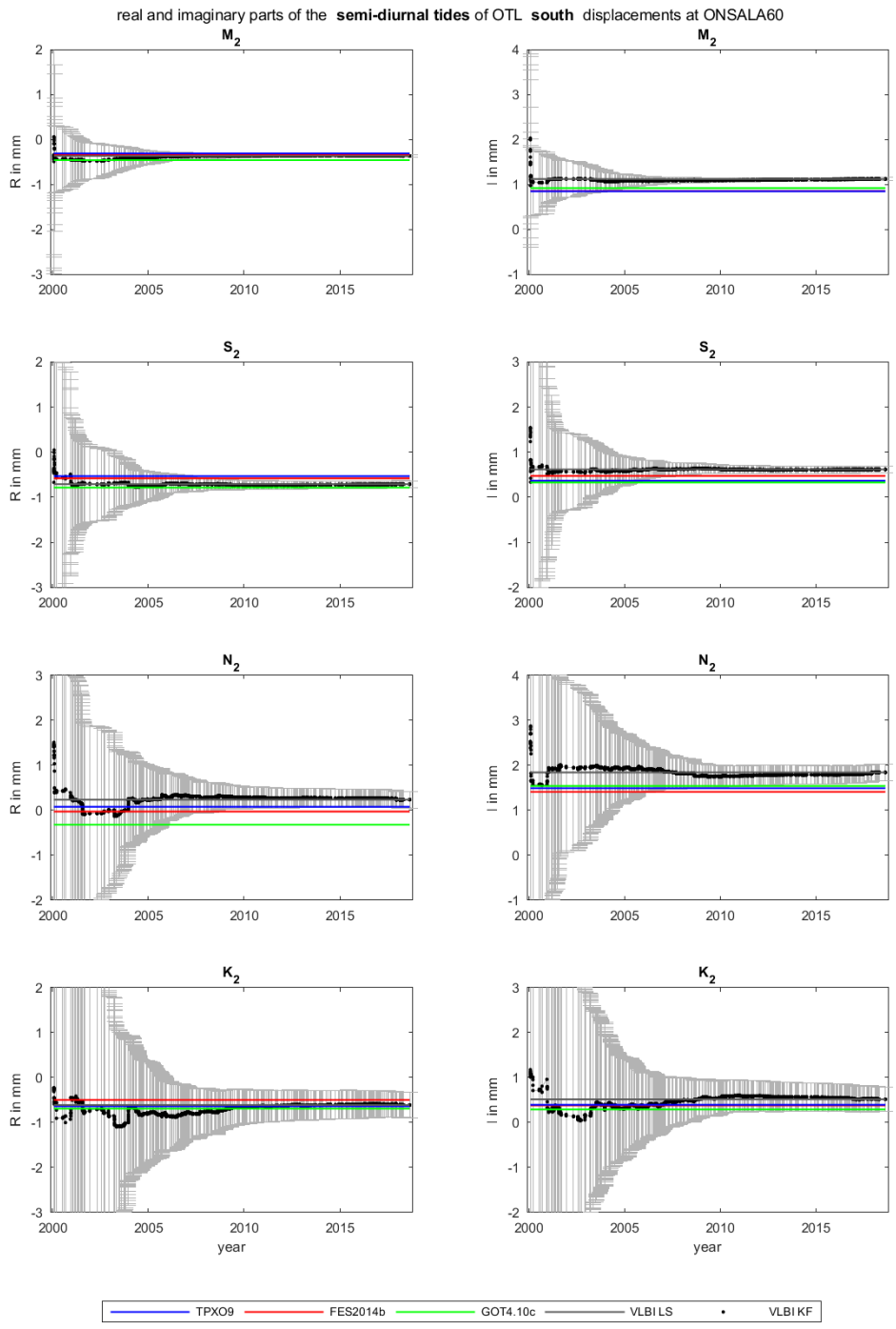

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at SVETLOE
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

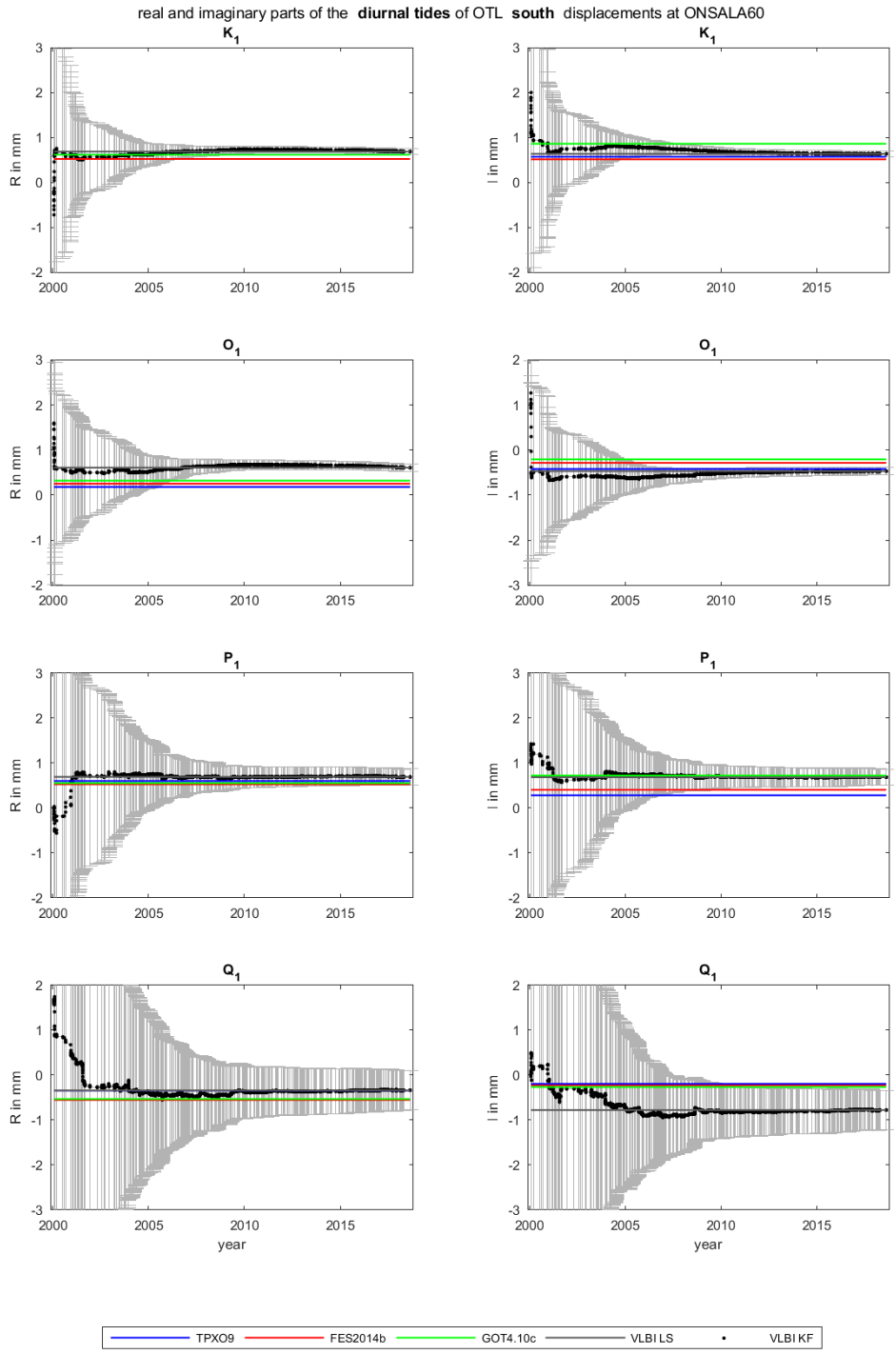

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at SVETLOE
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

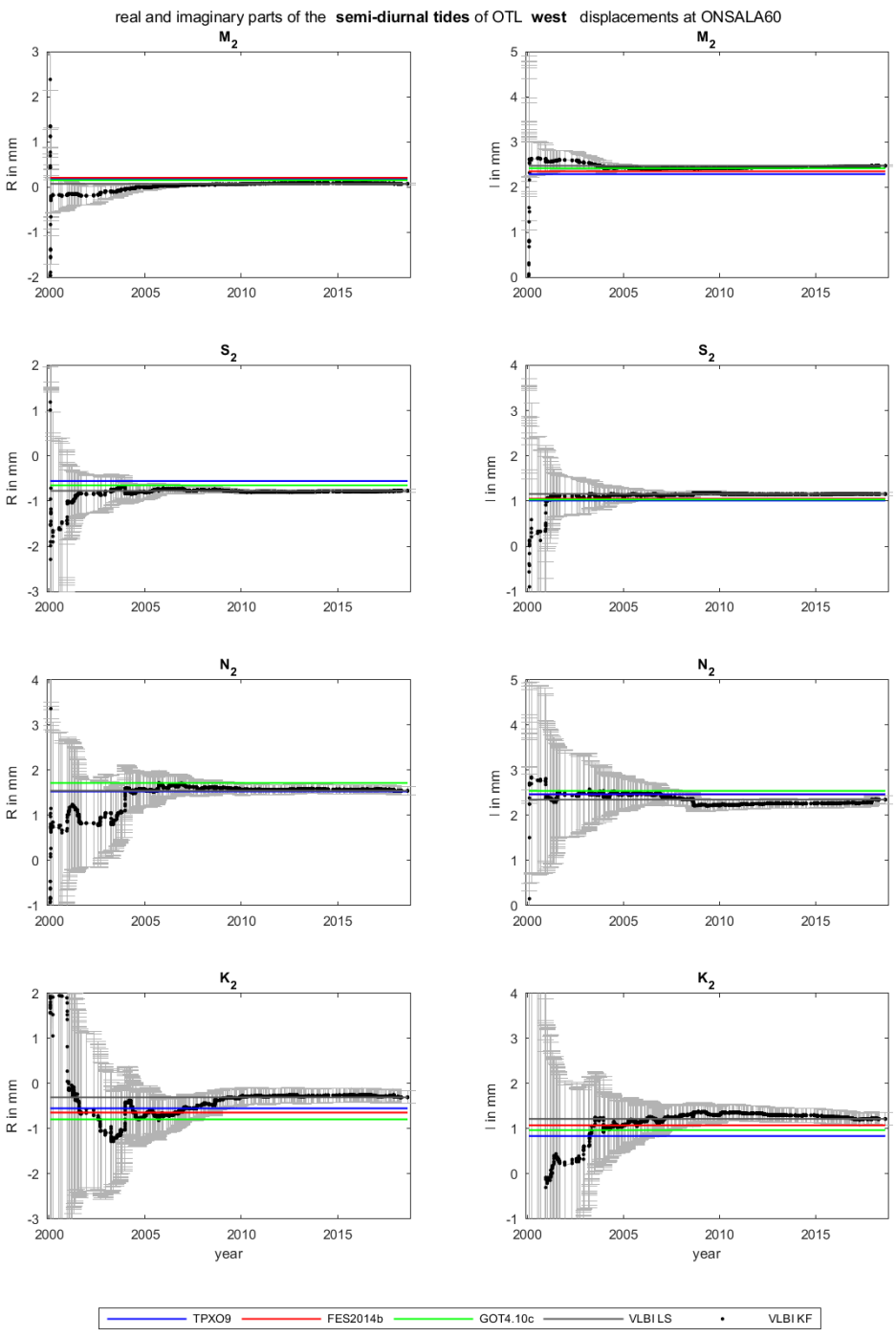

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at SVETLOE
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
2004 2006 2008 2010 2012 2014 2016 2018
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

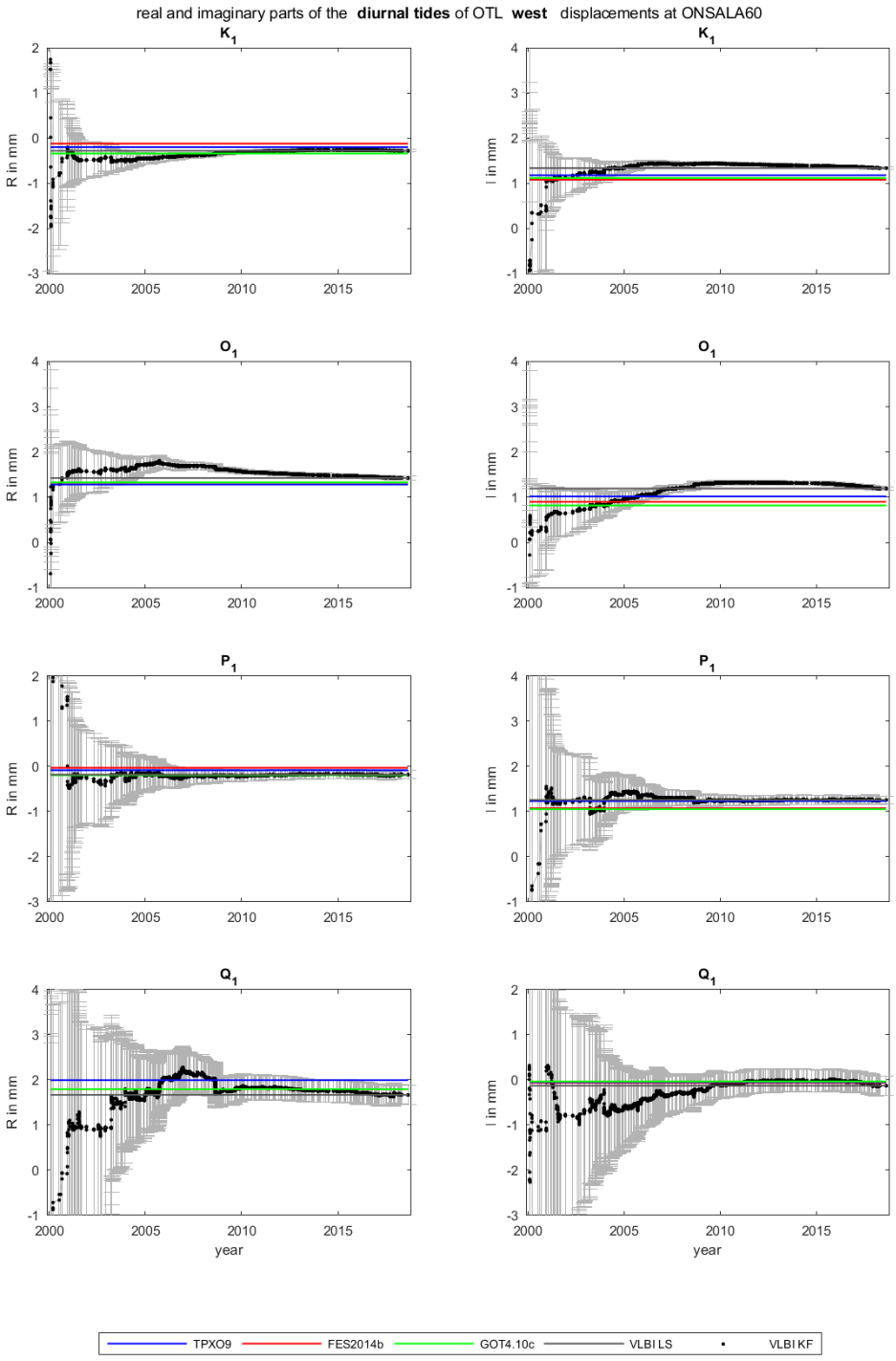

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at ONSALA60
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

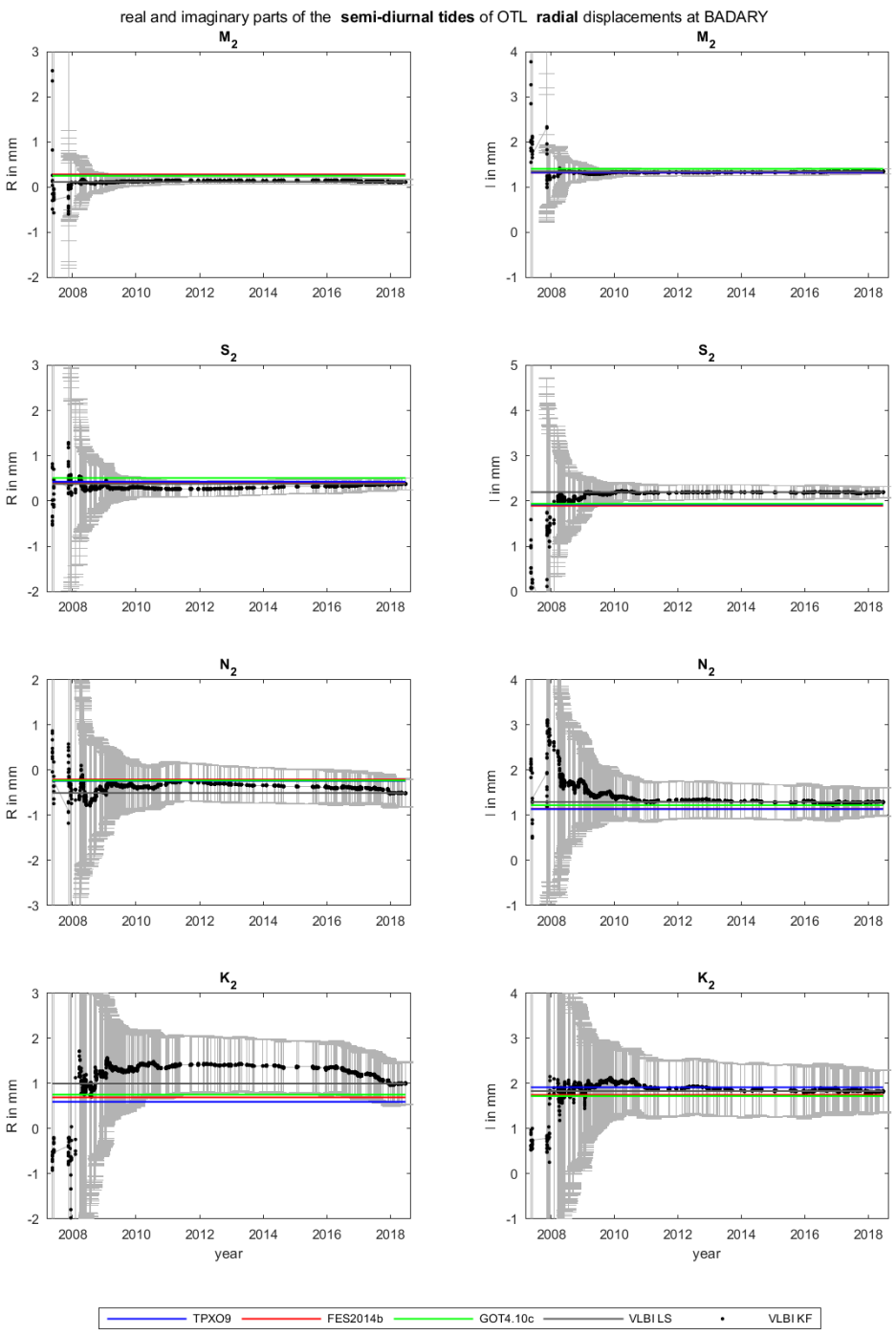

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at ONSALA60
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

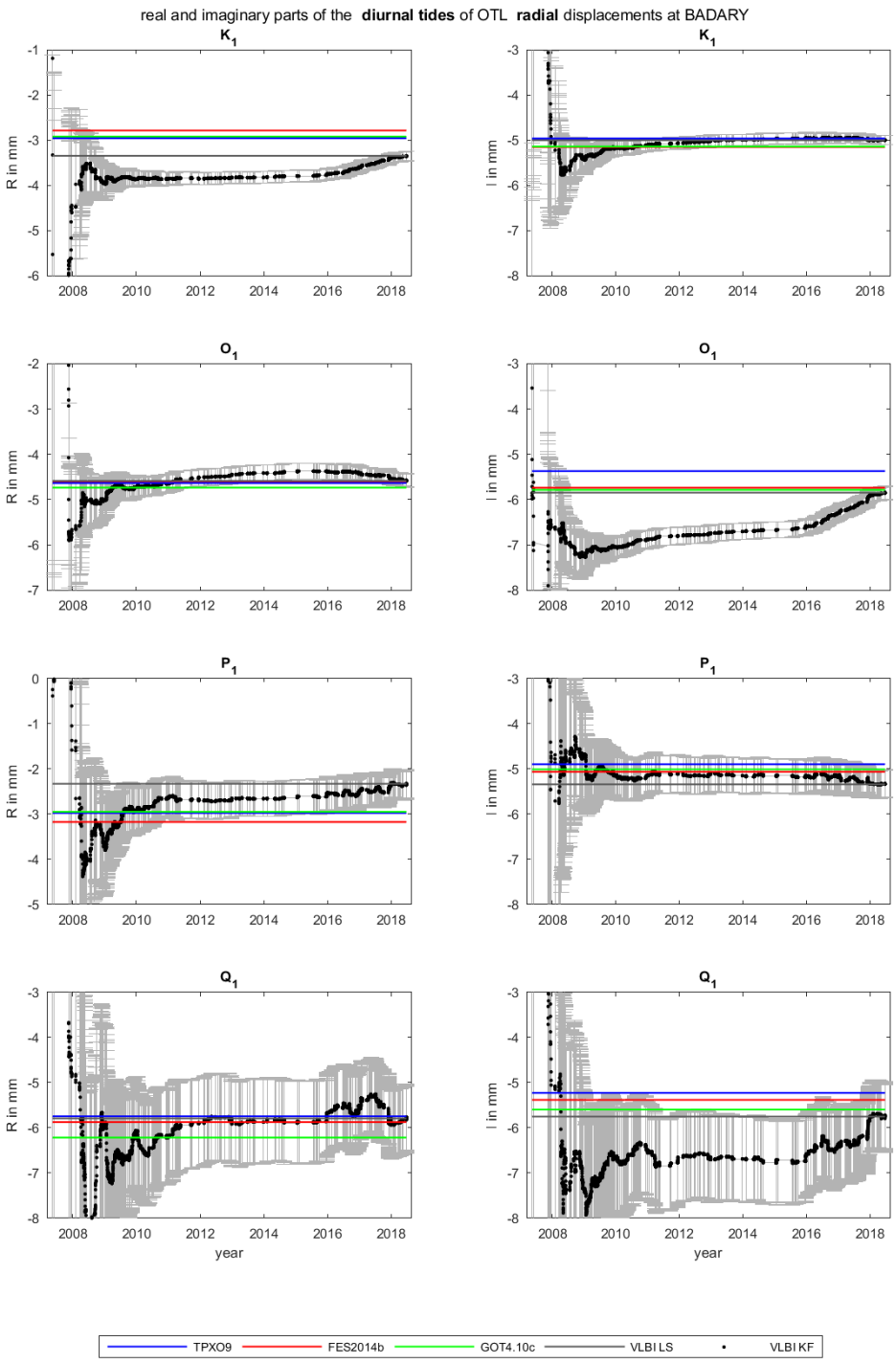

real and imaginary parts of the **semi-diurnal tides** of OTL **south** displacements at ONSALA60
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

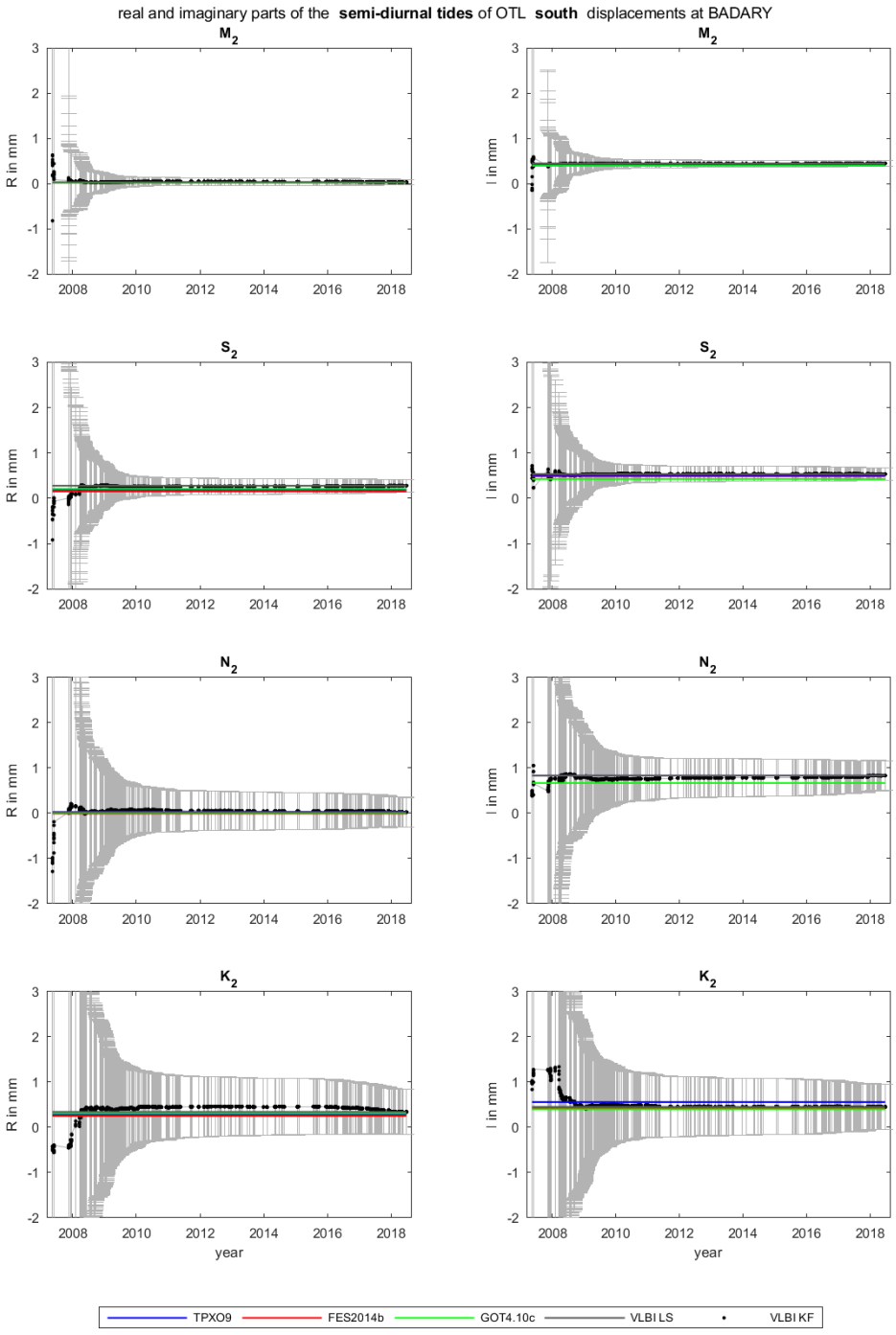

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at ONSALA60
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

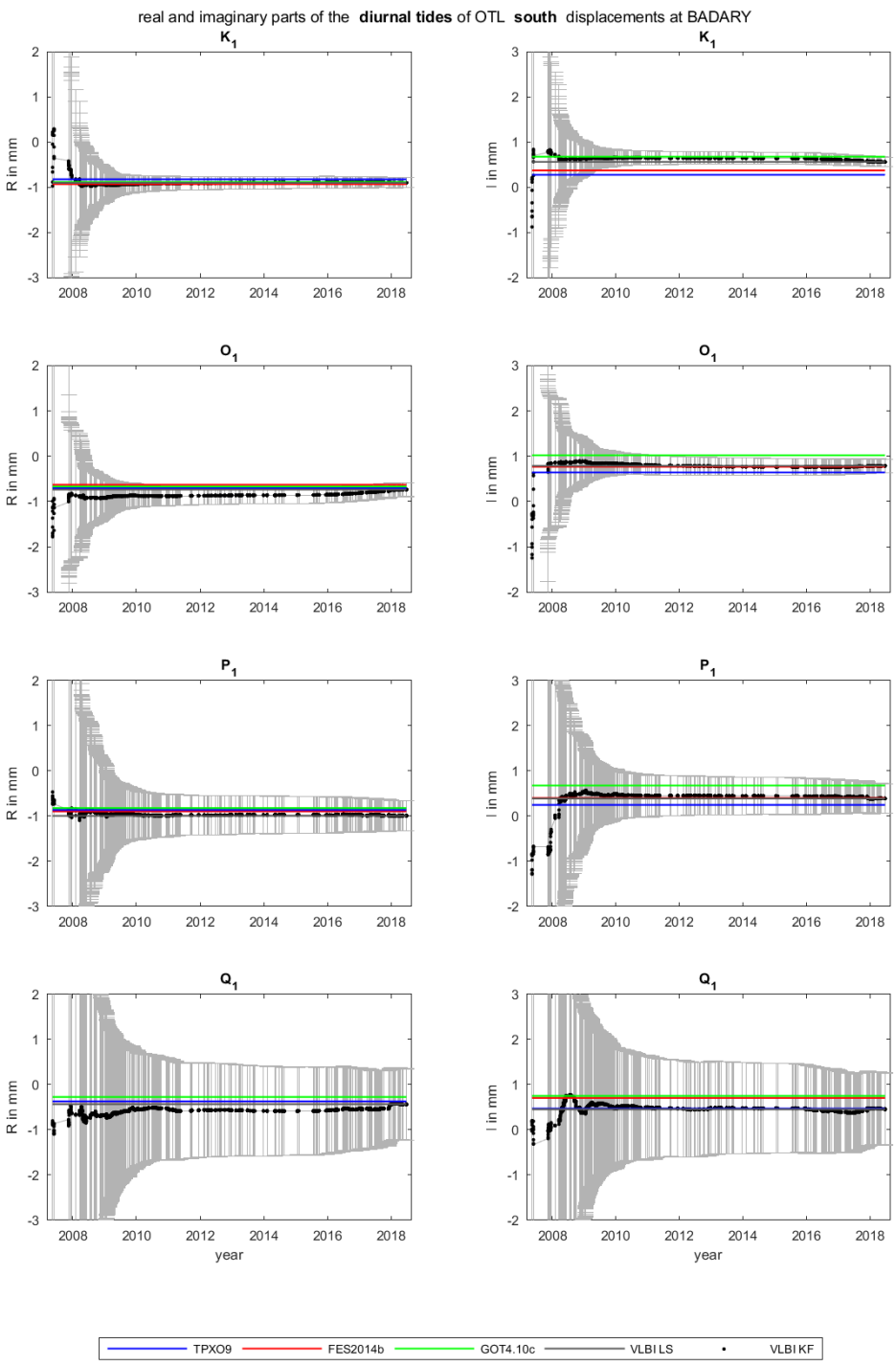

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at ONSALA60
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

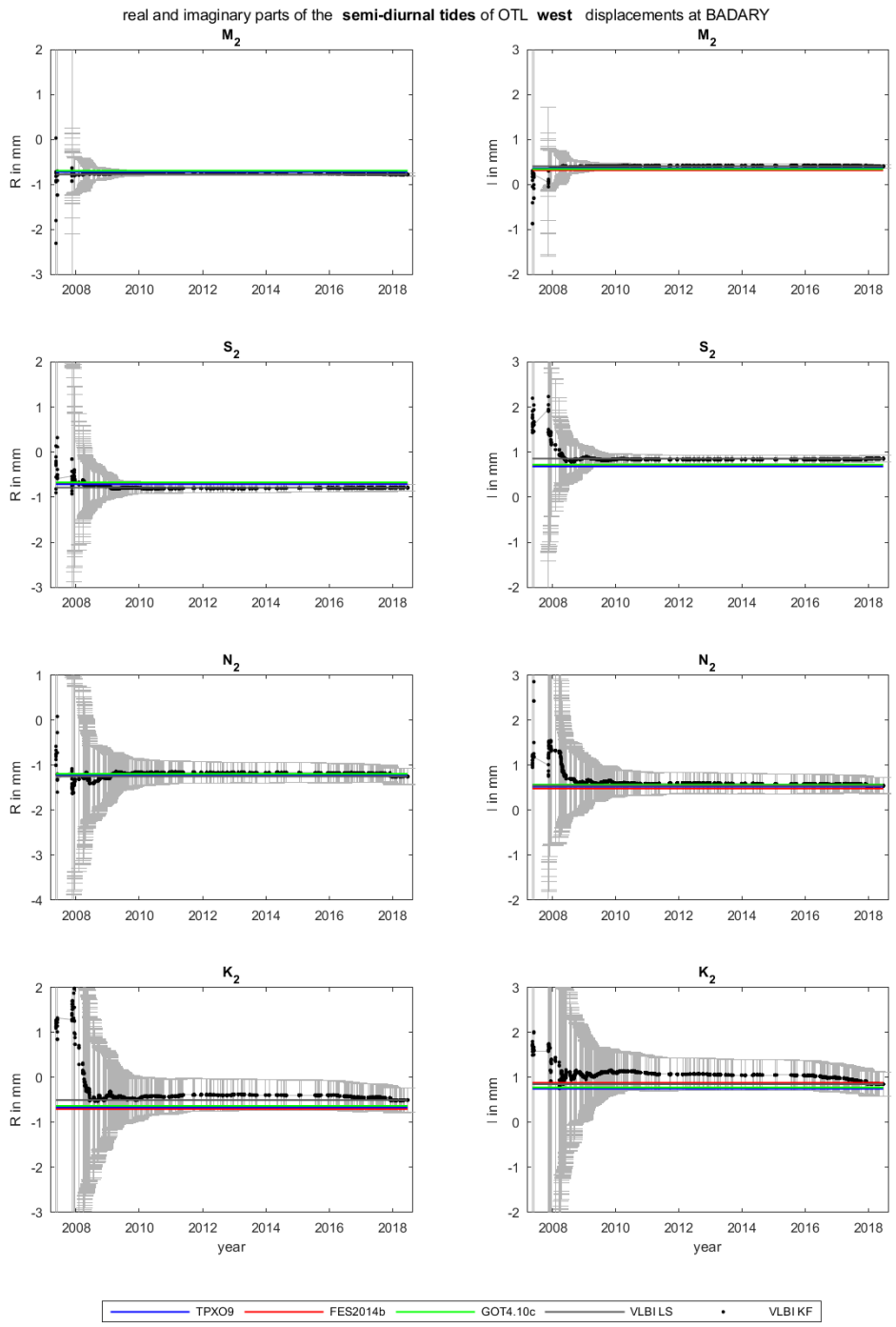

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at ONSALA60
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

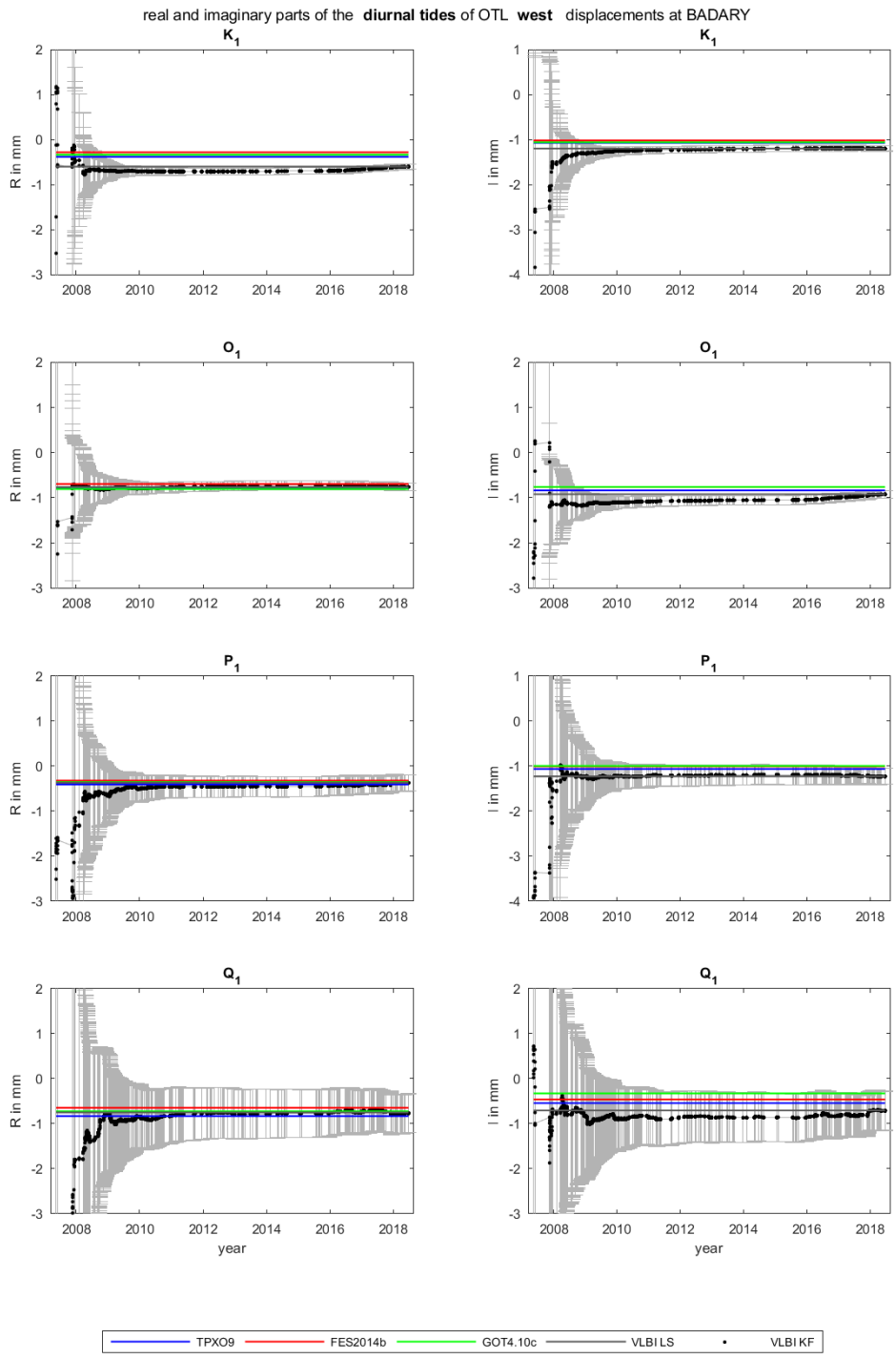

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at BADARY
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

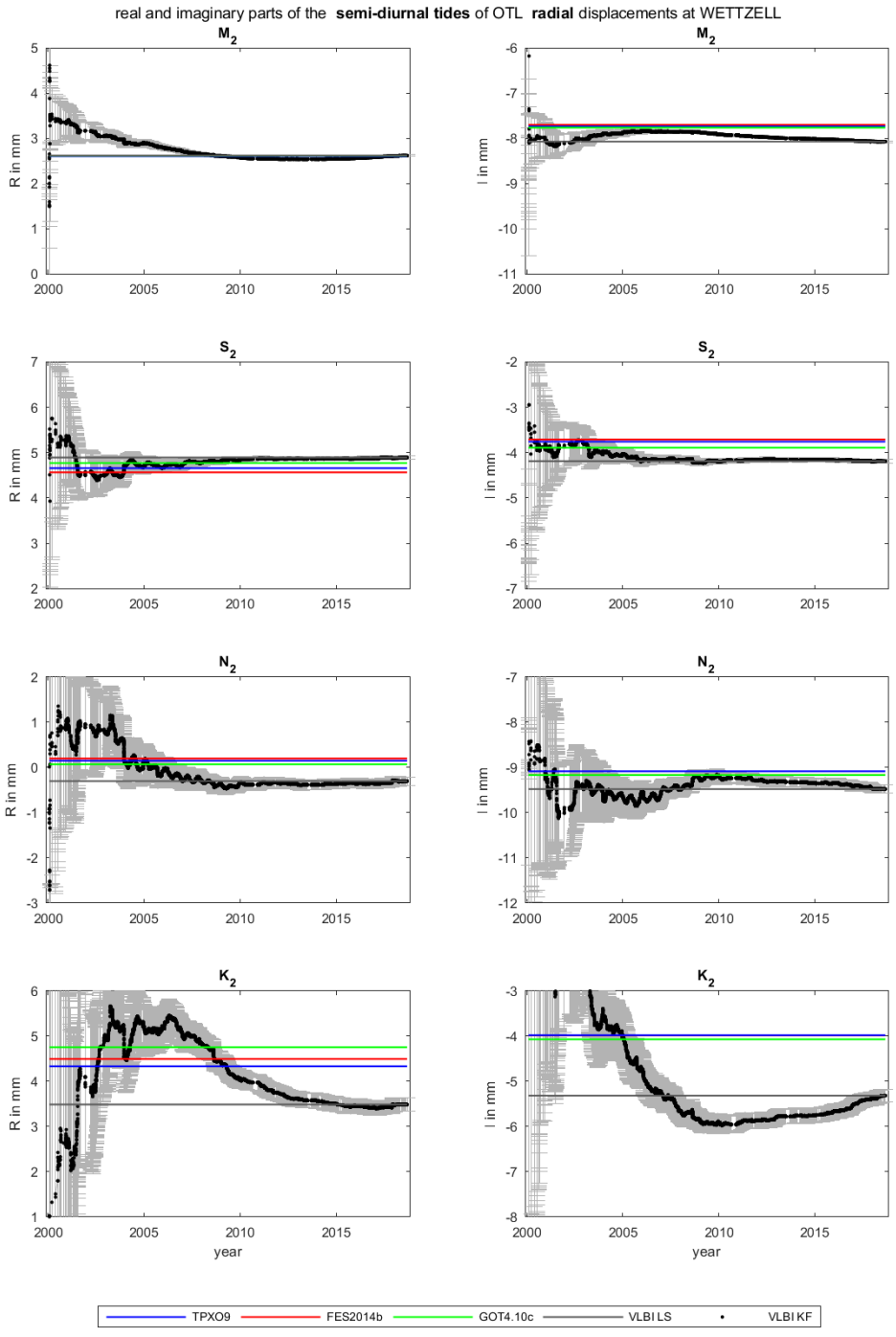

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at BADARY
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

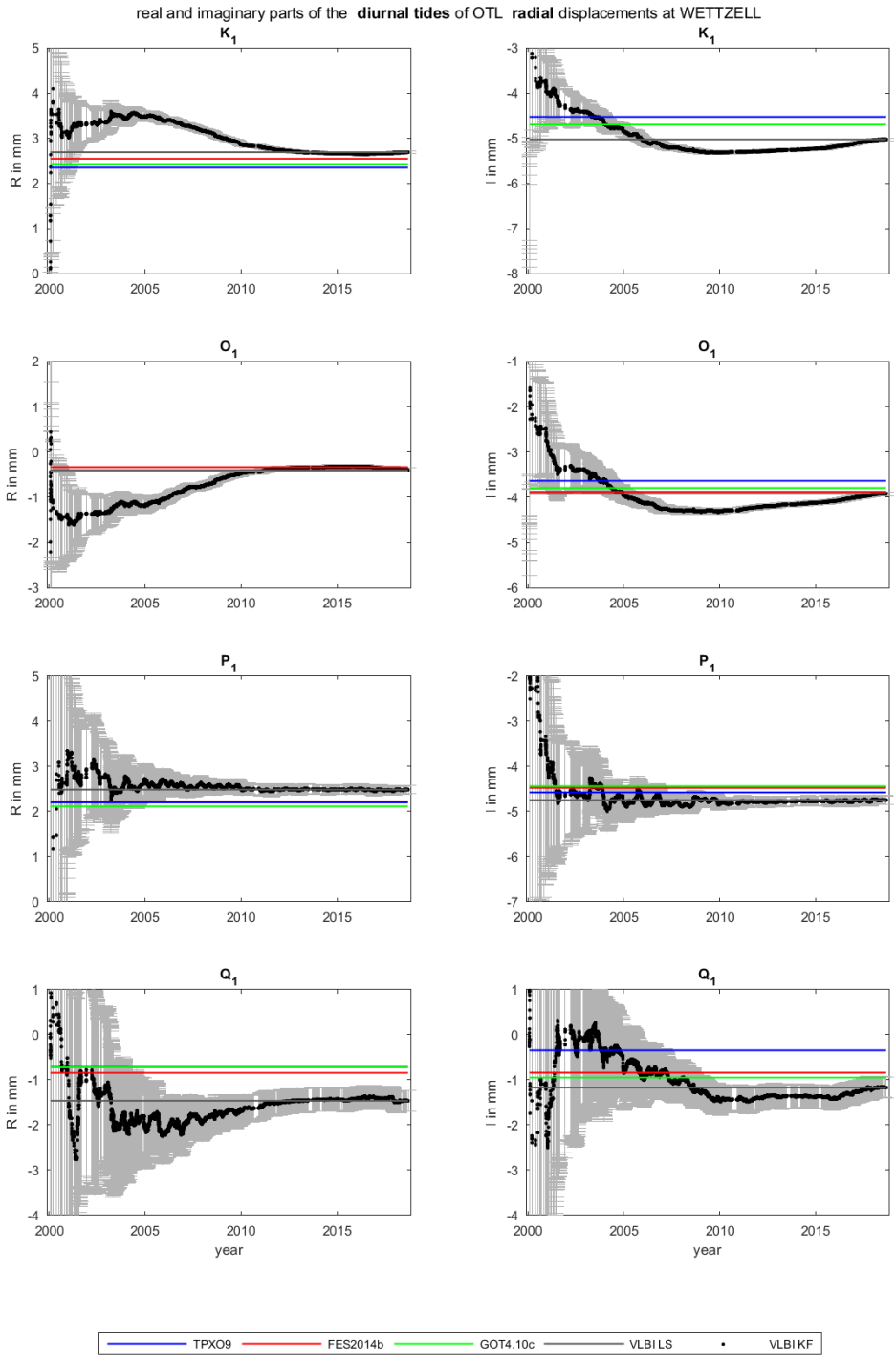

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at BADARY
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

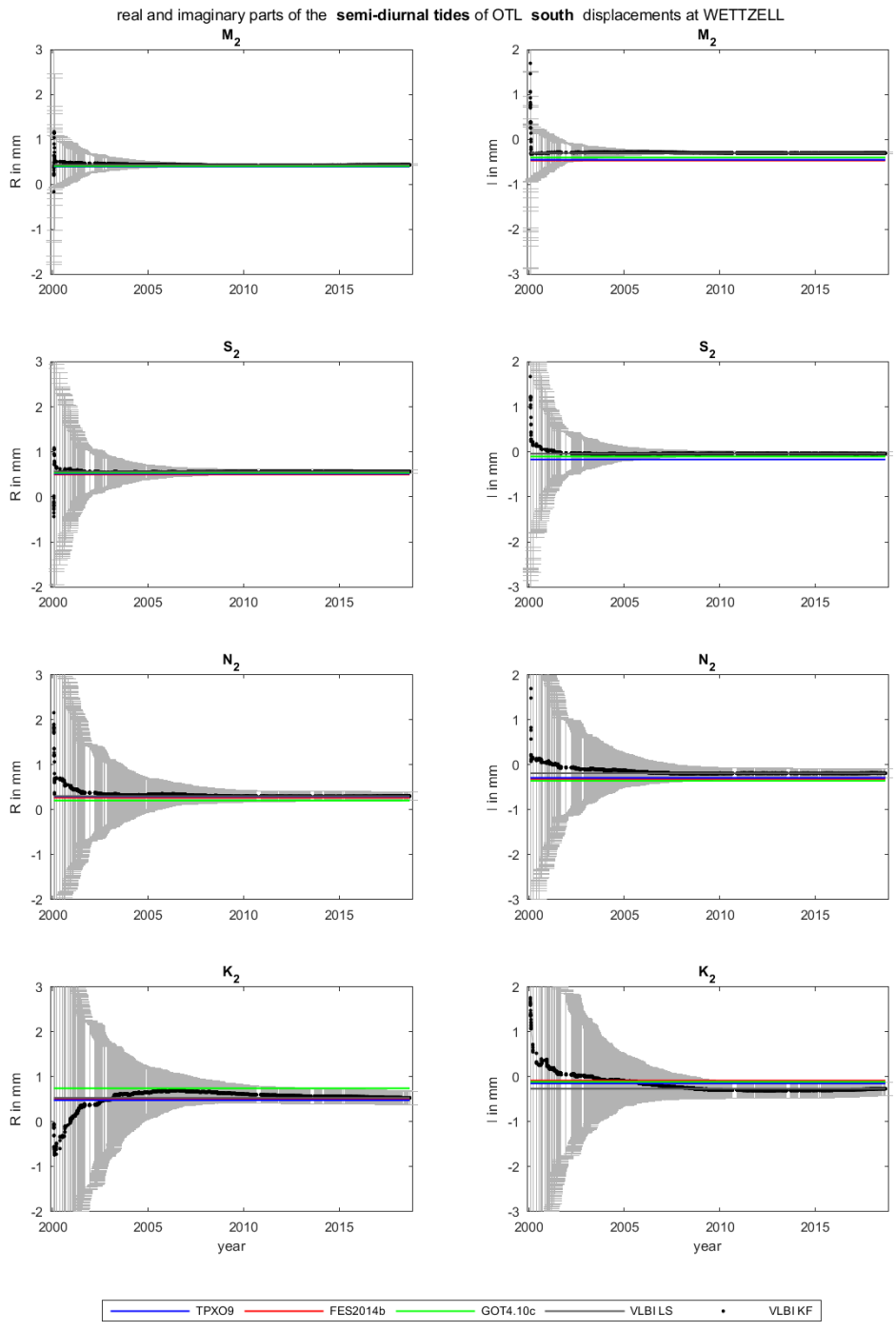

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at BADARY
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

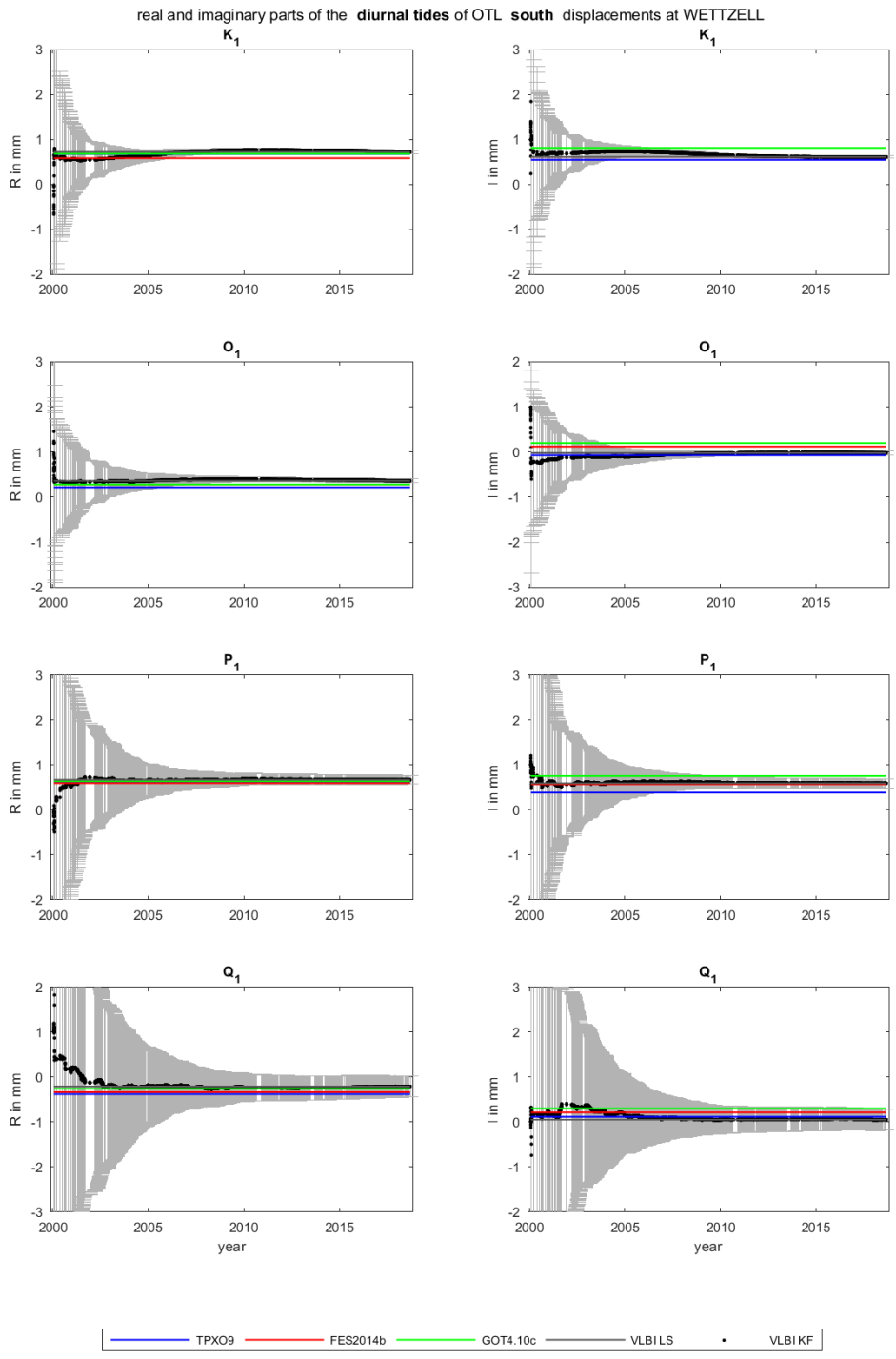

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at BADARY
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

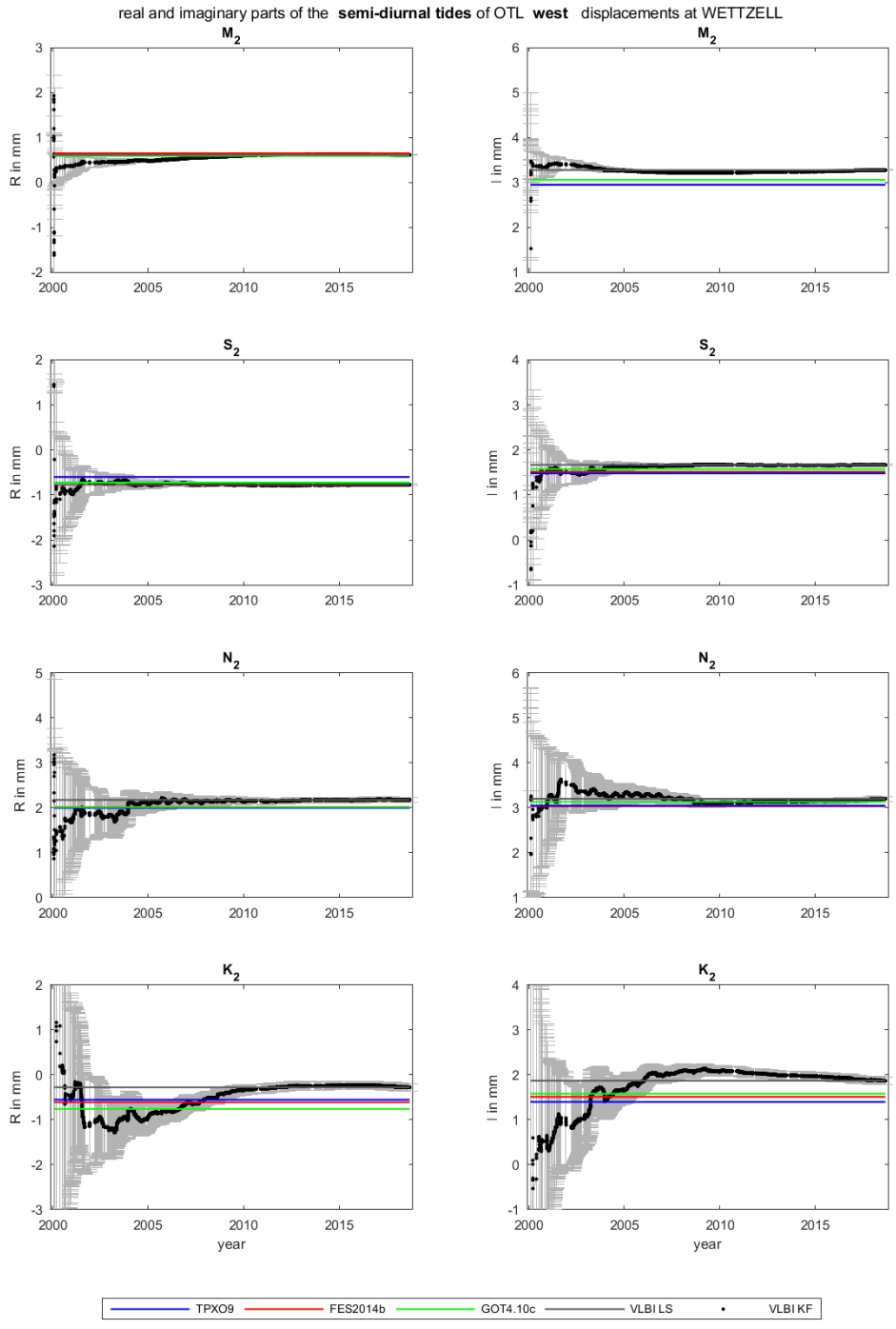

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at BADARY
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

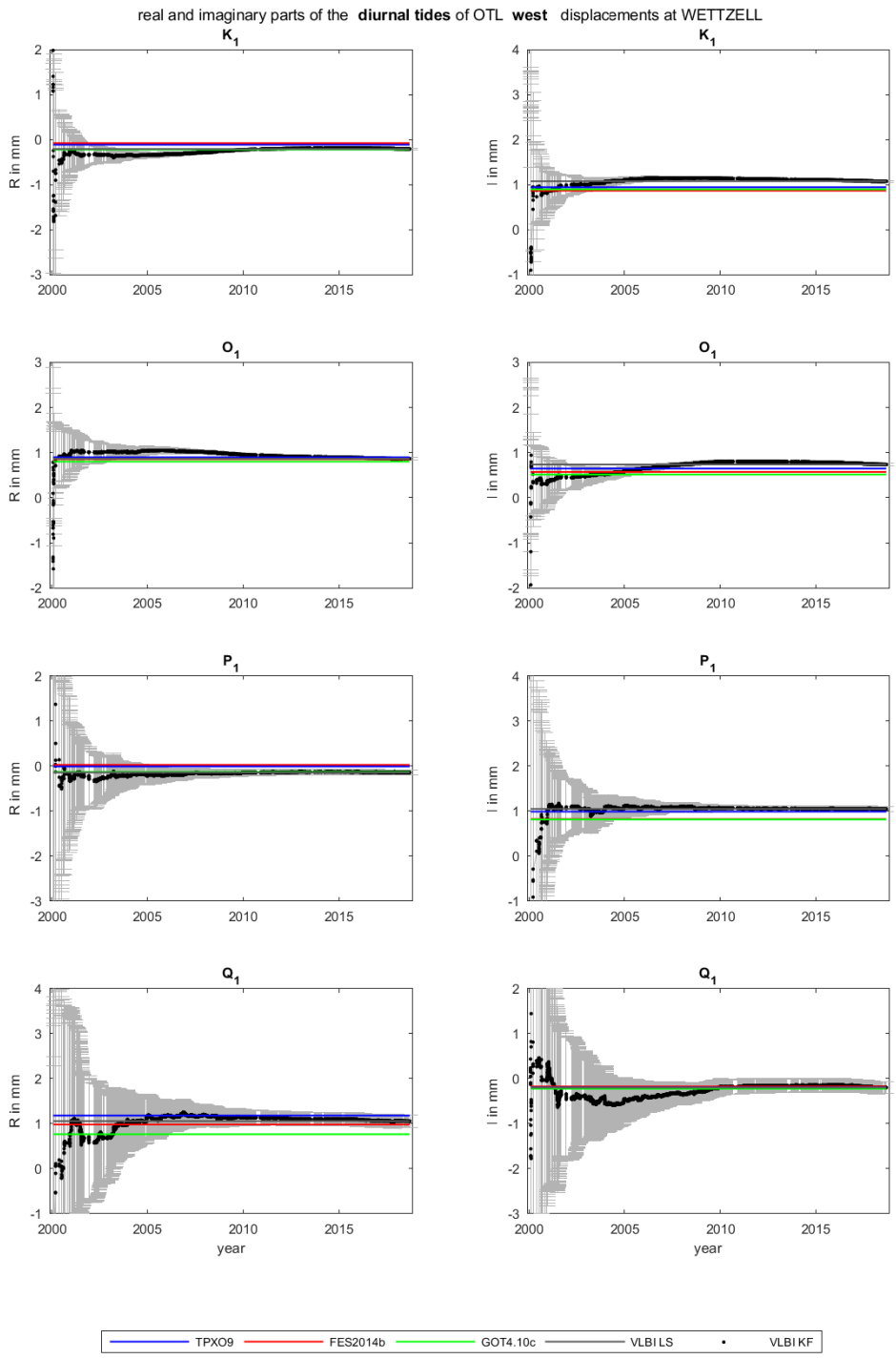

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at WETTZELL
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

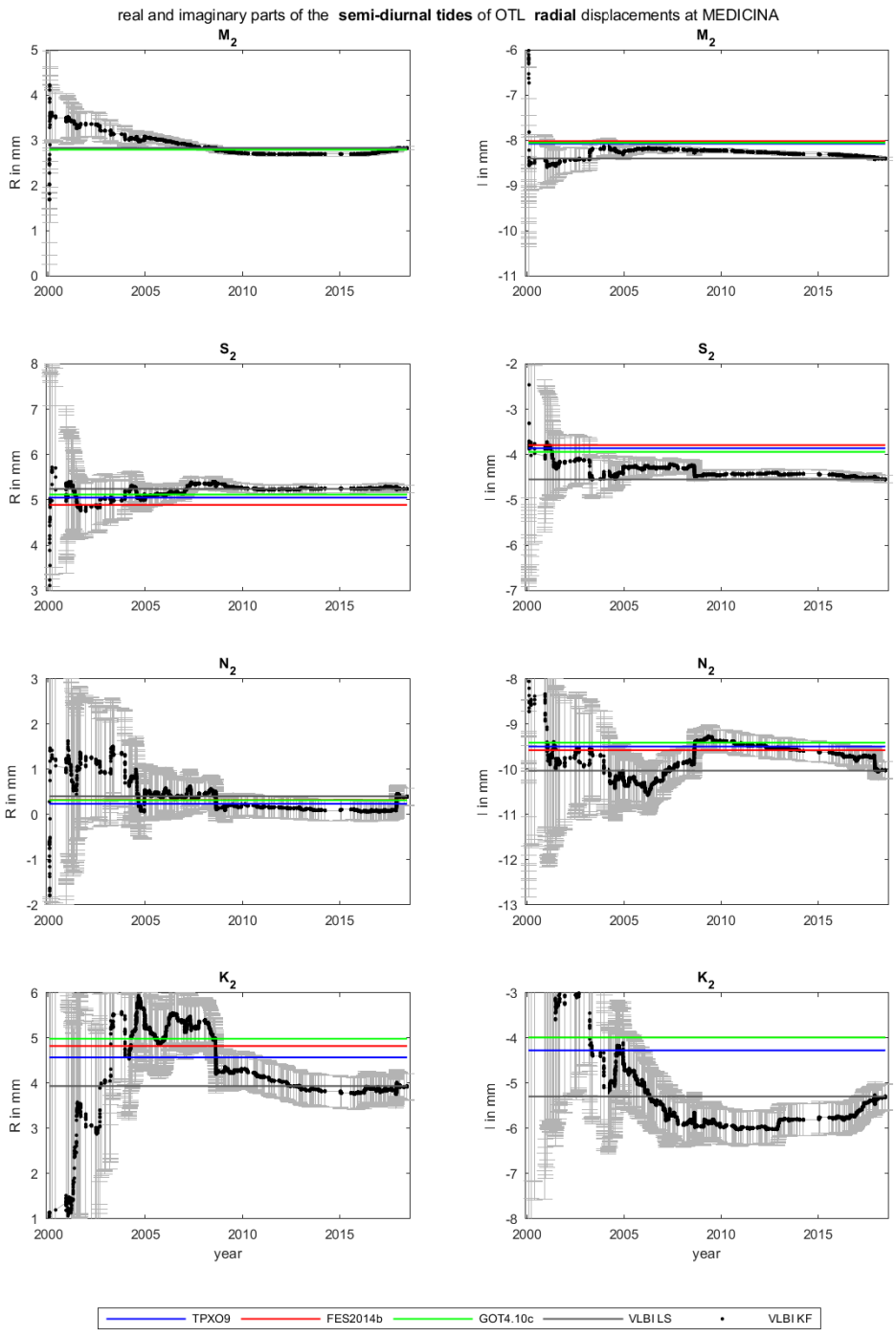

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at WETTZELL
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

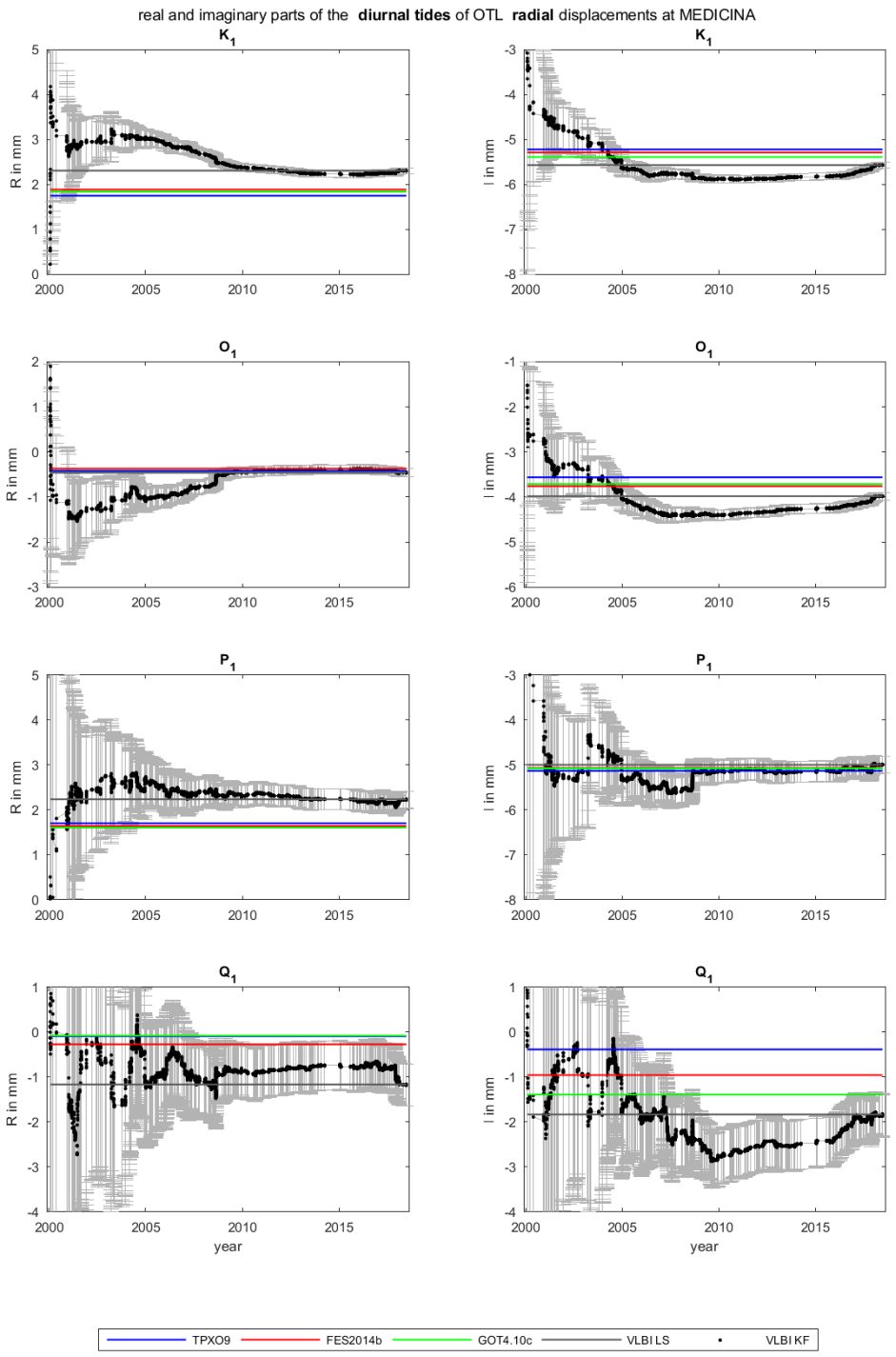

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at WETTZELL
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

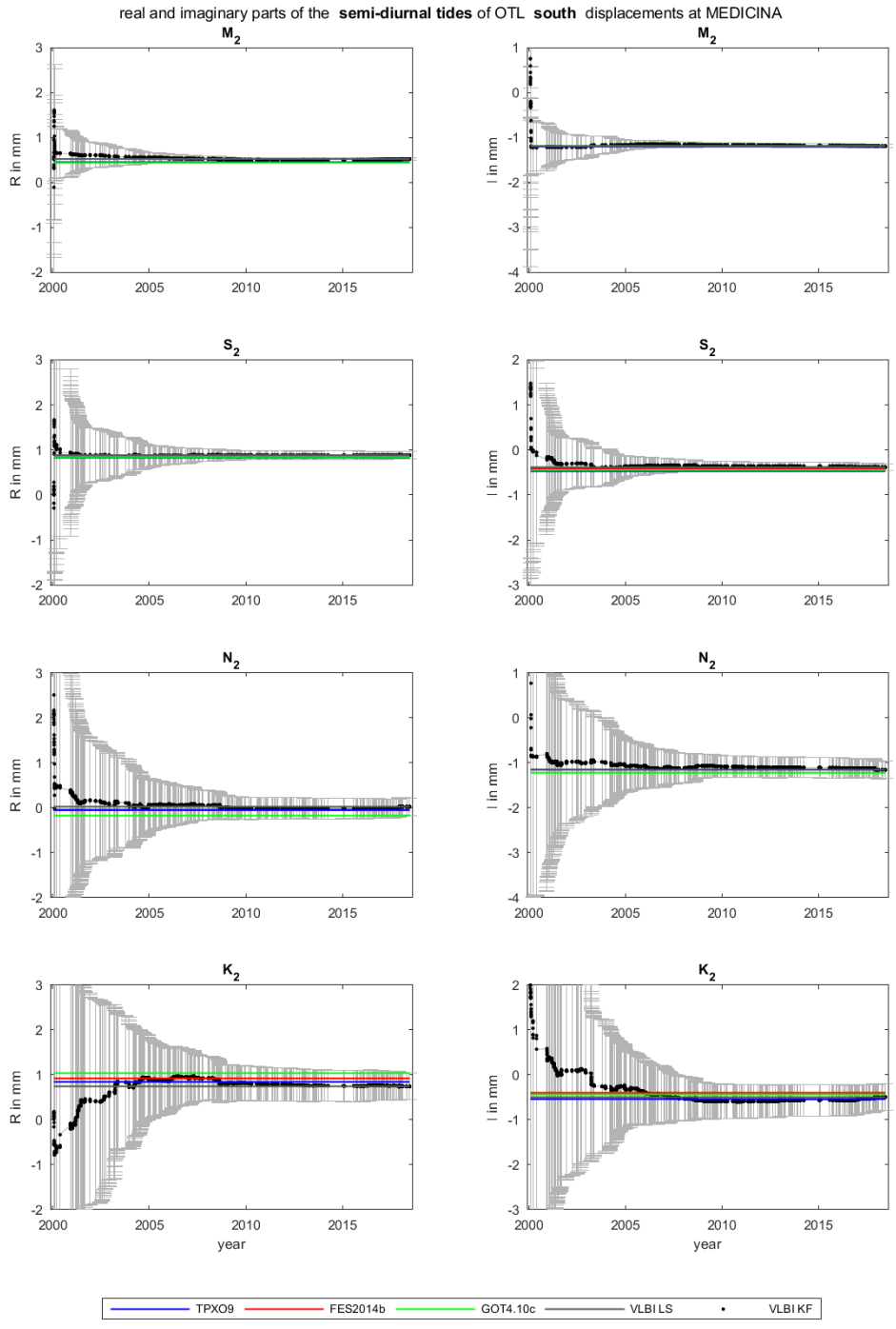

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at WETTZELL
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

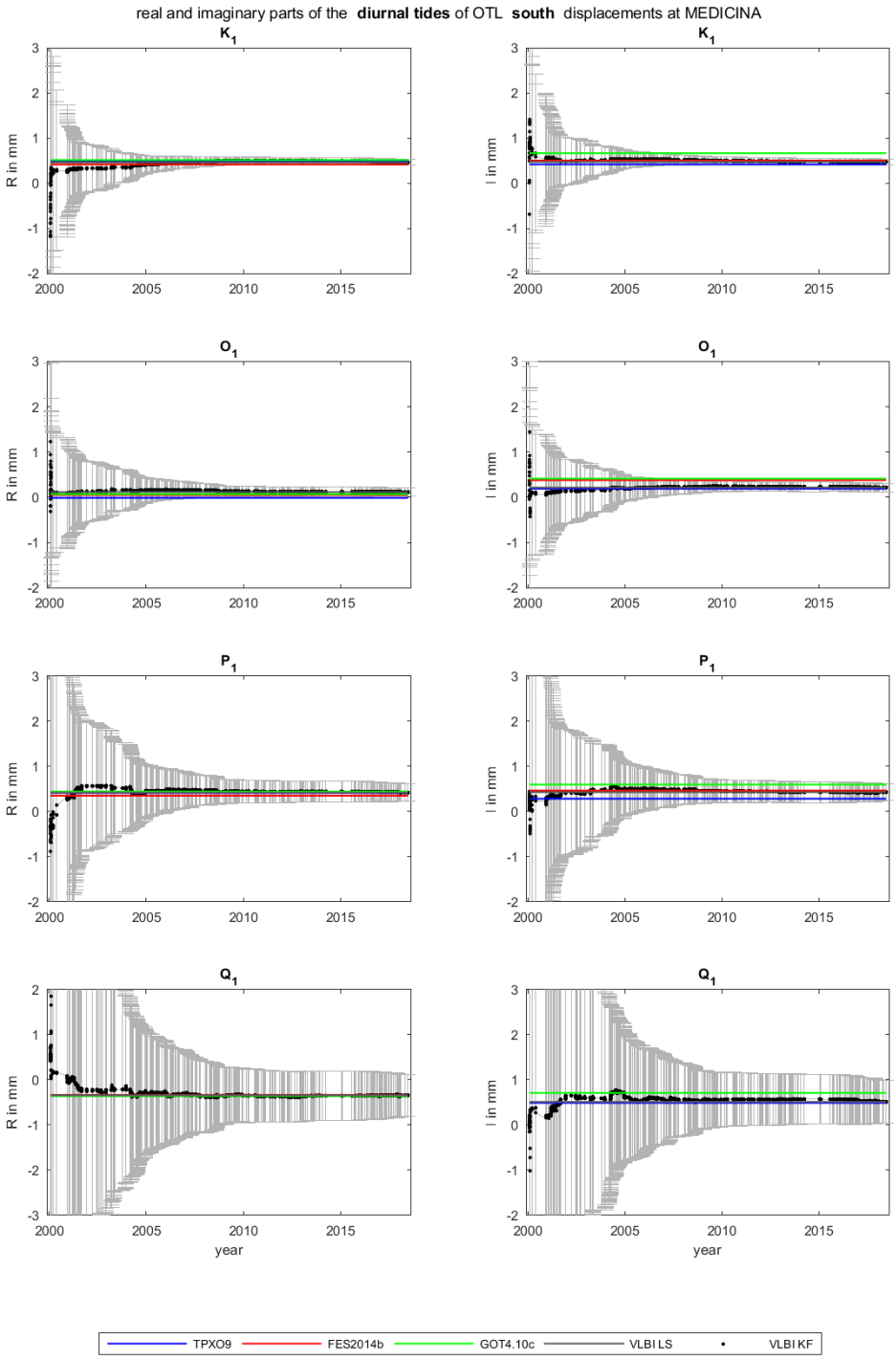

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at WETTZELL
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

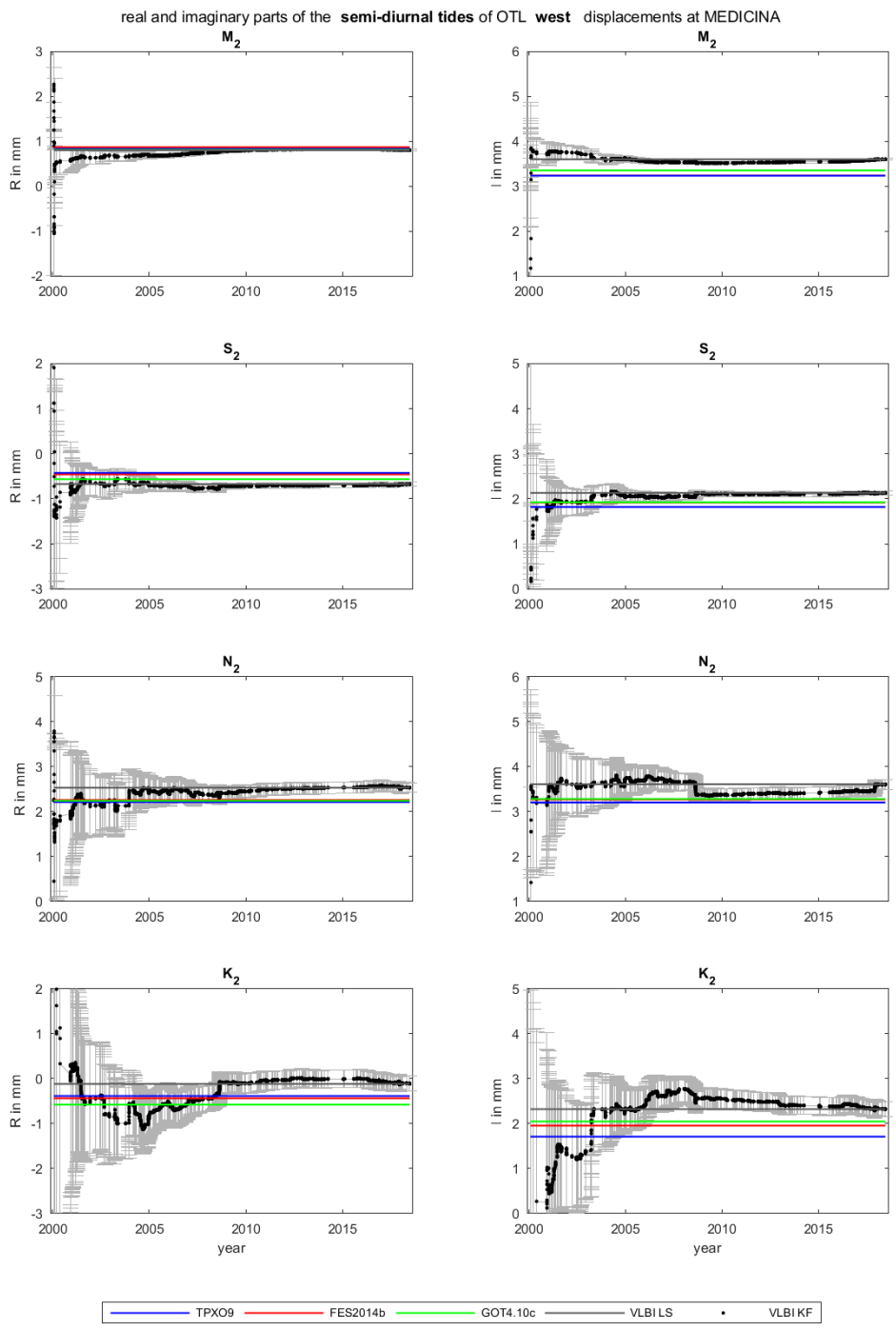

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at WETTZELL
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

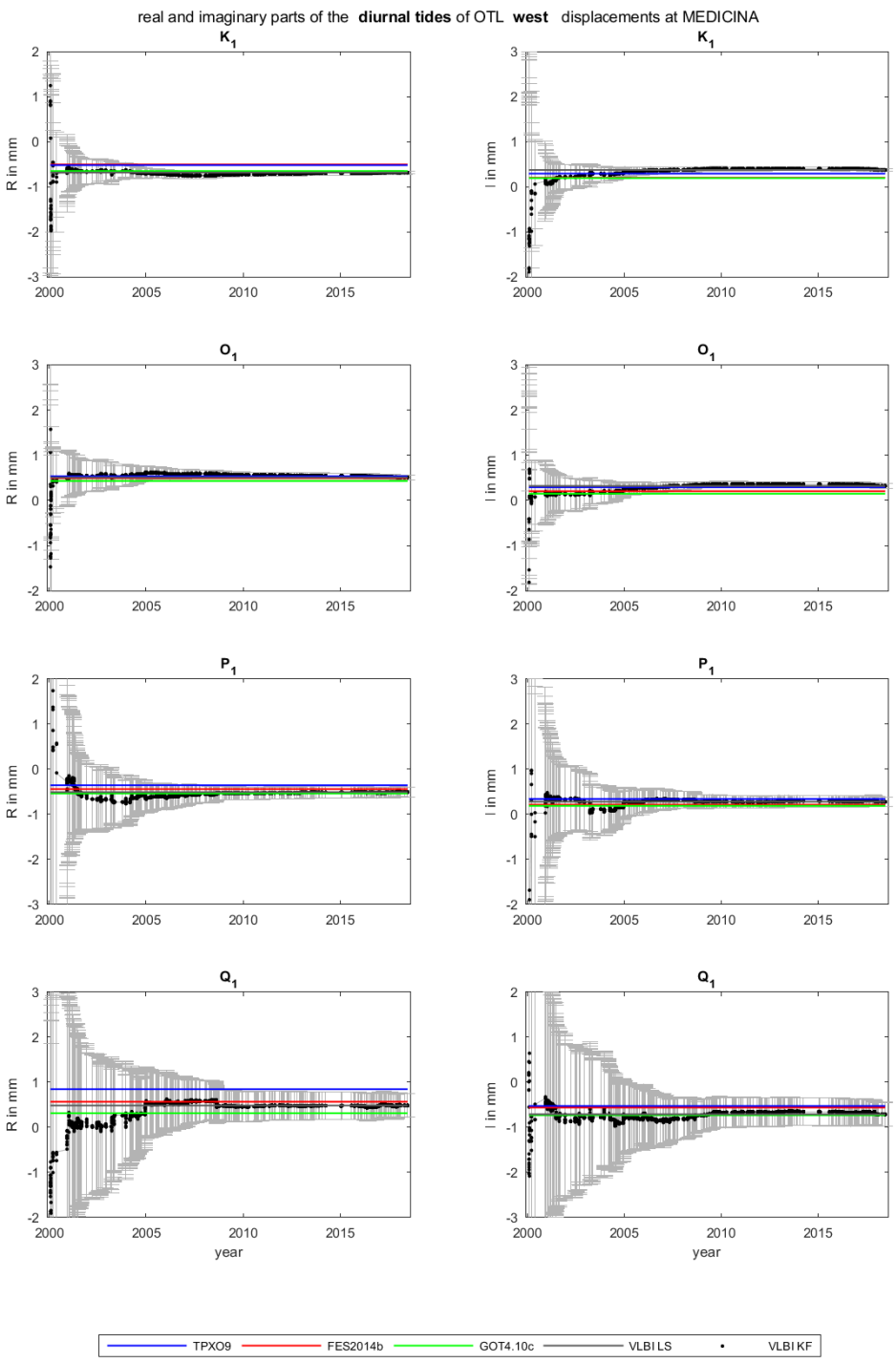

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at MEDICINA
M2
R in mm
I in mm
S2
N2
K2
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

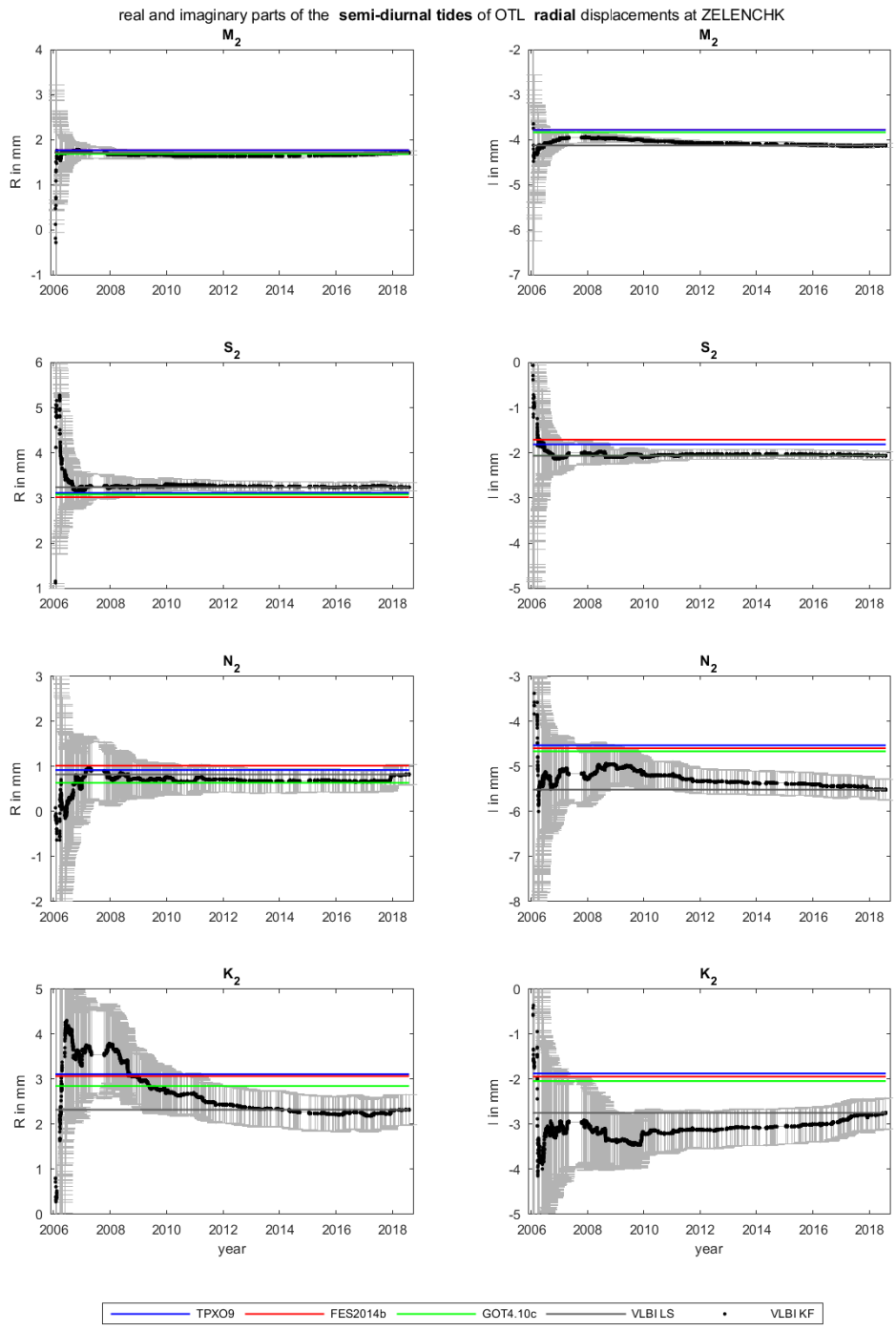

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at MEDICINA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

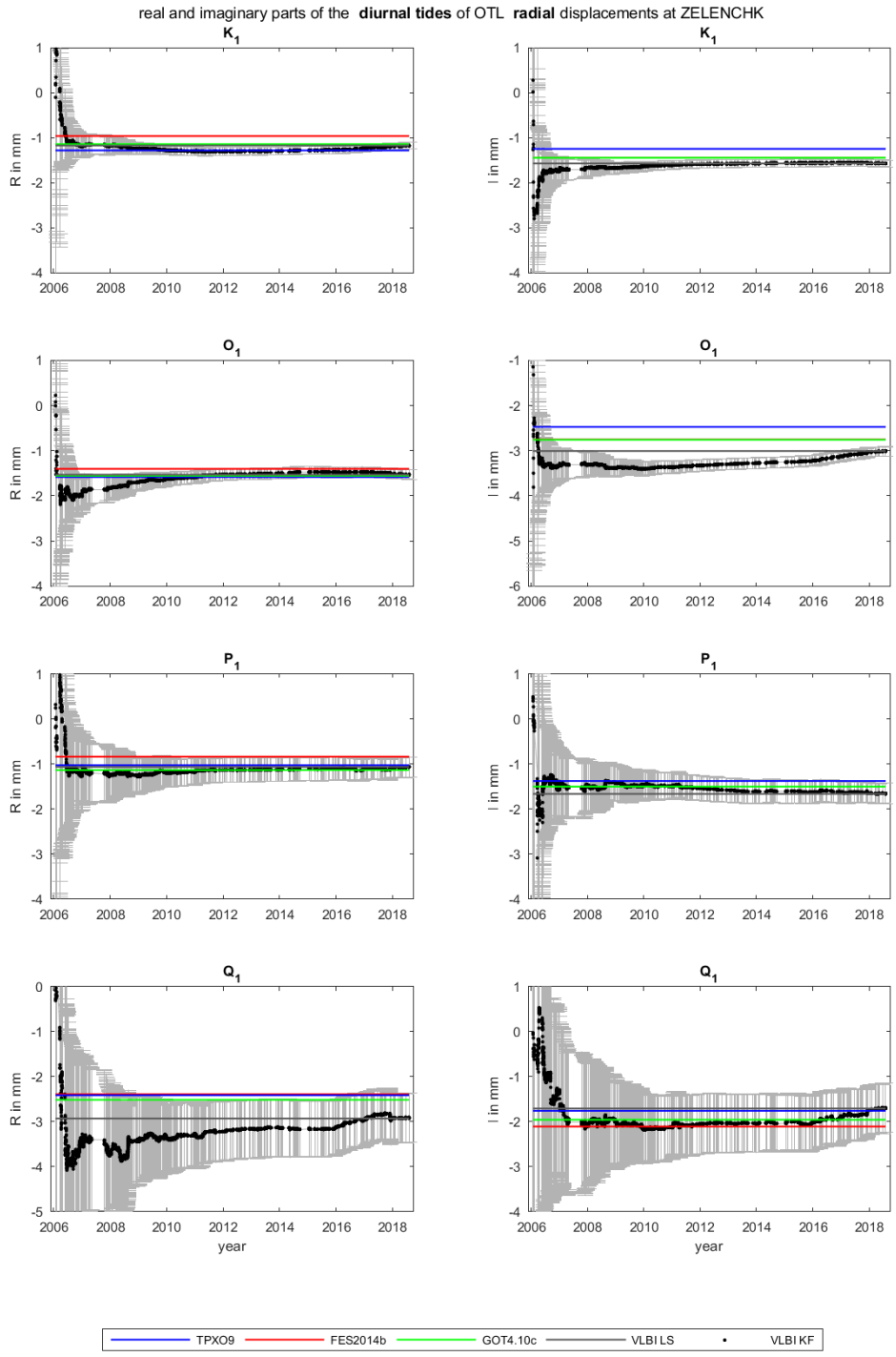

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at MEDICINA
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

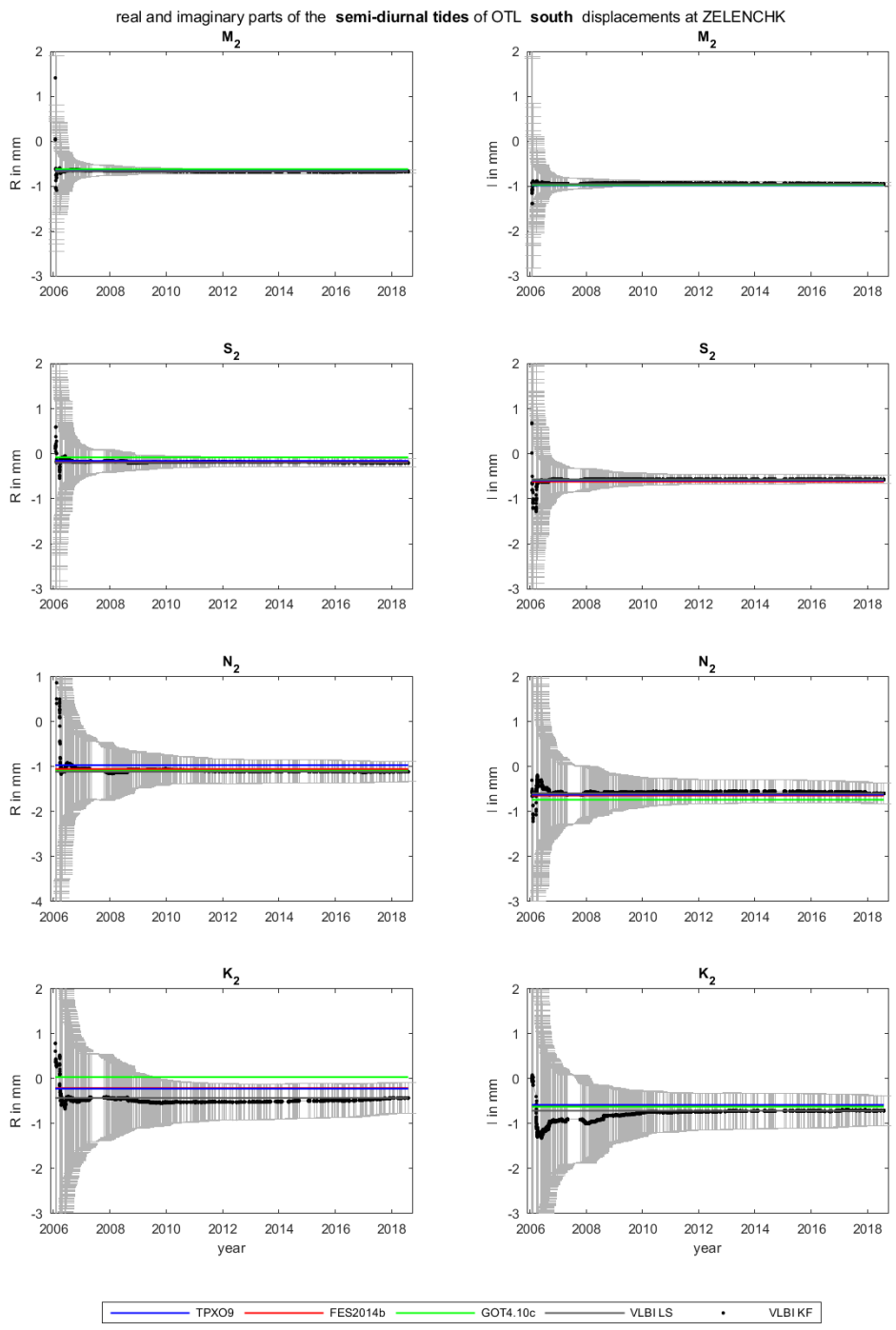

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at MEDICINA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

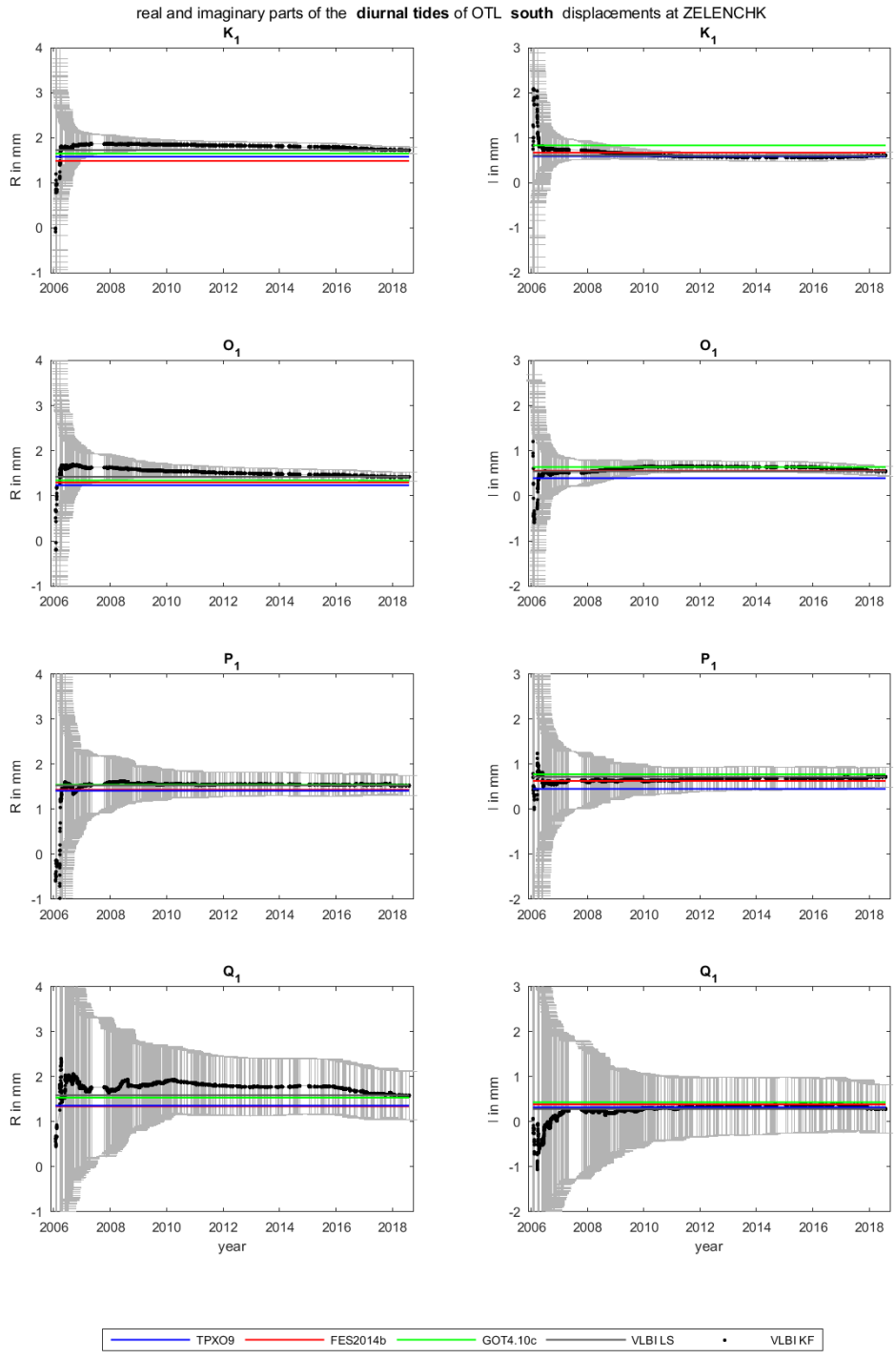

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at MEDICINA
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

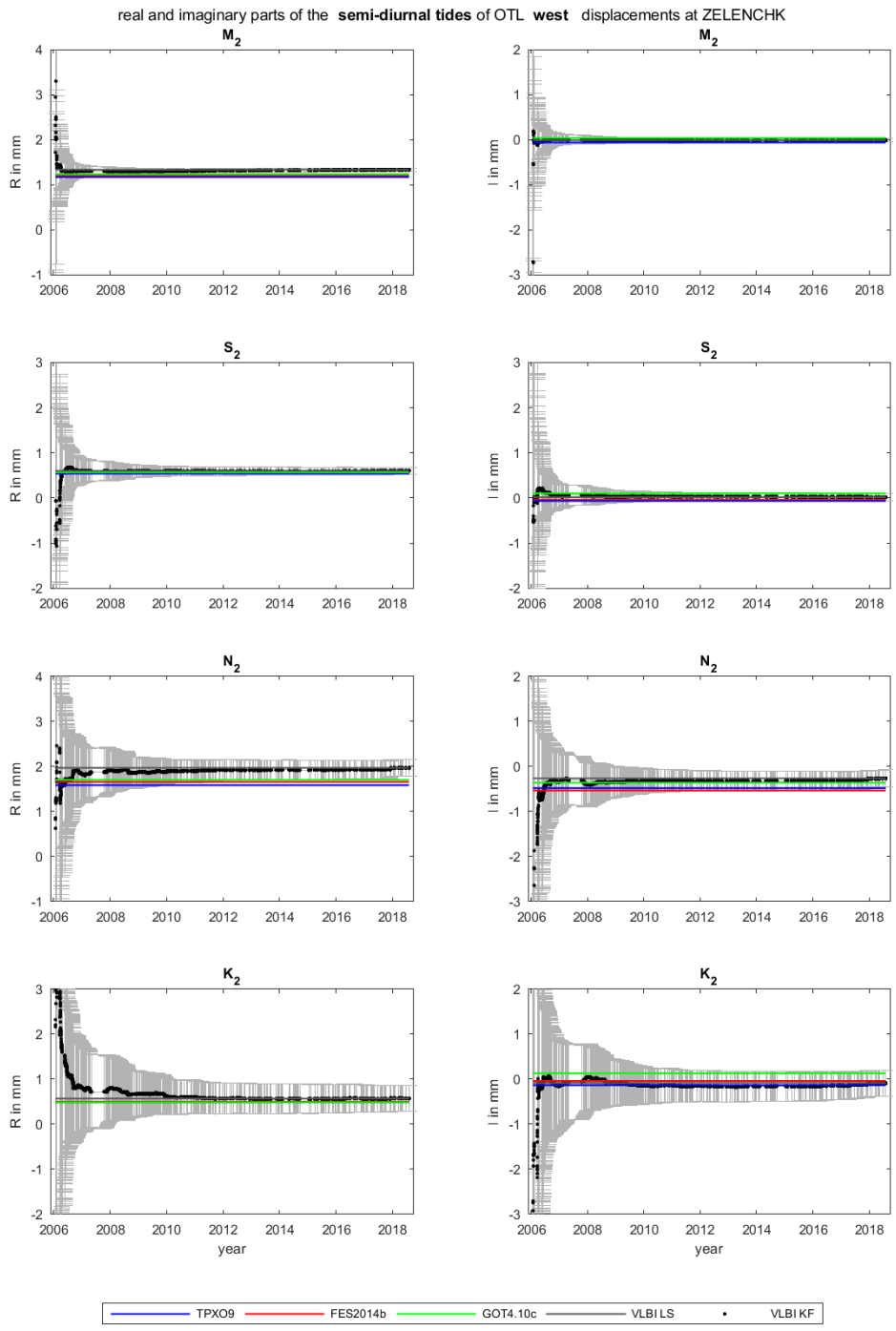

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at MEDICINA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

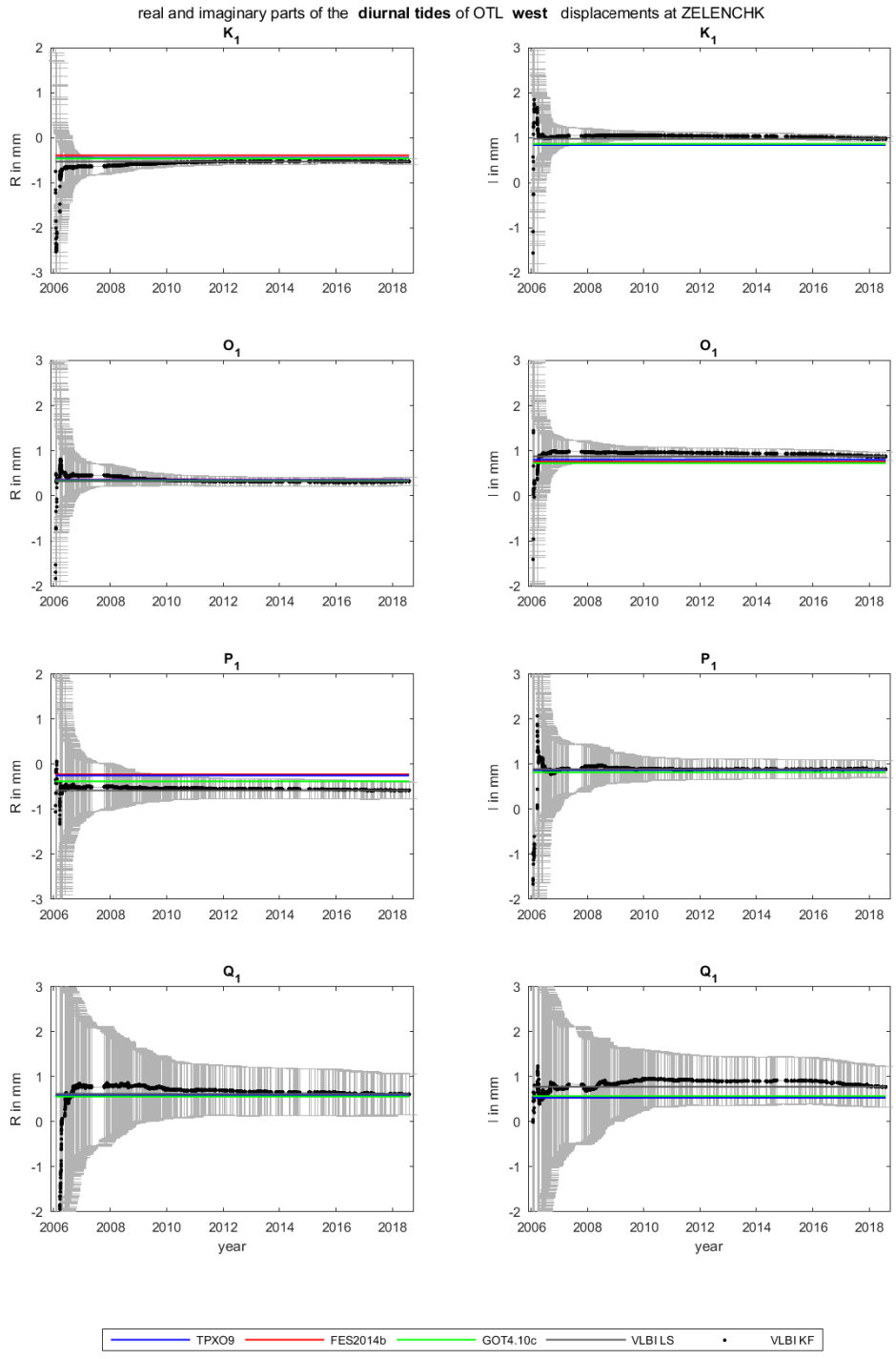

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at ZELENCHK
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

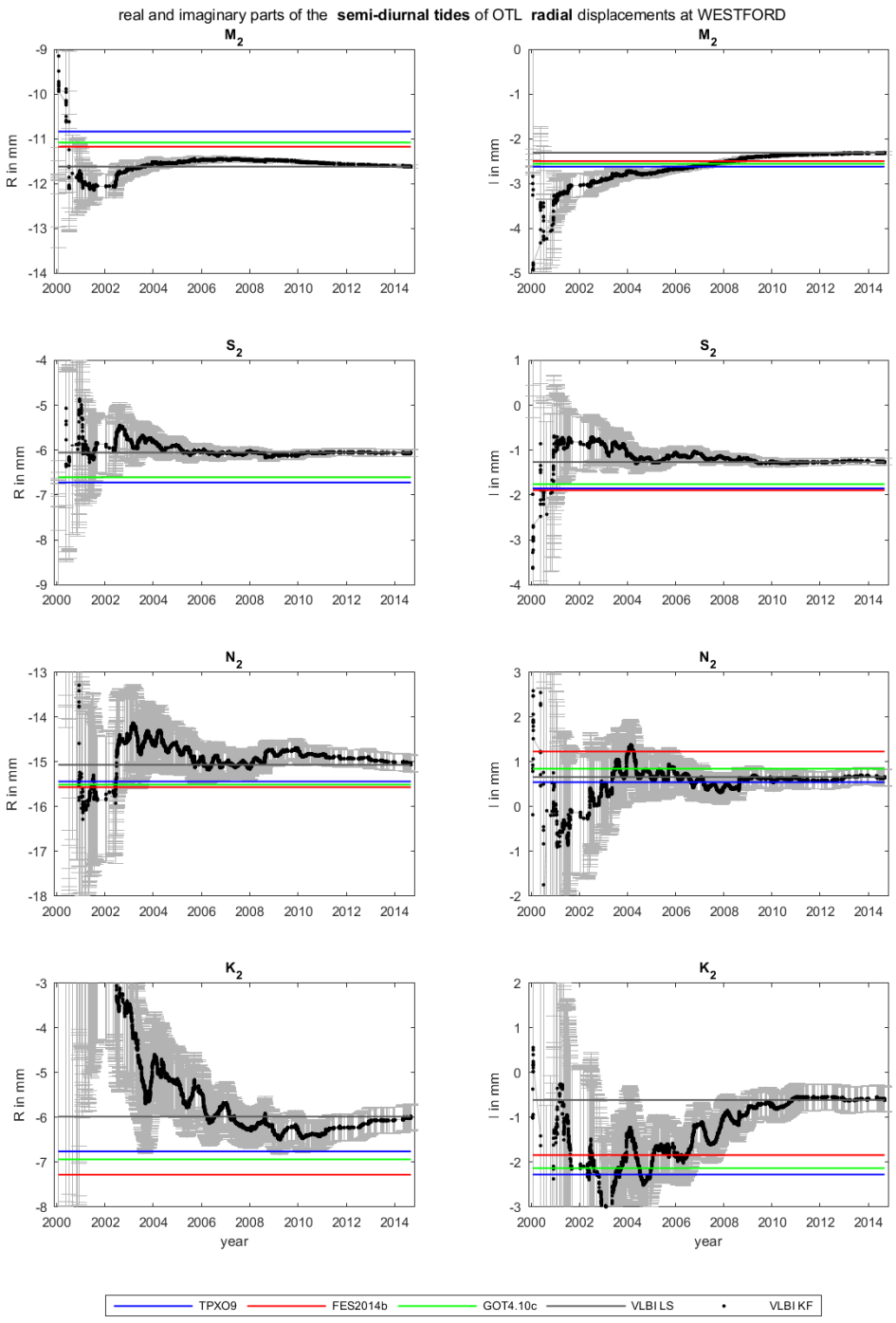

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at ZELENCHK
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

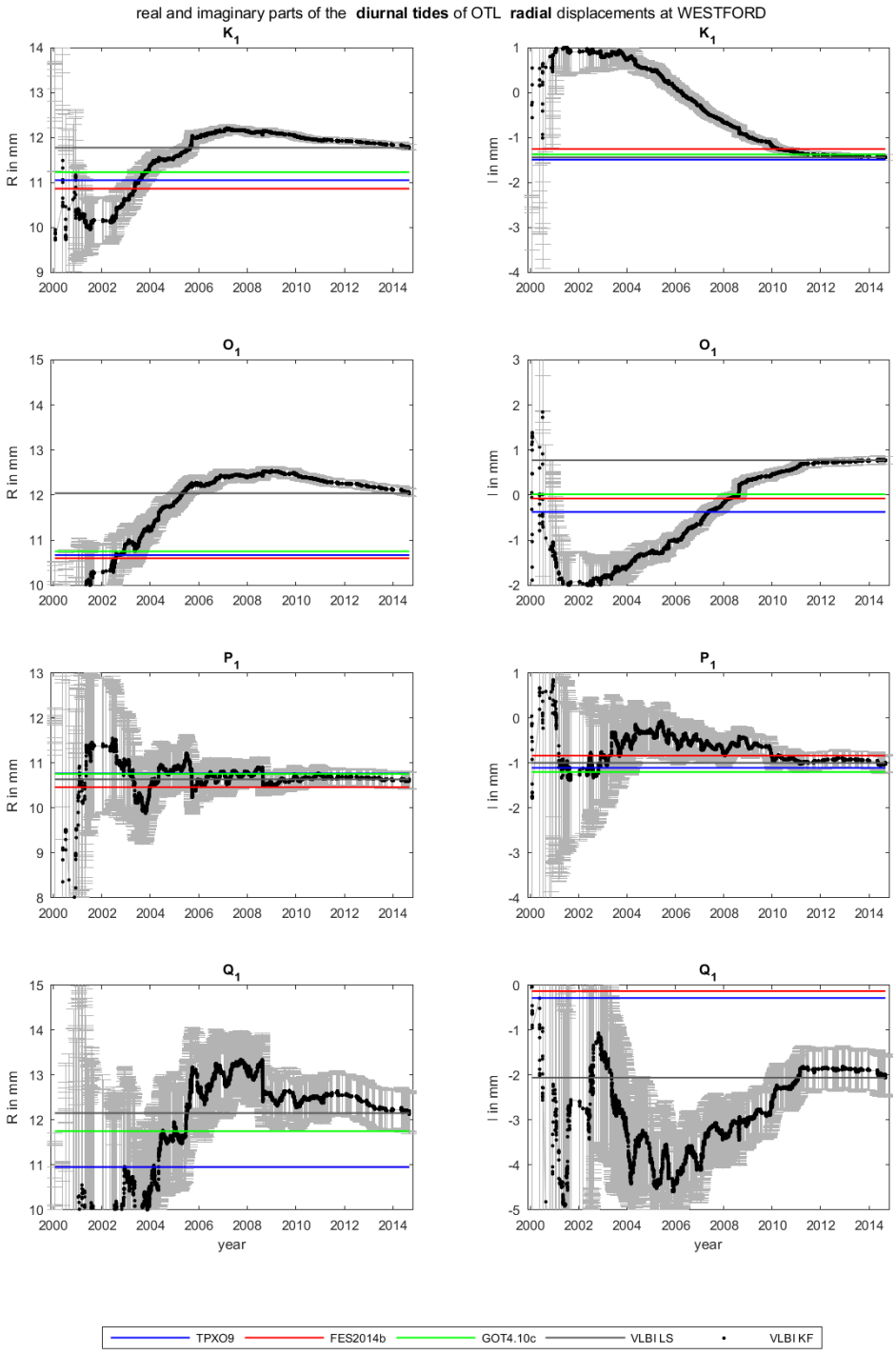

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at ZELENCHK
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

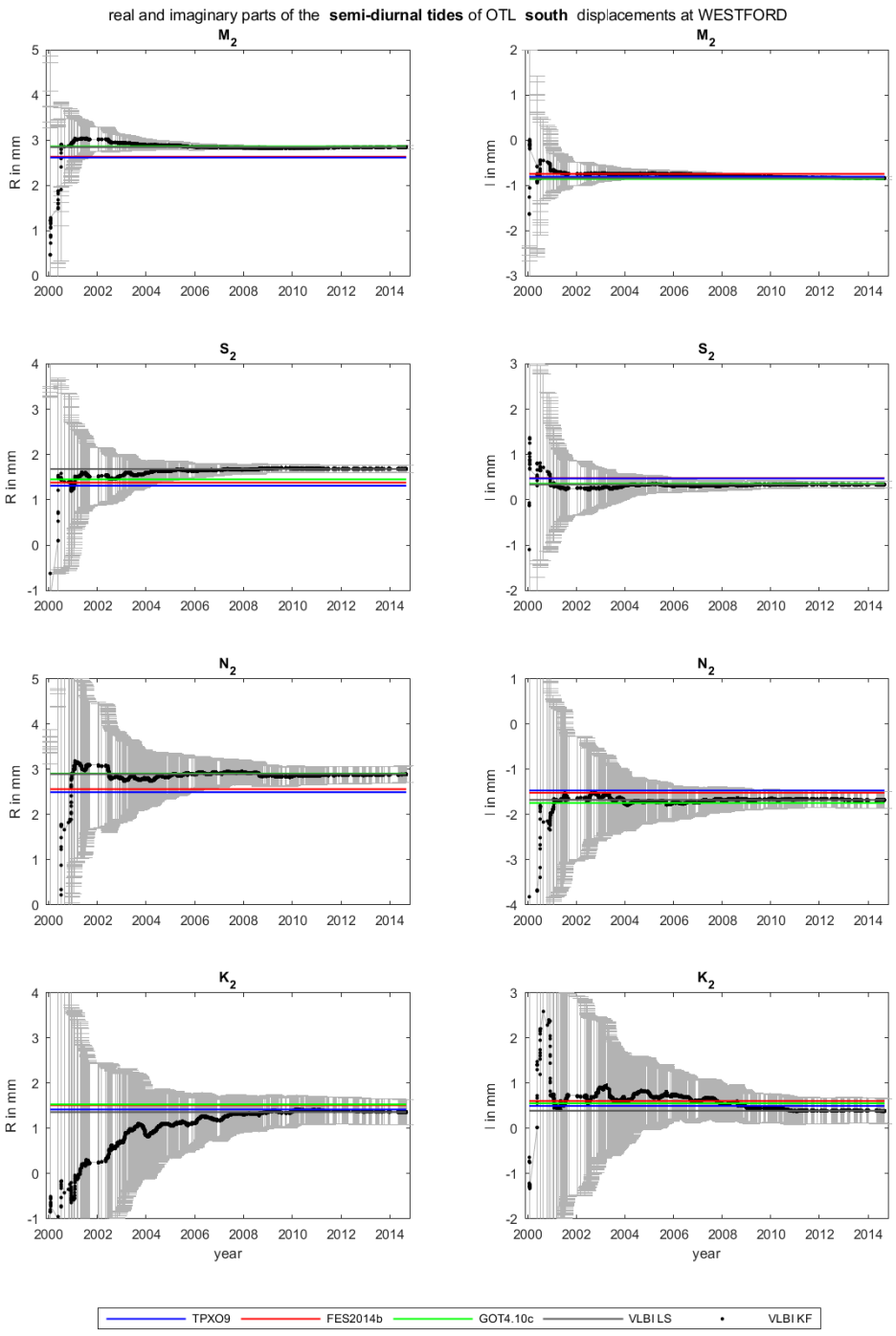

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at ZELENCHK
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

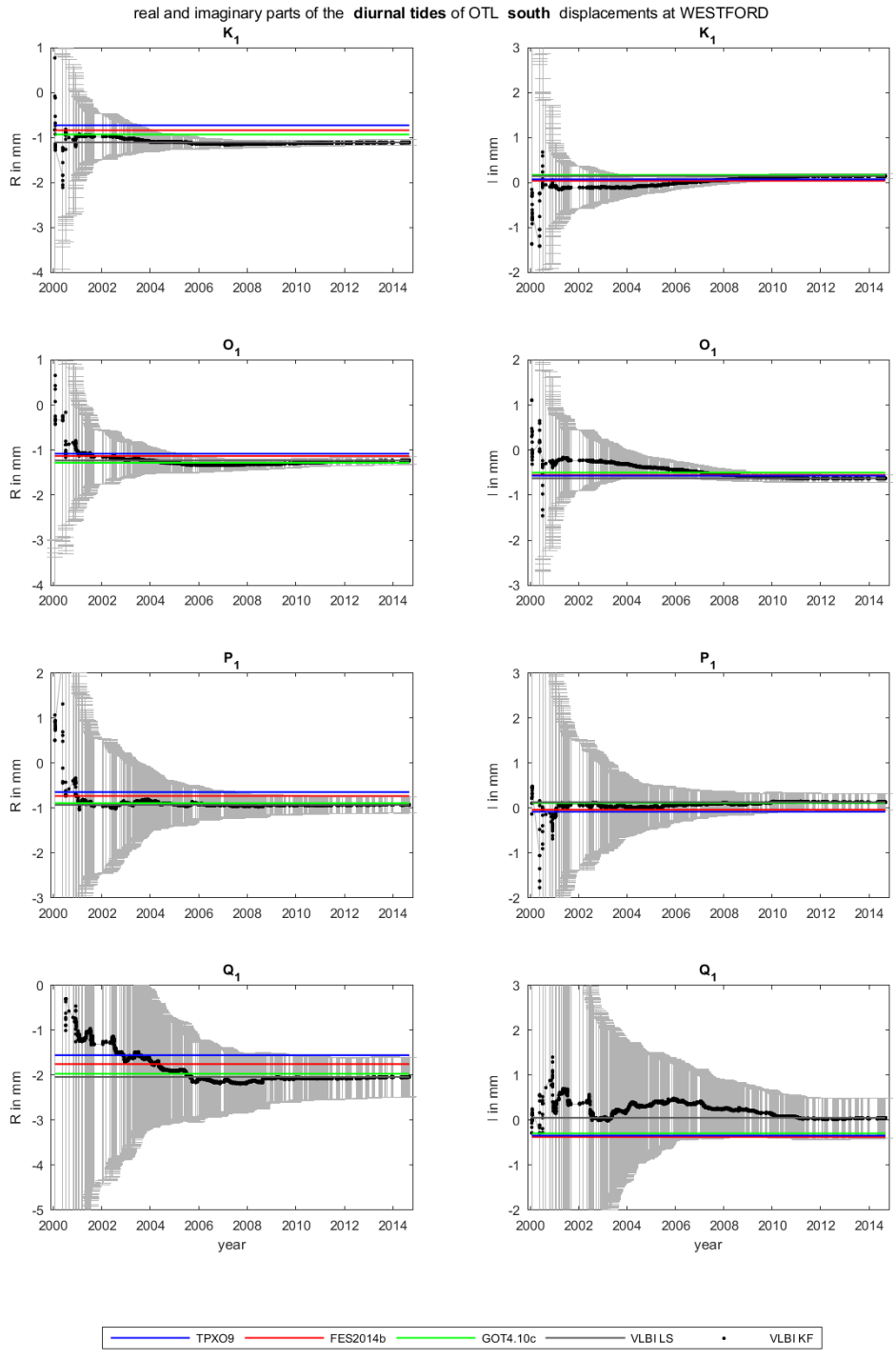

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at ZELENCHK
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

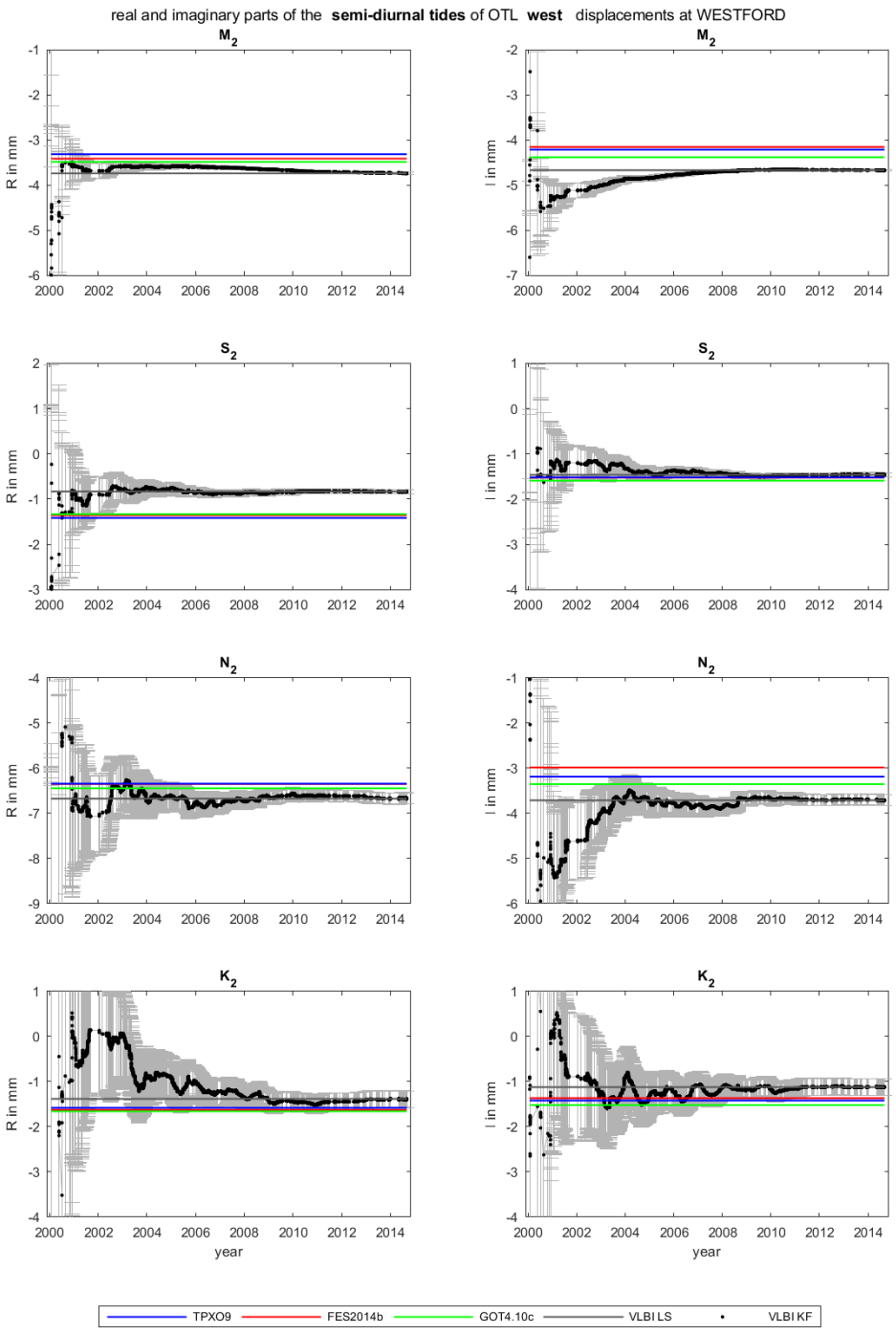

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at ZELENCHK
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

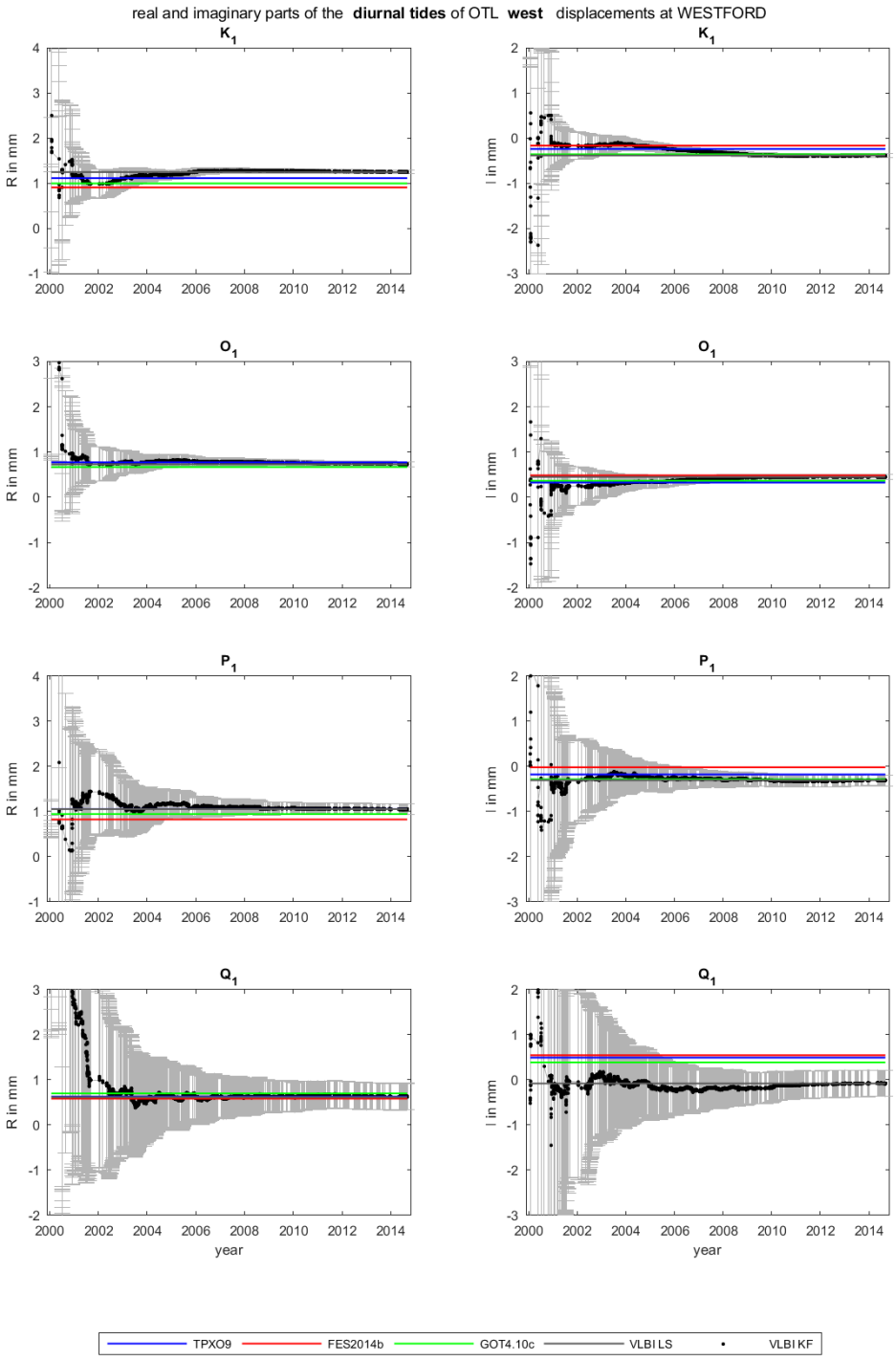

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at WESTFORD
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

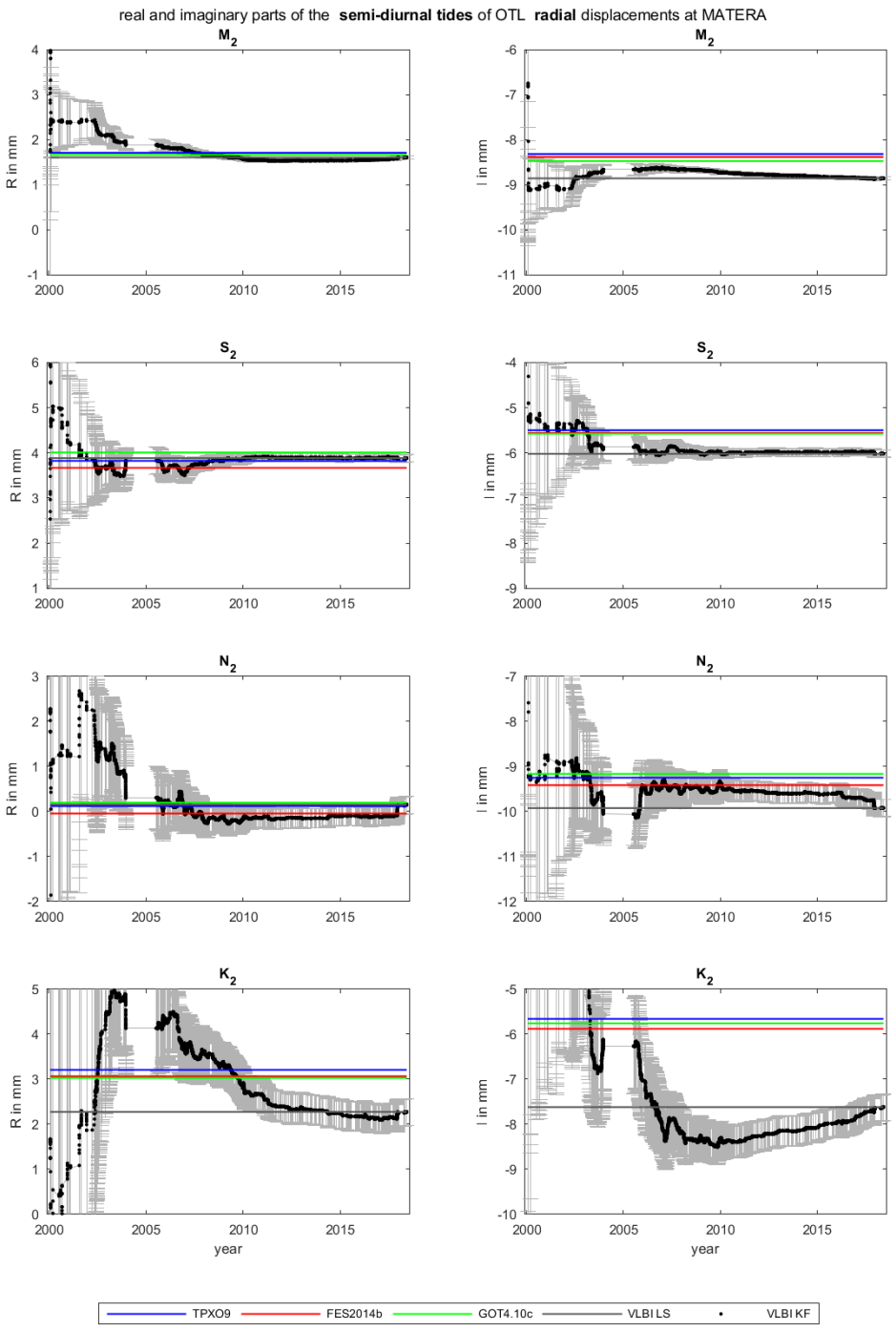

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at WESTFORD
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

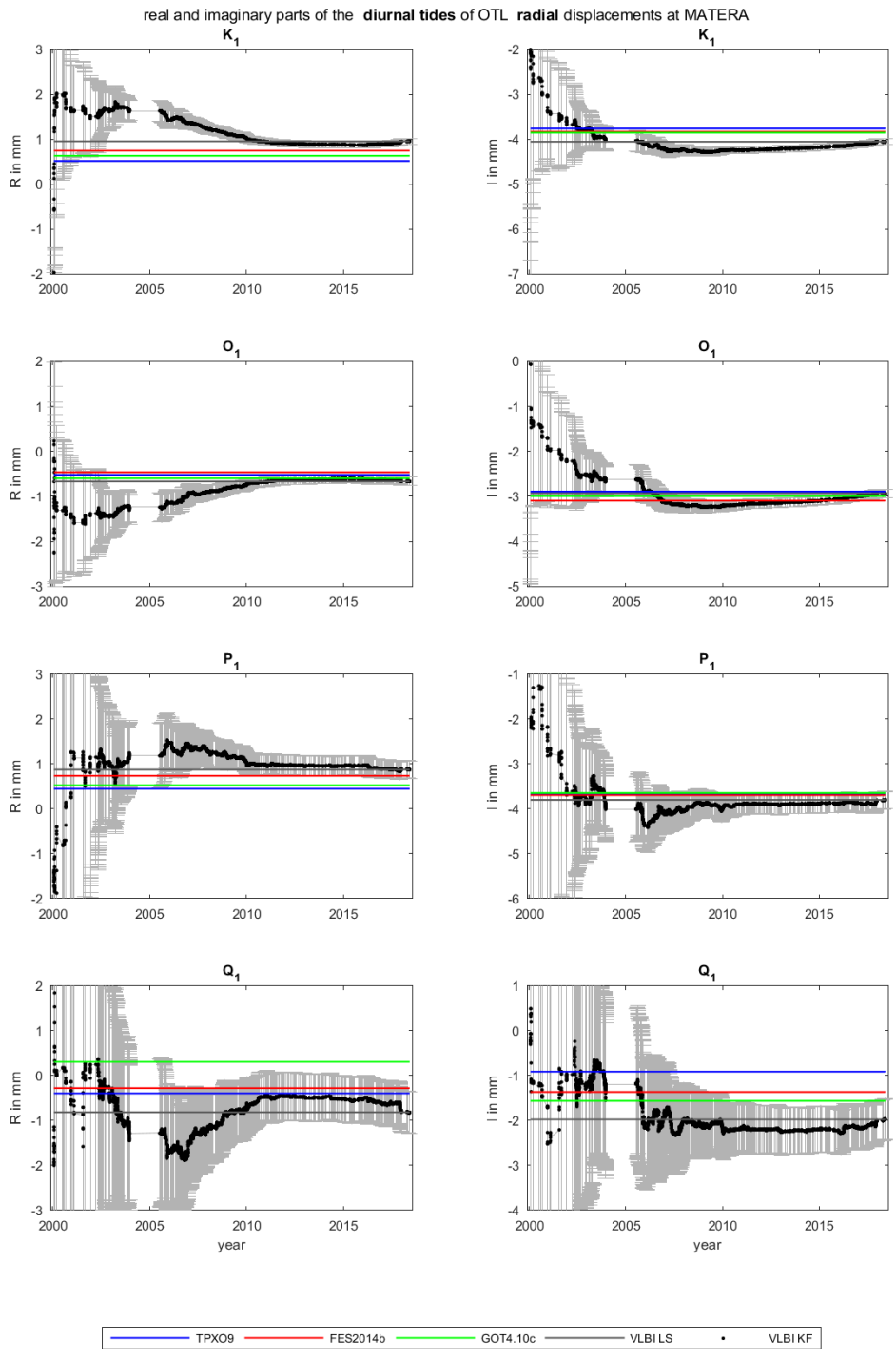

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at WESTFORD
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

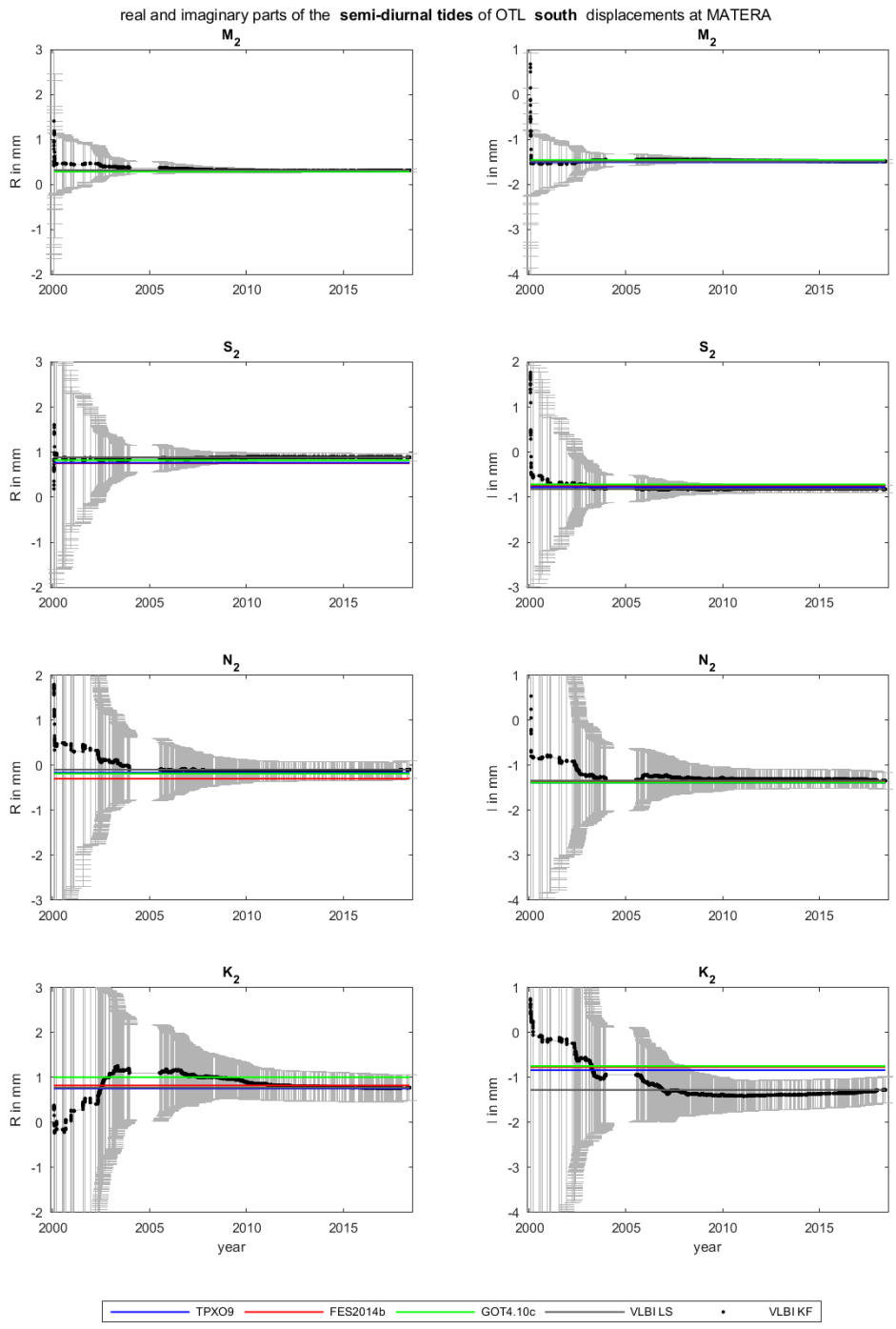

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at WESTFORD
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

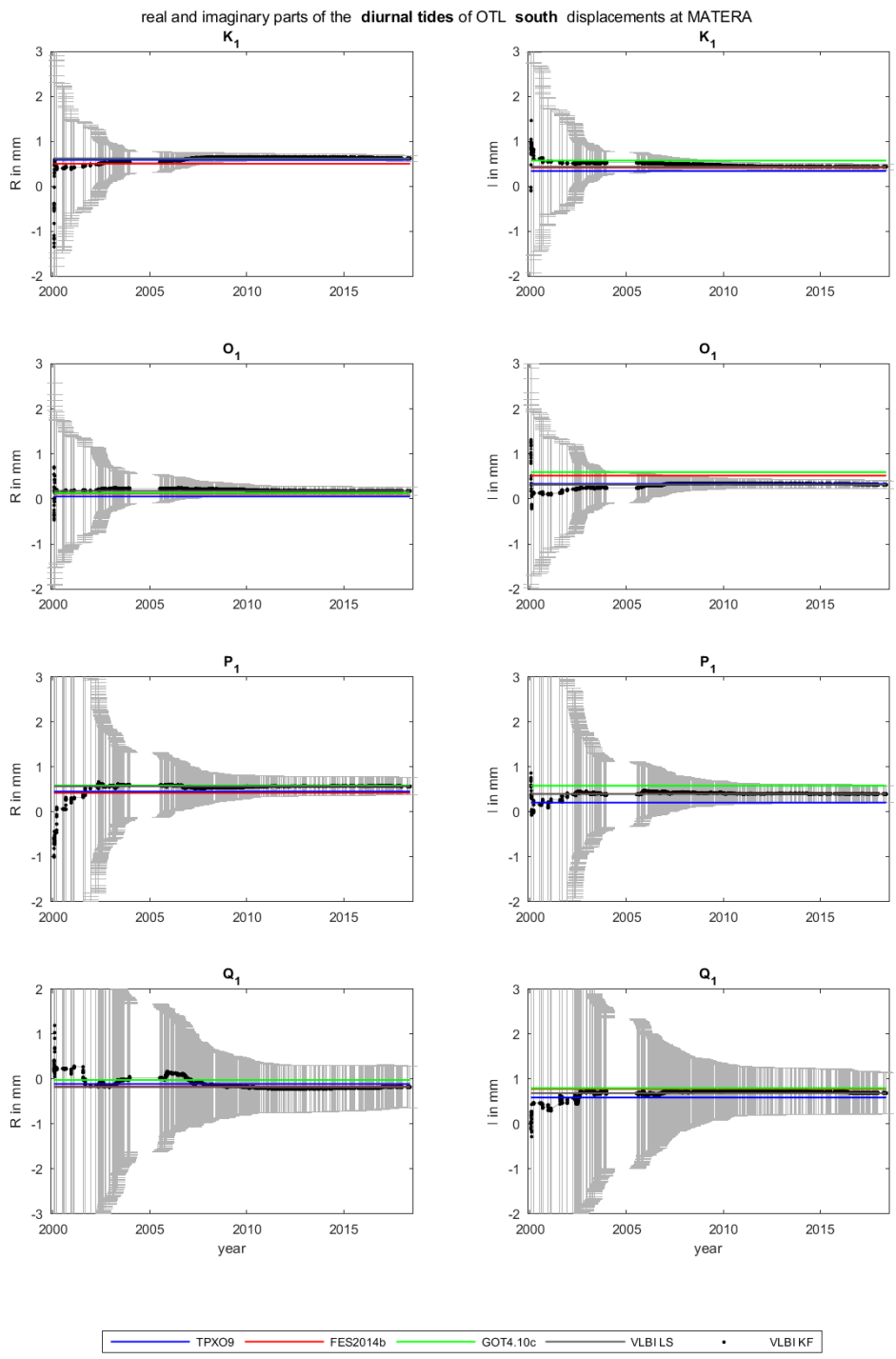

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at WESTFORD
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

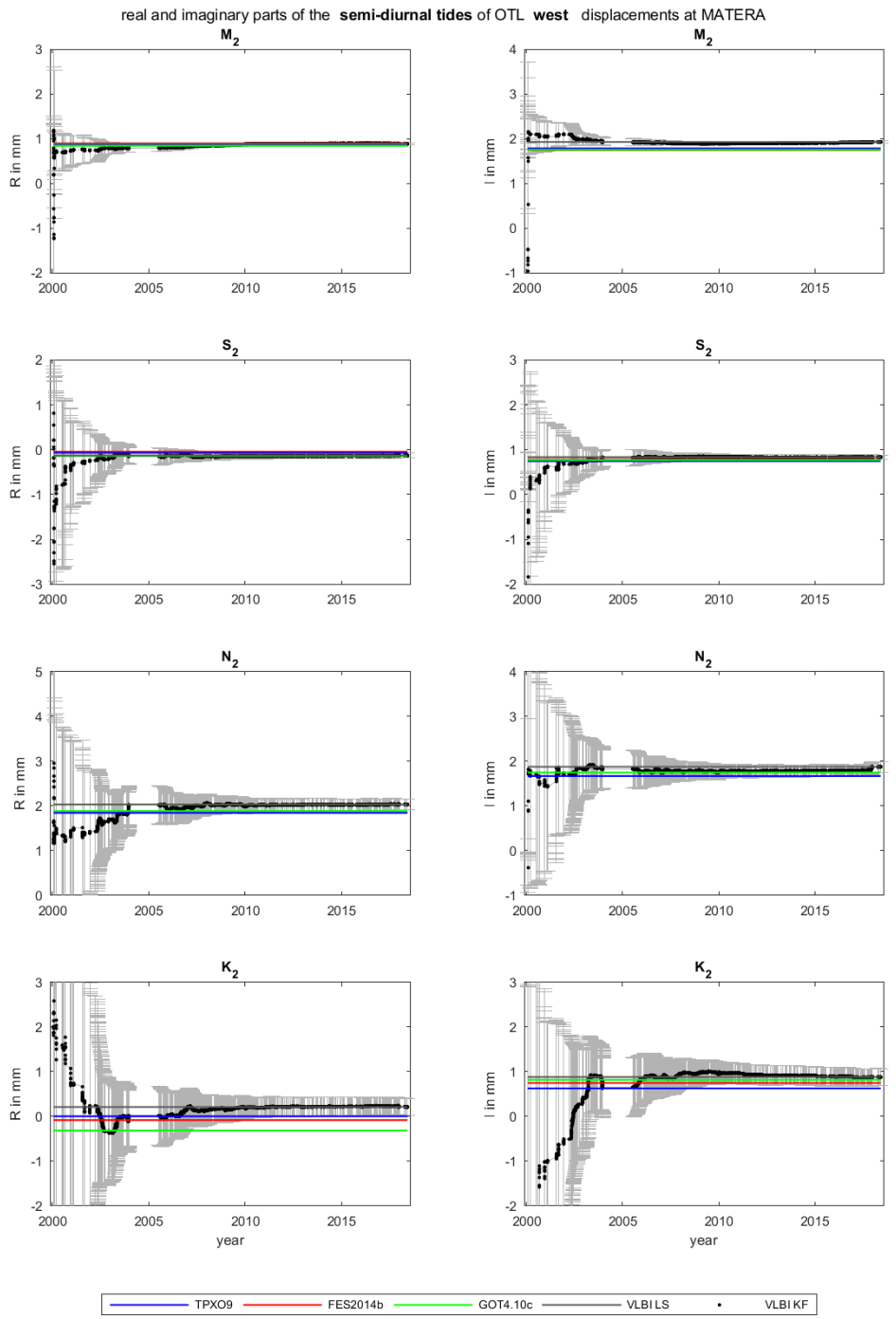

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at WESTFORD
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

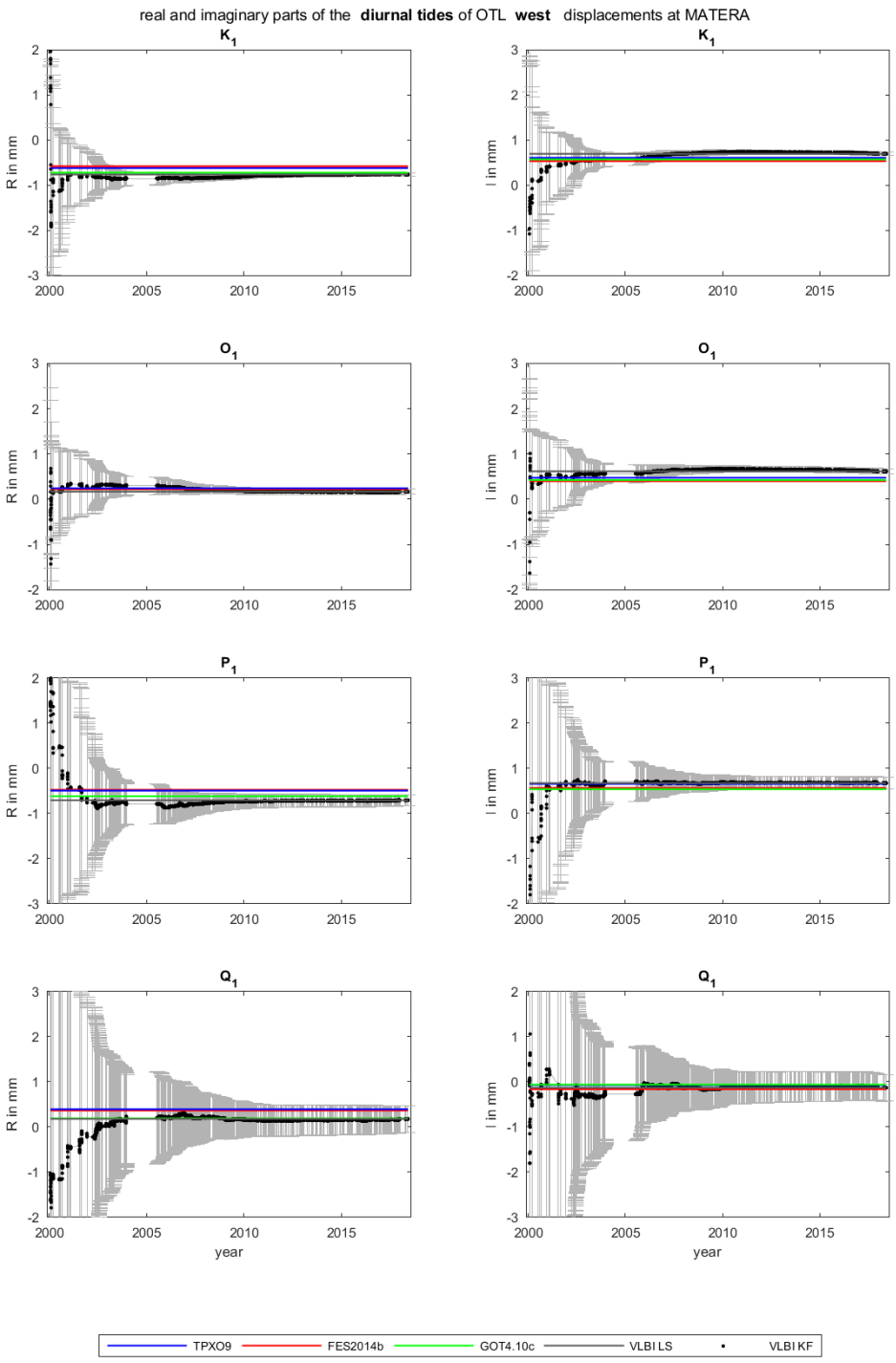

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at MATERA
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

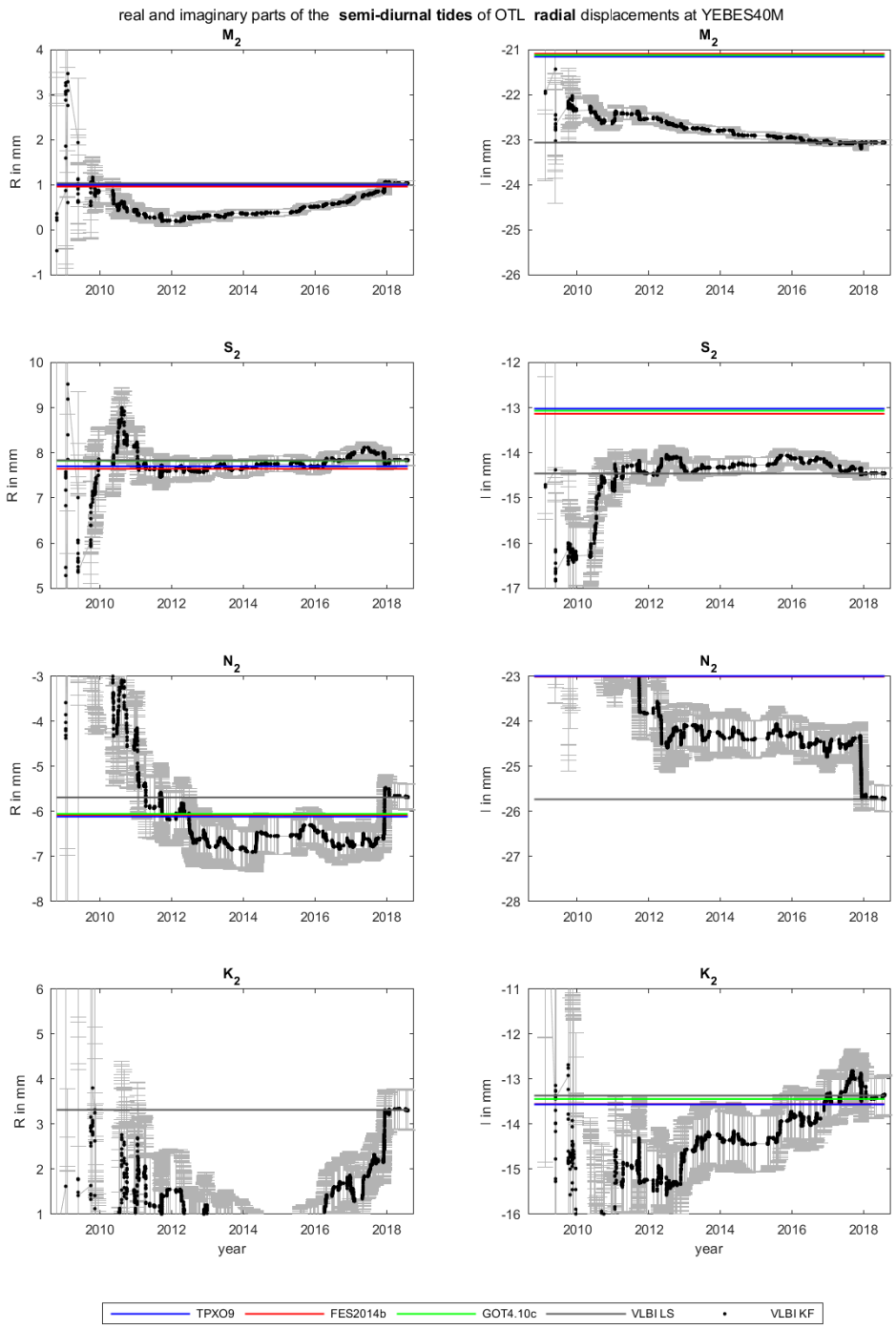

real and imaginary parts of the **diurnal tides** of OTL **radial** displacements at MATERA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

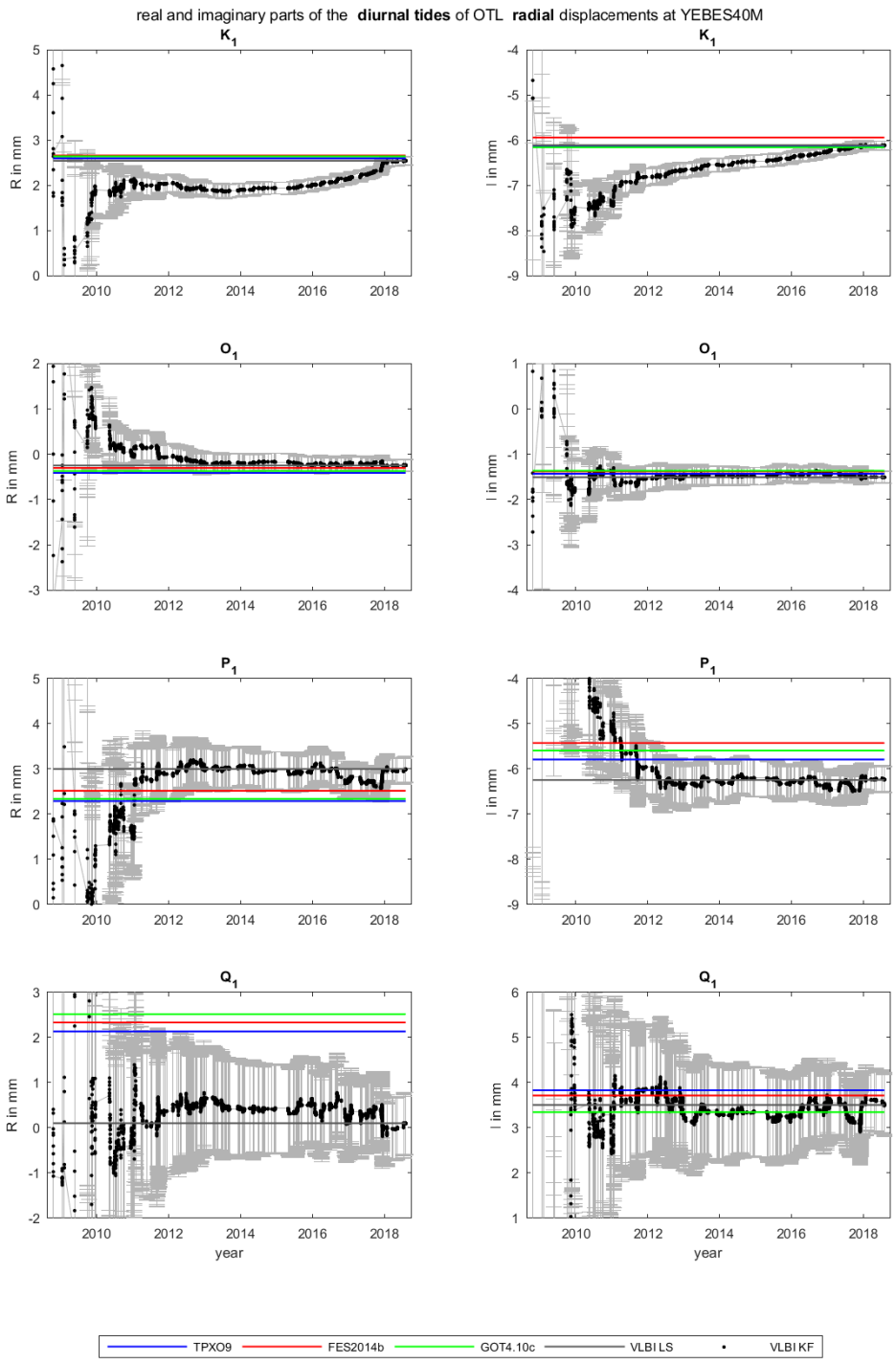

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at MATERA
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

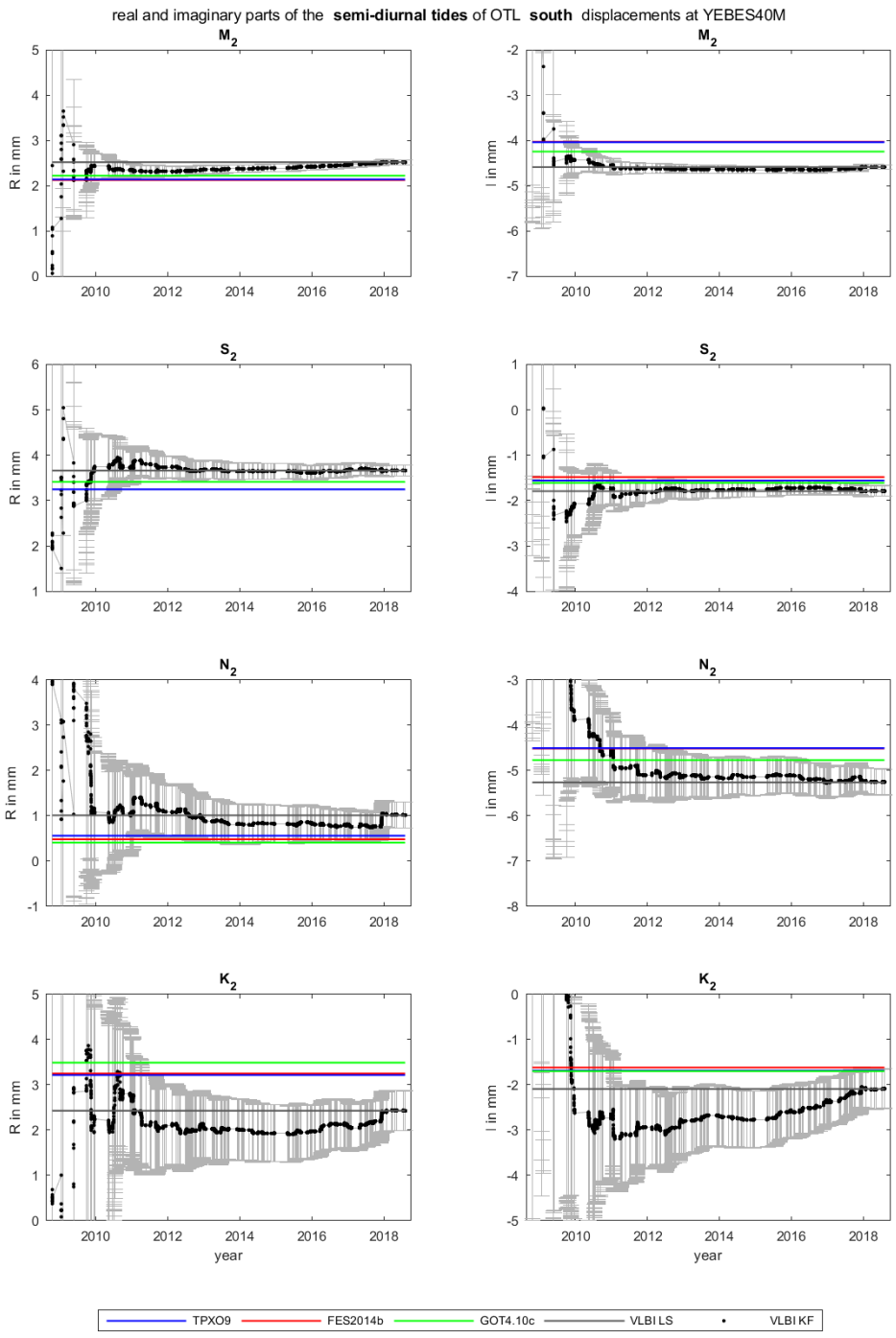

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at MATERA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

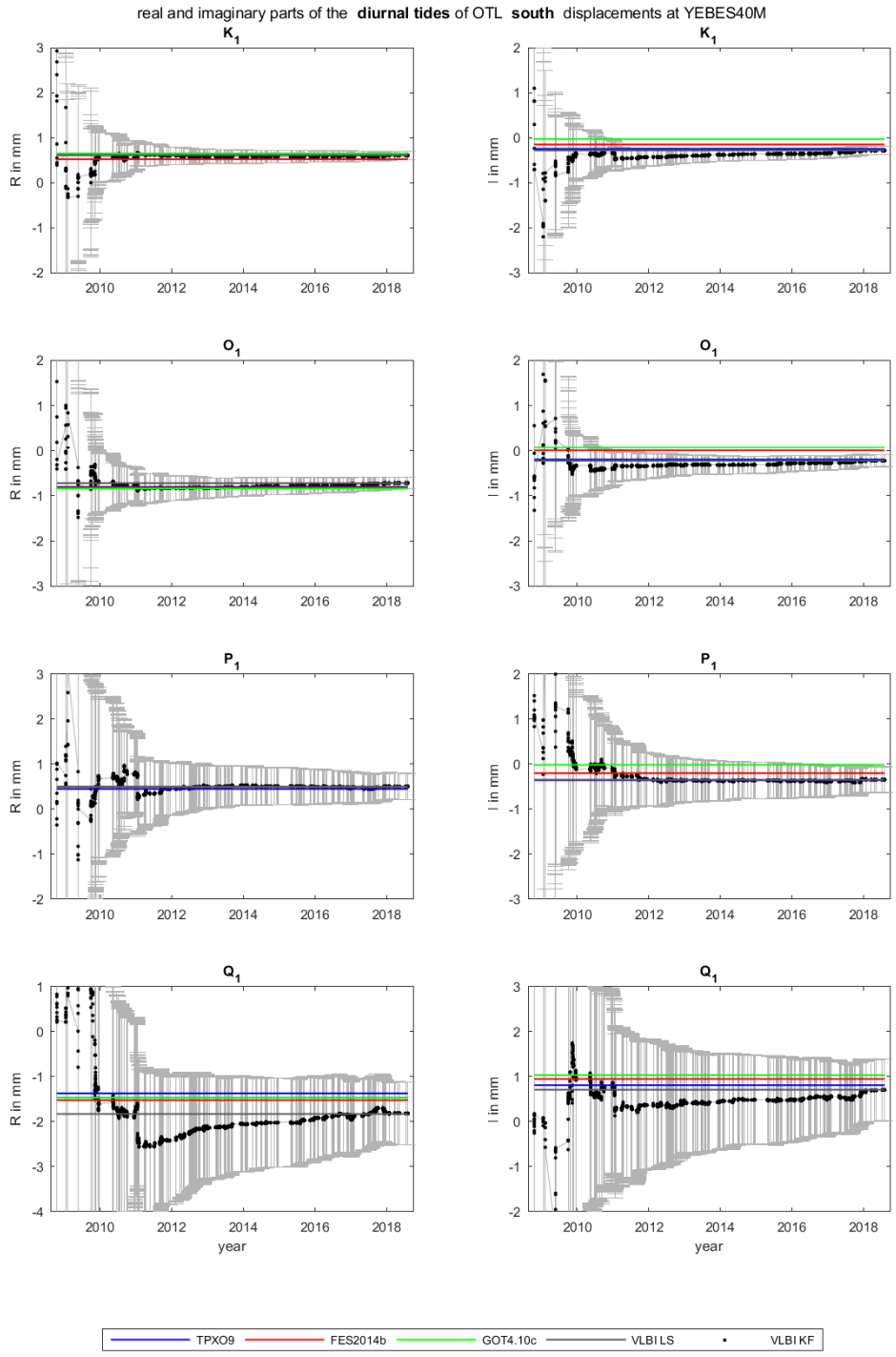

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at MATERA
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

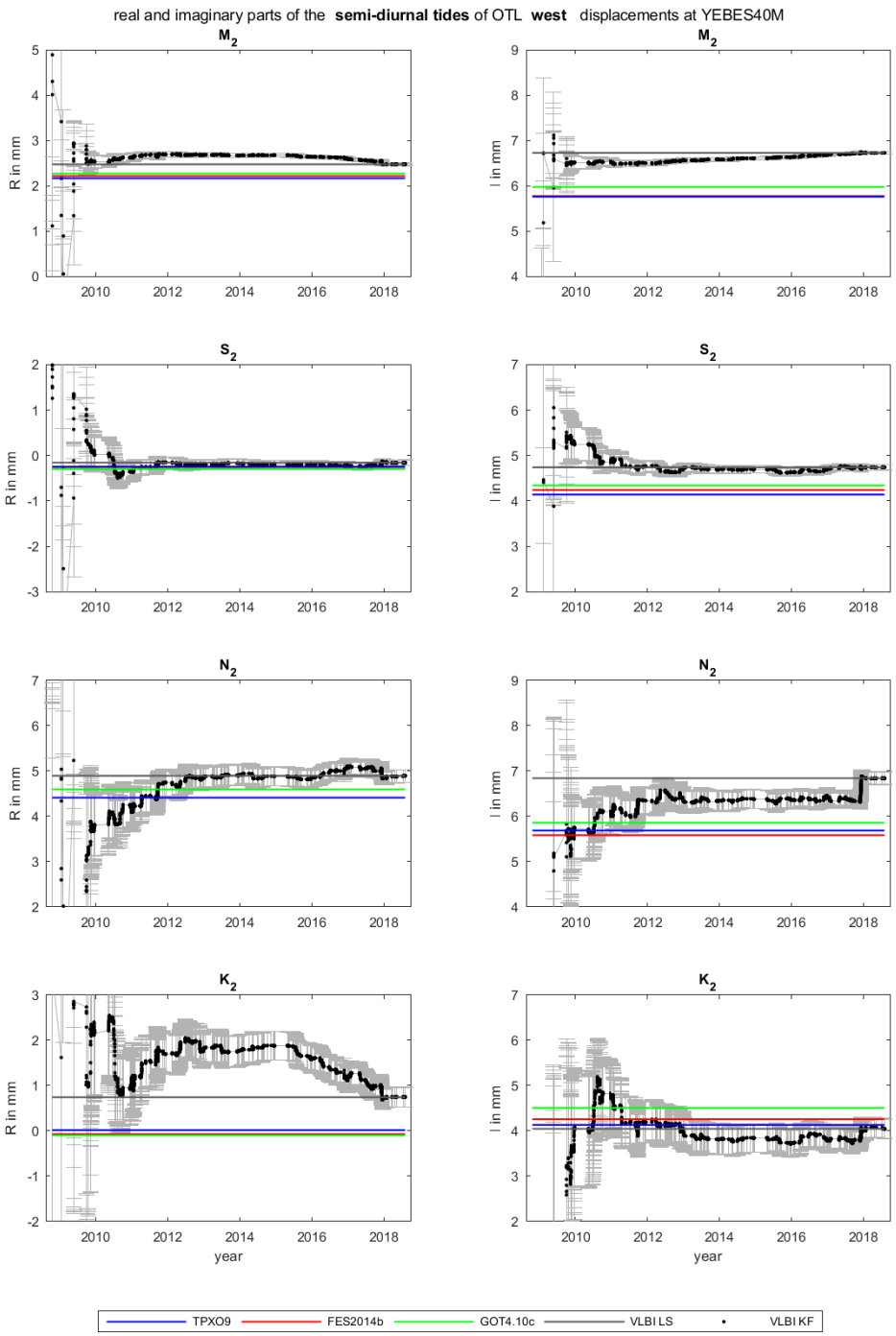

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at MATERA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

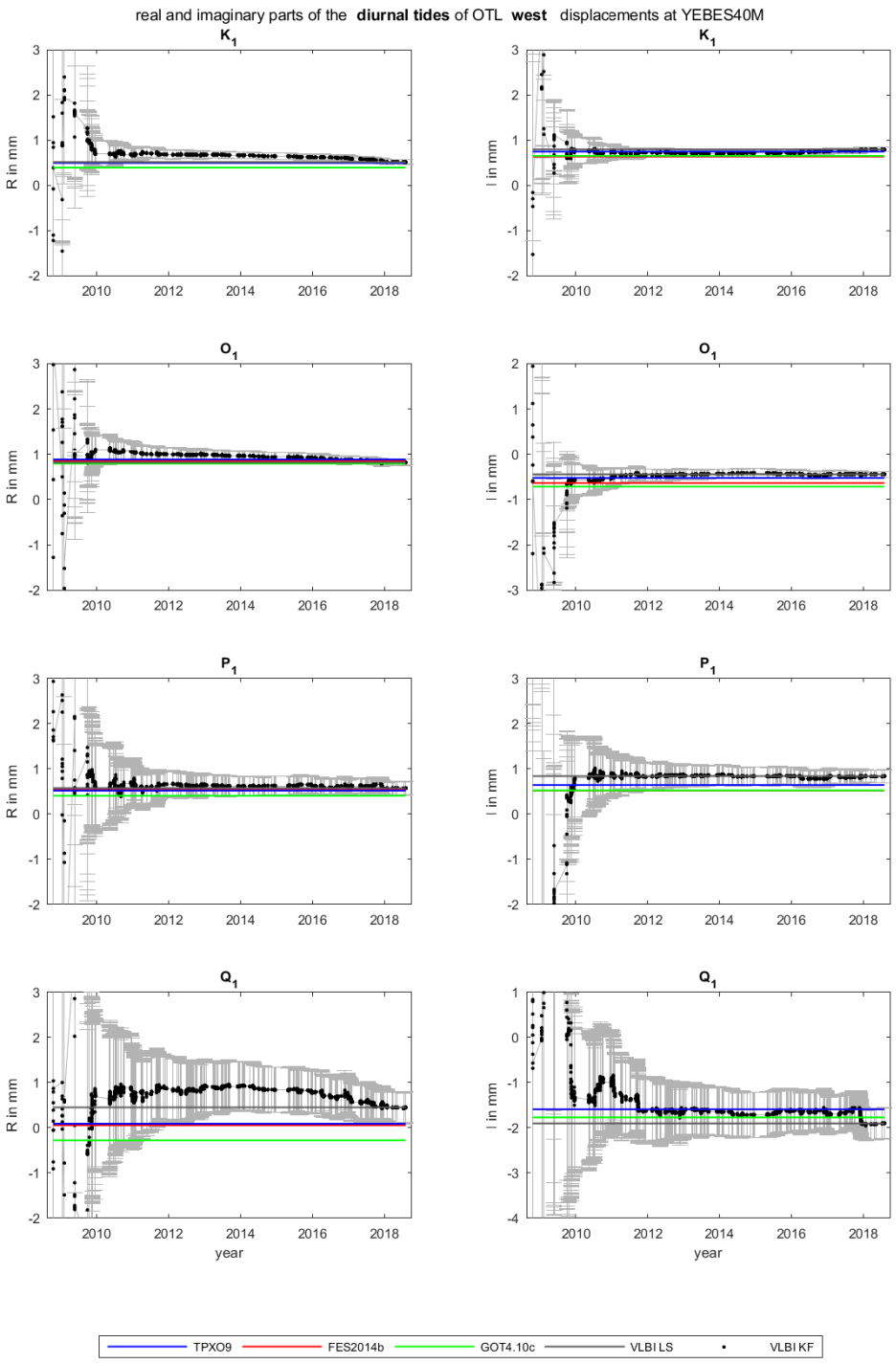

real and imaginary parts of the **semi-diurnal tides** of OTL **radial** displacements at YEBES40M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

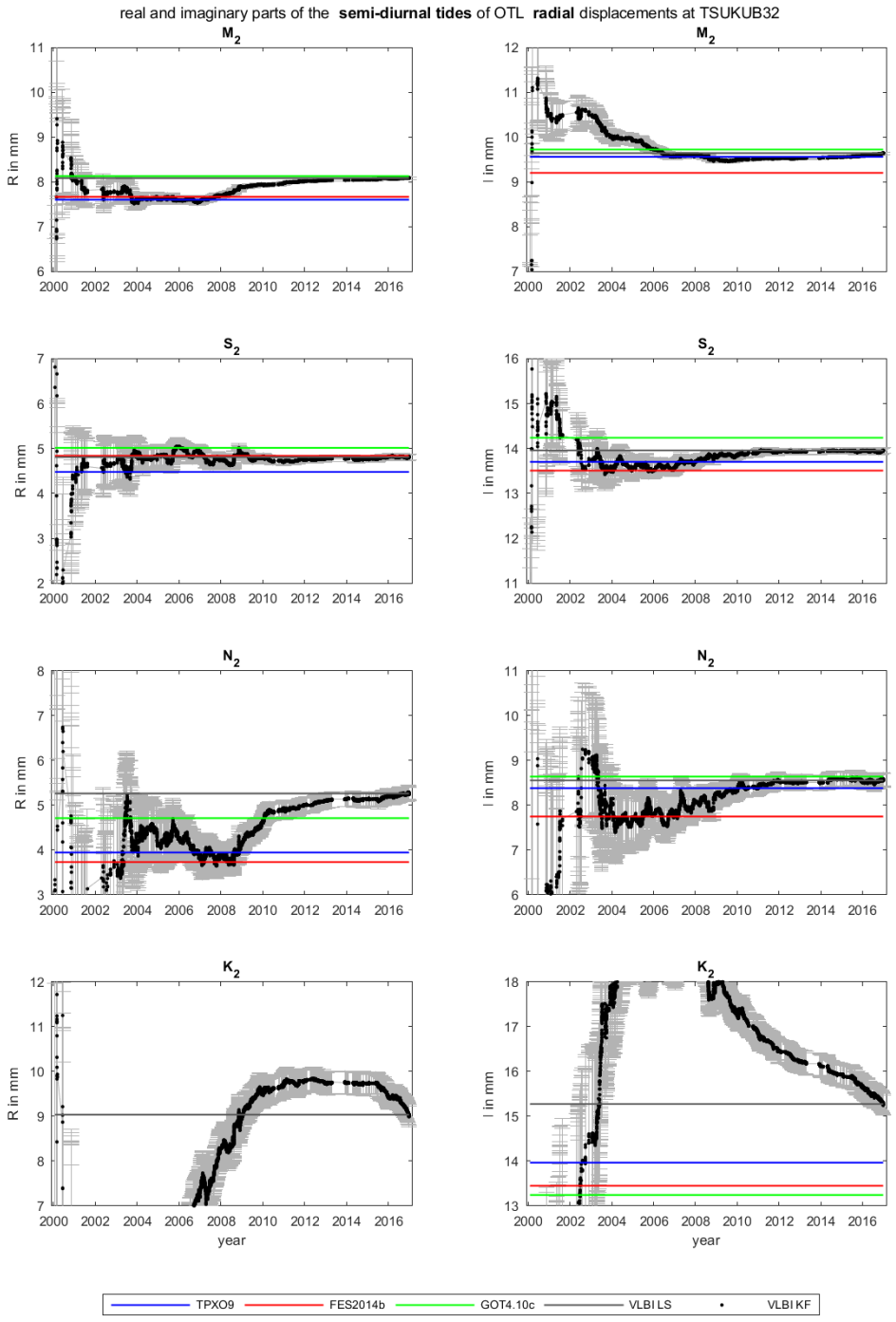

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at YEBES40M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

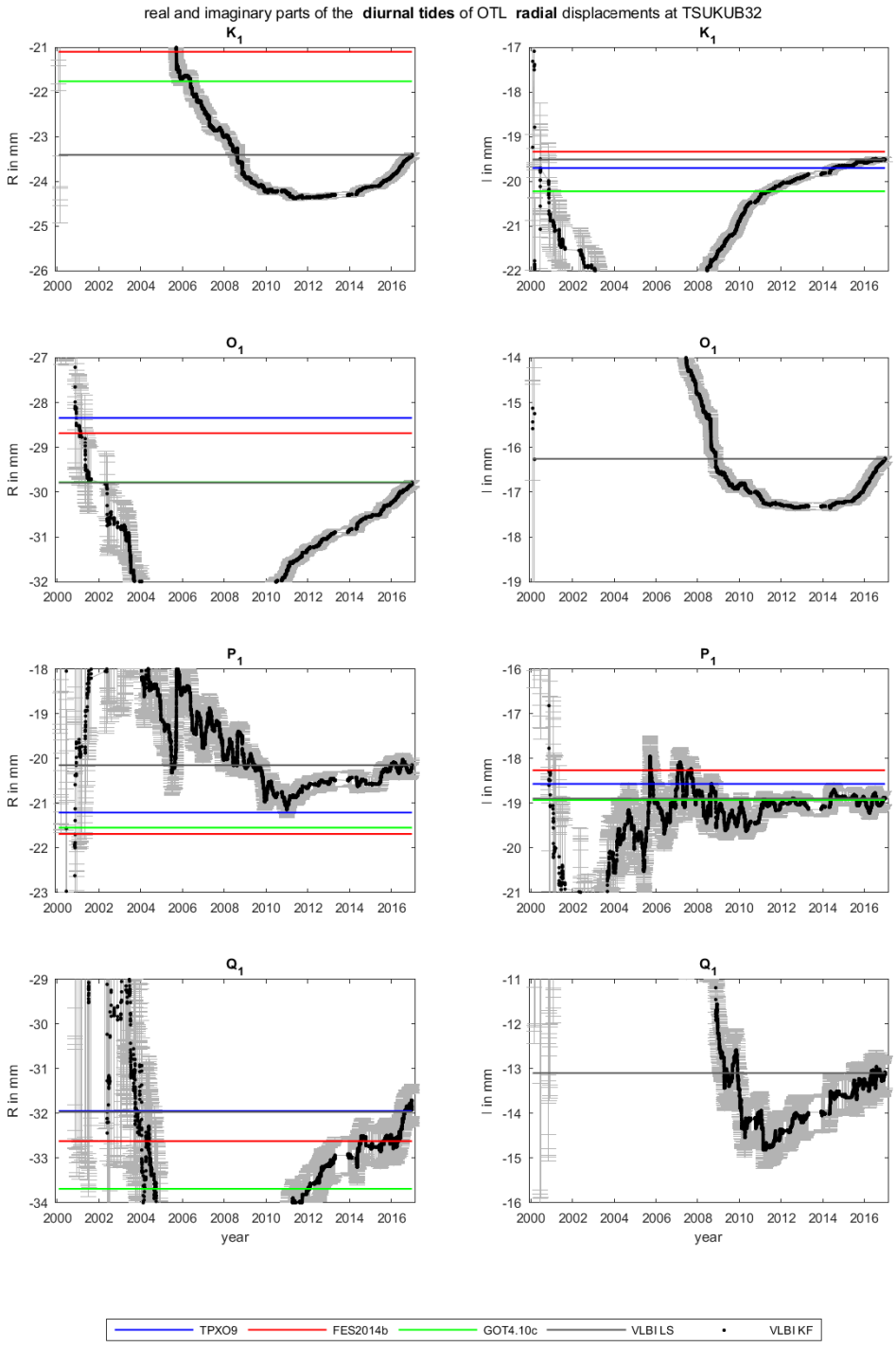

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at YEBES40M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

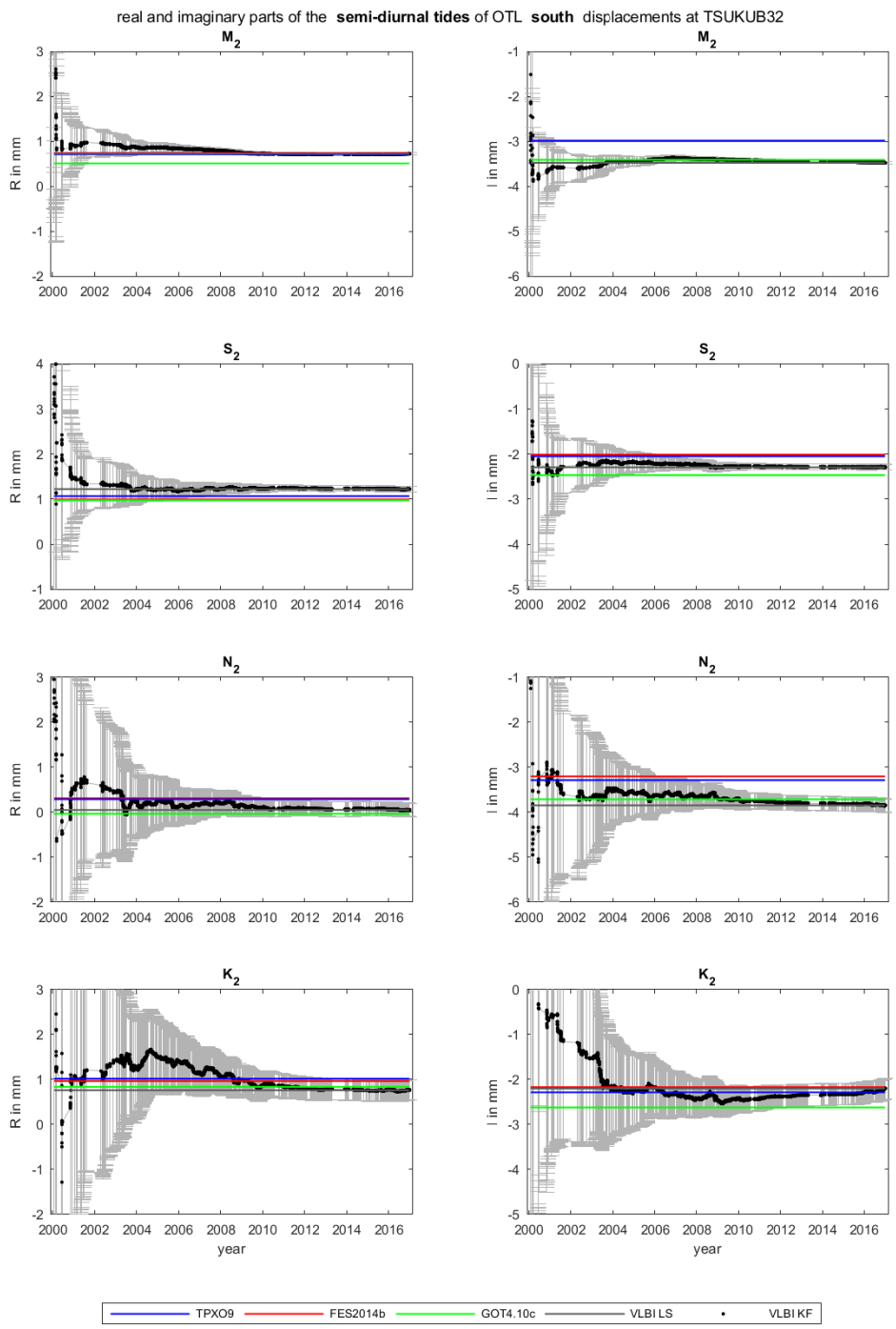

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at YEBES40M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

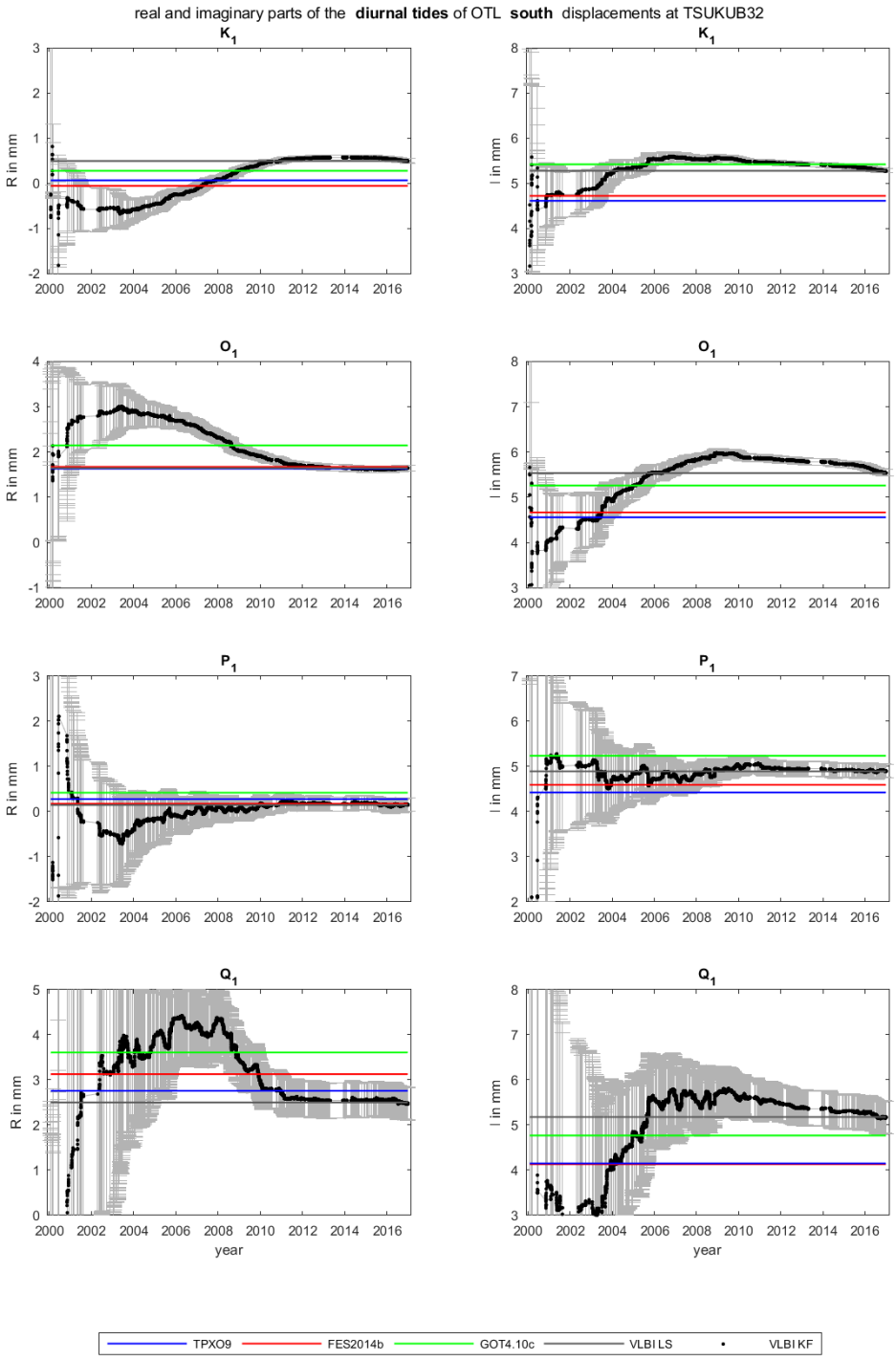

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at YEBES40M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

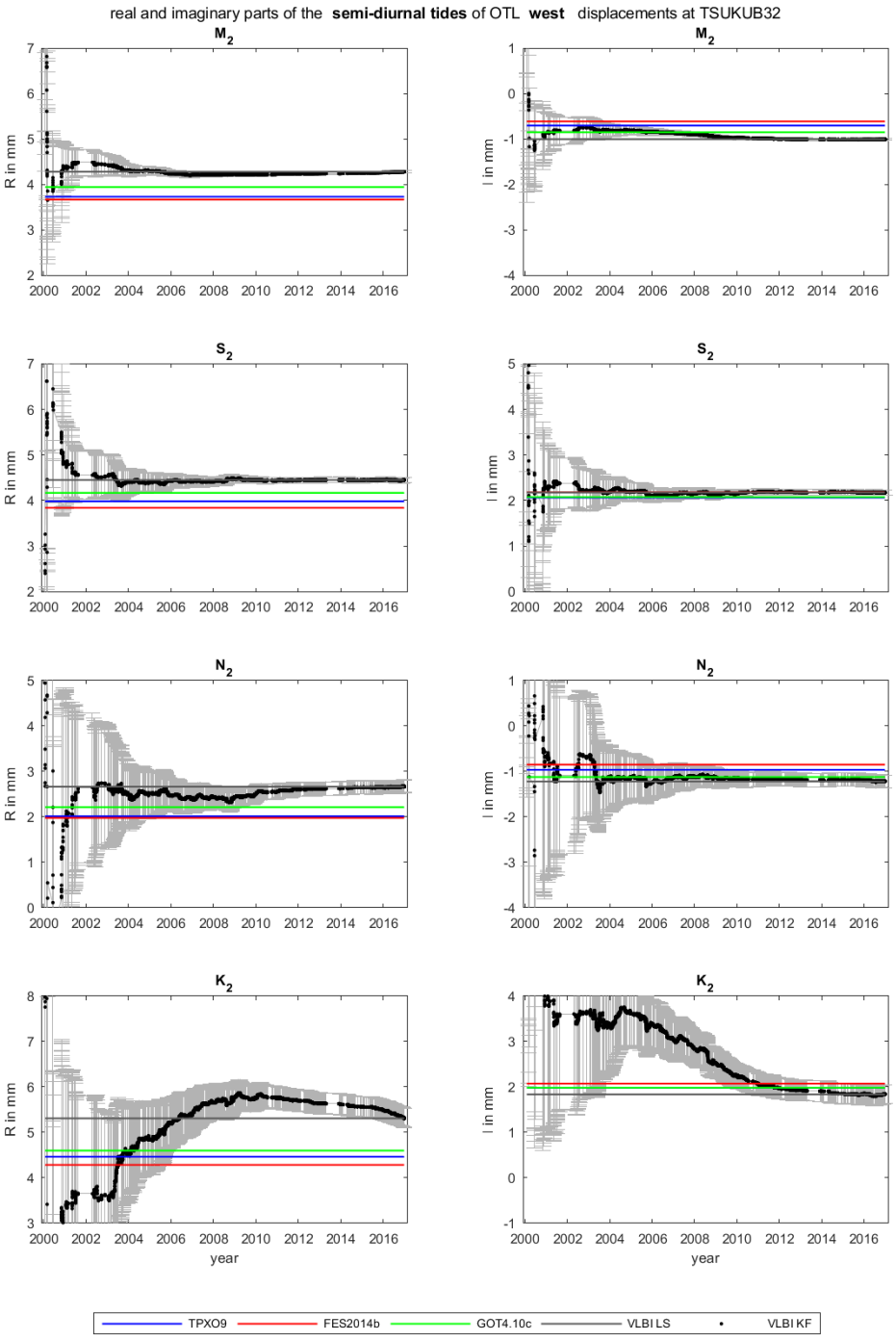

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at YEBES40M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

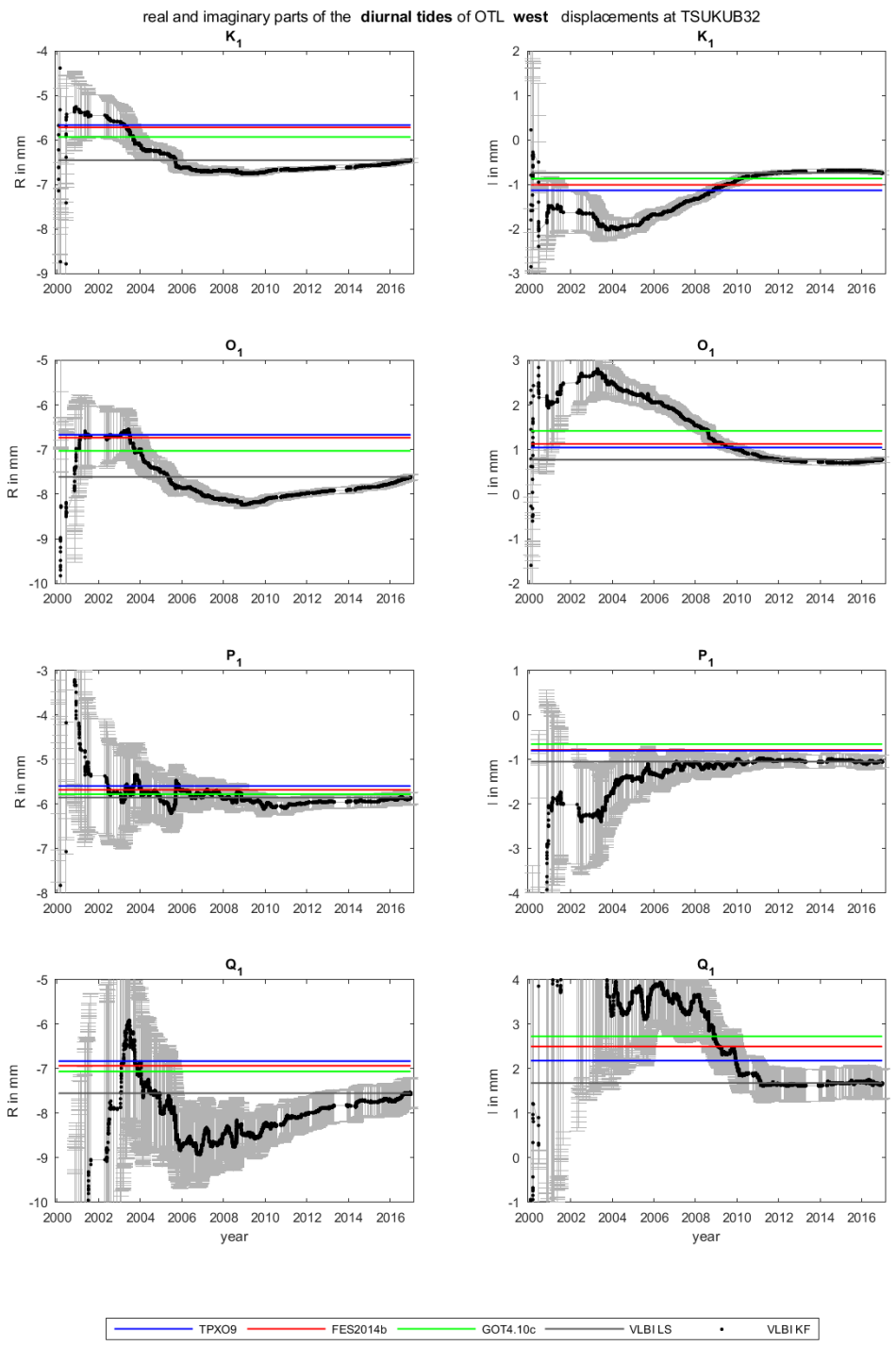

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at TSUKUB32
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

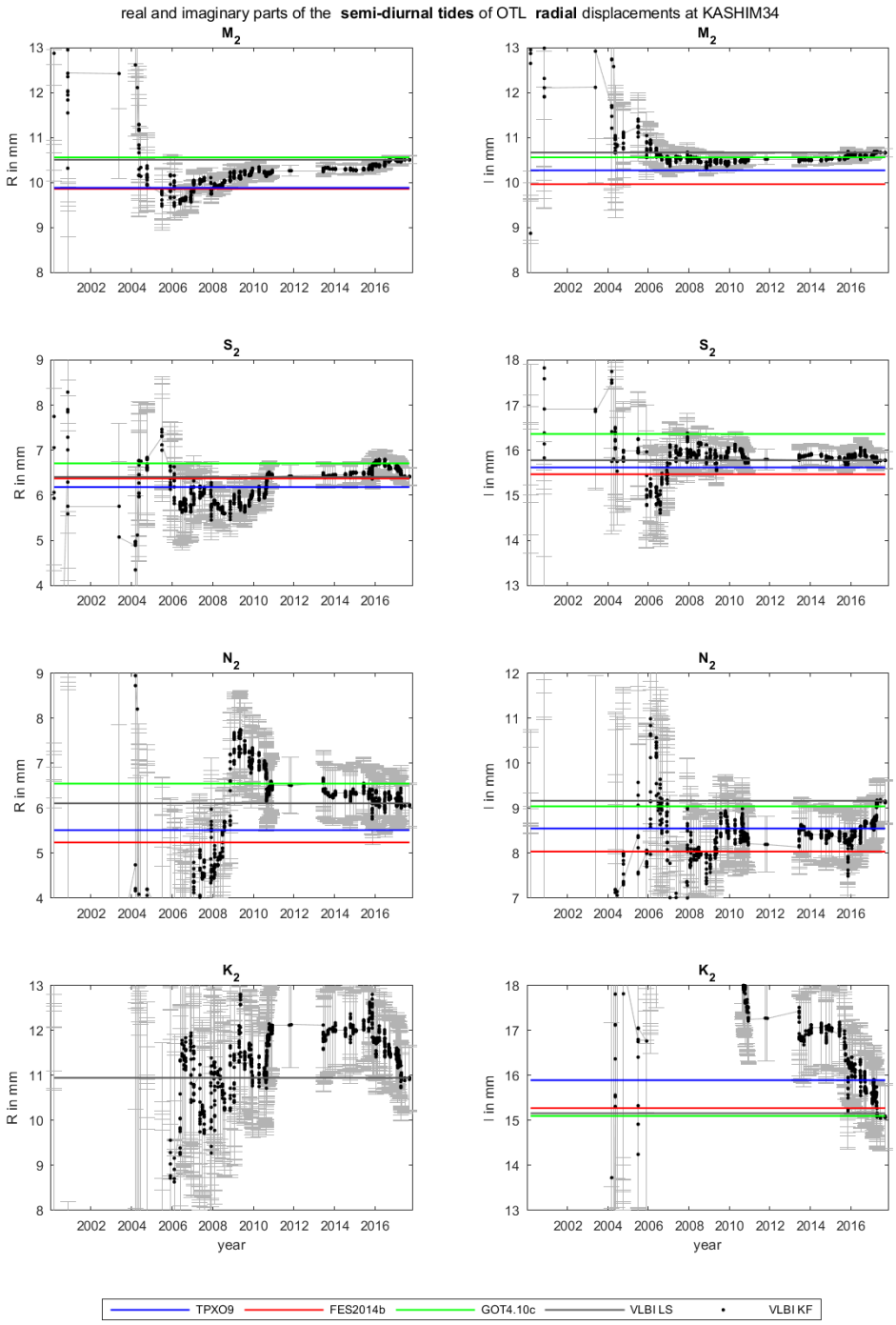

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at TSUKUB32
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

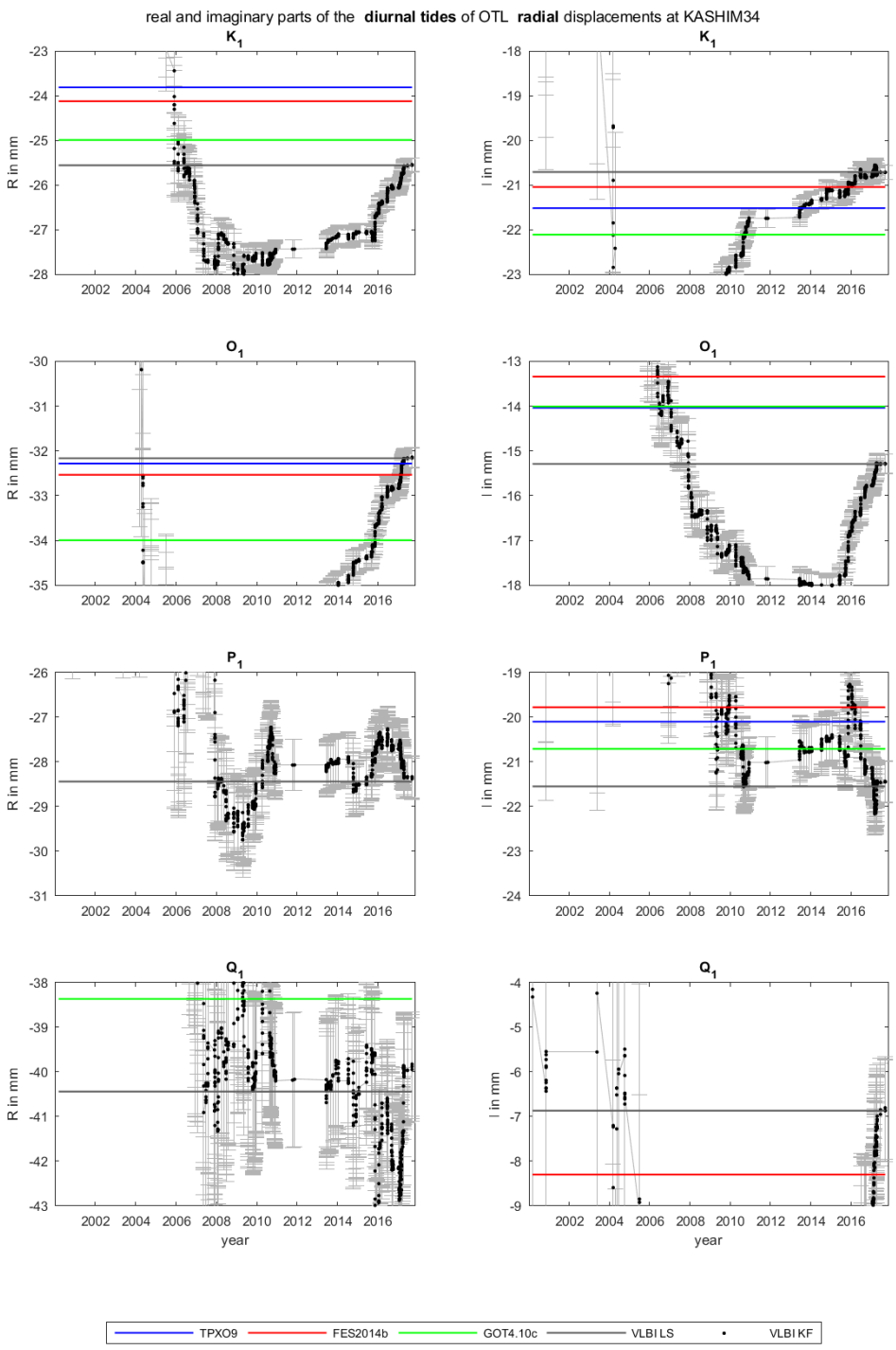

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at TSUKUB32
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

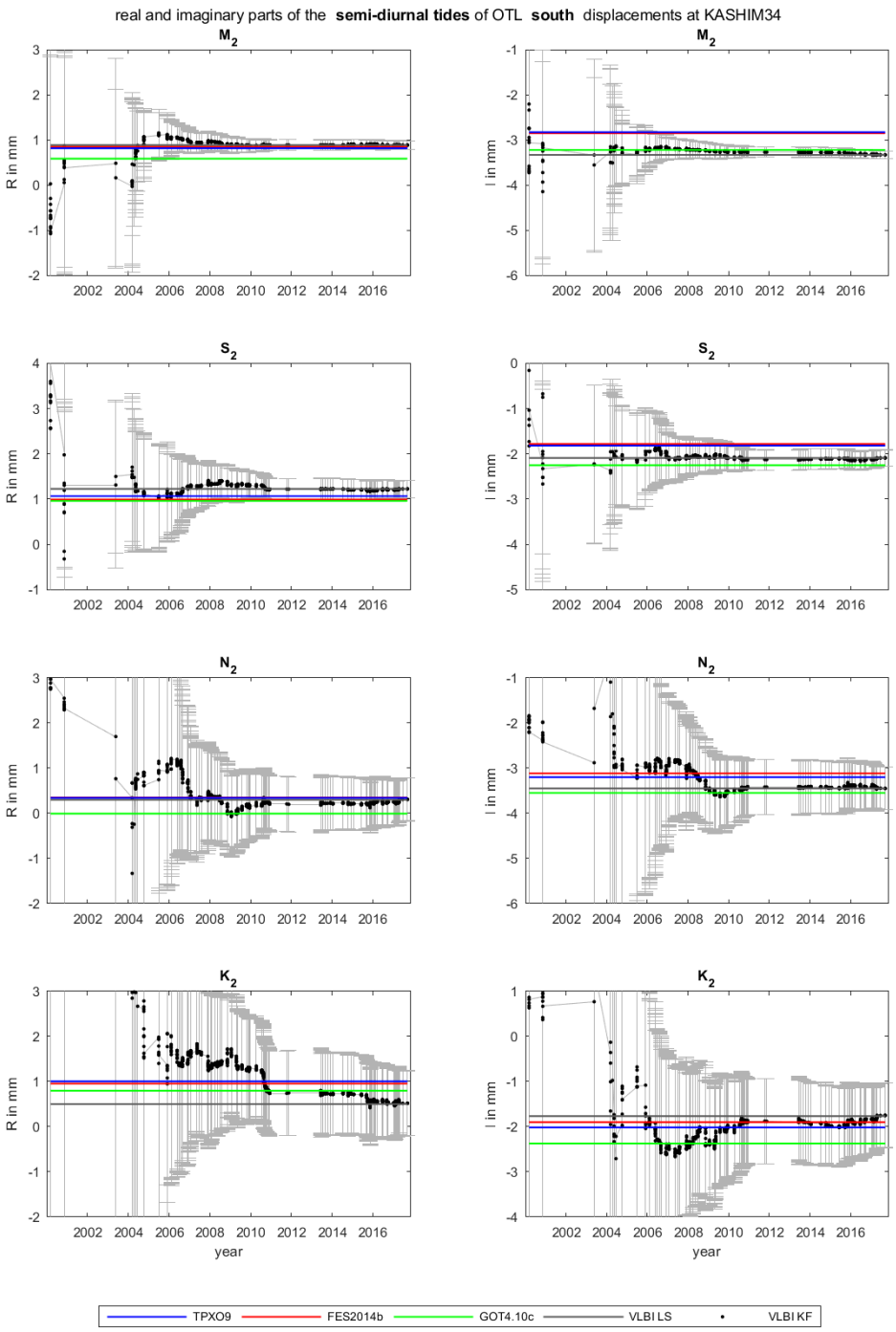

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at TSUKUB32
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

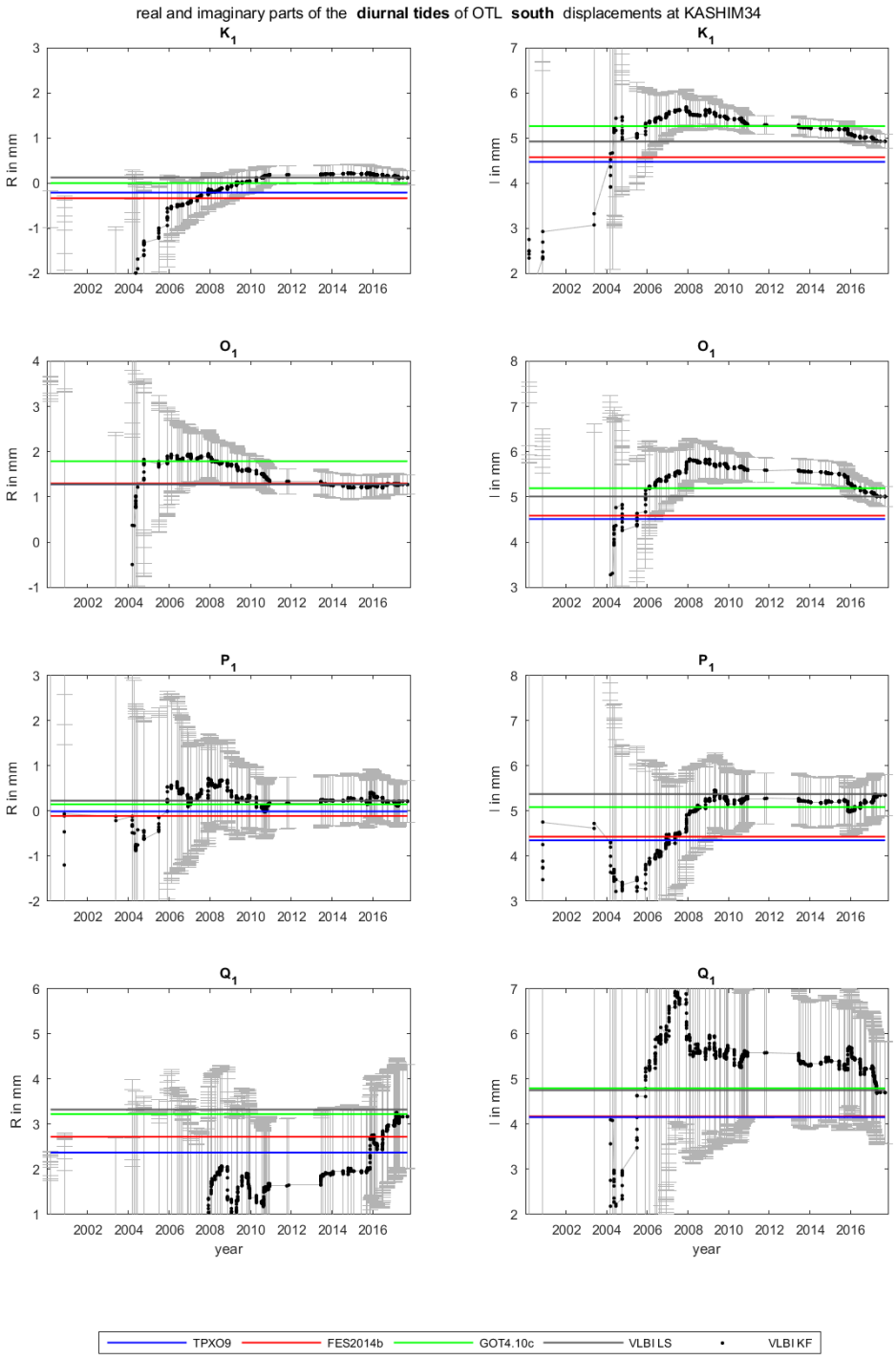

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at TSUKUB32
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

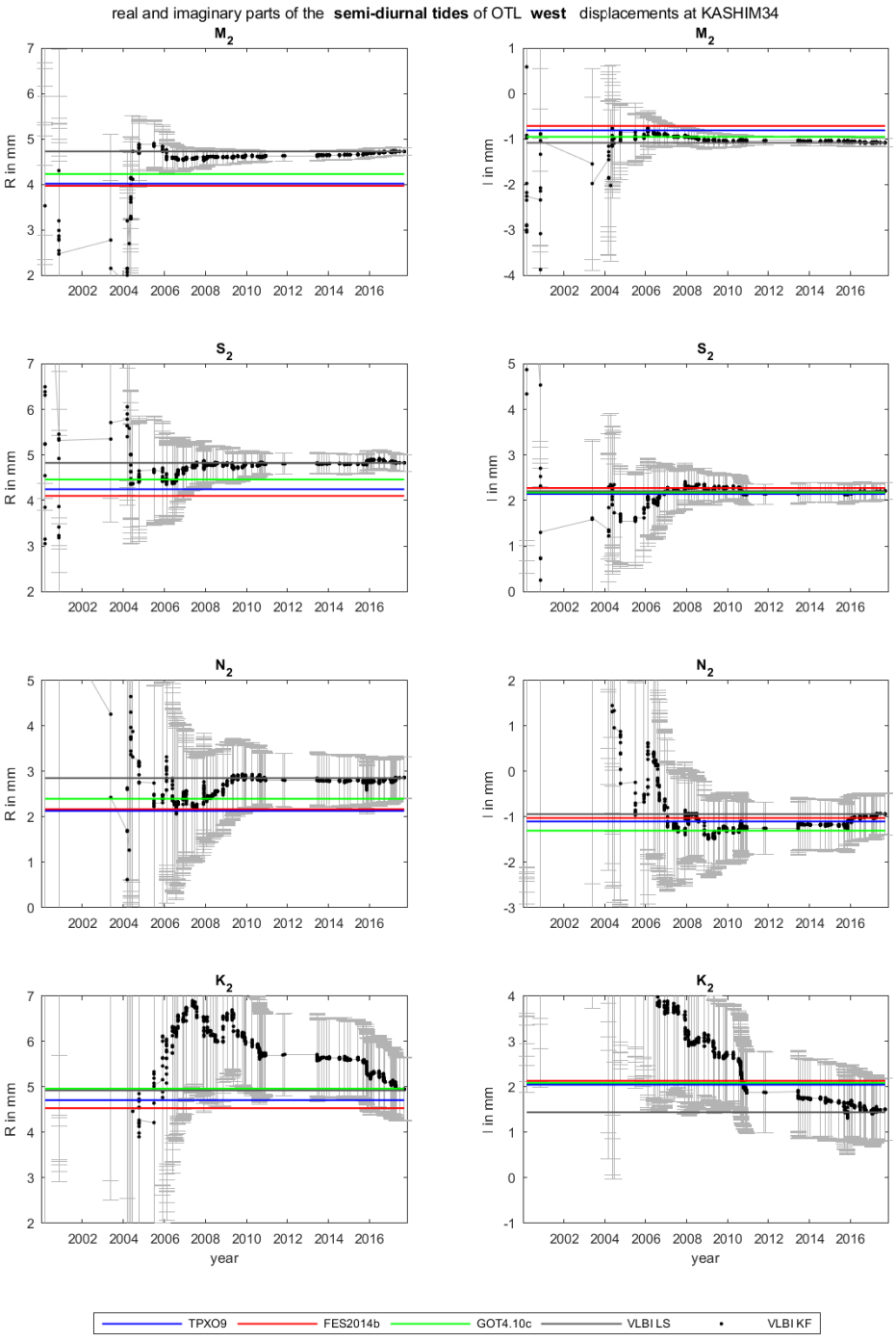

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at TSUKUB32
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

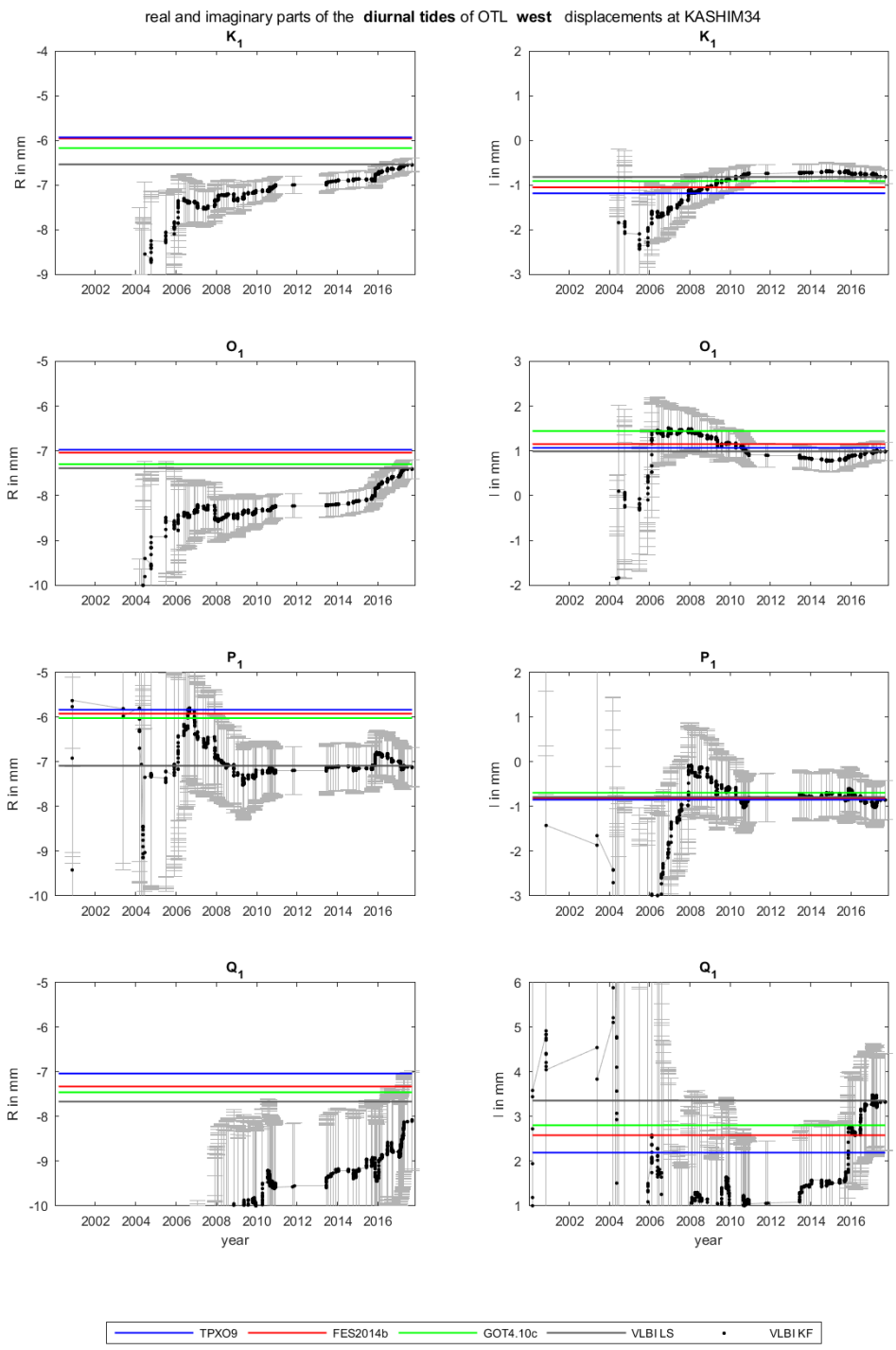

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at KASHIM34
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

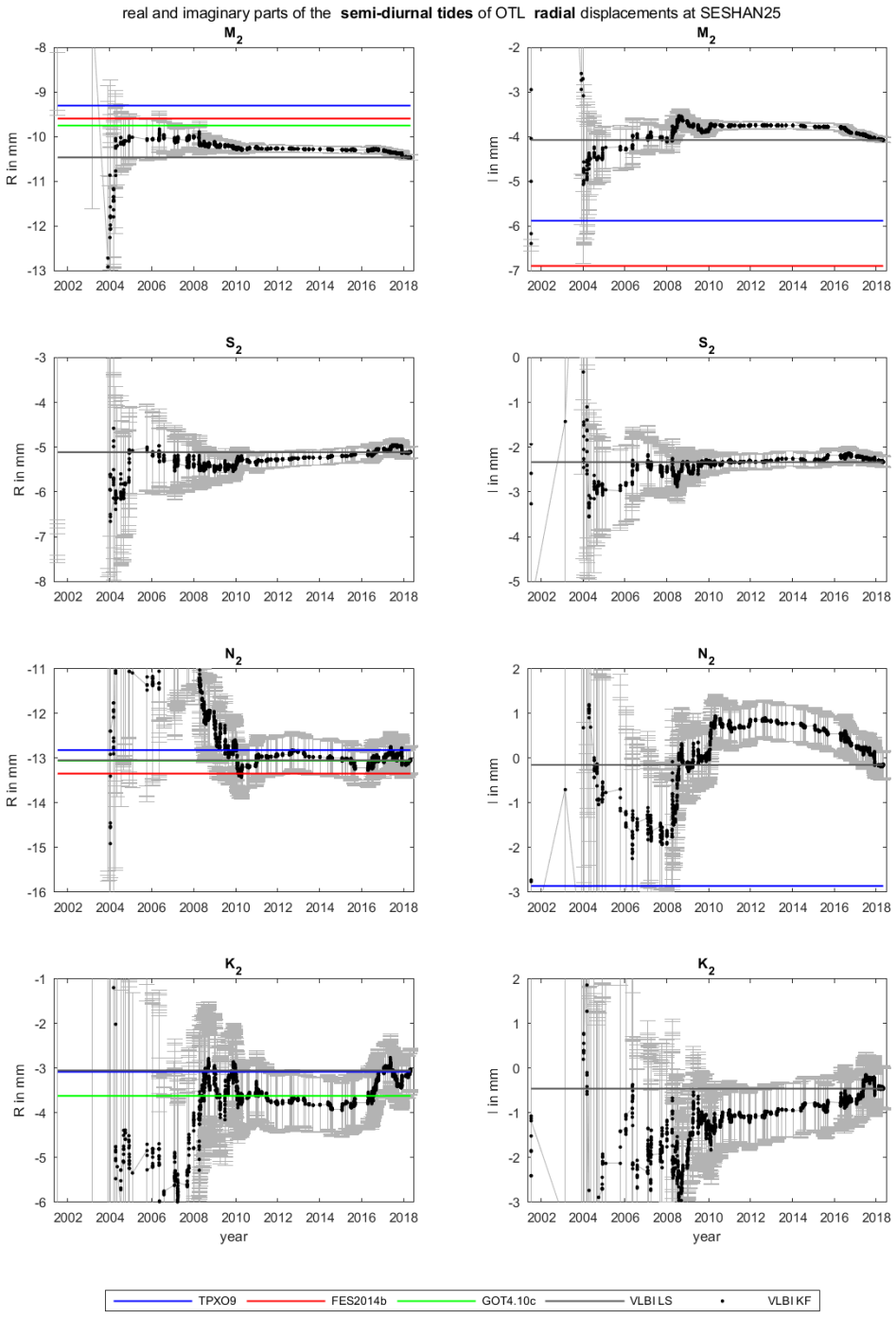

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at KASHIM34
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

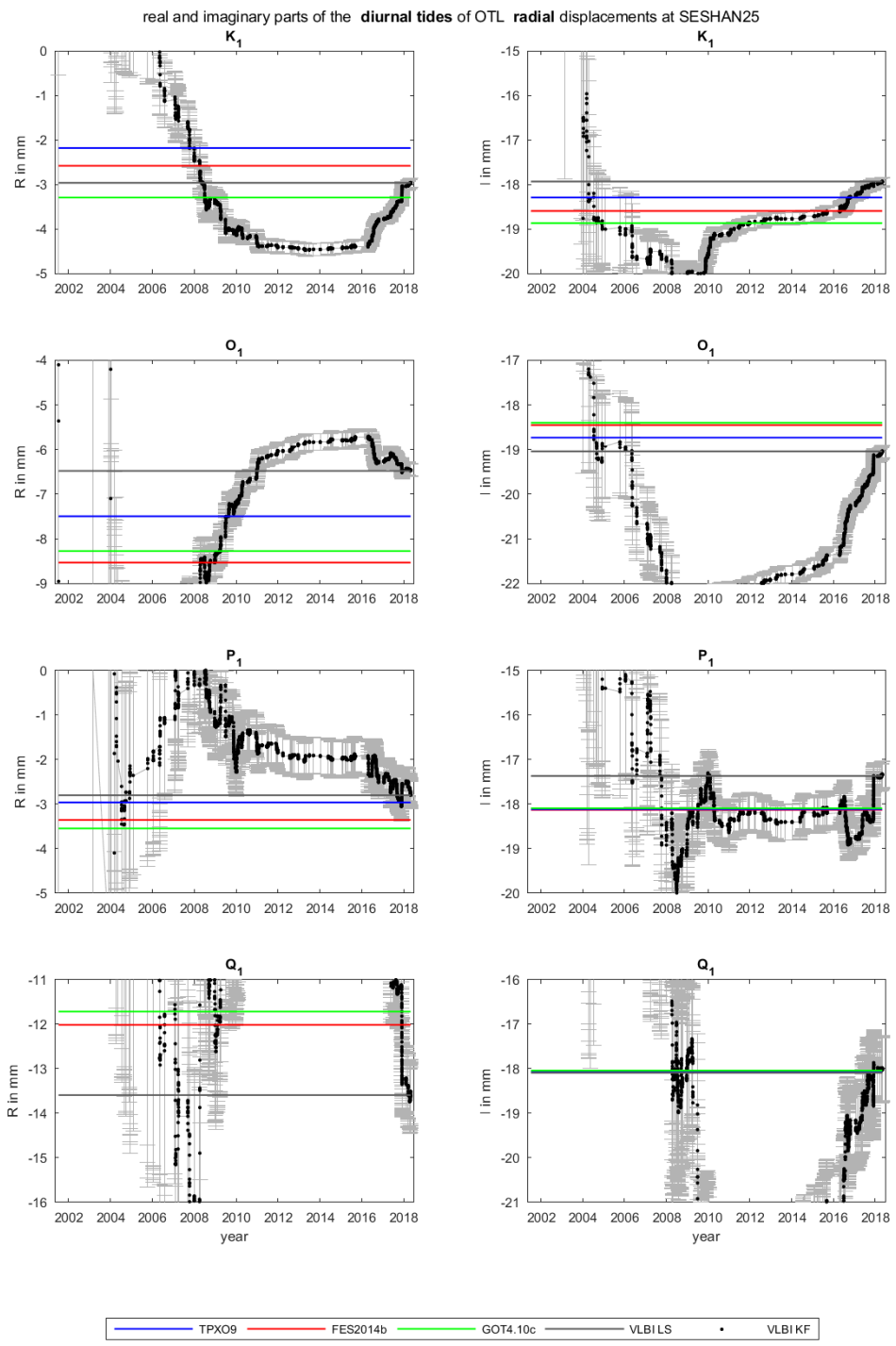

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at KASHIM34
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

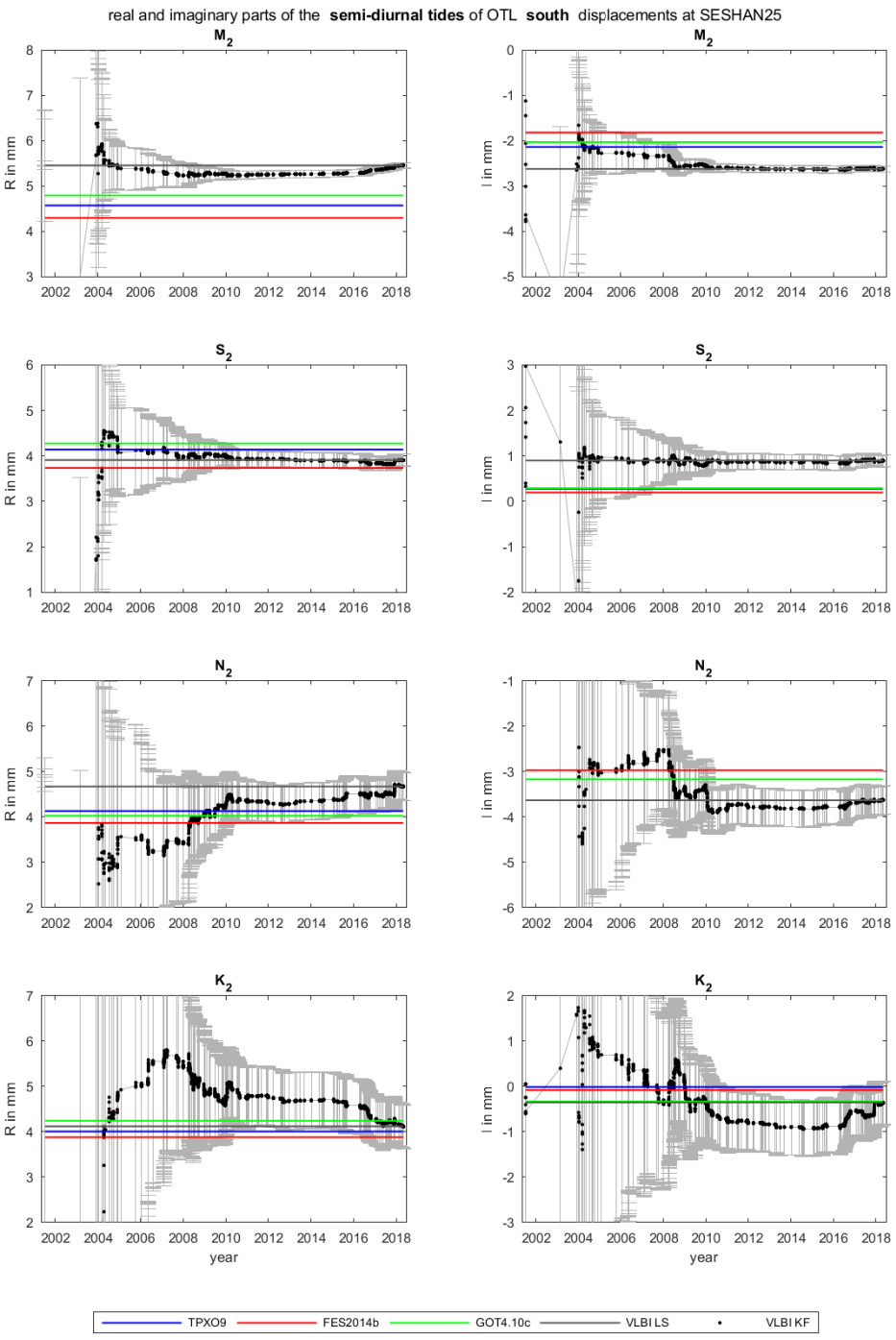

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at KASHIM34
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

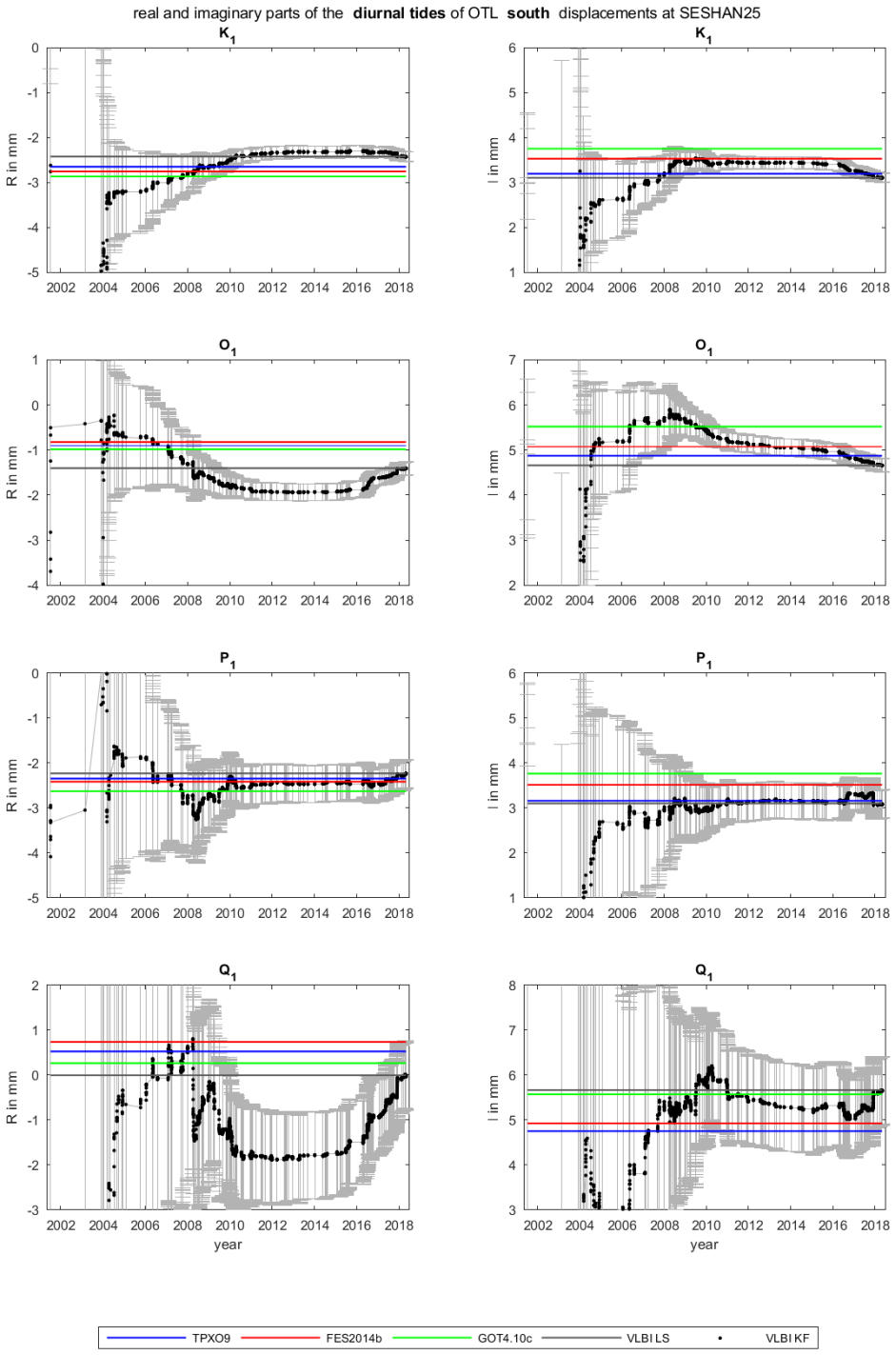

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at KASHIM34
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

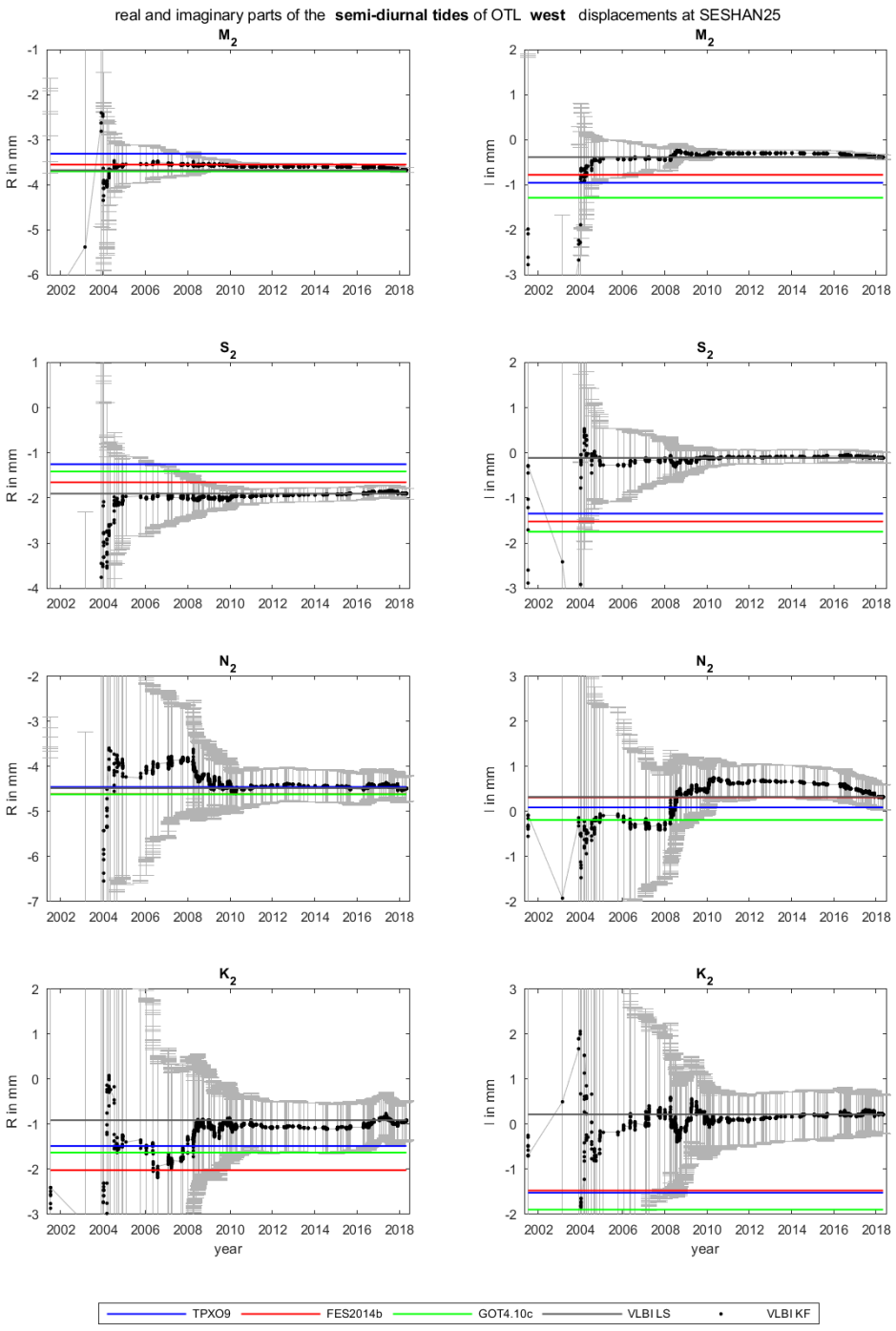

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at KASHIM34
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

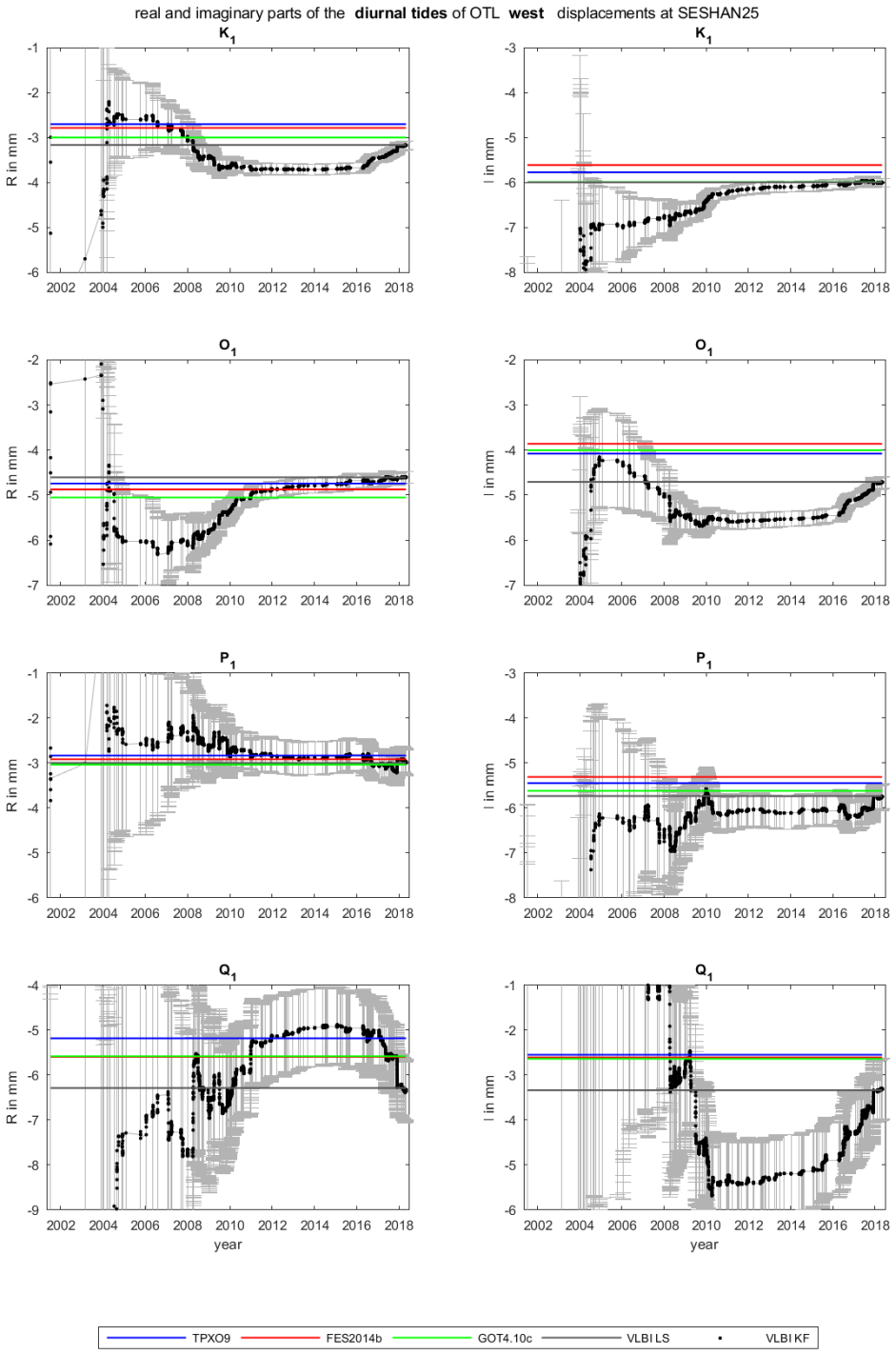

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at SESHAN25
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

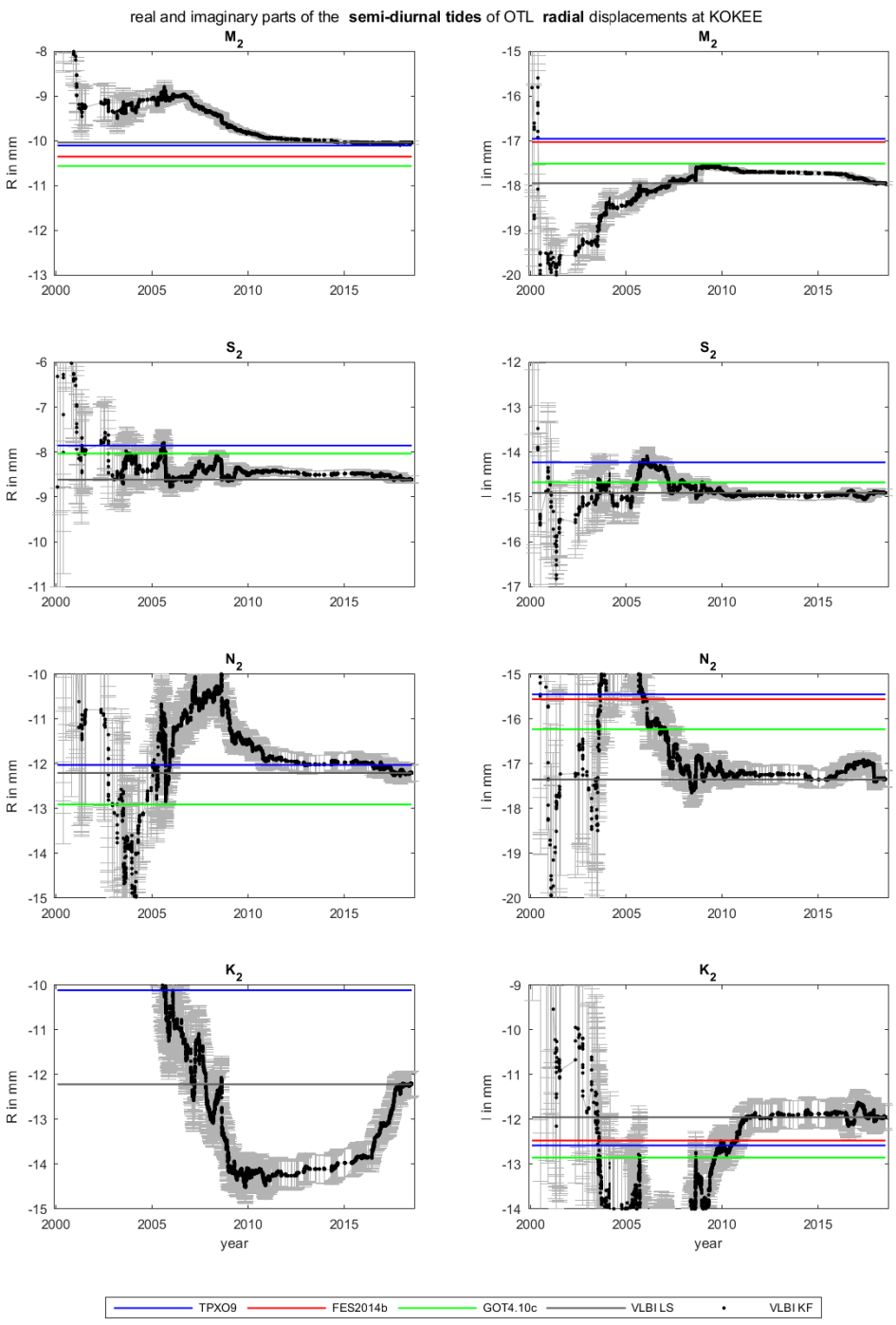

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at SESHAN25
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

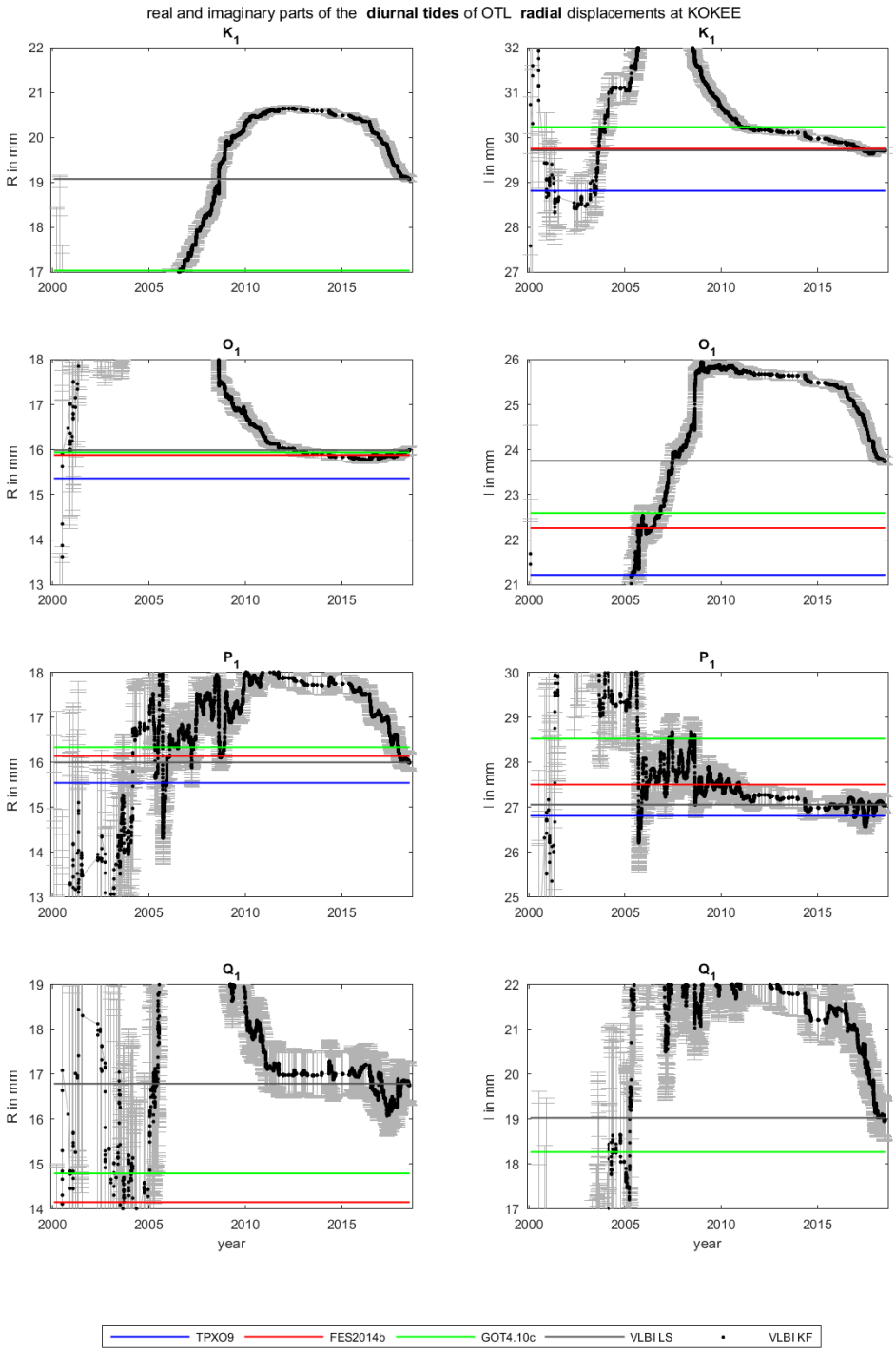

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at SESHAN25
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

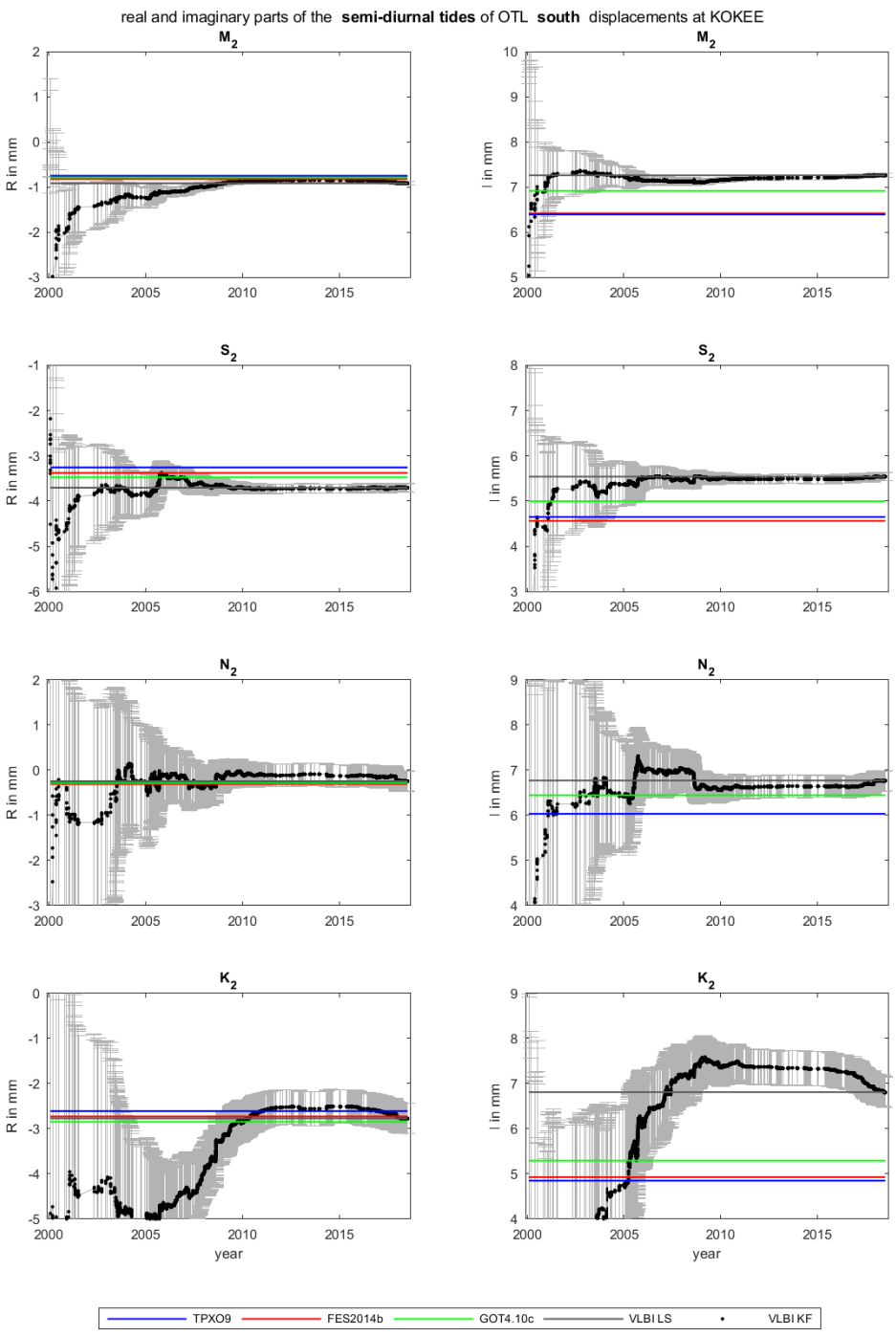

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at SESHAN25
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

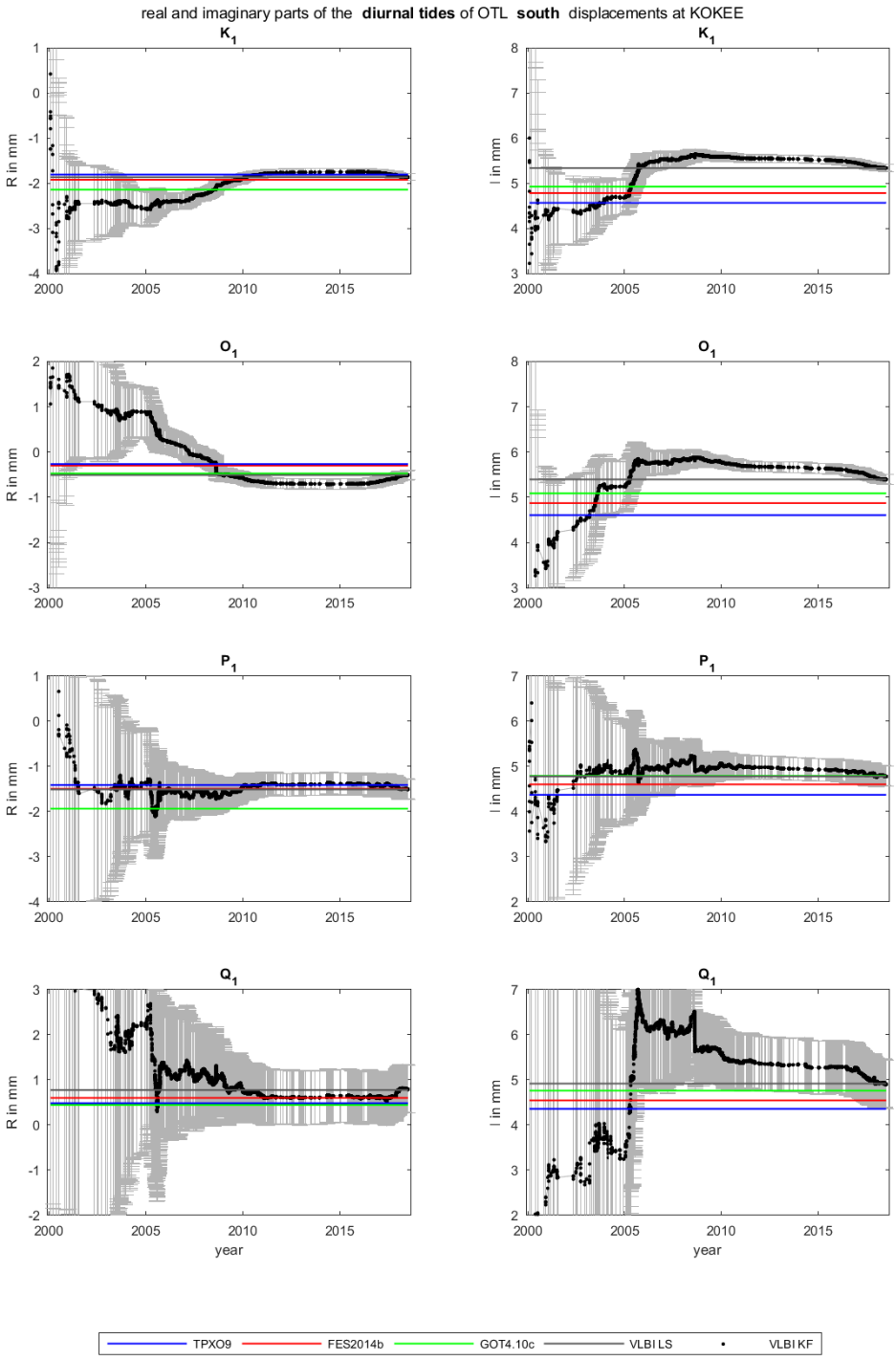

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at SESHAN25
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

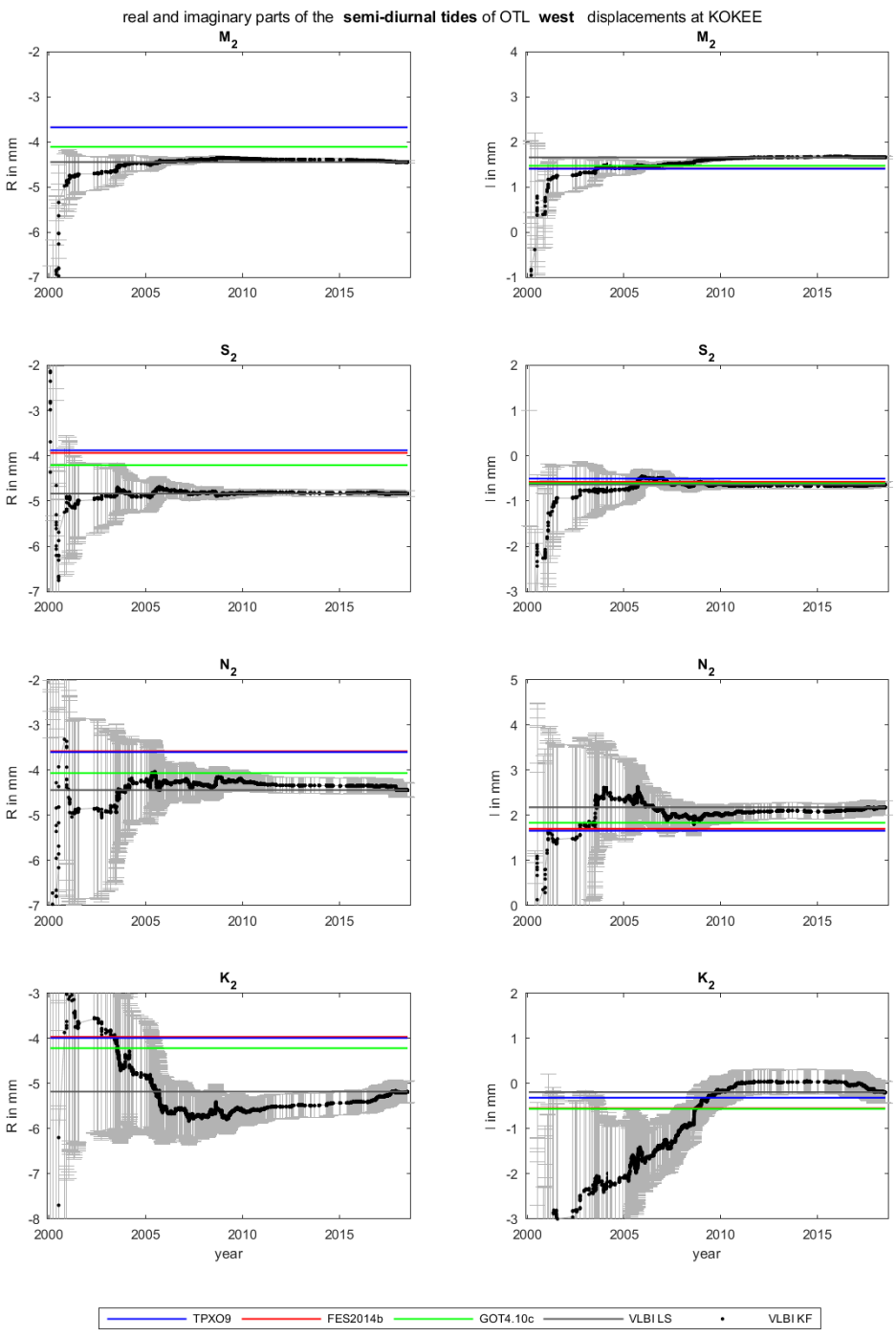

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at SESHAN25
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

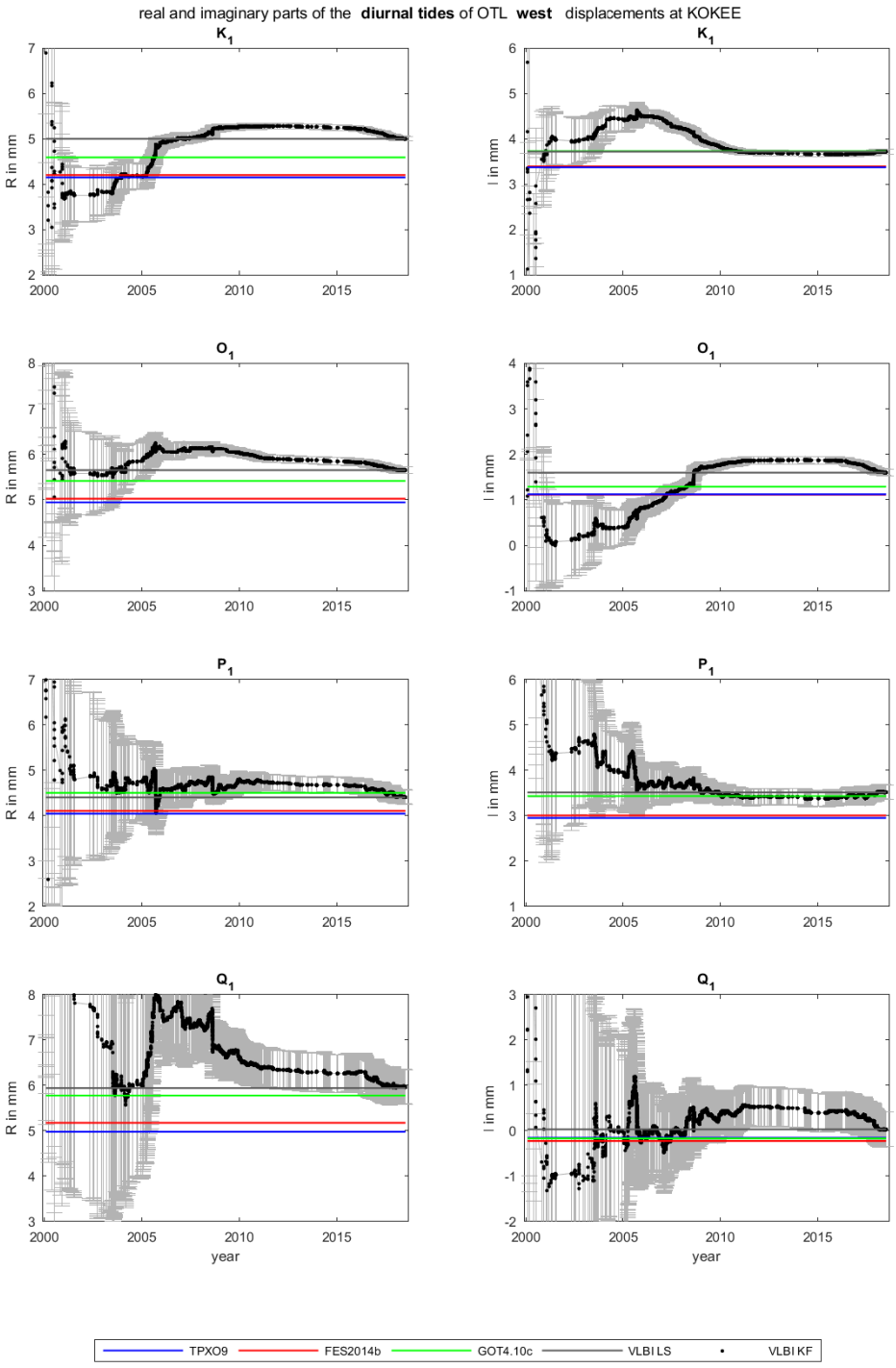

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at KOKEE
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

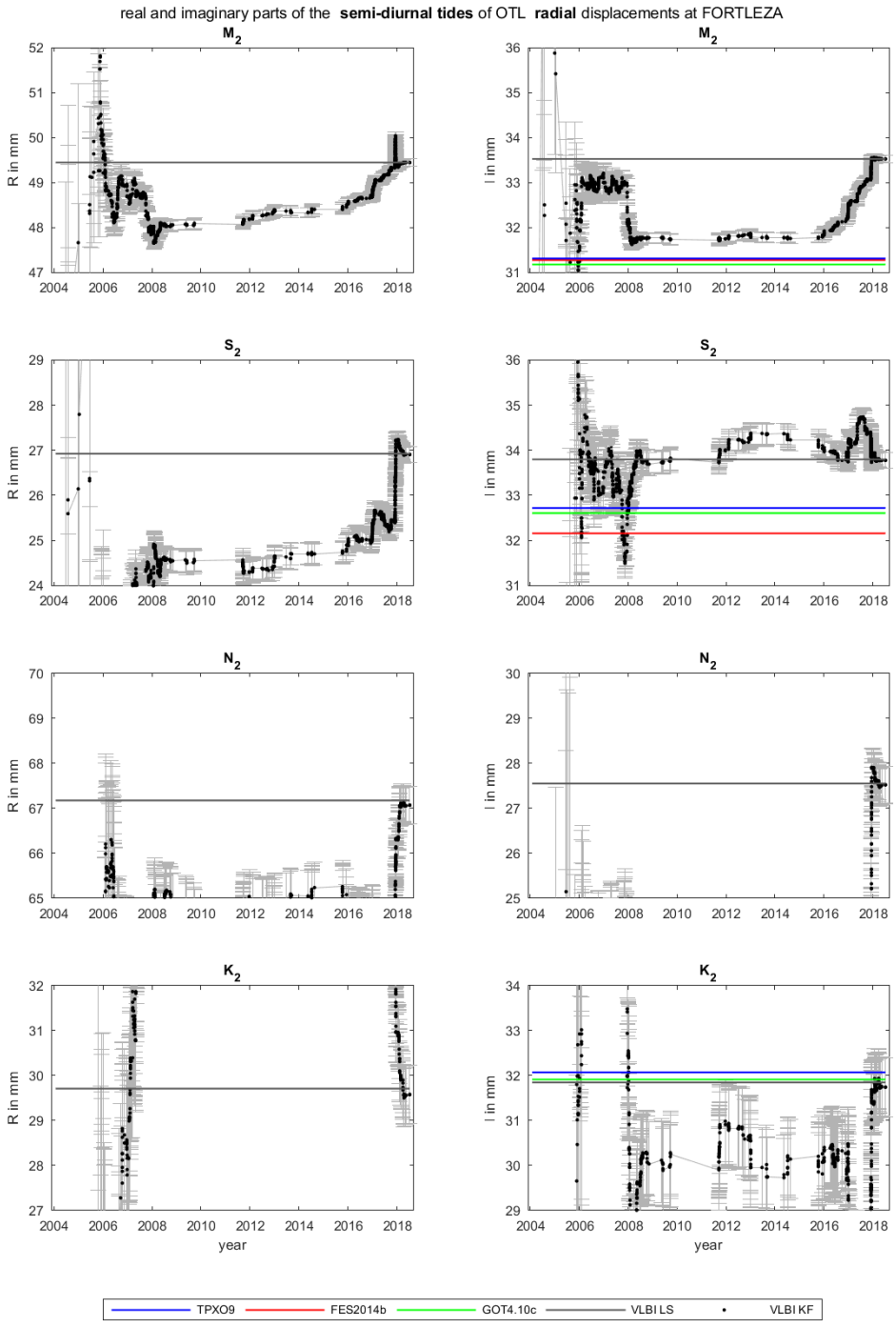

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at KOKEE
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

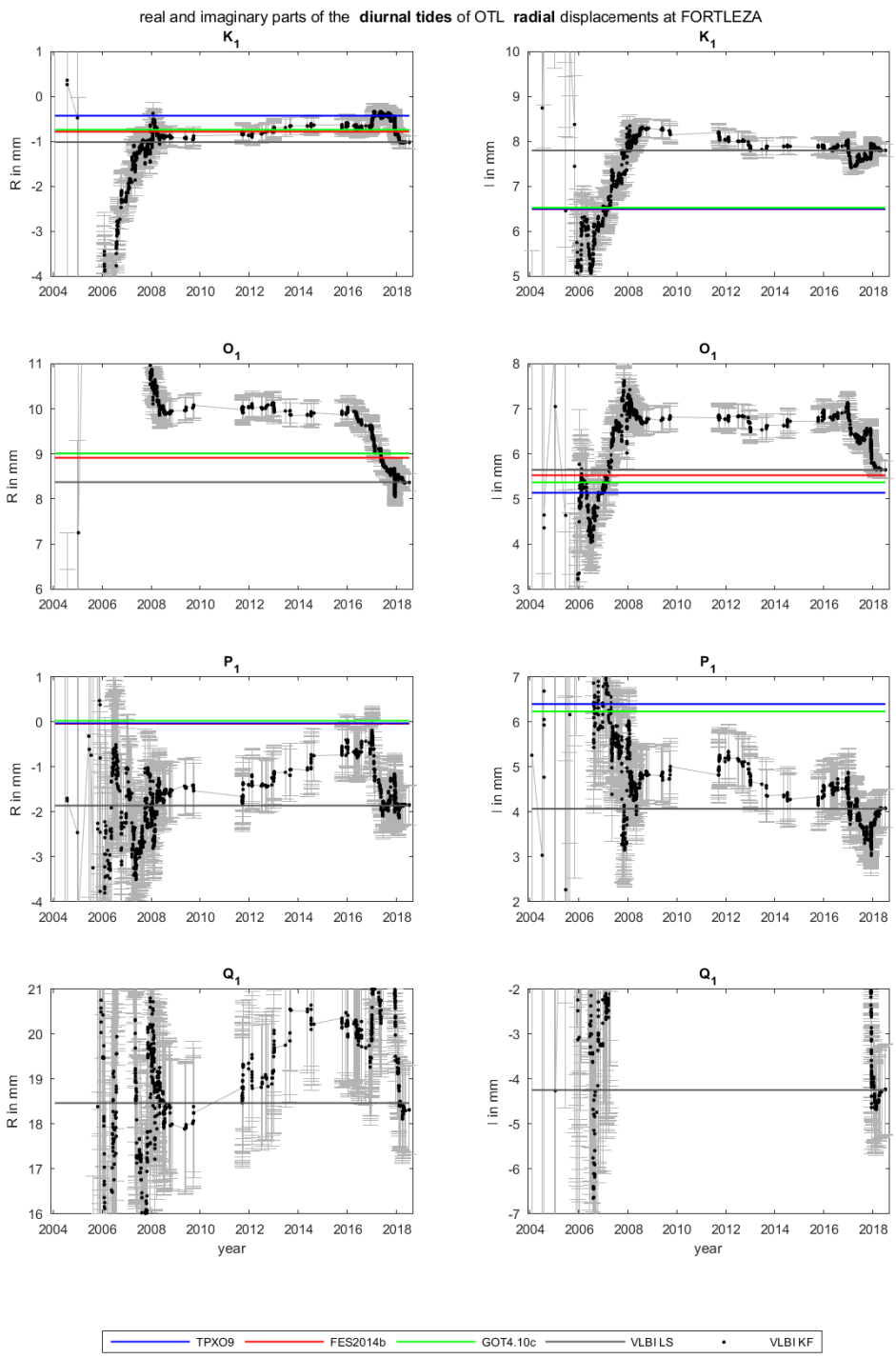

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at KOKEE
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

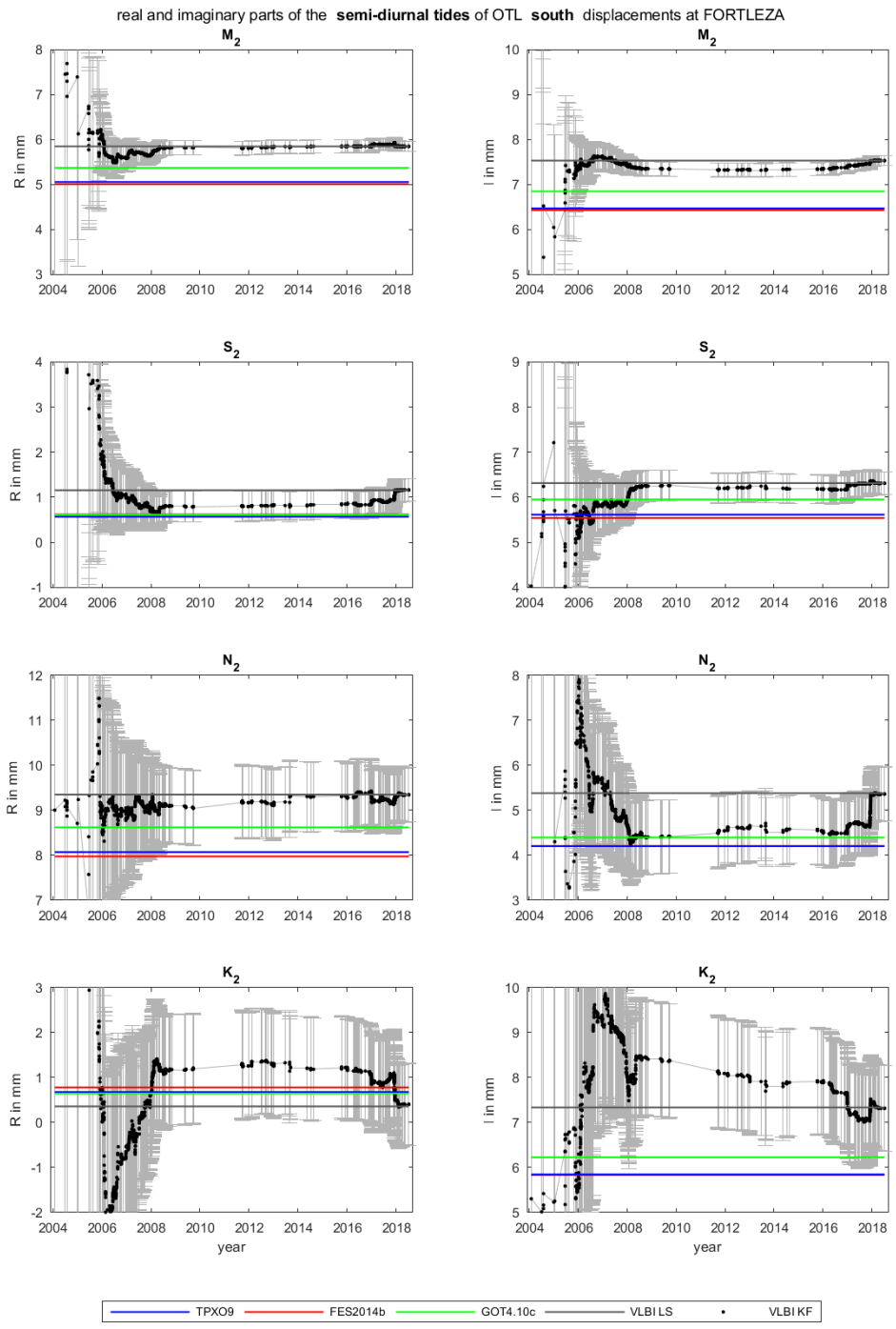

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at KOKEE
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

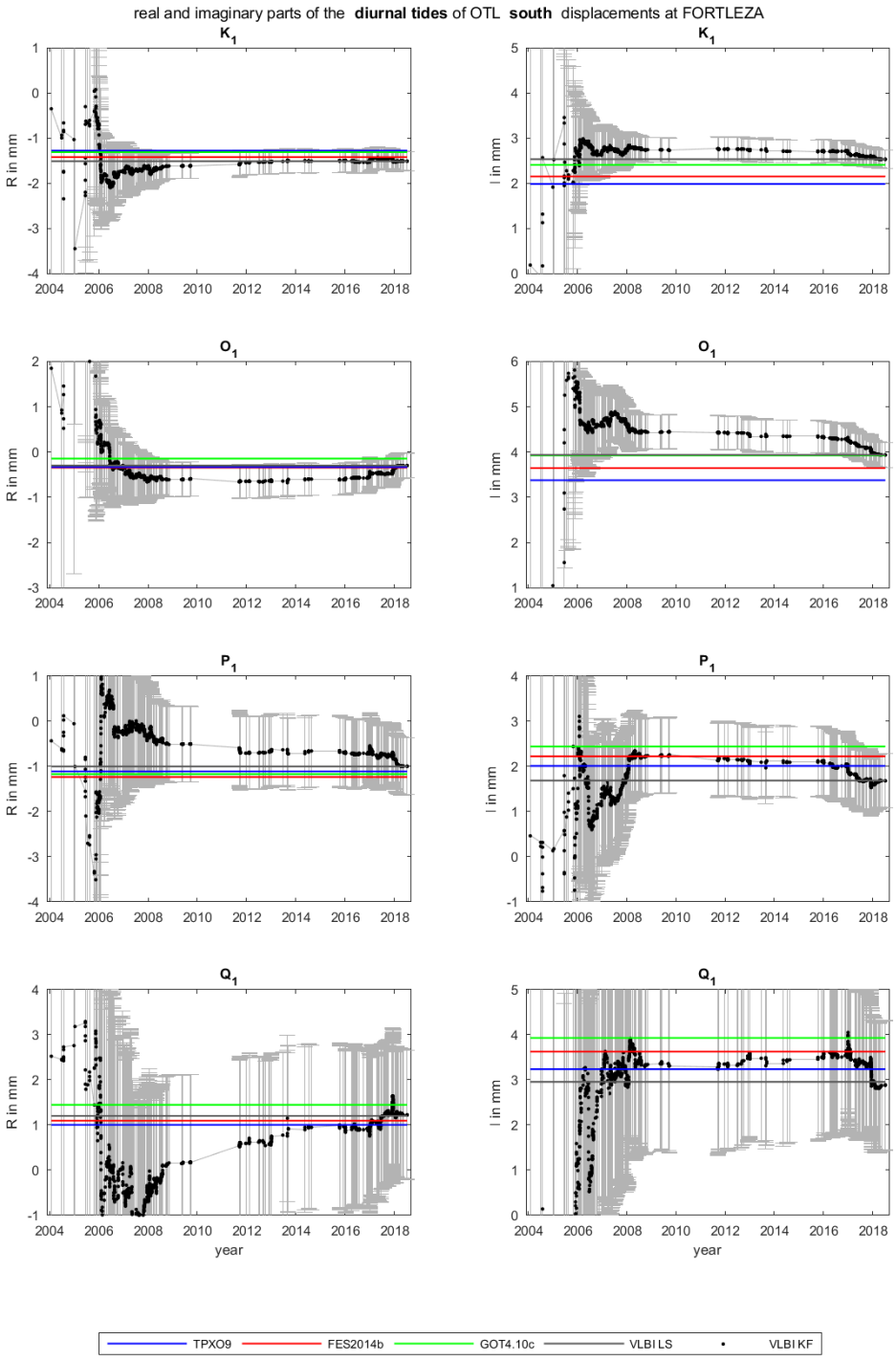

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at KOKEE
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

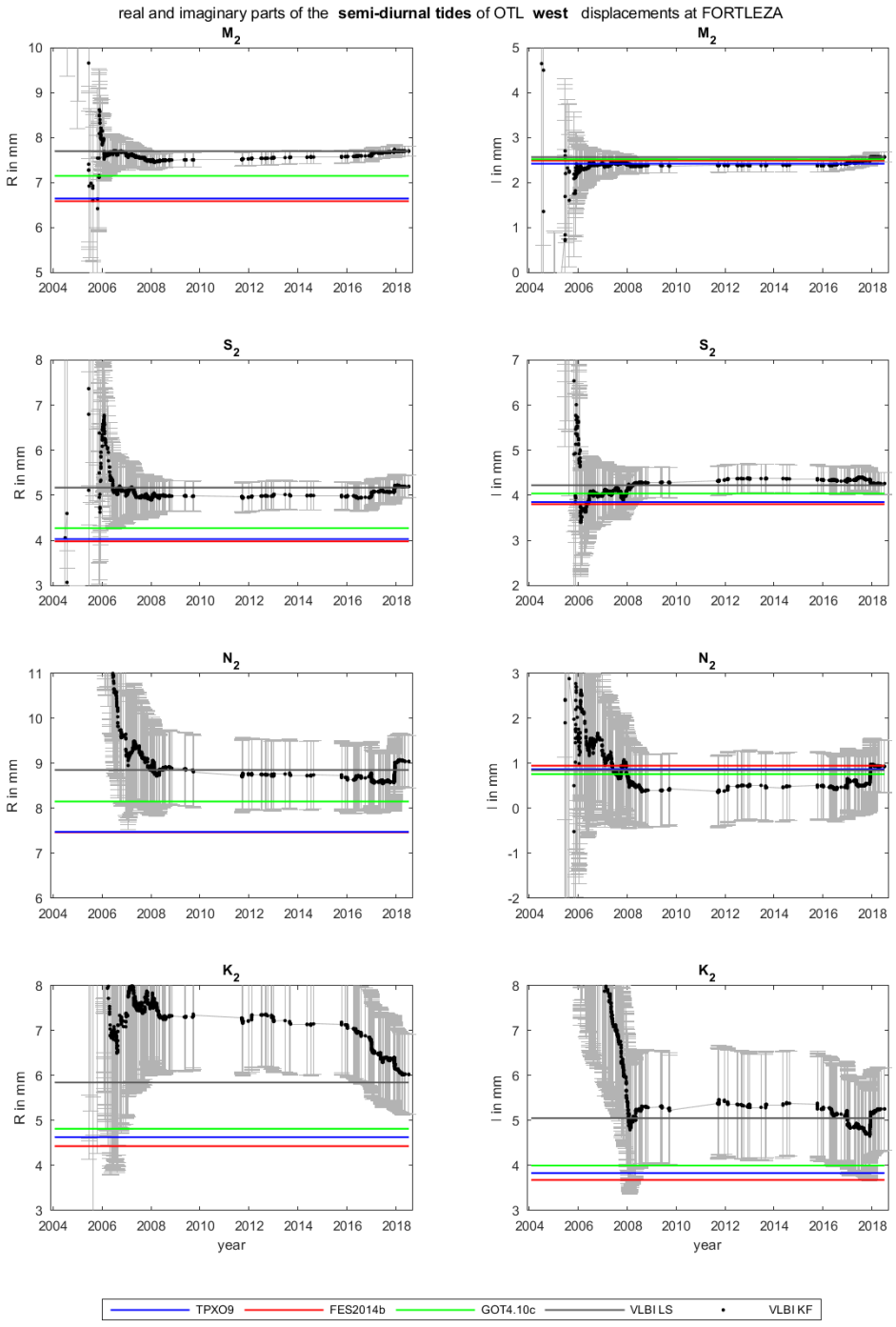

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at KOKEE
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

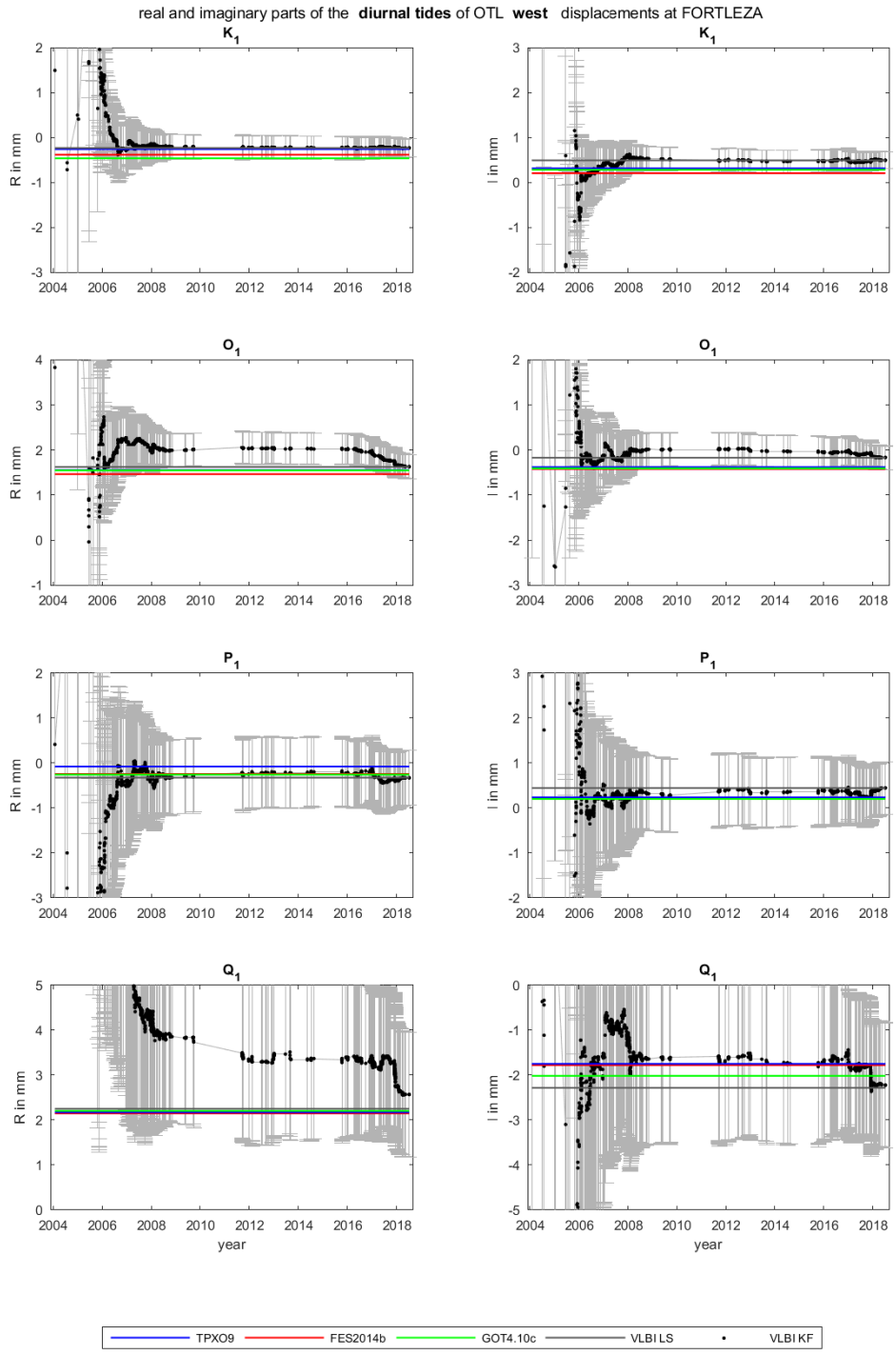

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at FORTLEZA
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

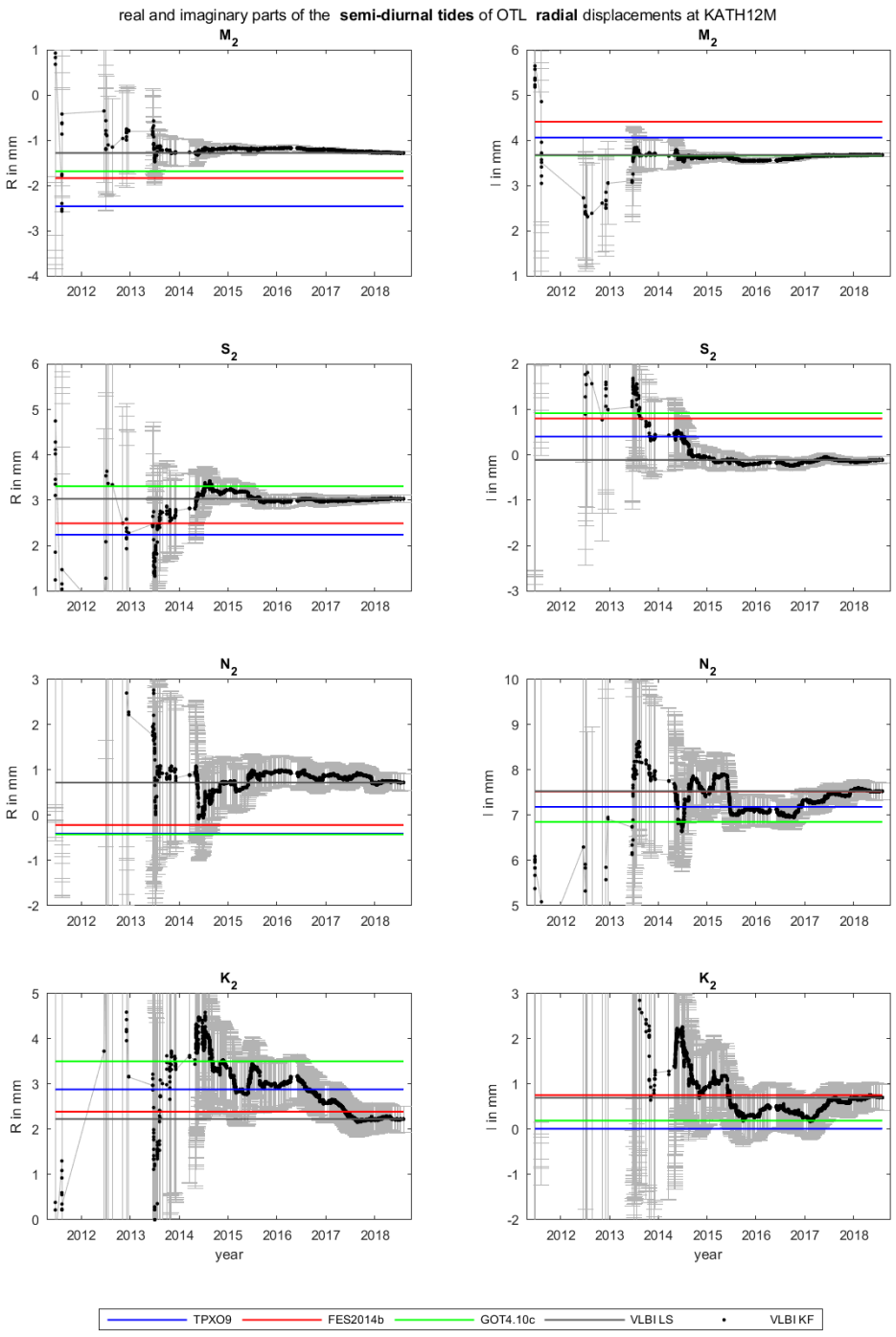

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at FORTLEZA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

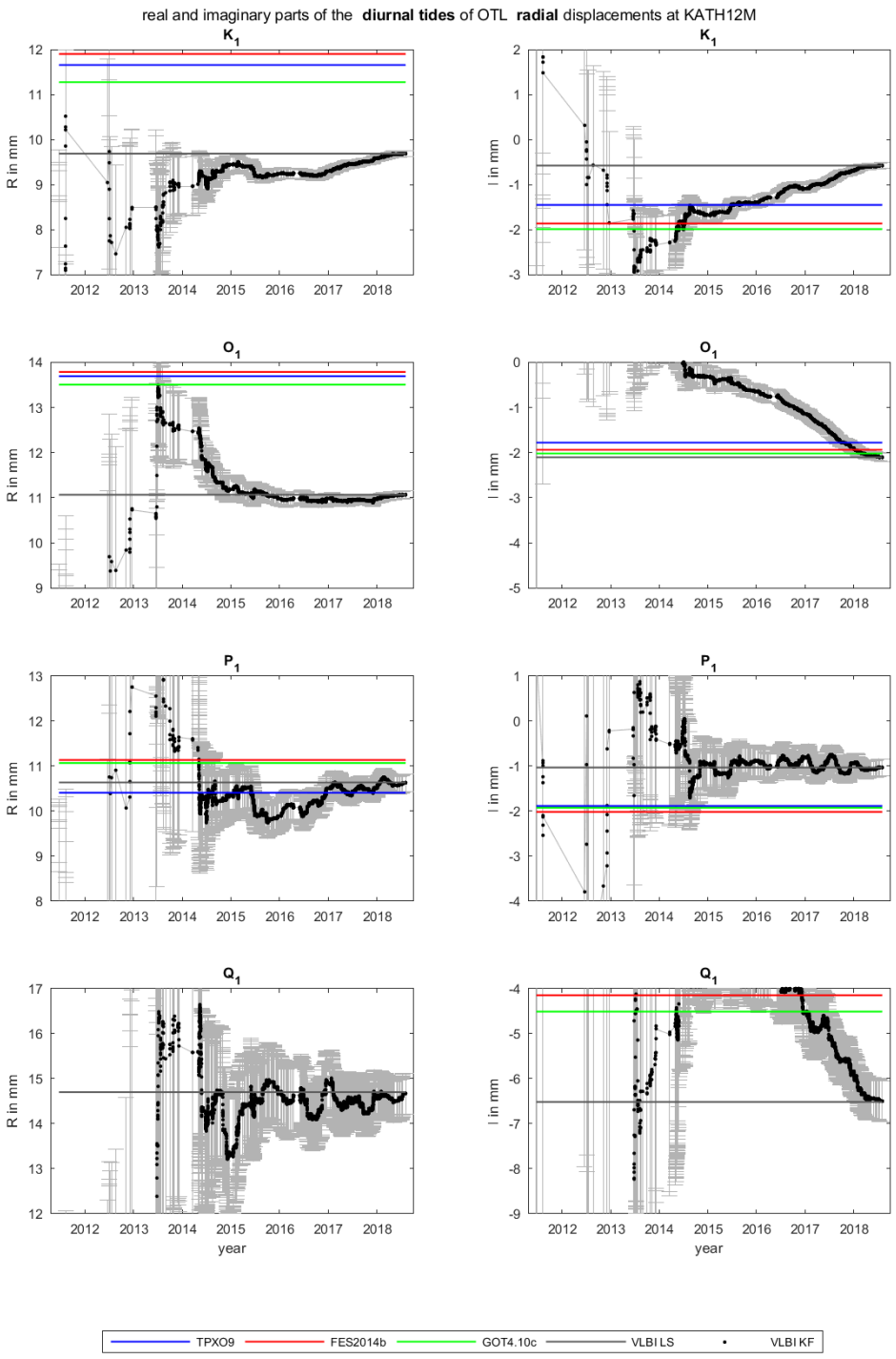

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at FORTLEZA
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

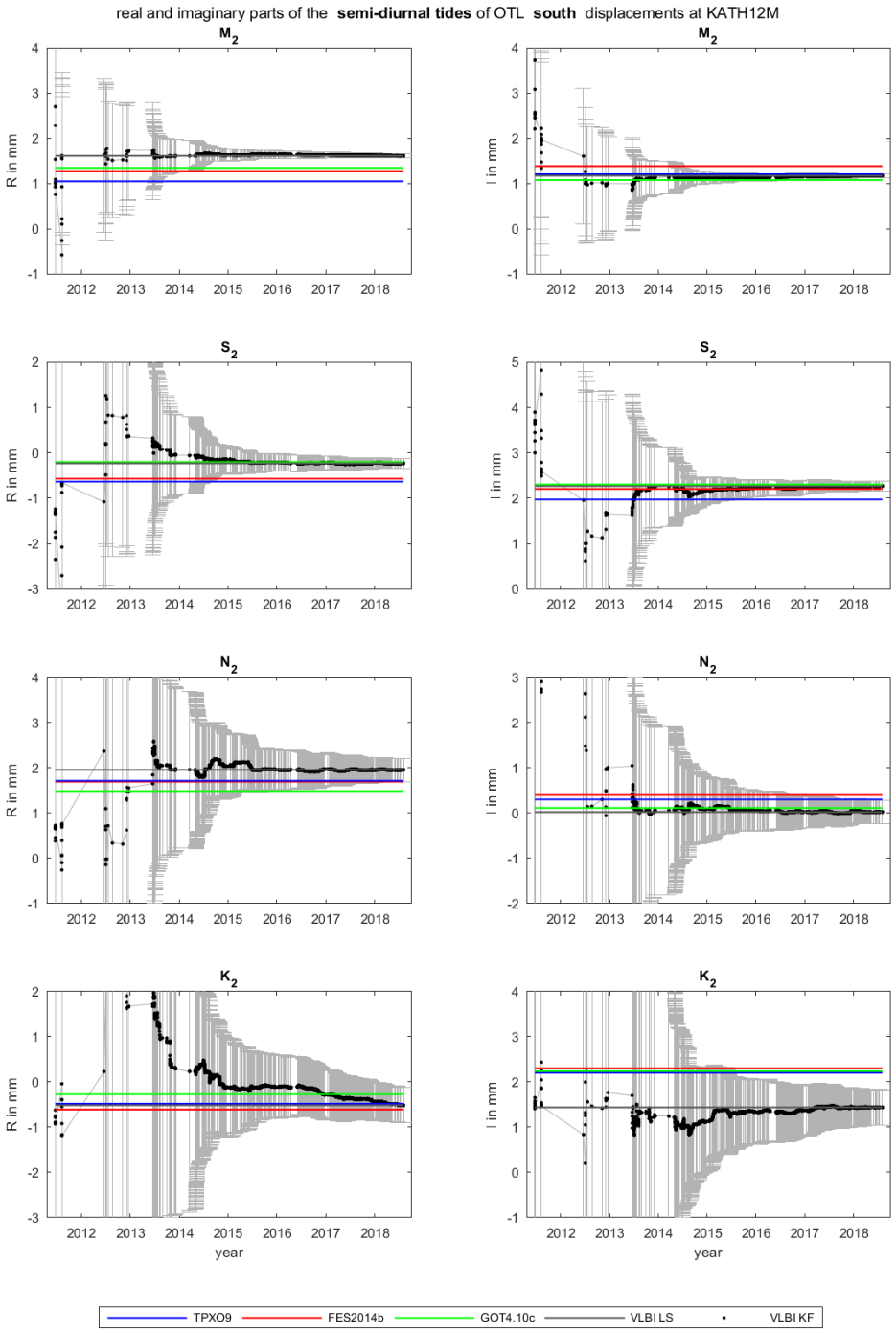

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at FORTLEZA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

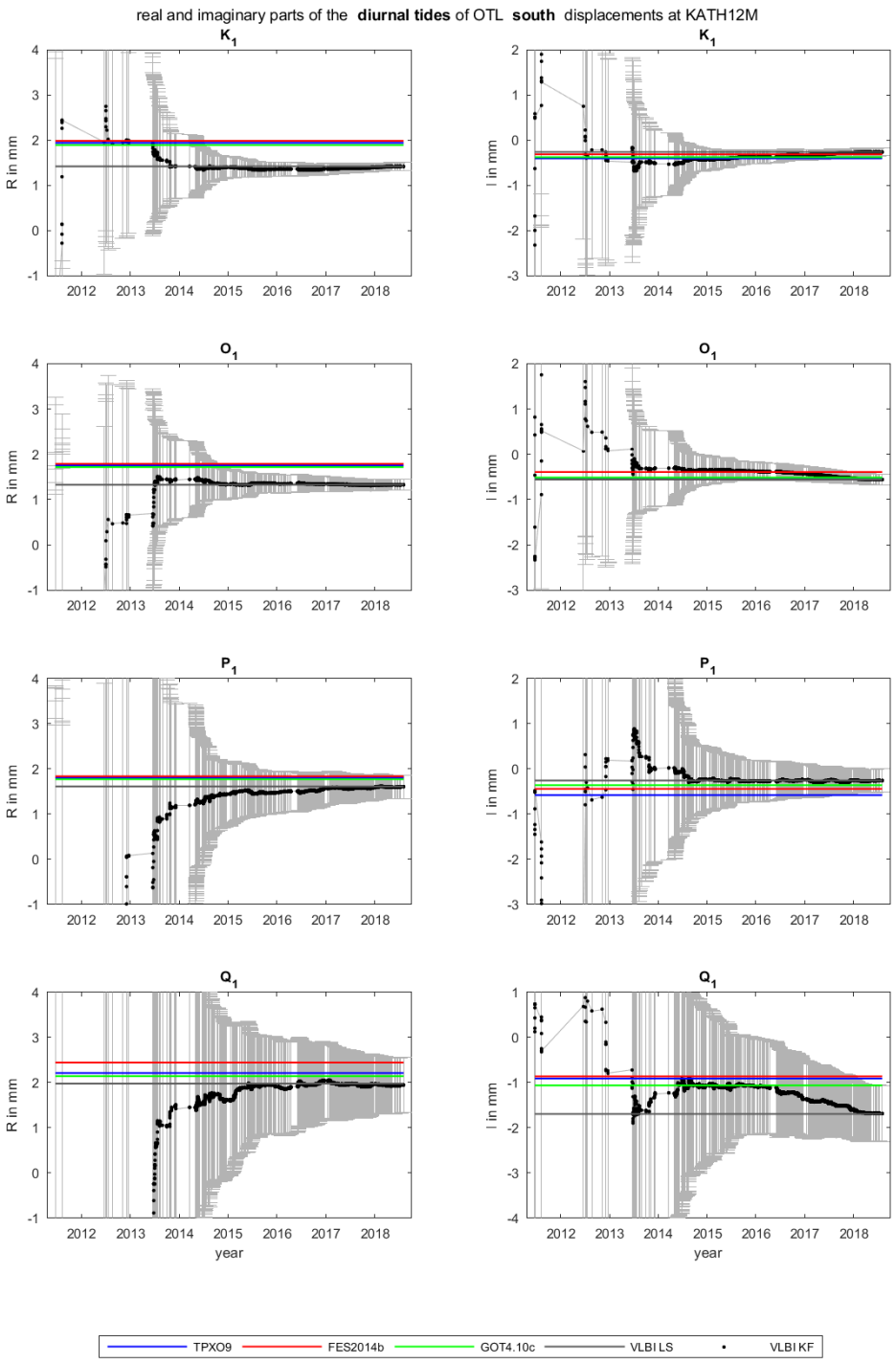

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at FORTLEZA
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

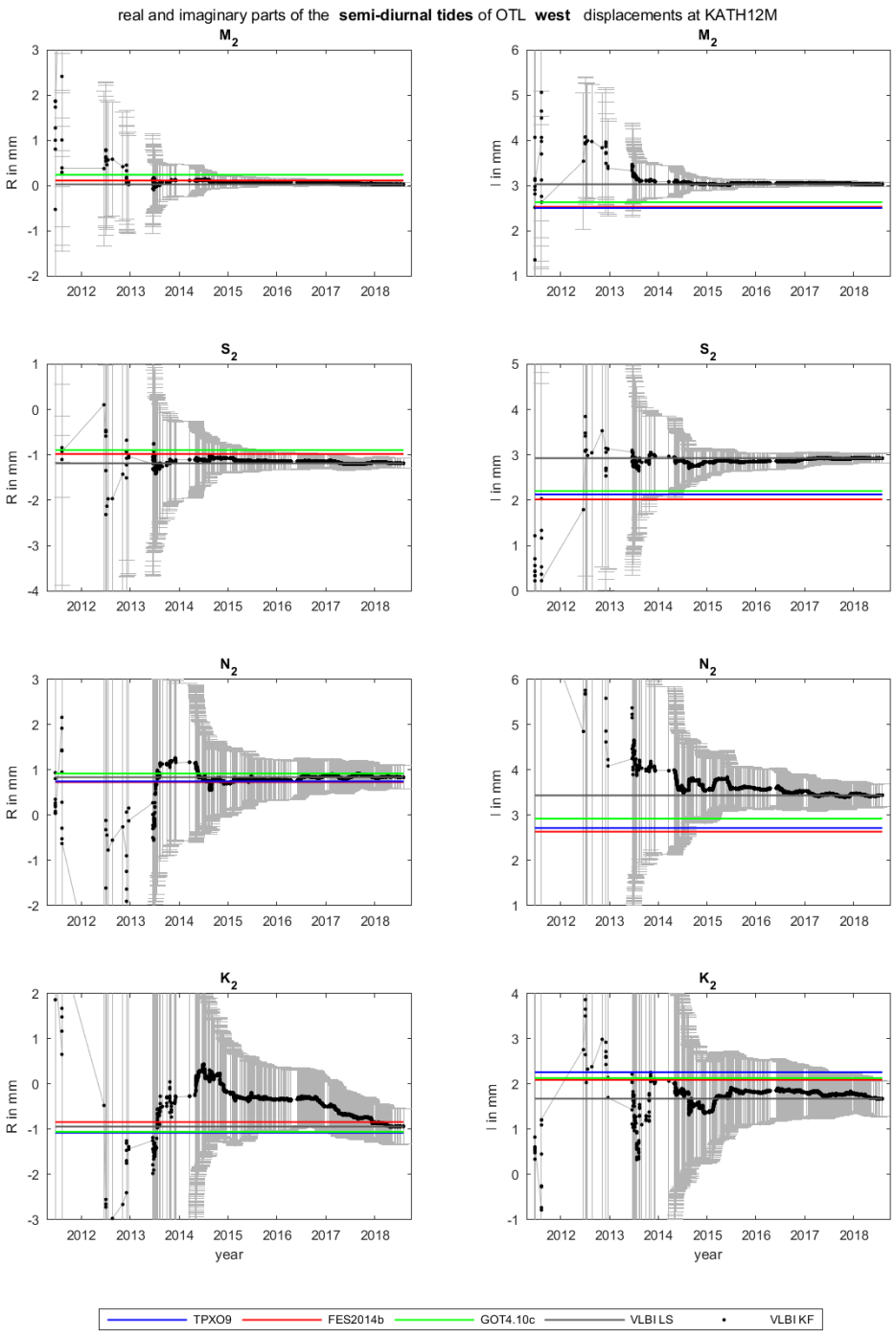

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at FORTLEZA
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

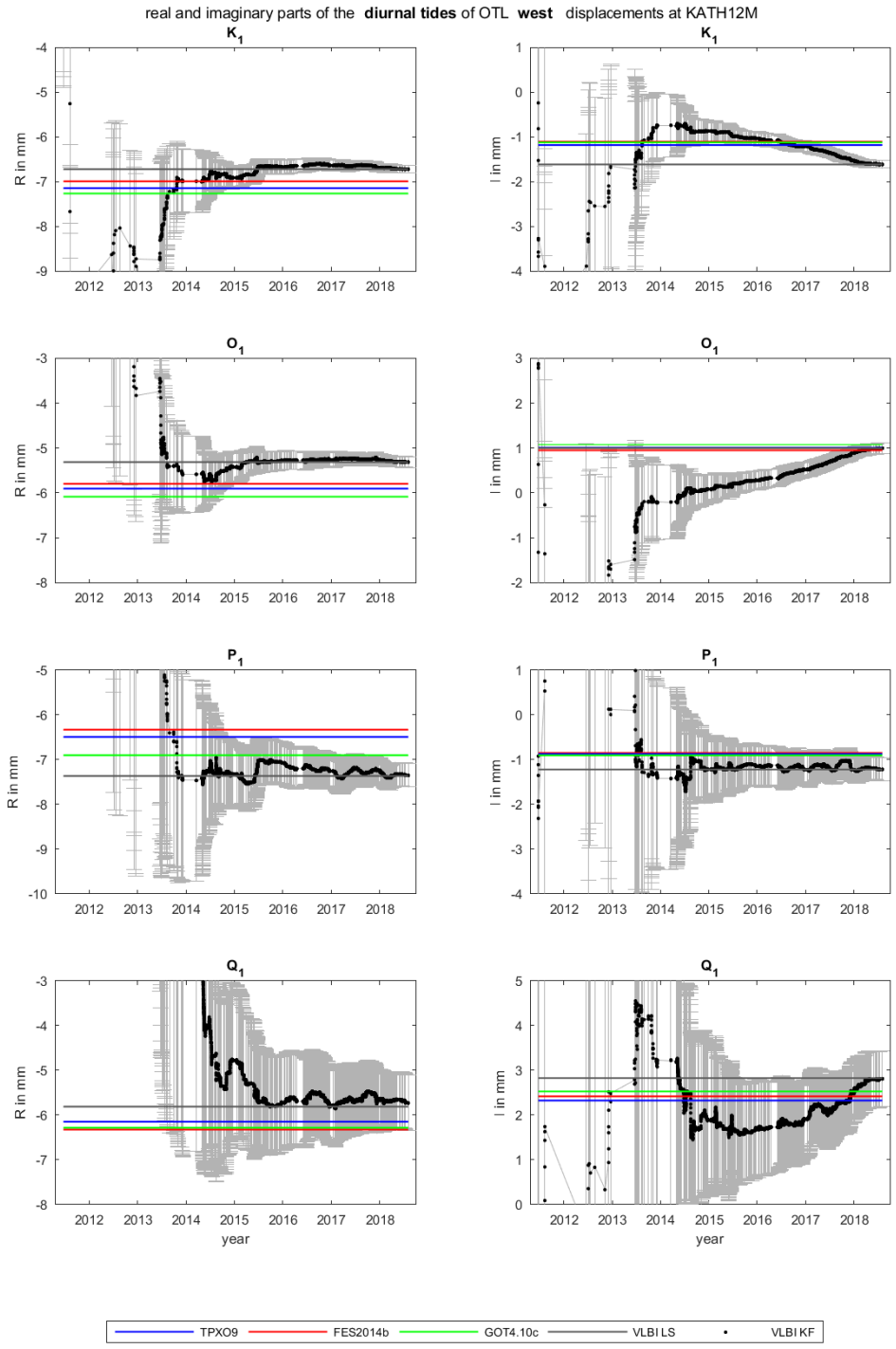

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at KATH12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

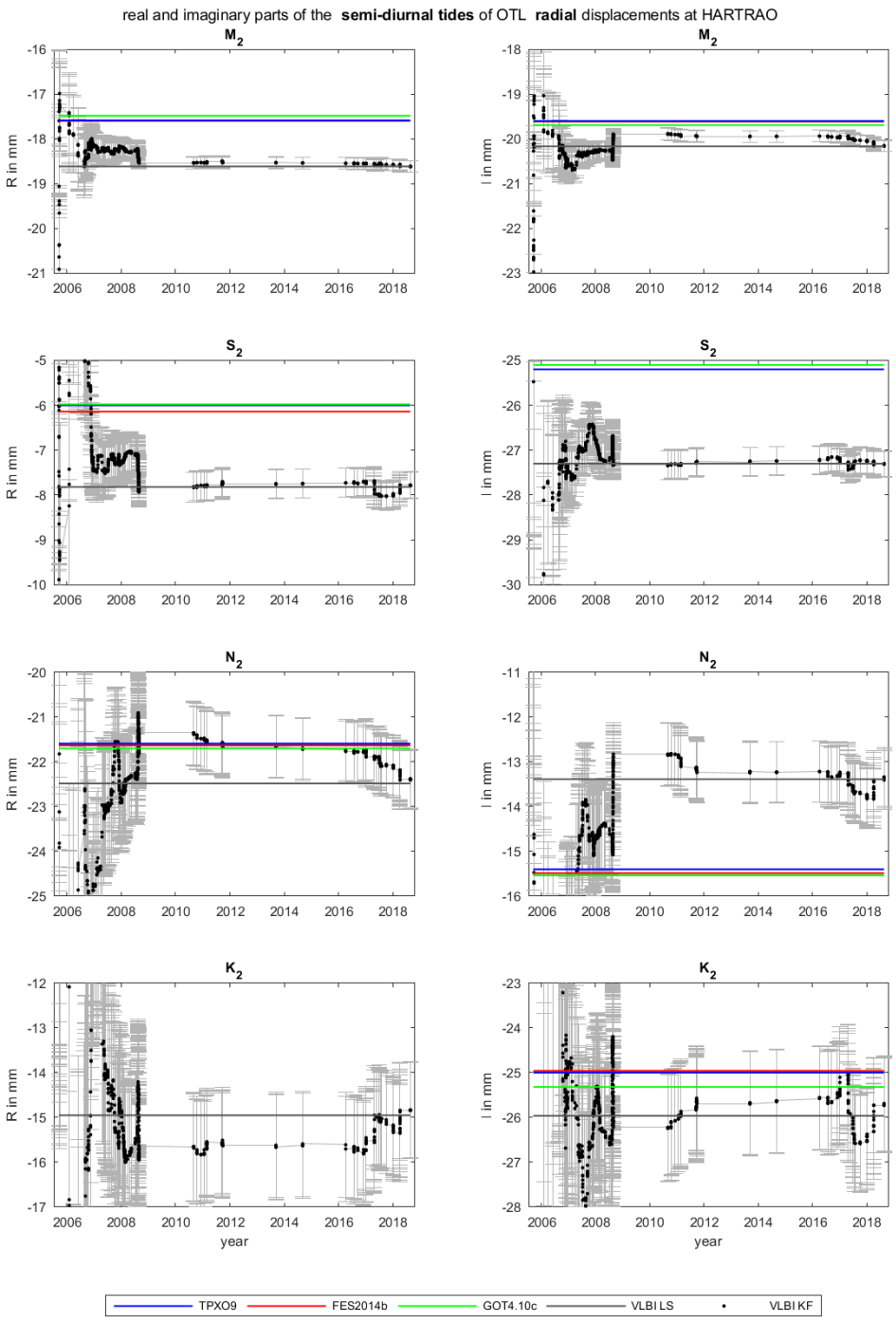

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at KATH12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

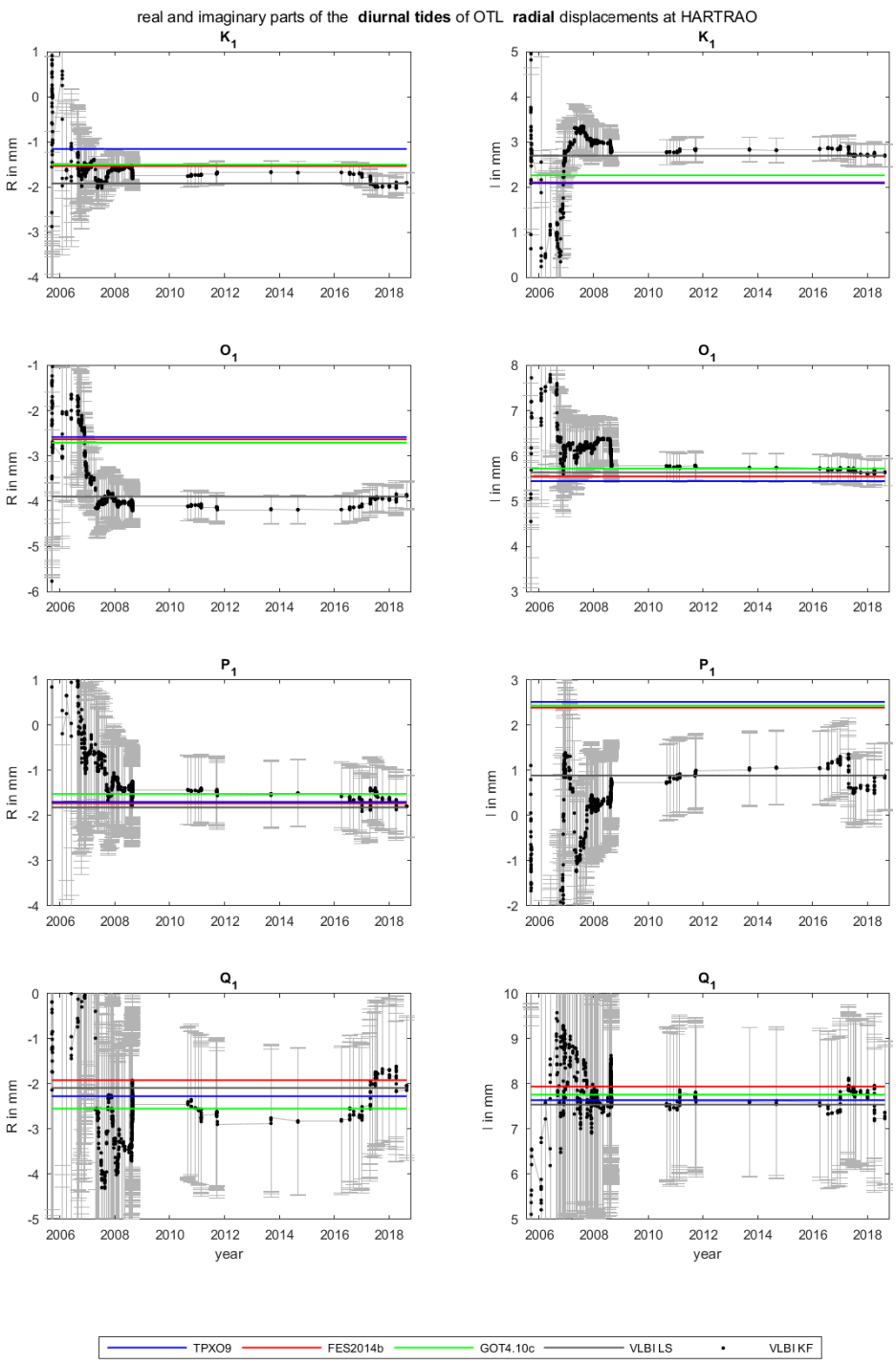

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at KATH12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

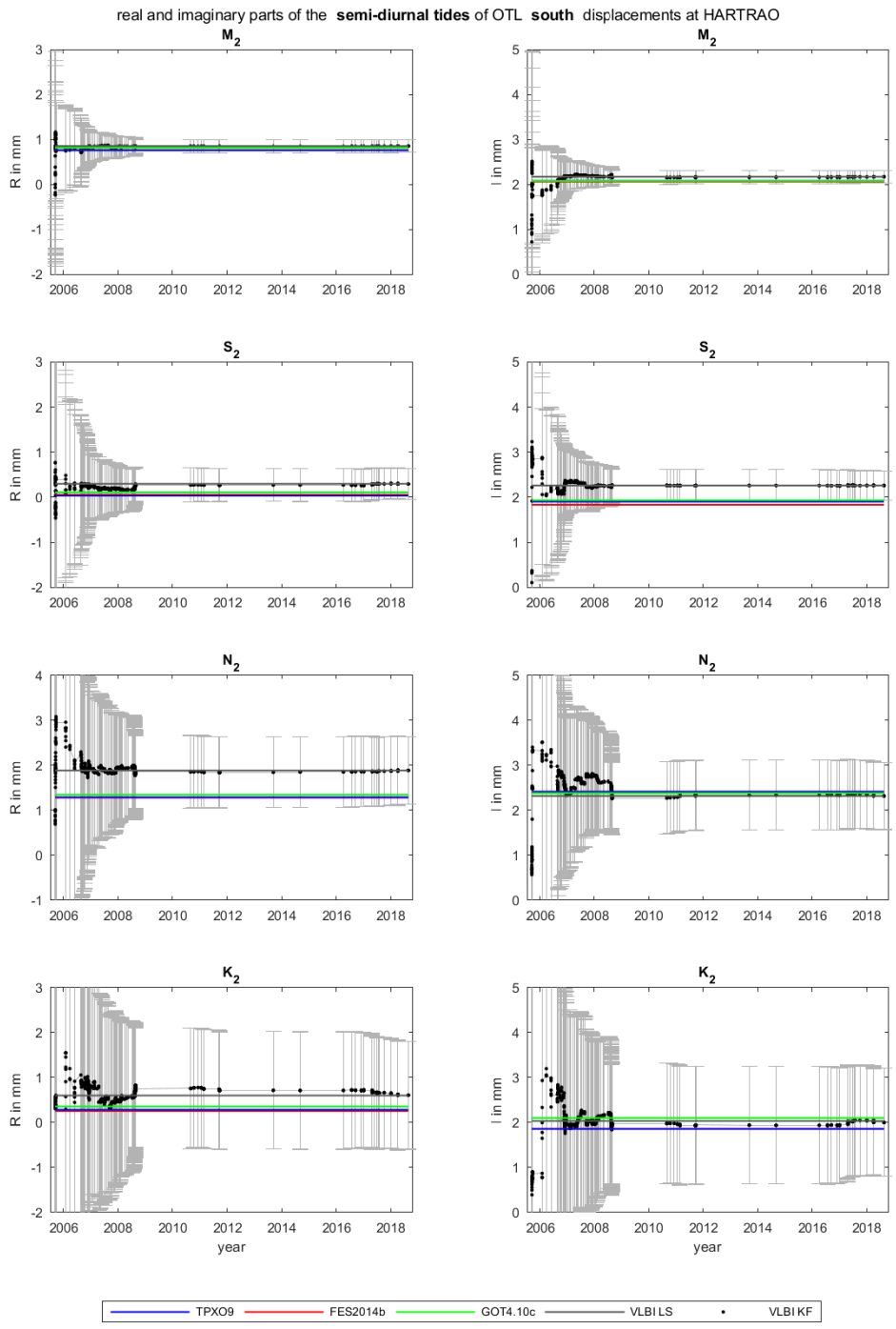

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at KATH12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

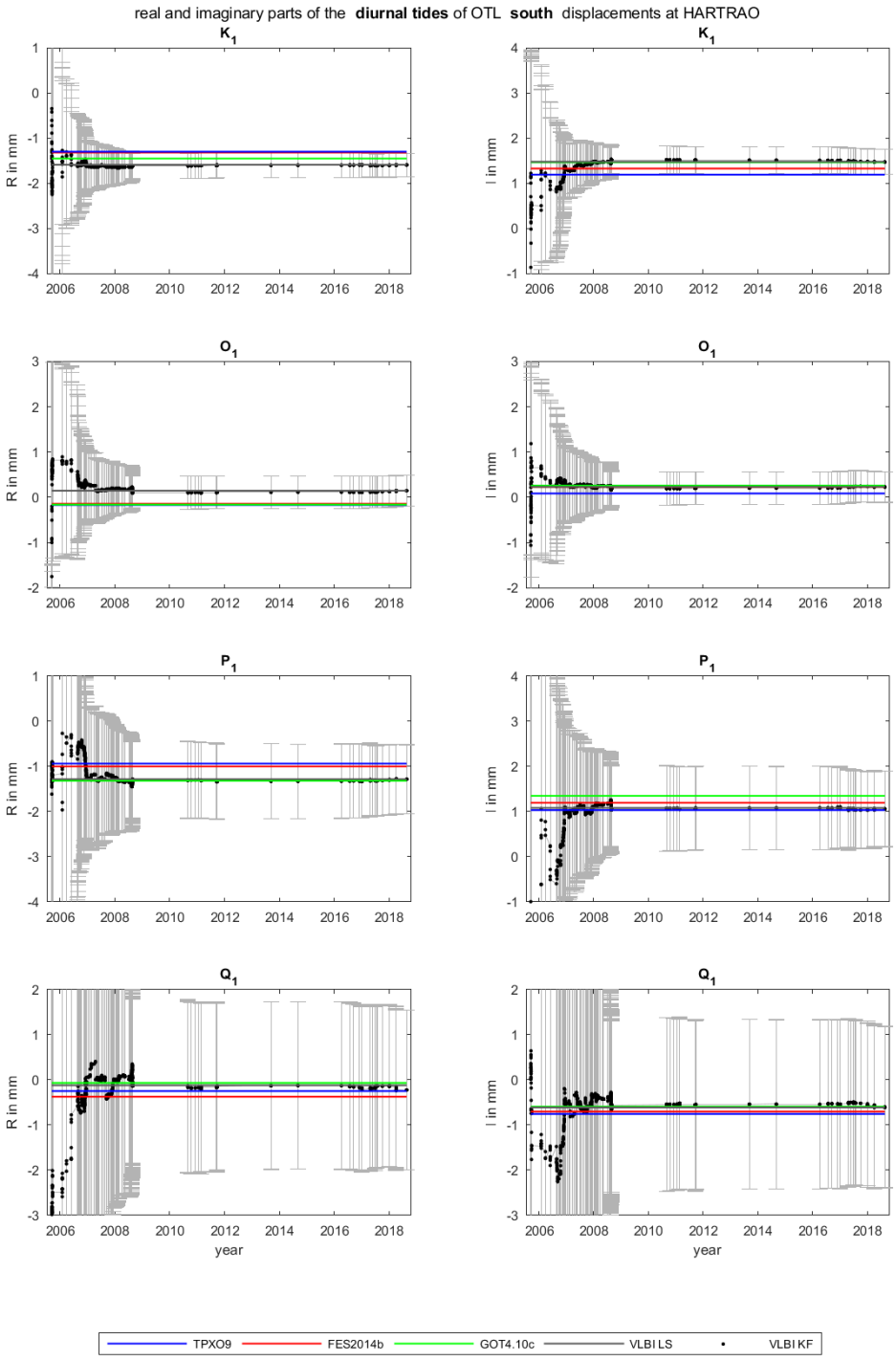

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at KATH12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

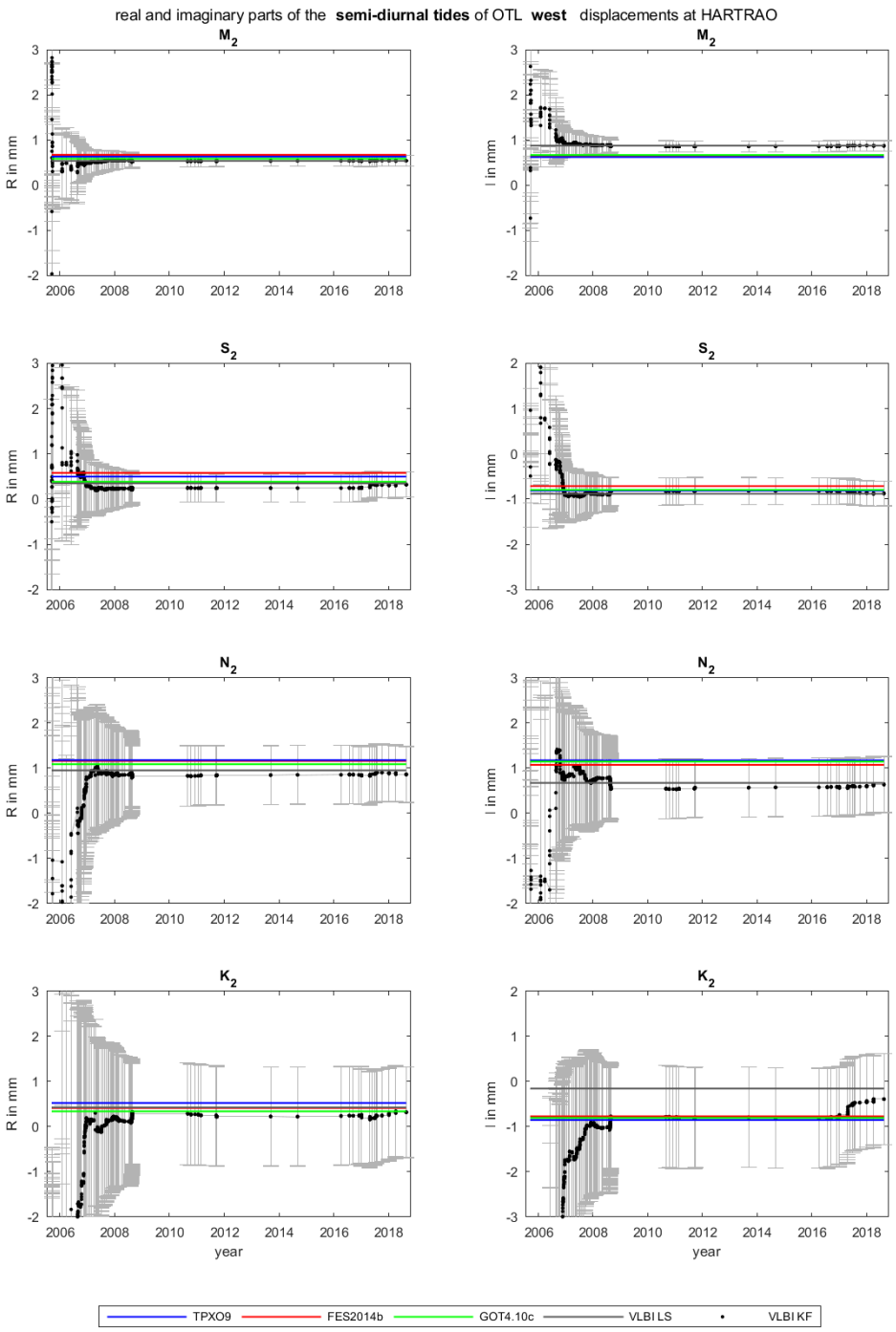

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at KATH12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

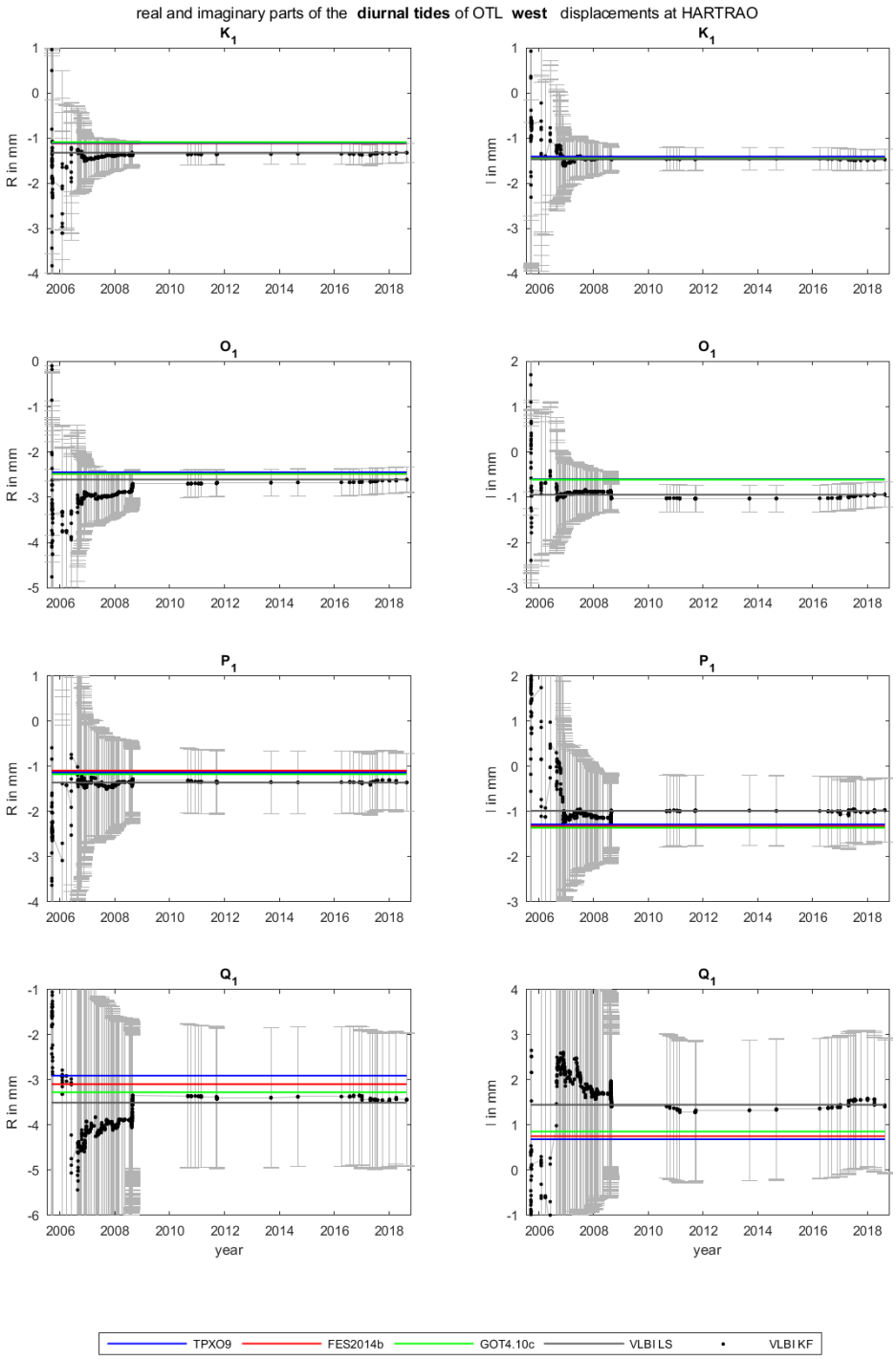

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at HARTRAO
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

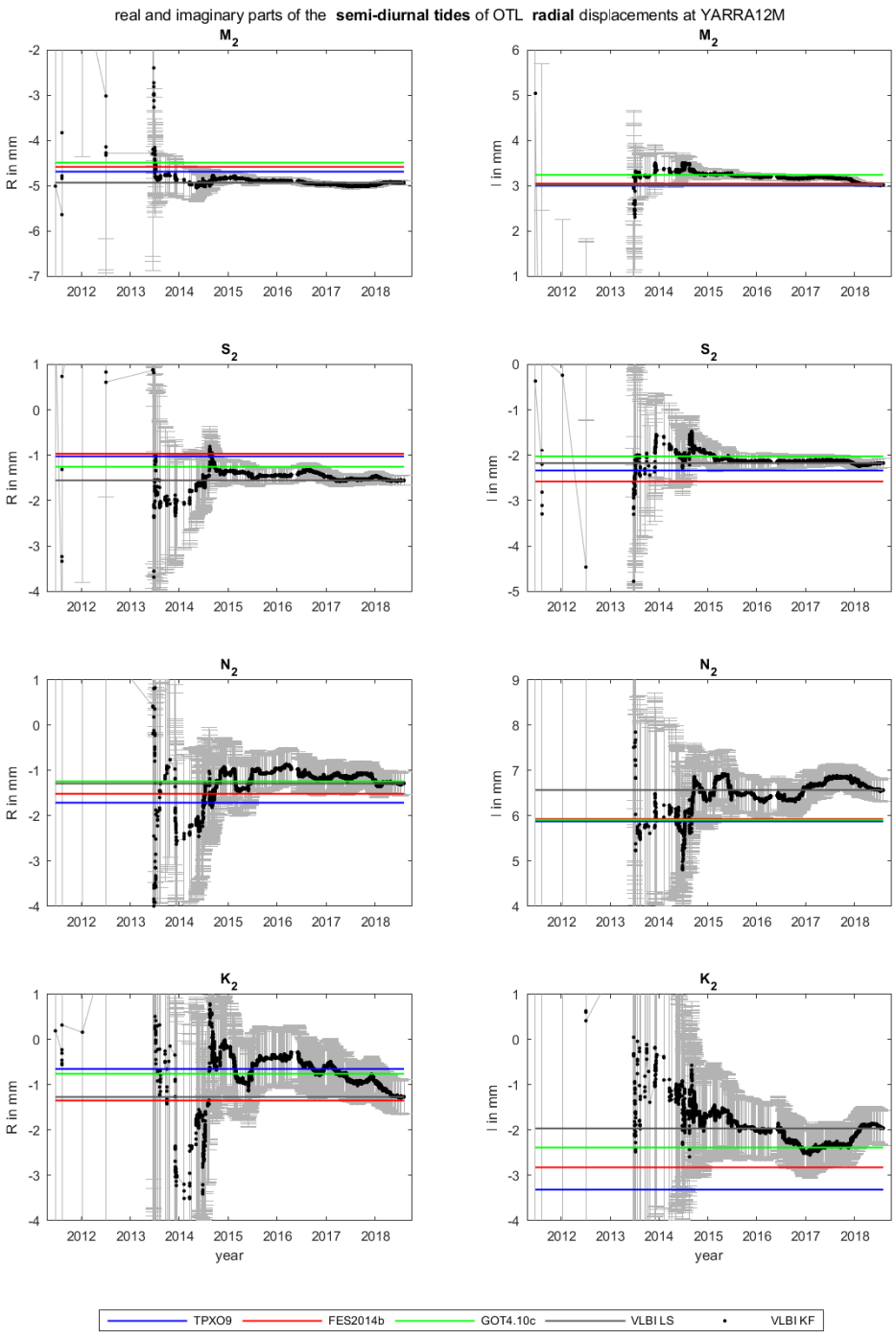

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at HARTRAO
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

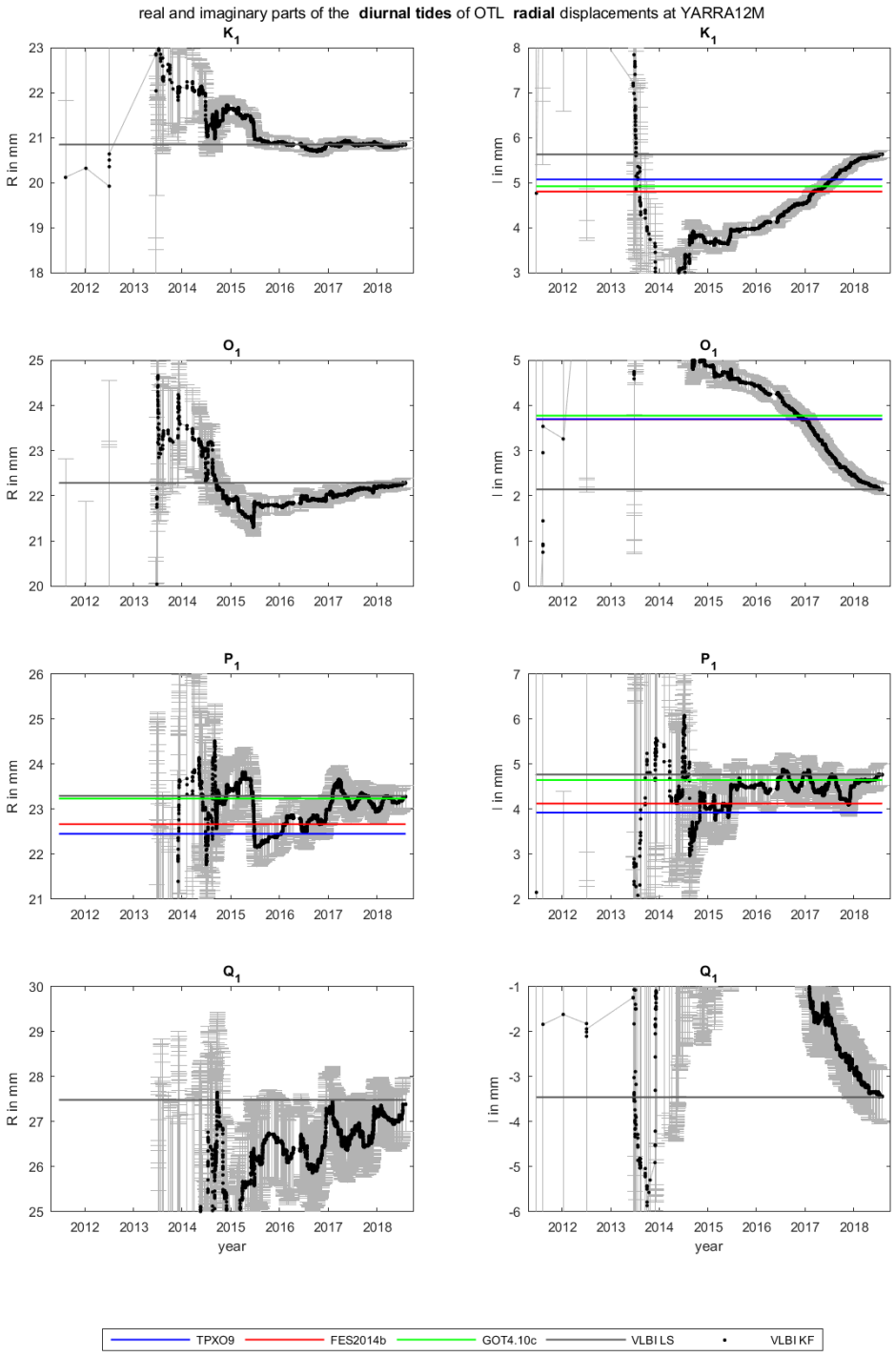

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at HARTRAO
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

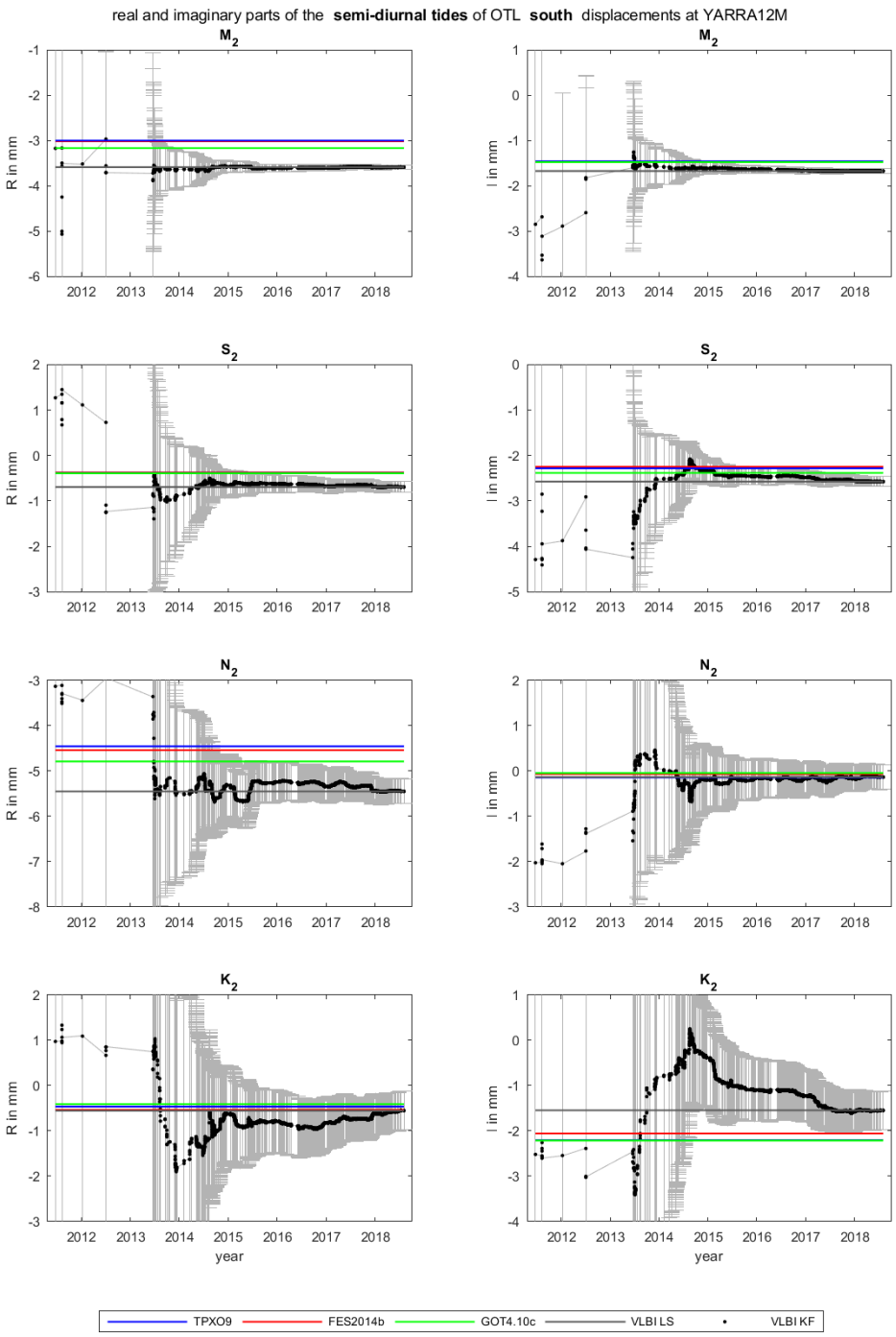

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at HARTRAO
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

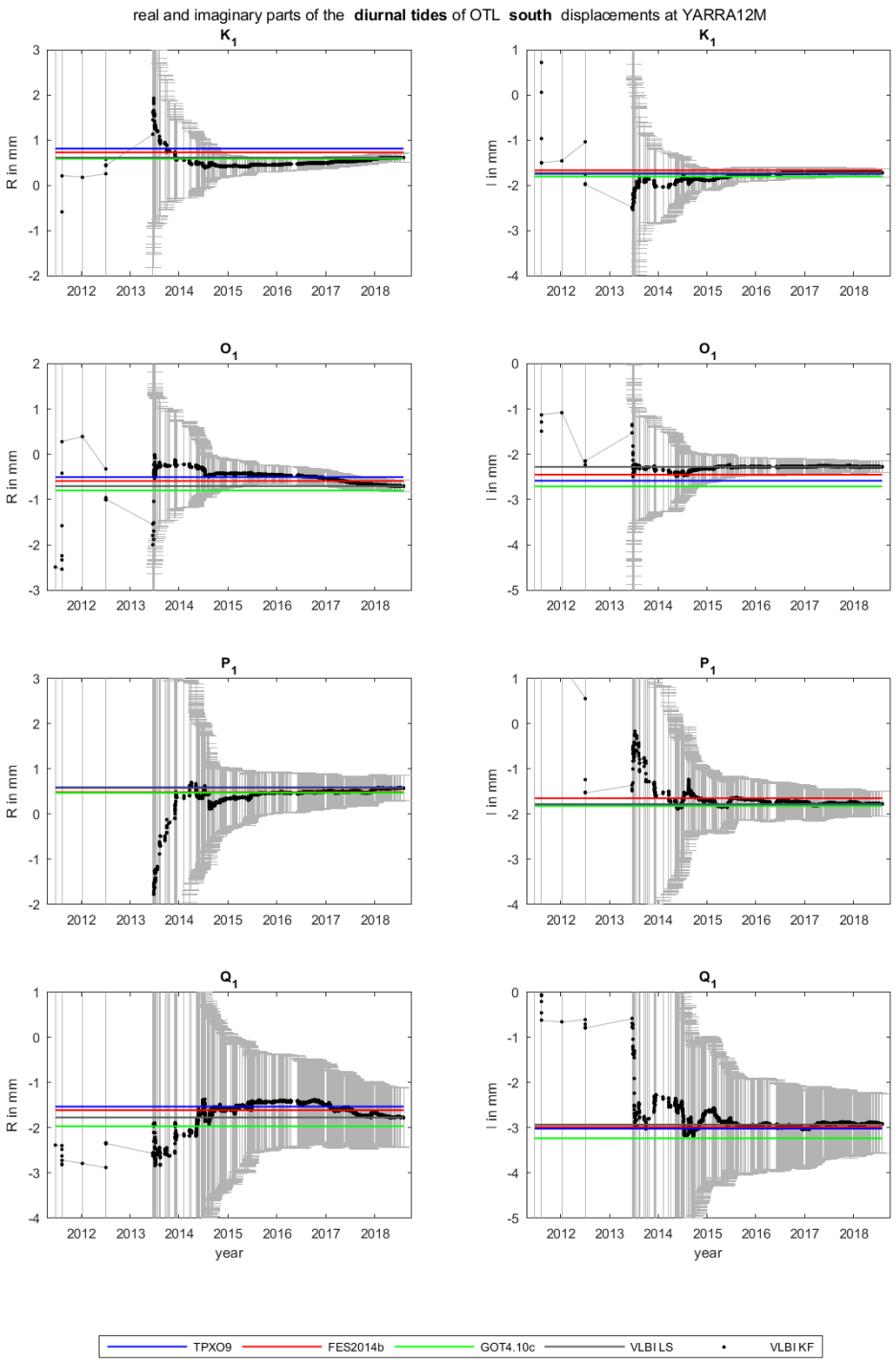

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at HARTRAO
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

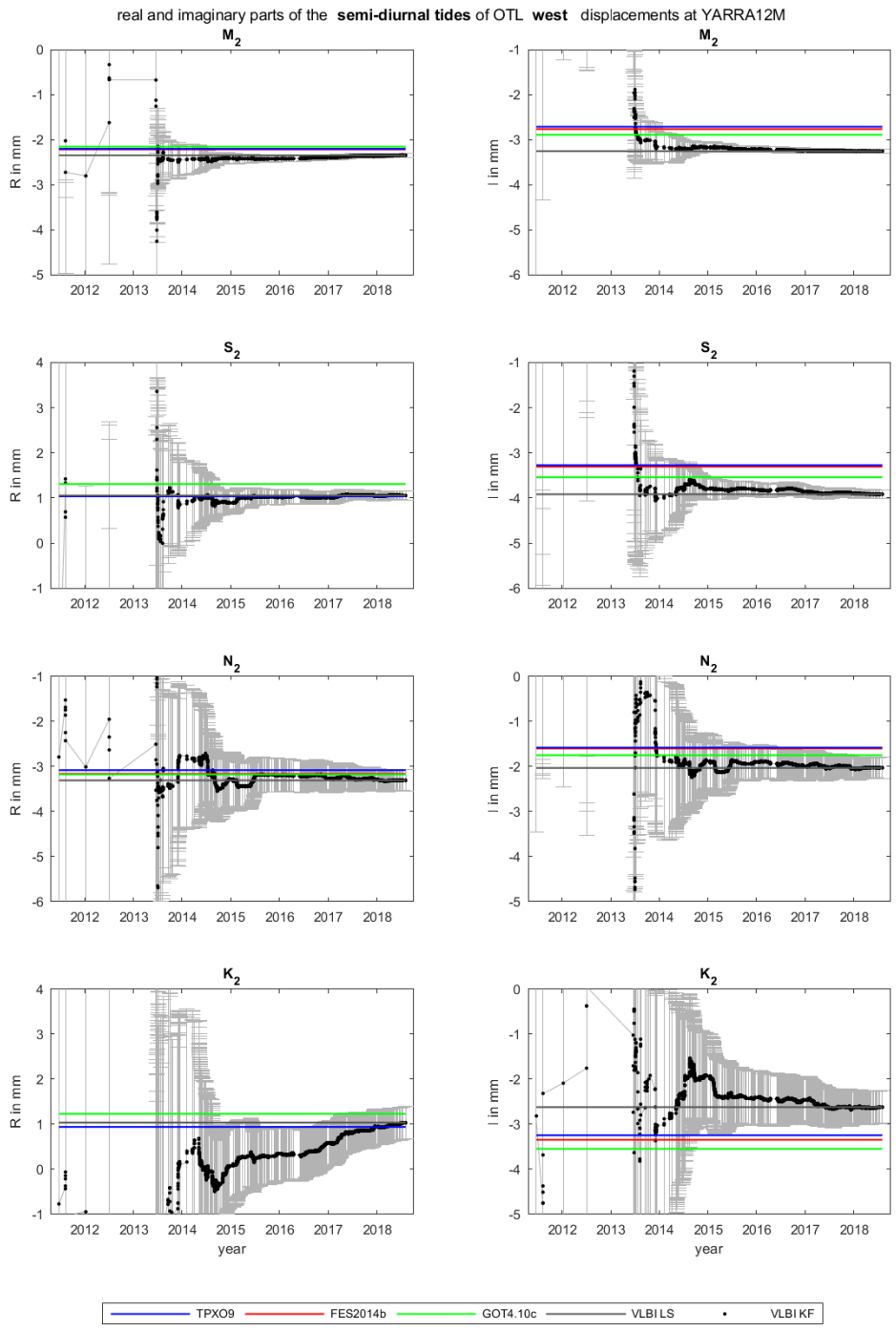

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at HARTRAO
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

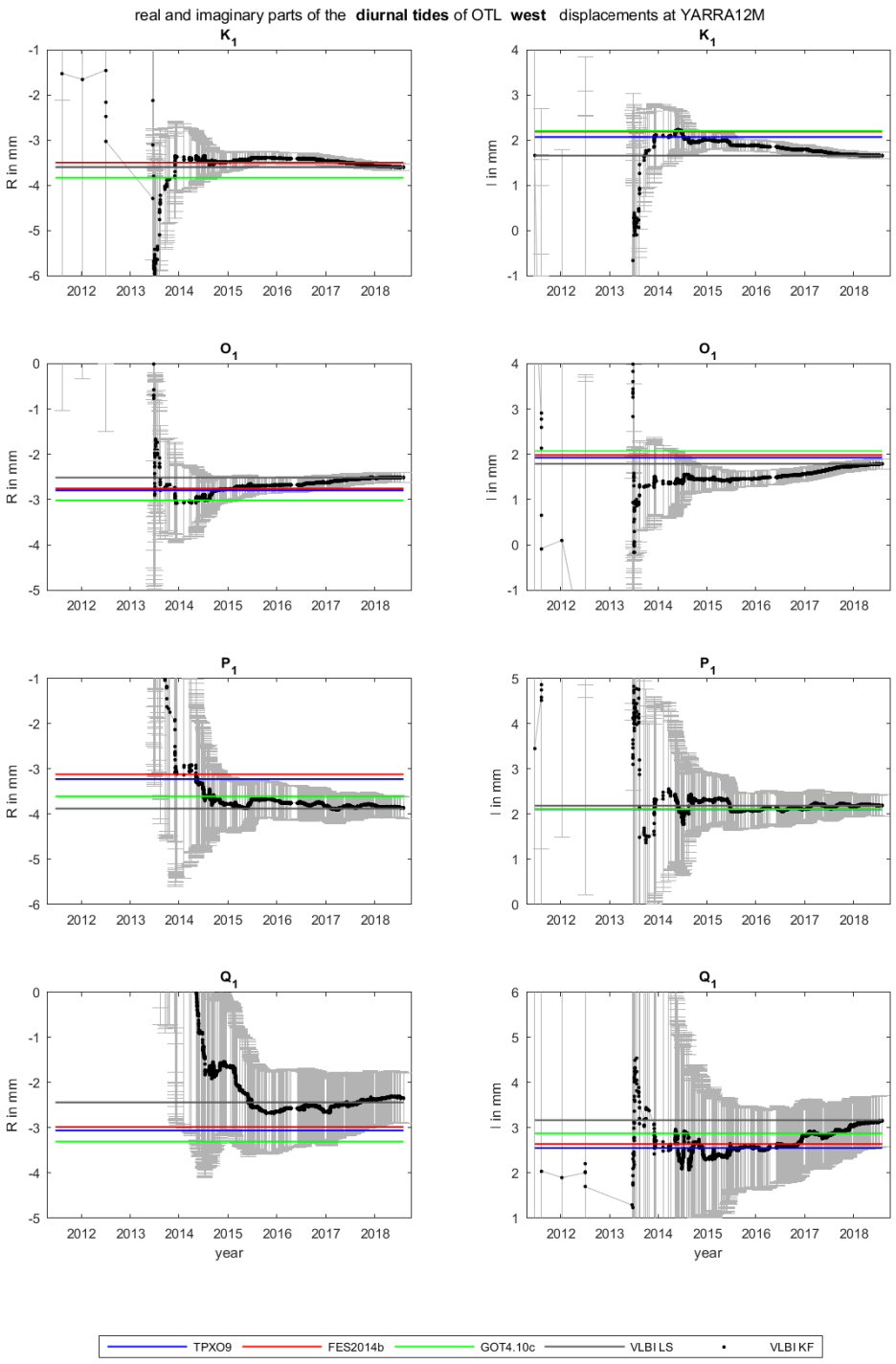

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at YARRA12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

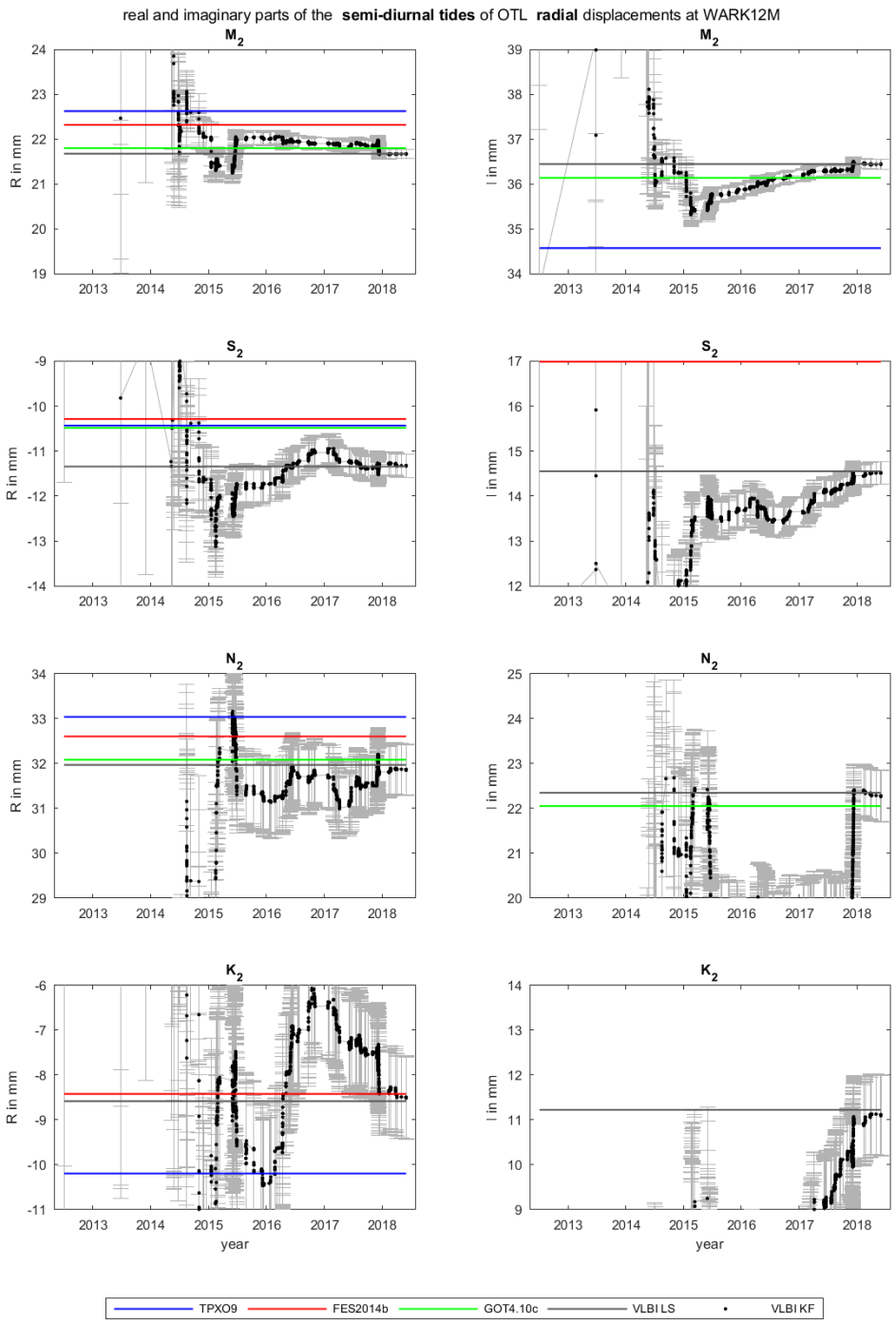

real and imaginary parts of the **diurnal tides** of OTL **radial** displacements at YARRA12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

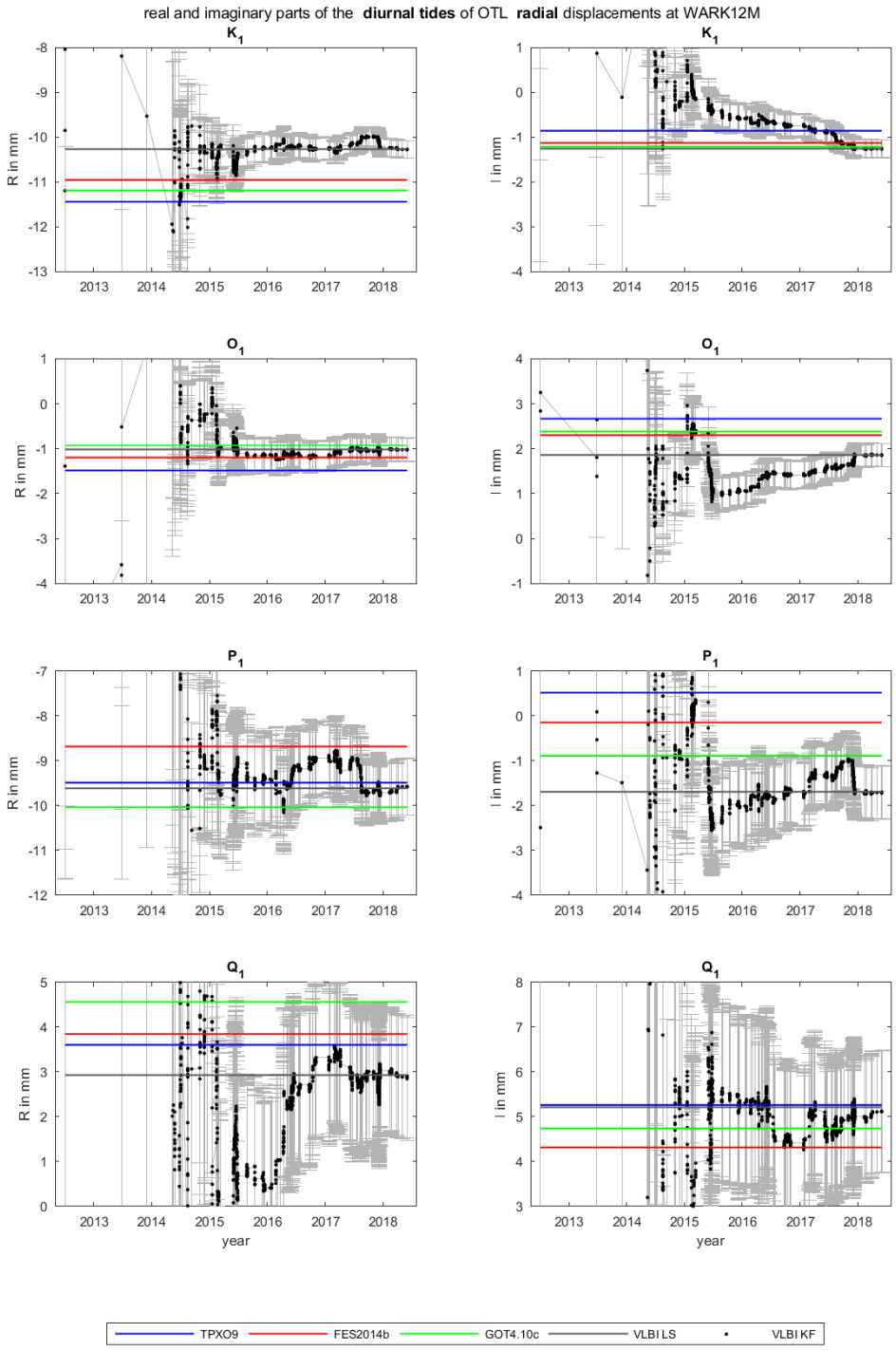

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at YARRA12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

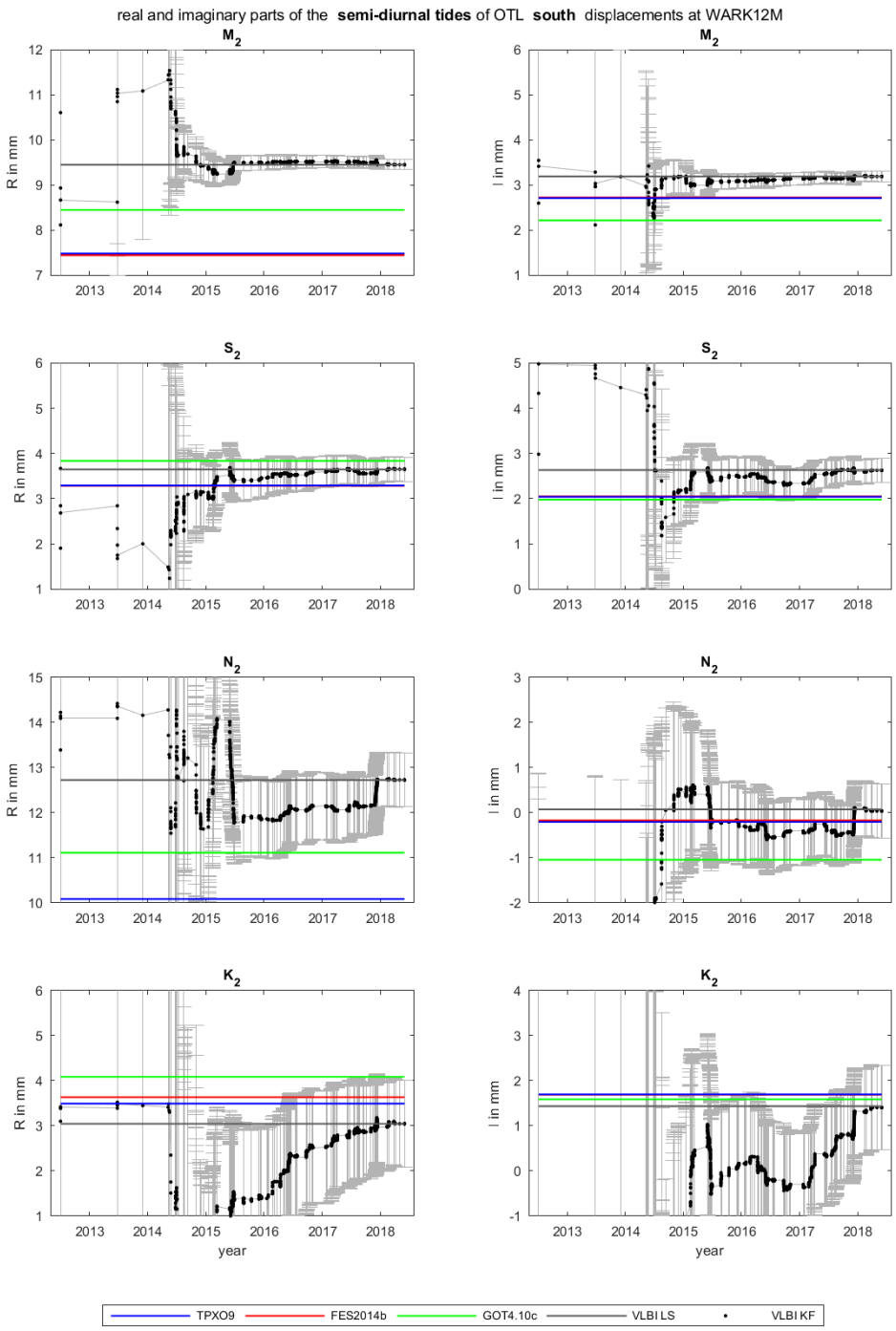

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at YARRA12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

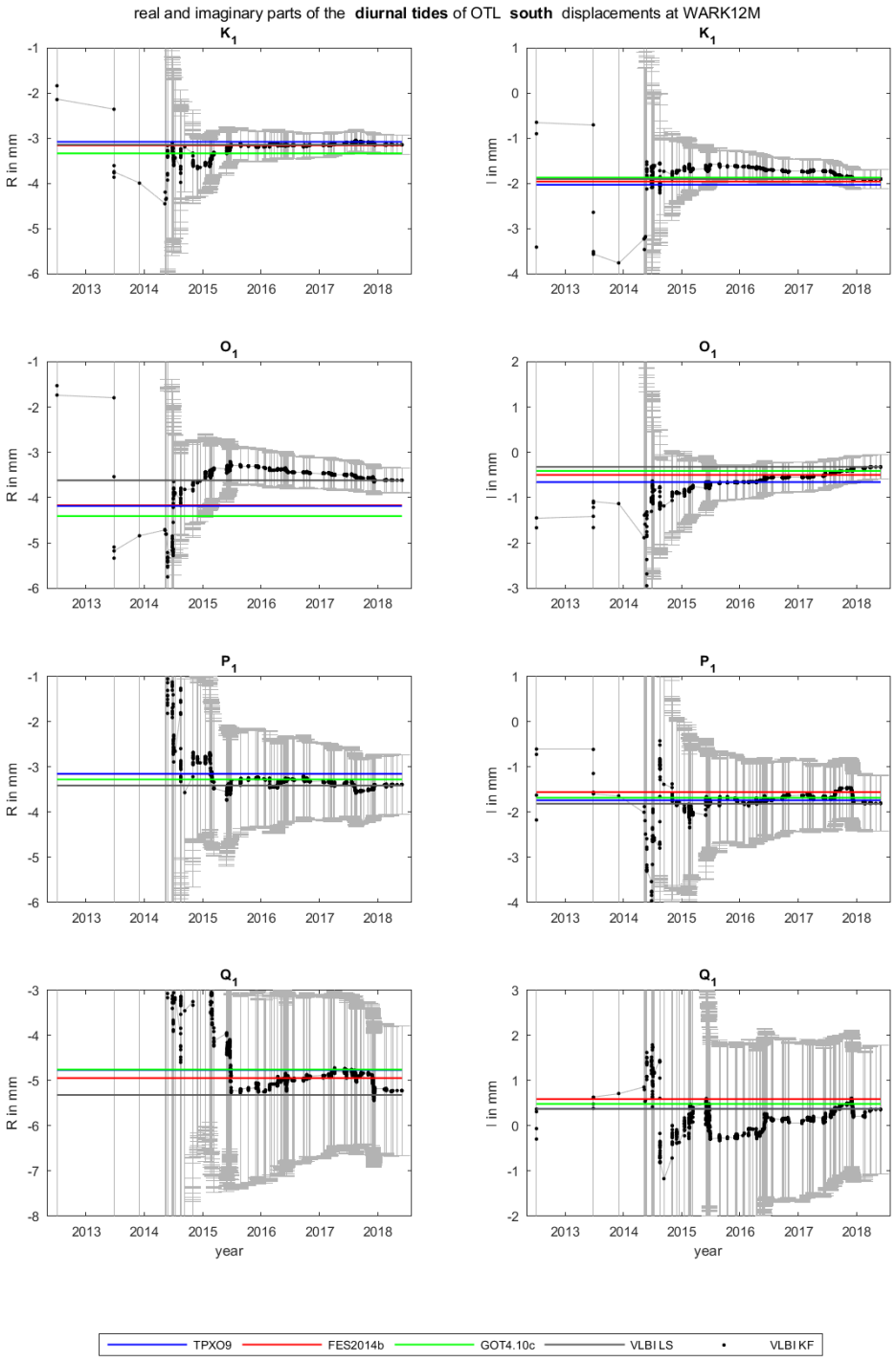

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at YARRA12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

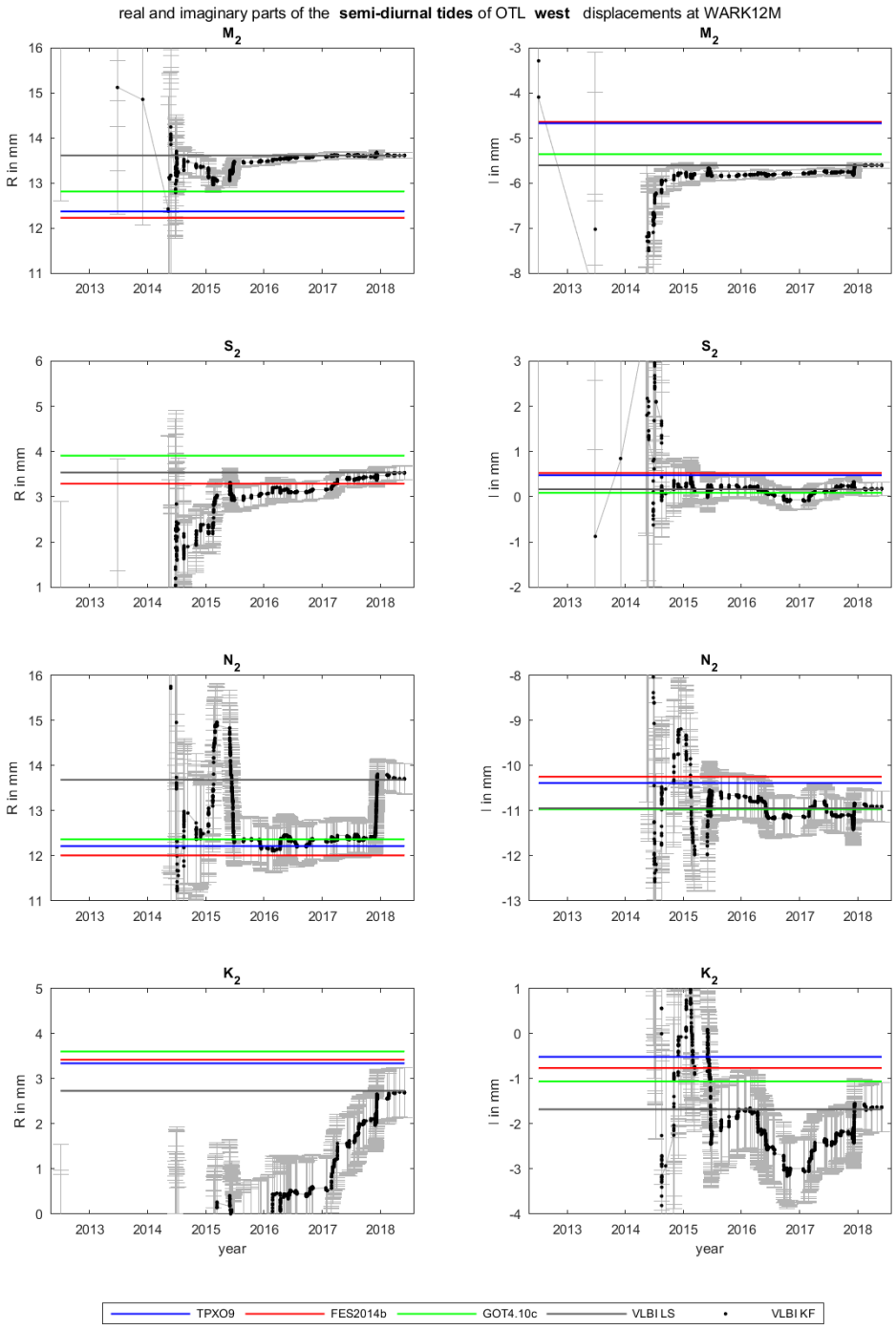

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at YARRA12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

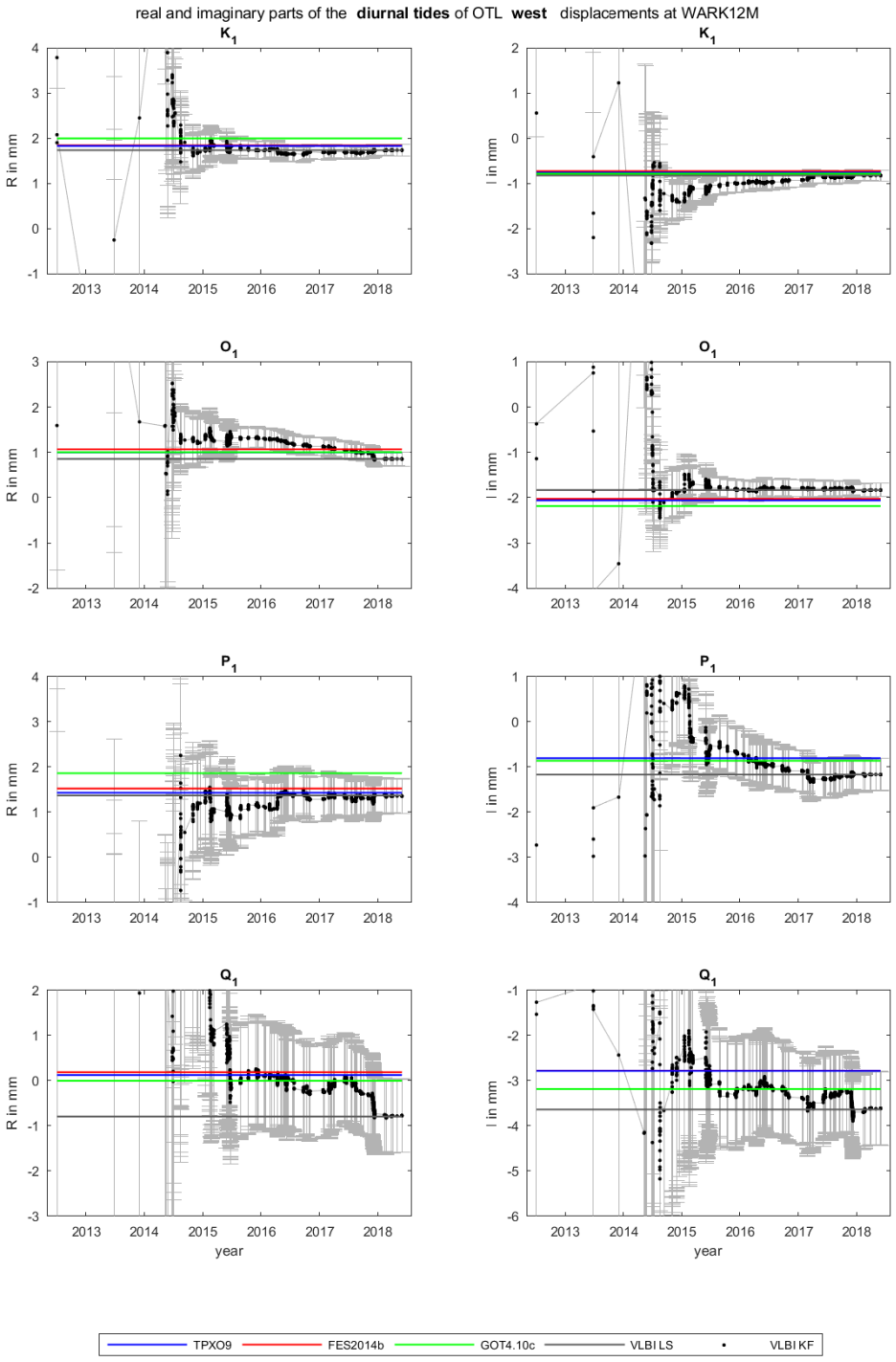

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at WARK12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

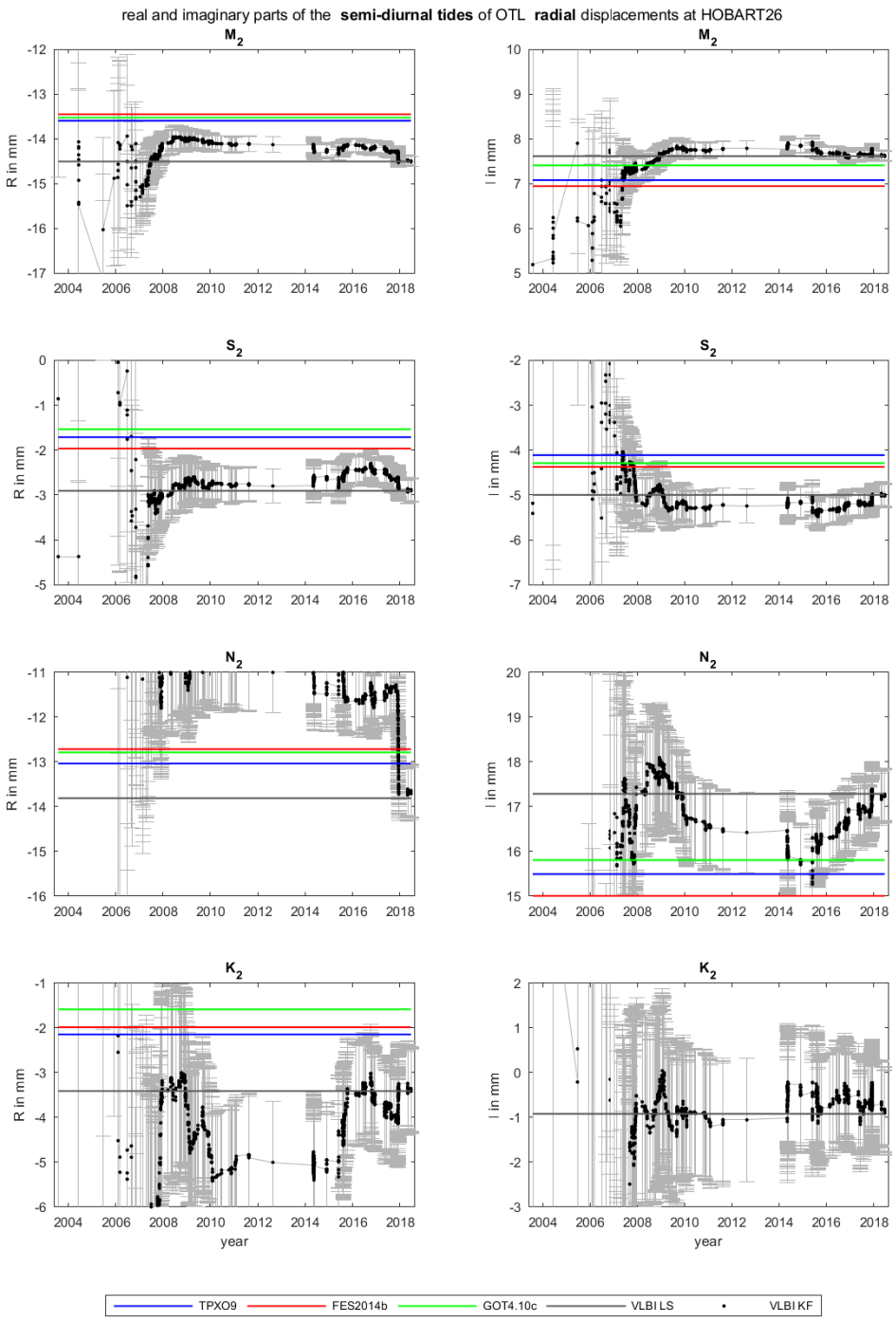

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at WARK12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

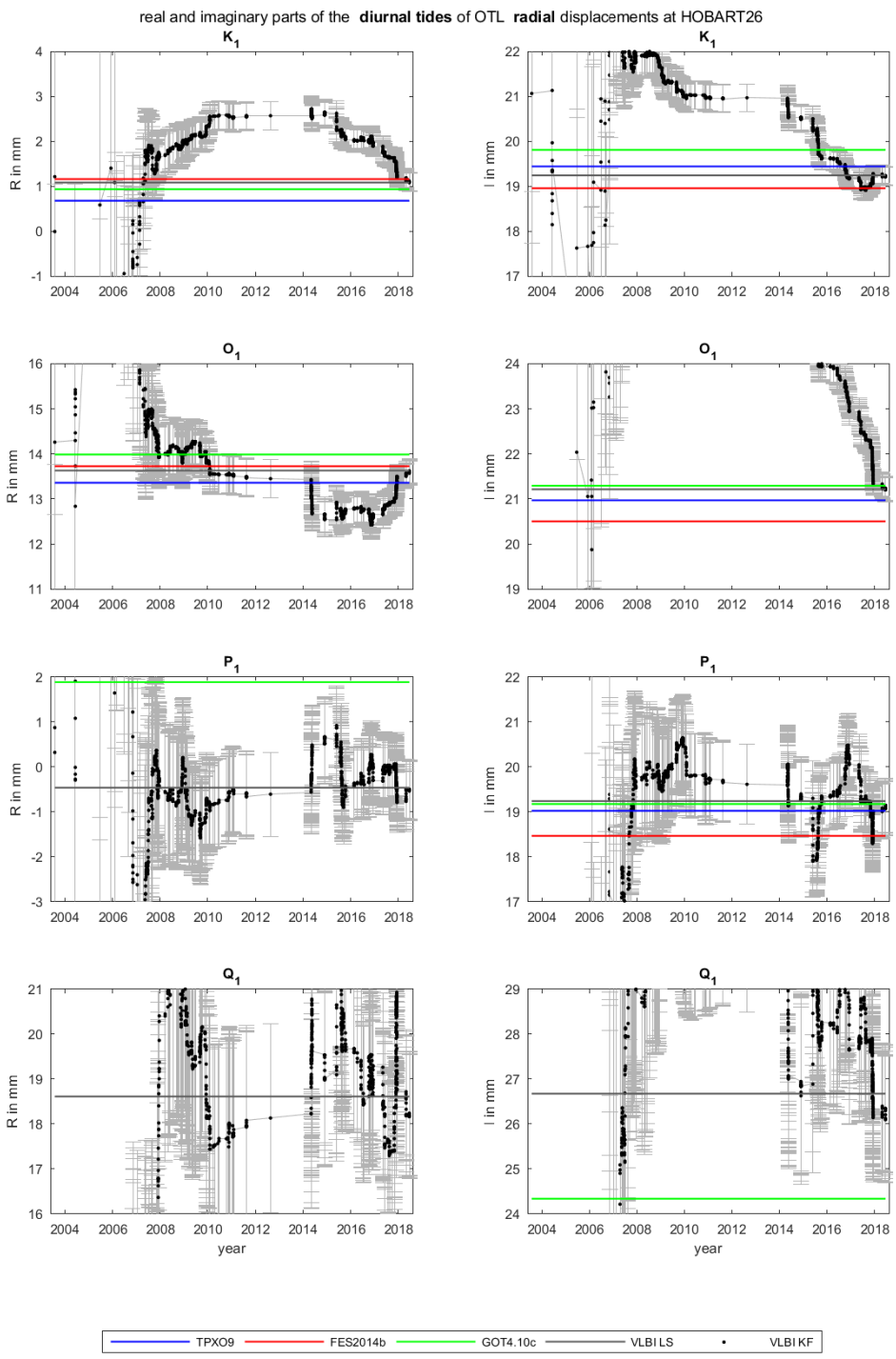

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at WARK12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

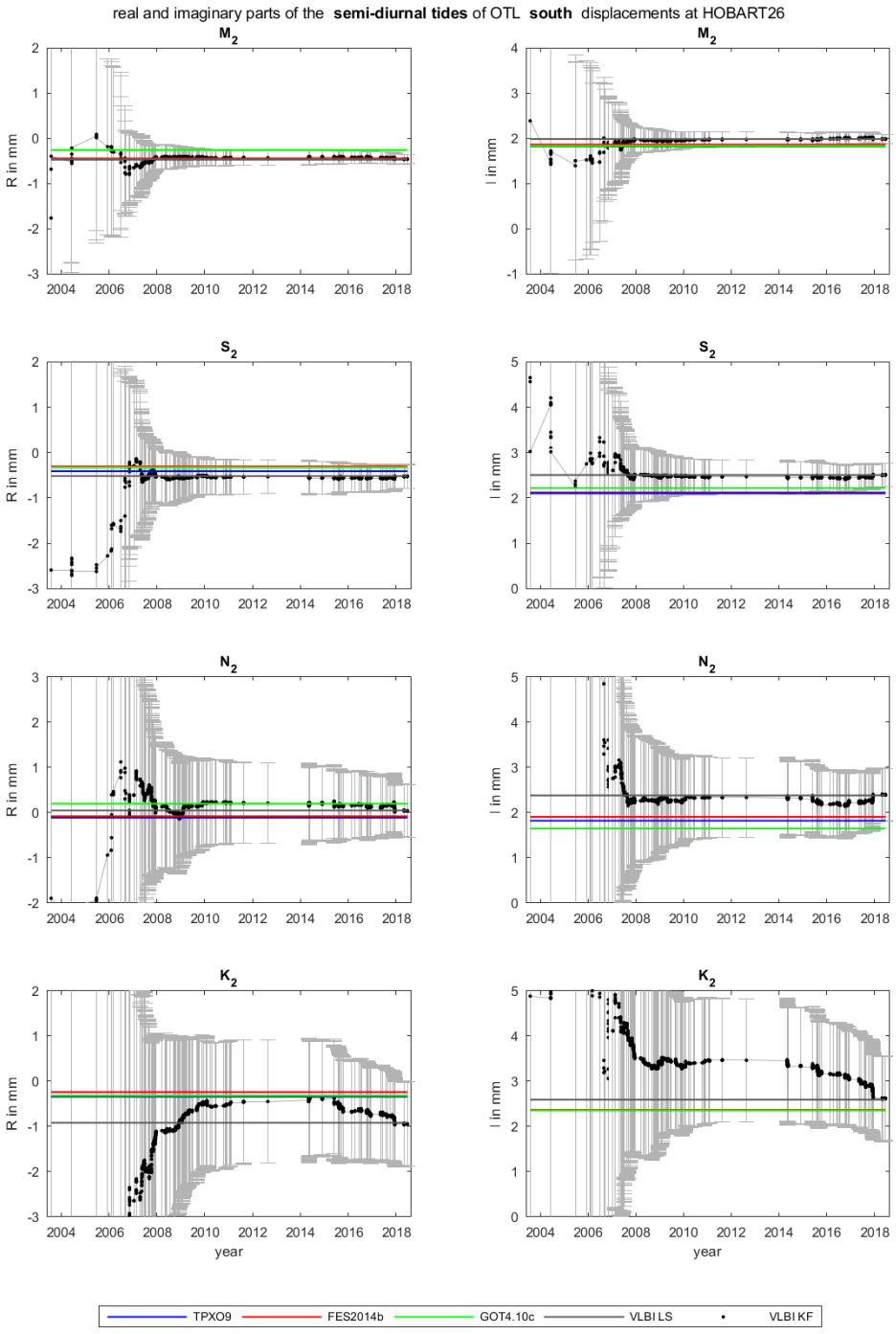

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at WARK12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

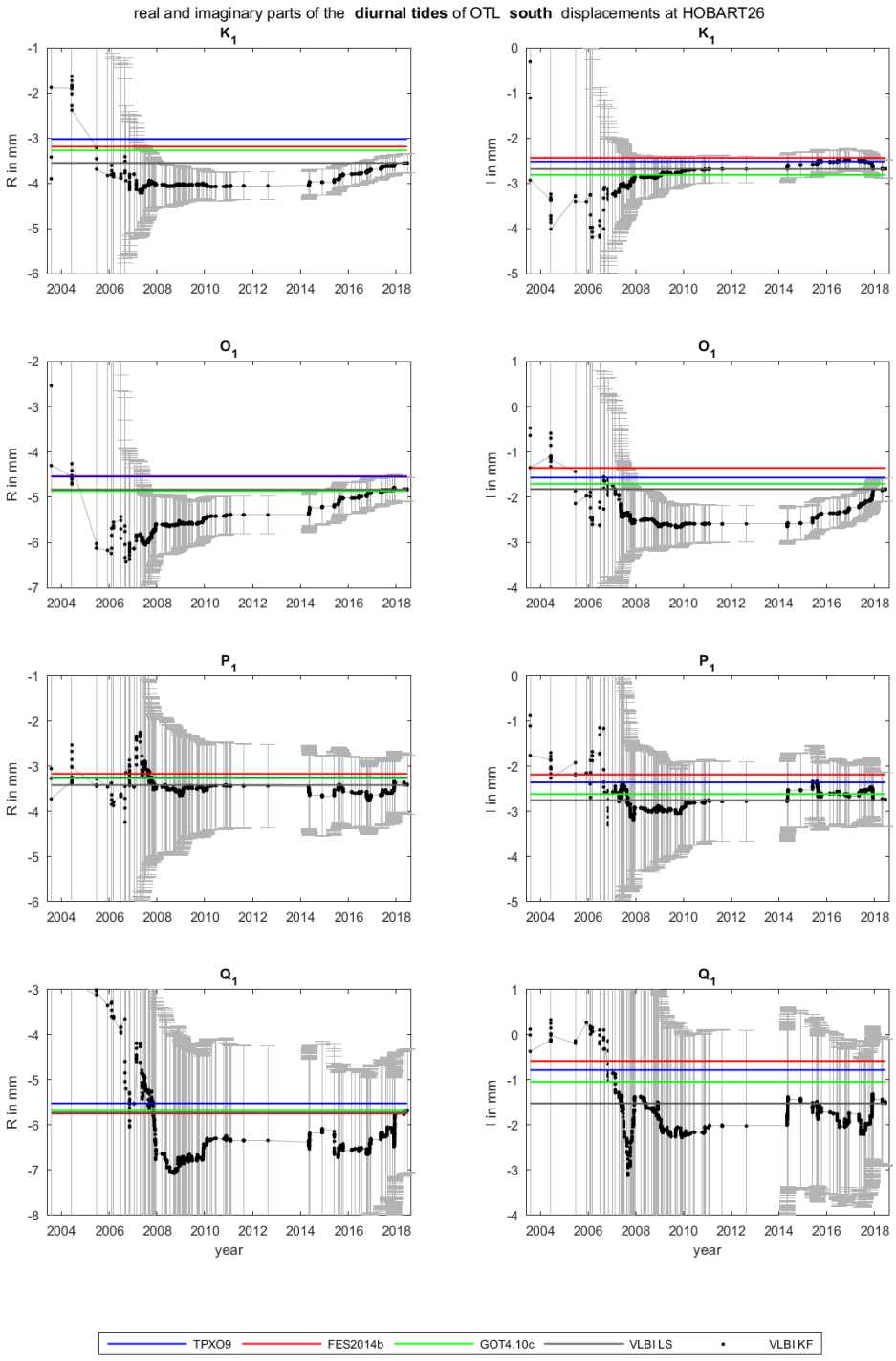

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at WARK12M
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

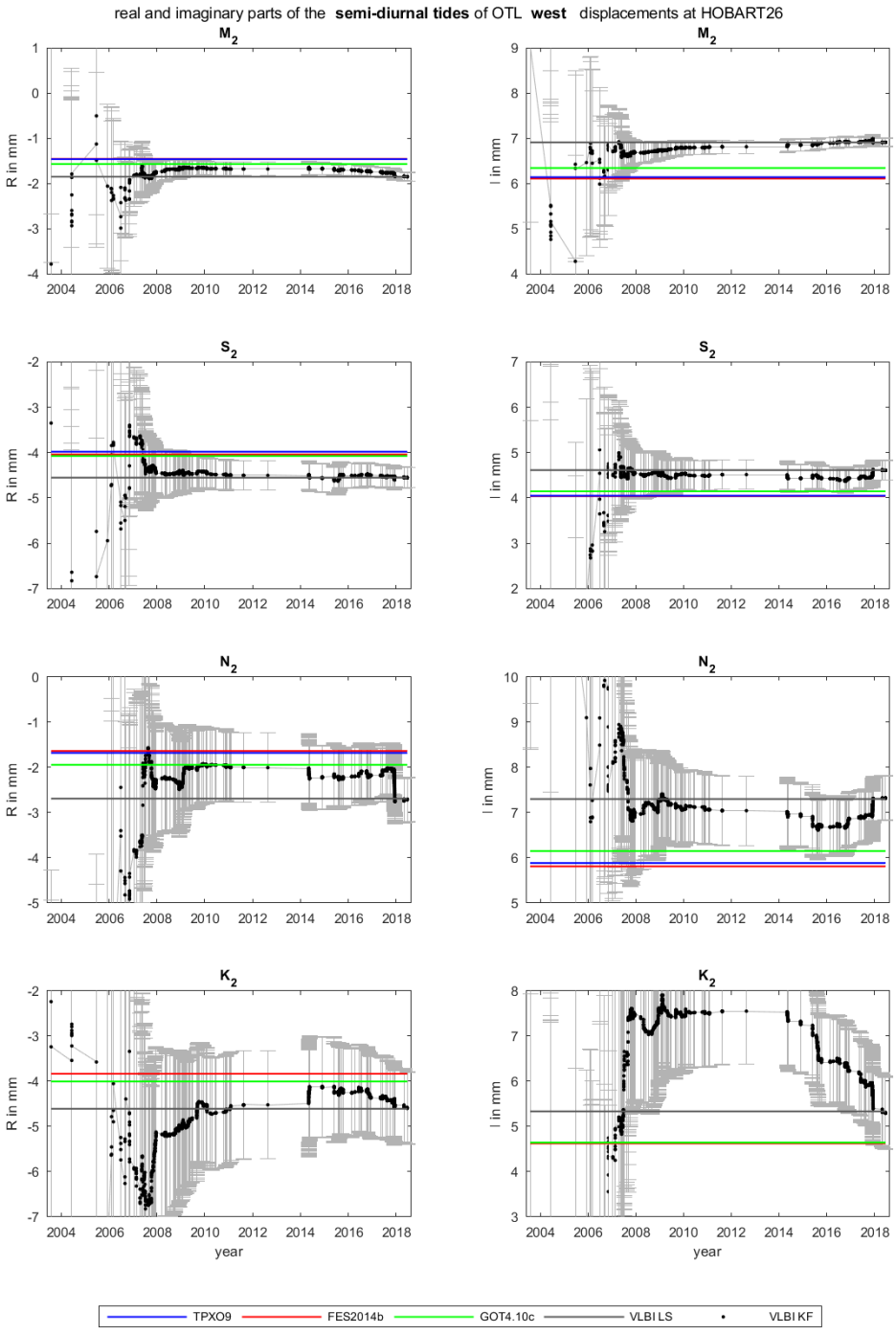

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at WARK12M
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

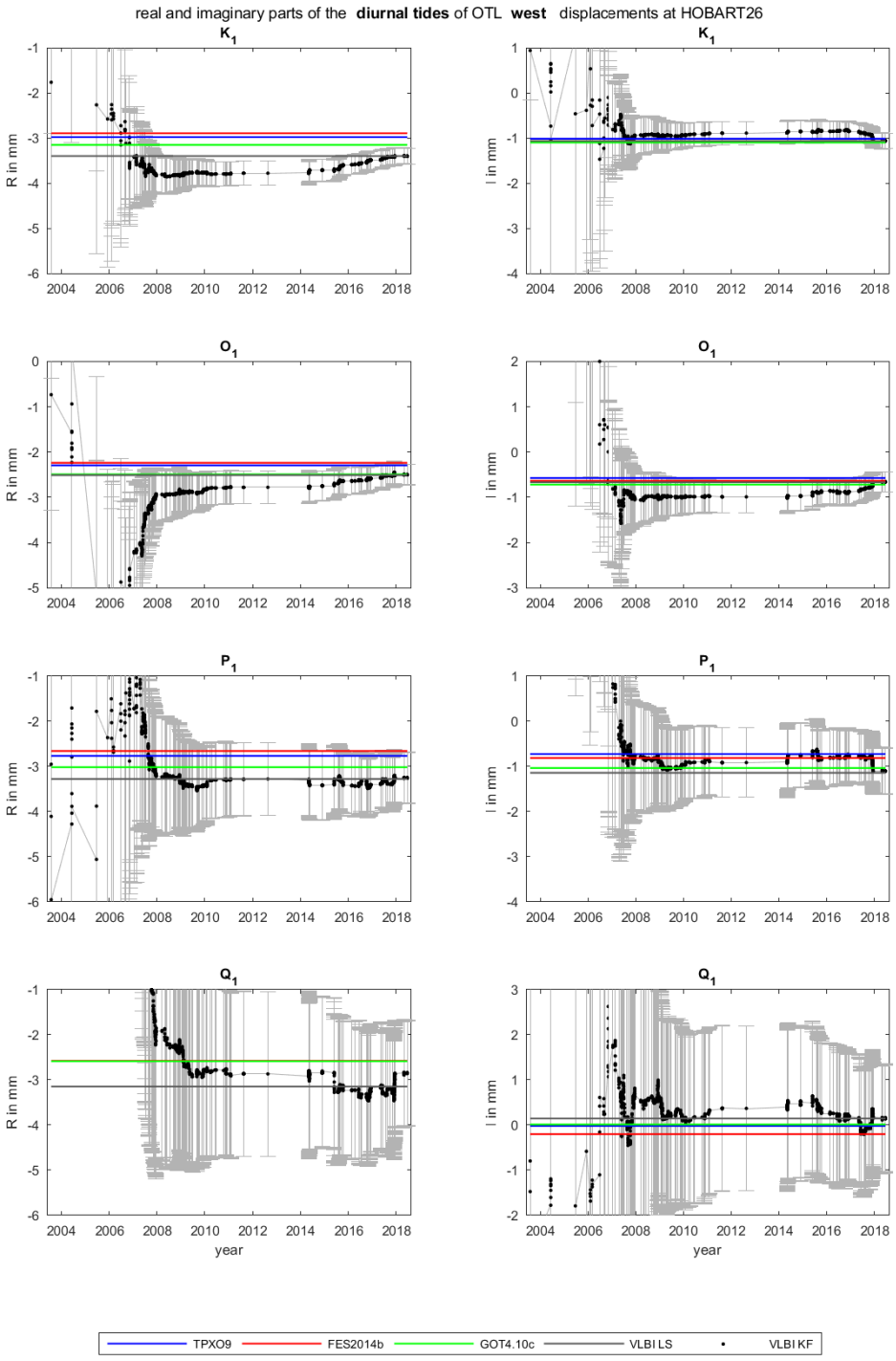

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at HOBART26
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

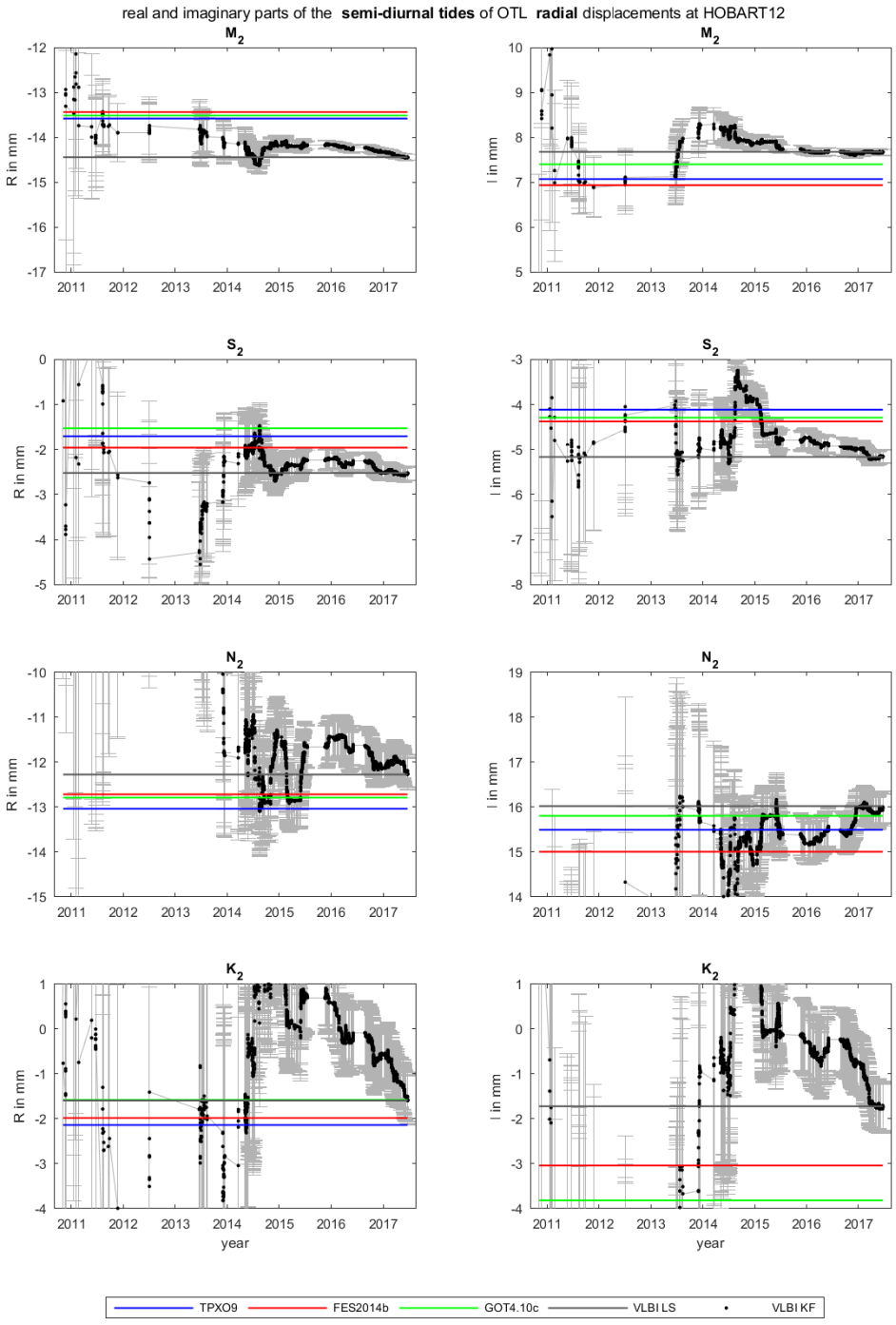

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at HOBART26
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

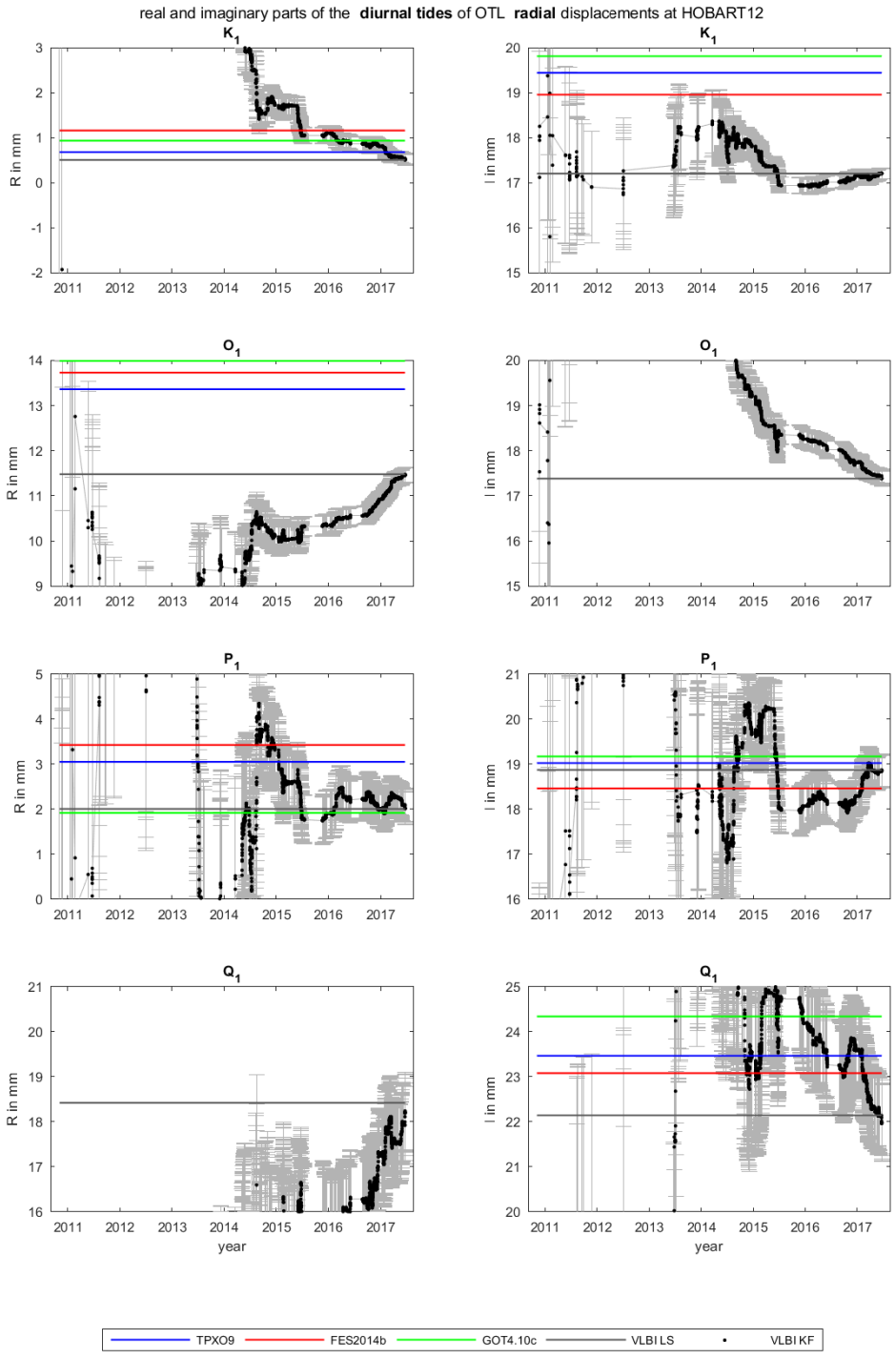

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at HOBART26
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

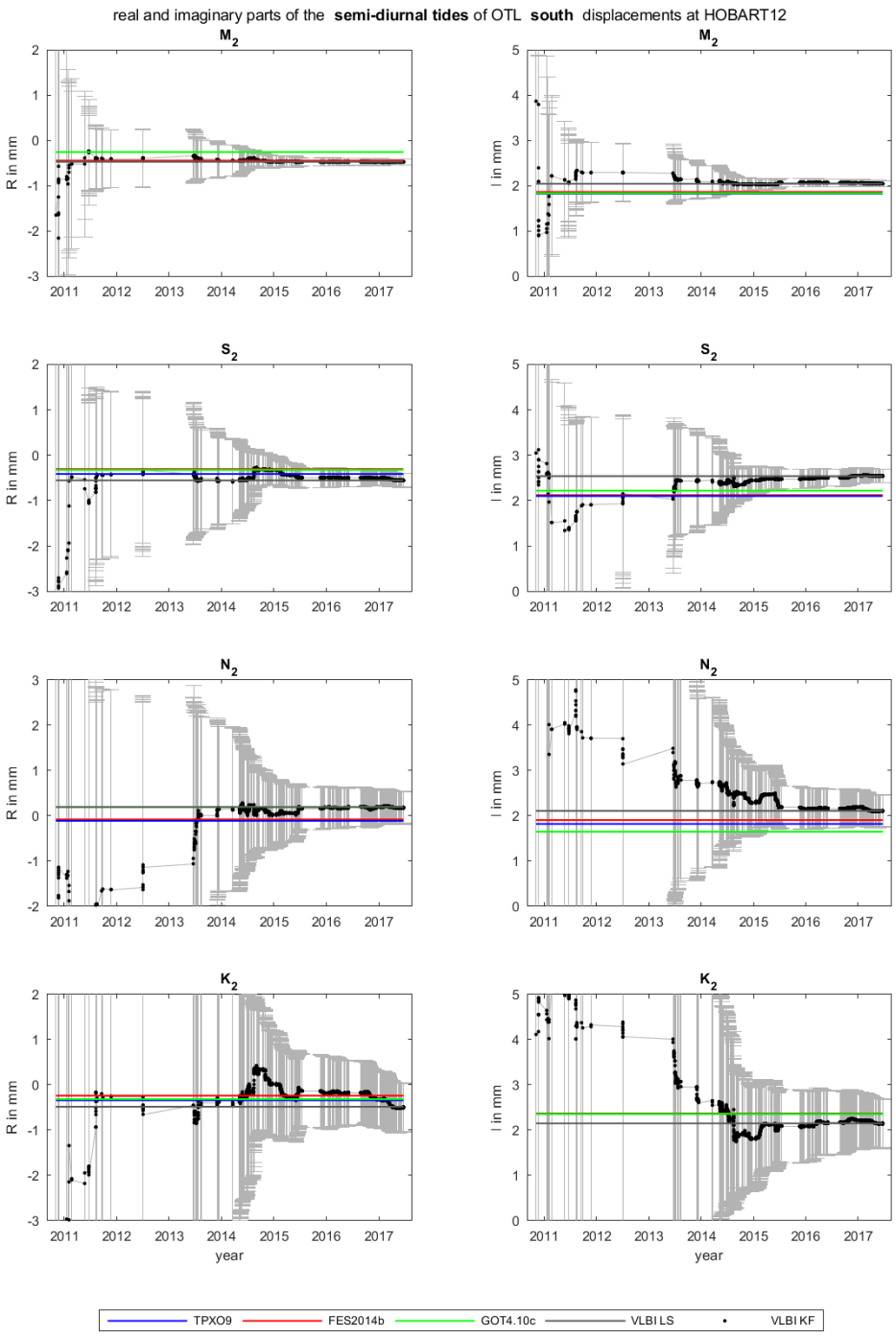

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at HOBART26
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

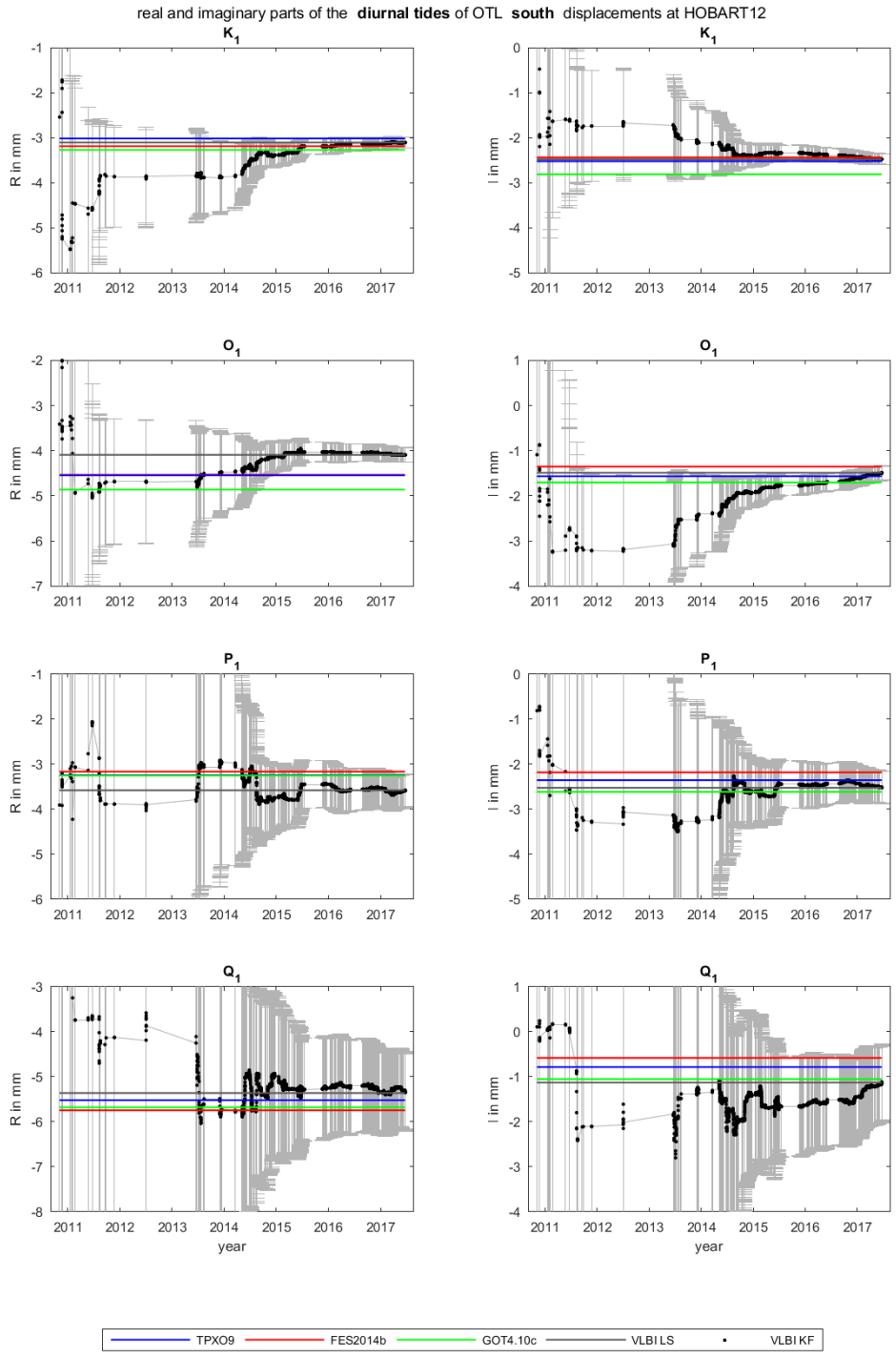

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at HOBART26
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

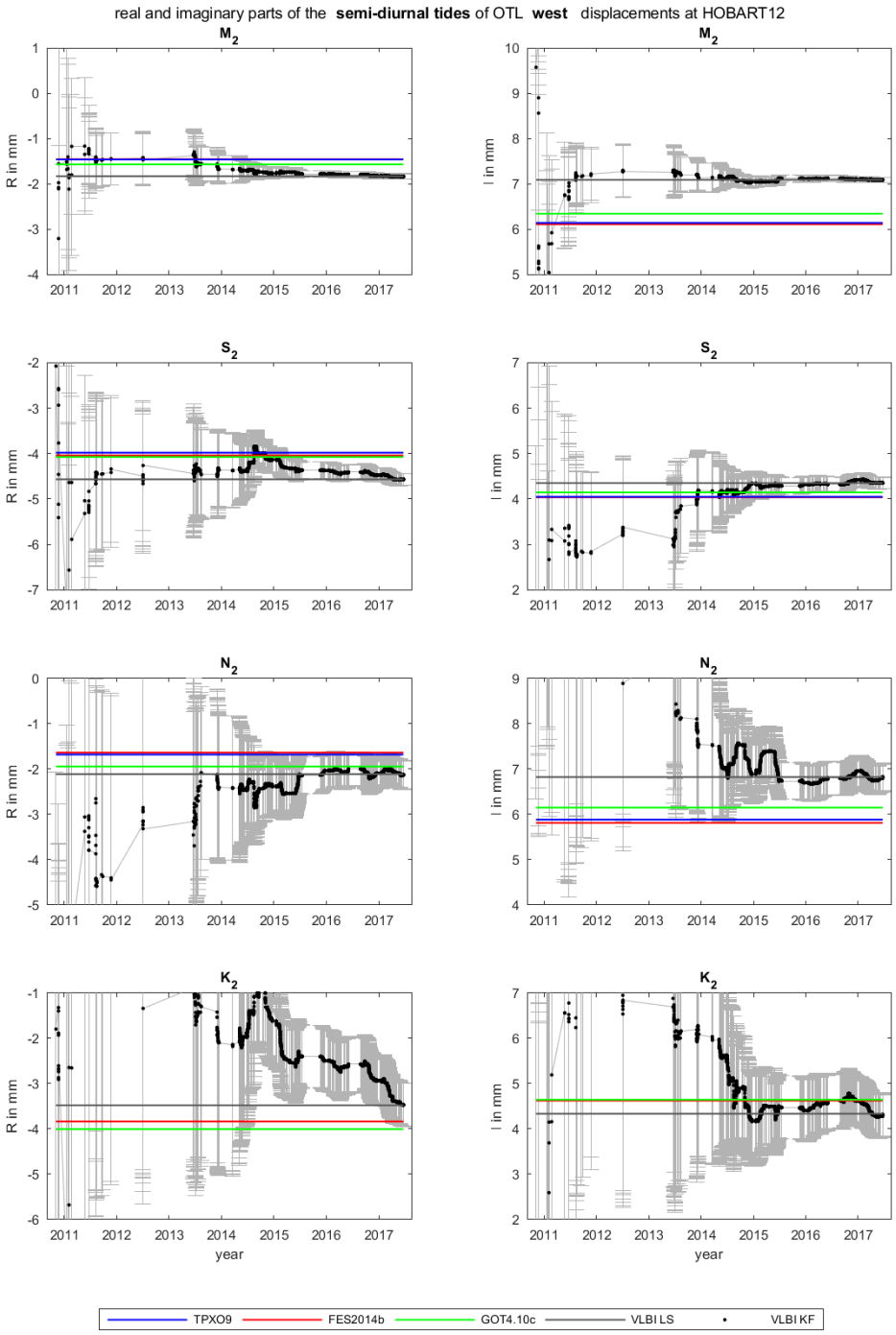

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at HOBART26
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

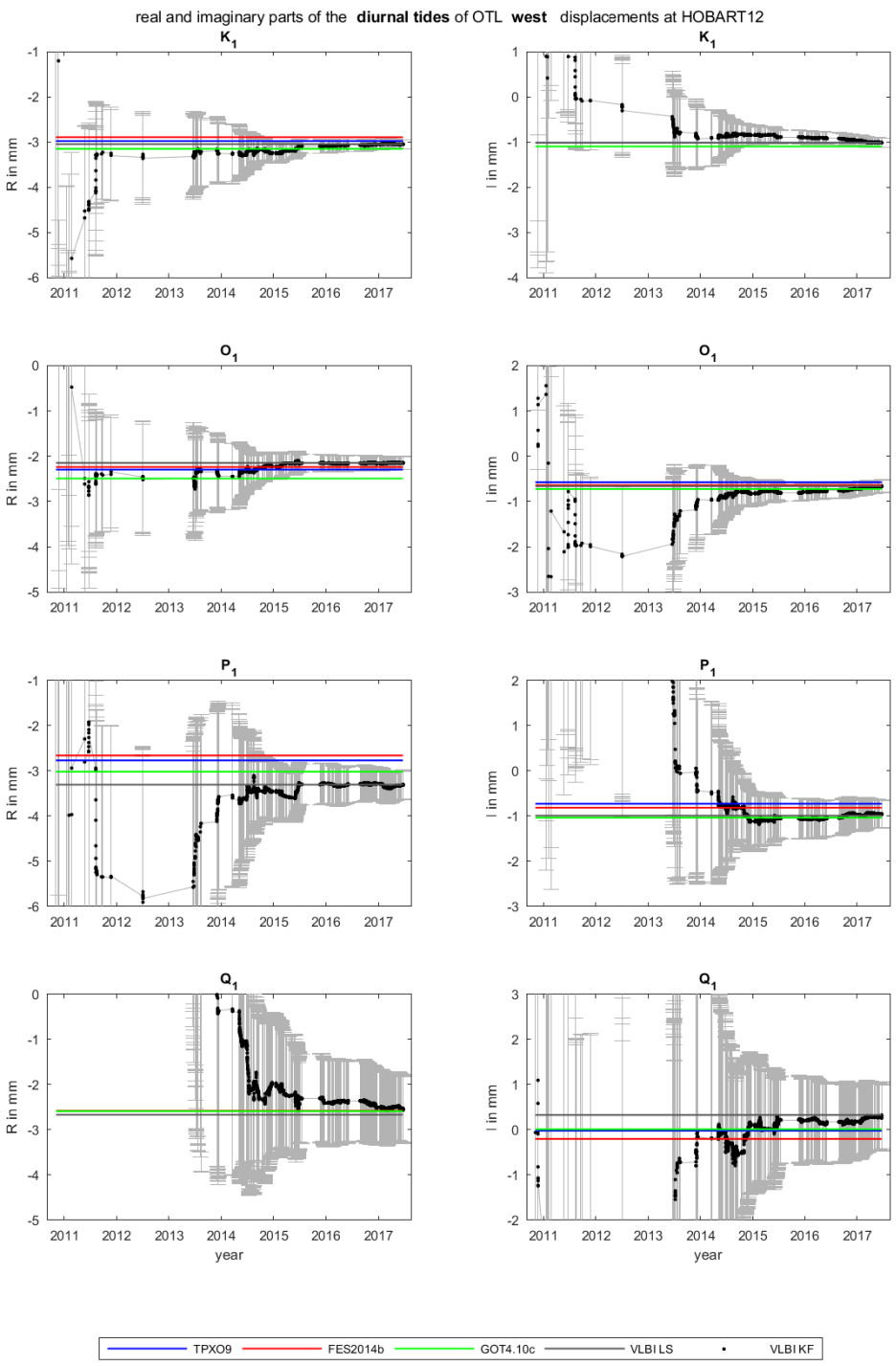

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL radial displacements at HOBART12
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF


real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL radial displacements at HOBART12
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

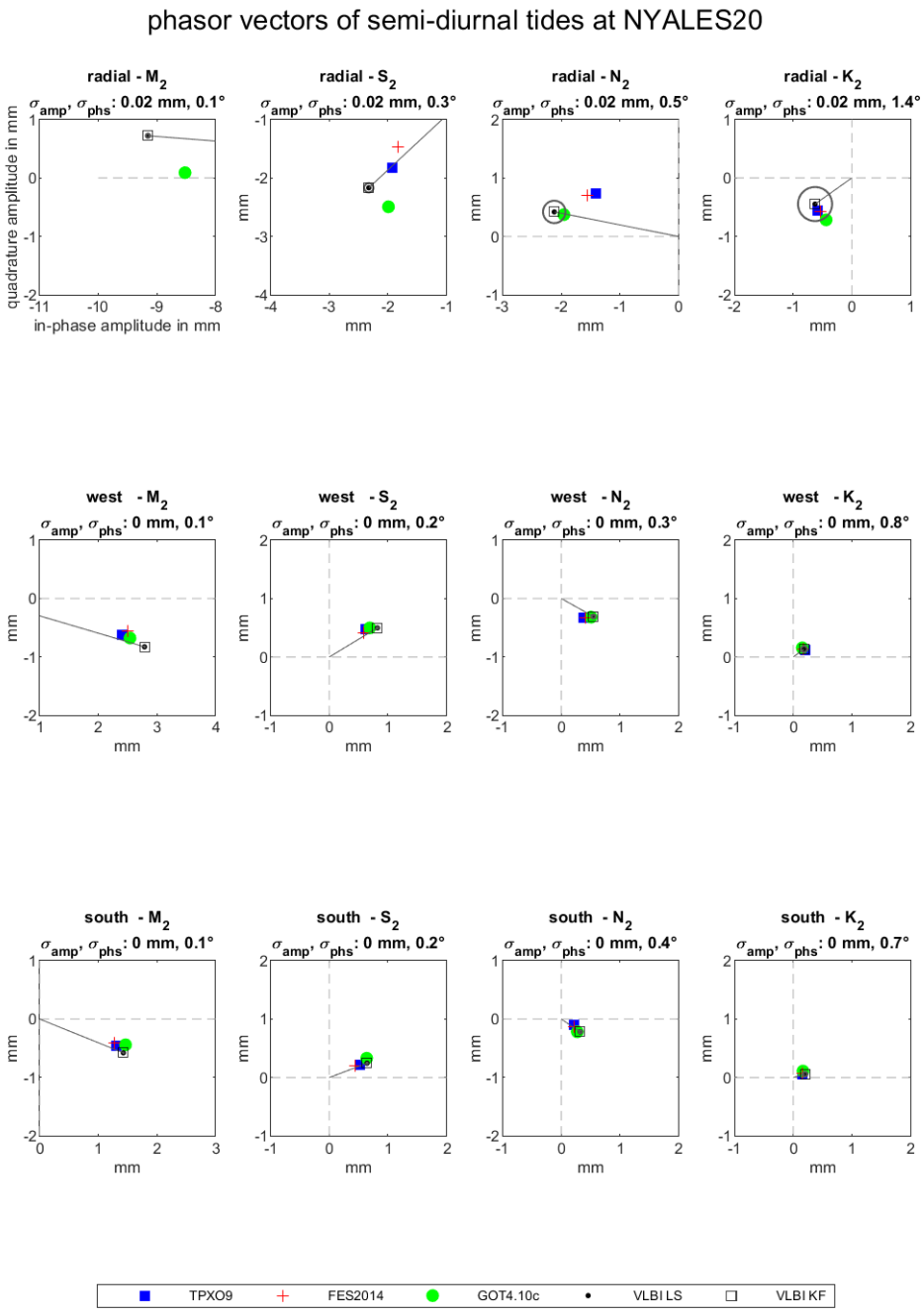

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL south displacements at HOBART12
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

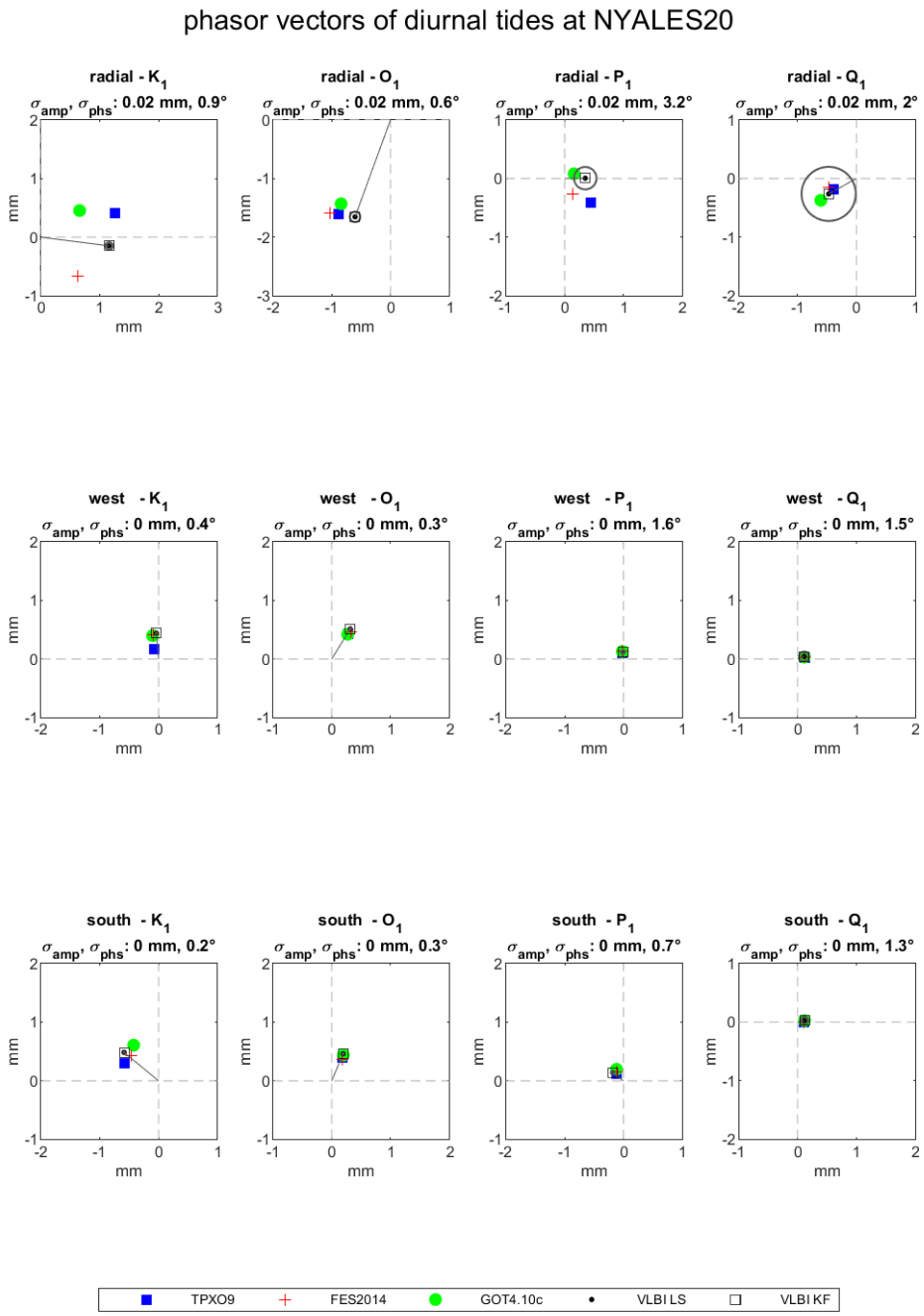

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL south displacements at HOBART12
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

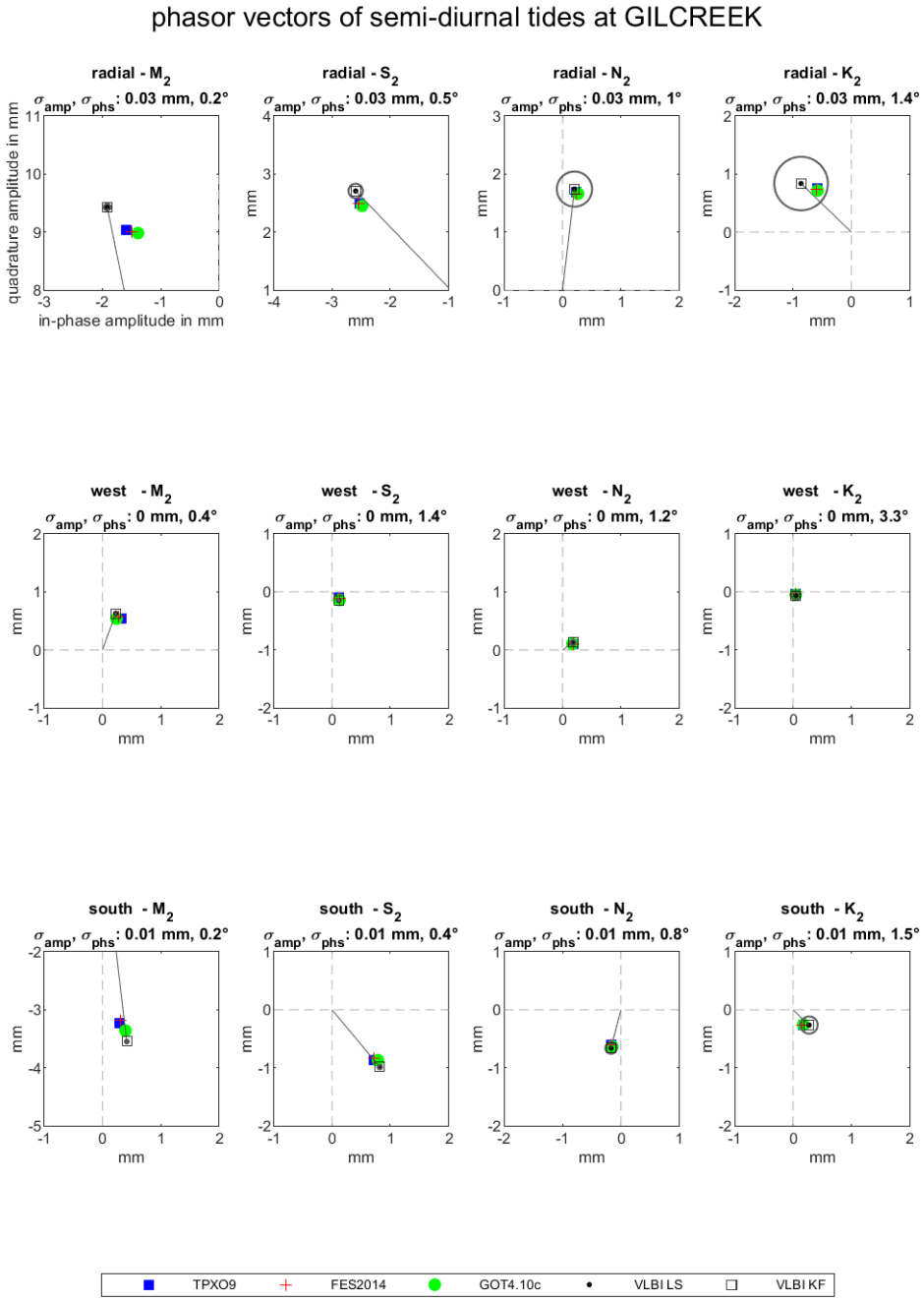

real and imaginary parts of the semi-diurnal tides of OTL west displacements at HOBART12
M2
S2
N2
K2
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

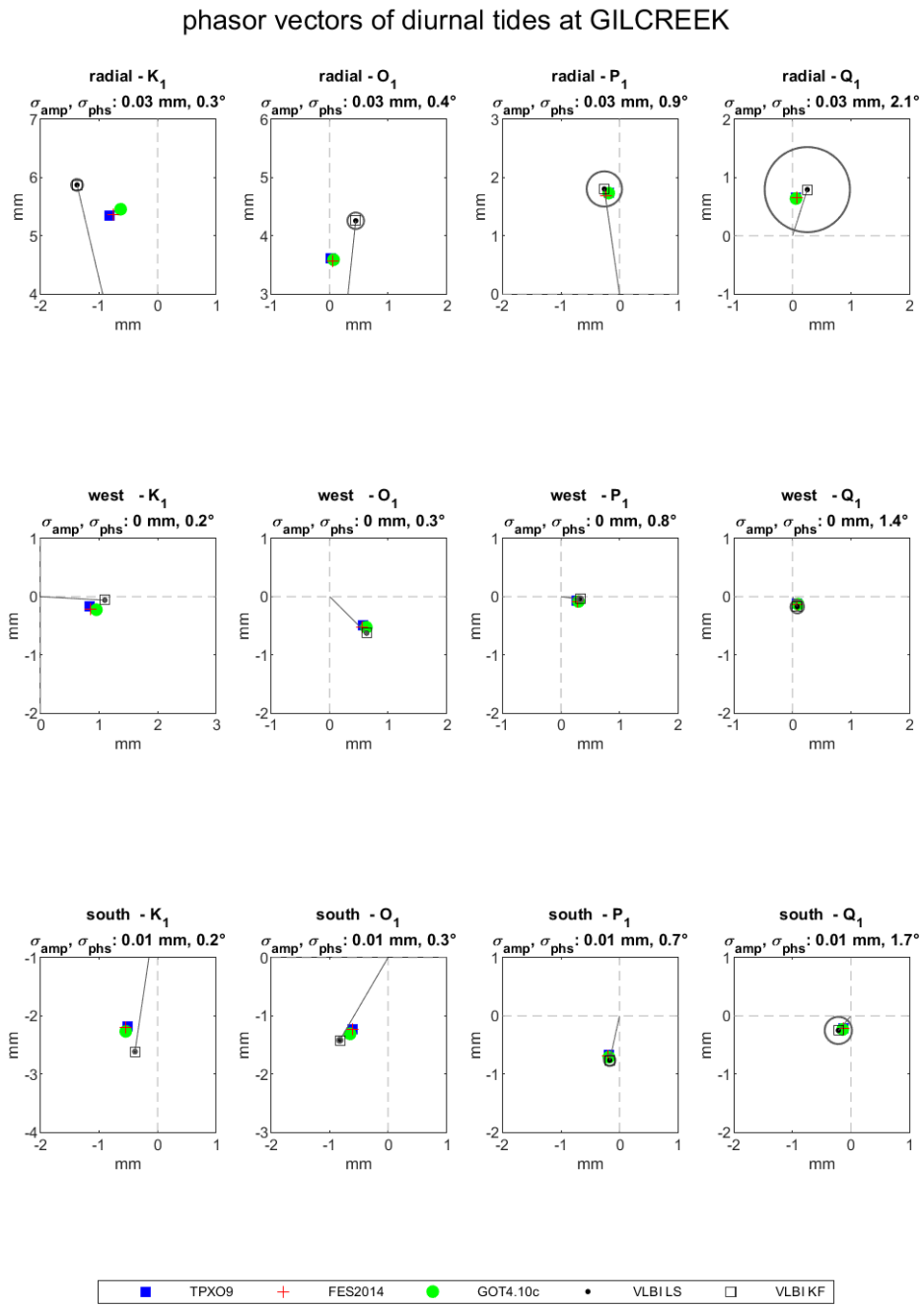

real and imaginary parts of the diurnal tides of OTL west displacements at HOBART12
K1
O1
P1
Q1
R in mm
I in mm
year
TPXO9
FES2014b
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

EK 3 –İstasyonlara Ait Okyanus Gelgit Yüklemesi Yarı-günlük ve Günlük Periyotlardaki Yer Değiştirmelerin Fazör Vektörleri

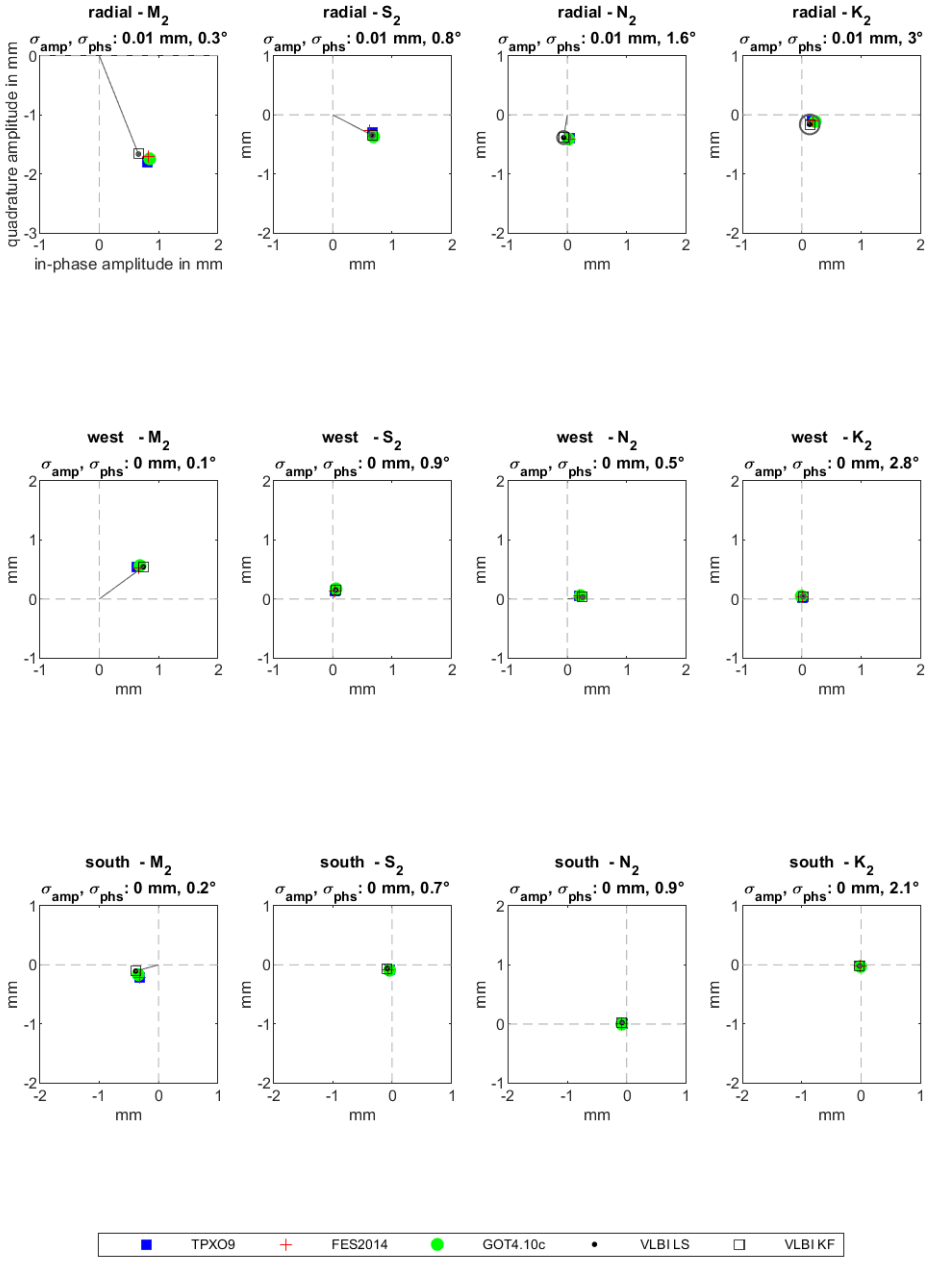



phasor vectors of diurnal tides at NYALES20
radial - K1
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.9°
radial - O1
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.6°
radial - P1
σamp, σphs: 0.02 mm, 3.2°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.02 mm, 2°
west - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
west - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
west - P1
σamp, σphs: 0 mm, 1.6°
west - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 1.5°
south - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.2°
south - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
south - P1
σamp, σphs: 0 mm, 0.7°
south - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 1.3°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

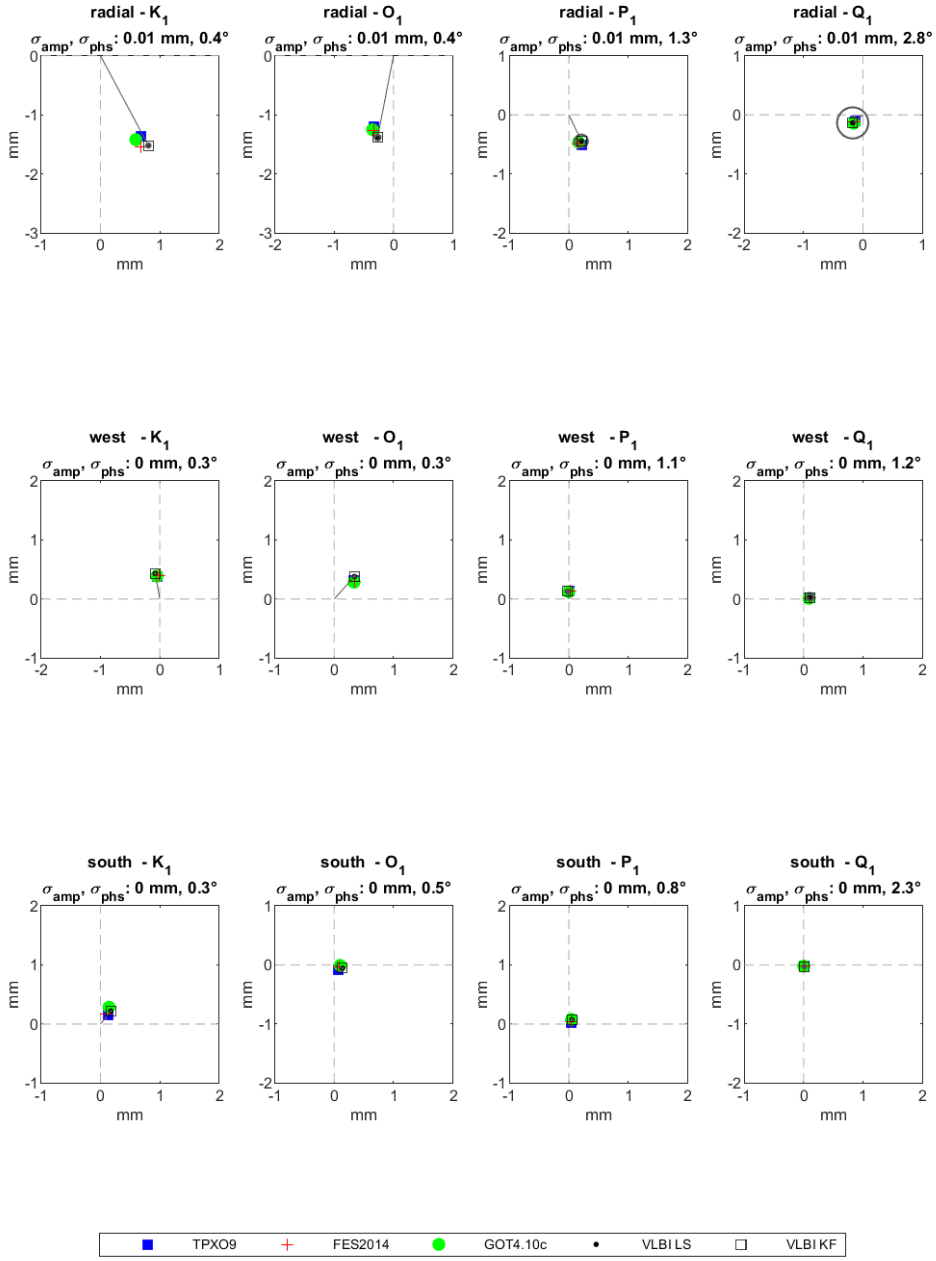

phasor vectors of semi-diurnal tides at GILCREEK
radial - M2
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.2°
radial - S2
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.5°
radial - N2
σamp, σphs: 0.03 mm, 1°
radial - K2
σamp, σphs: 0.03 mm, 1.4°
quadrature amplitude in mm
in-phase amplitude in mm
mm
west - M2
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
west - S2
σamp, σphs: 0 mm, 1.4°
west - N2
σamp, σphs: 0 mm, 1.2°
west - K2
σamp, σphs: 0 mm, 3.3°
south - M2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
south - S2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.4°
south - N2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.8°
south - K2
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.5°
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF


phasor vectors of diurnal tides at GILCREEK
radial - K1
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.3°
radial - O1
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.4°
radial - P1
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.9°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.03 mm, 2.1°
west - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.2°
west - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
west - P1
σamp, σphs: 0 mm, 0.8°
west - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 1.4°
south - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
south - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.3°
south - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.7°
south - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.7°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

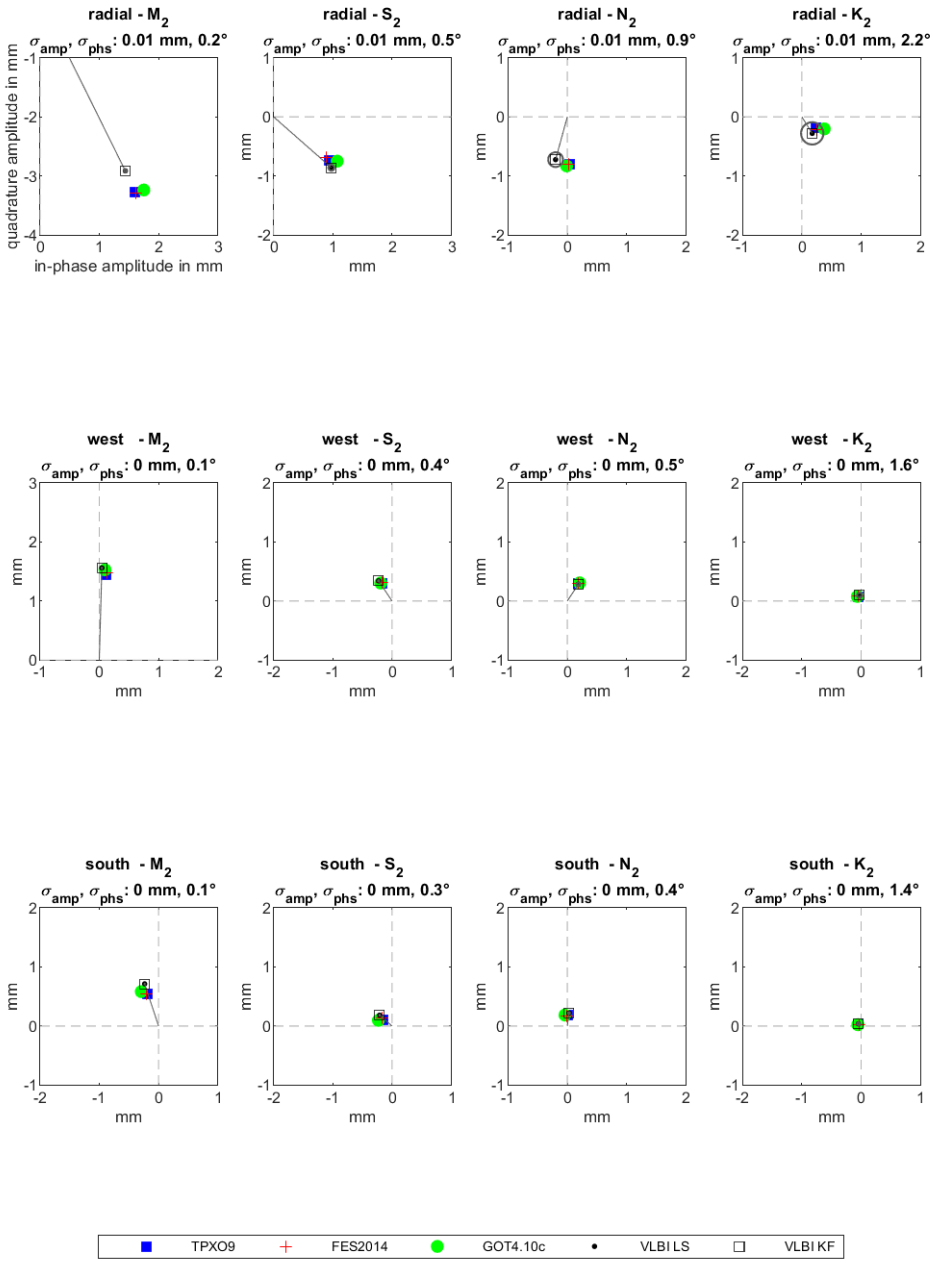
phasor vectors of semi-diurnal tides at SVETLOE



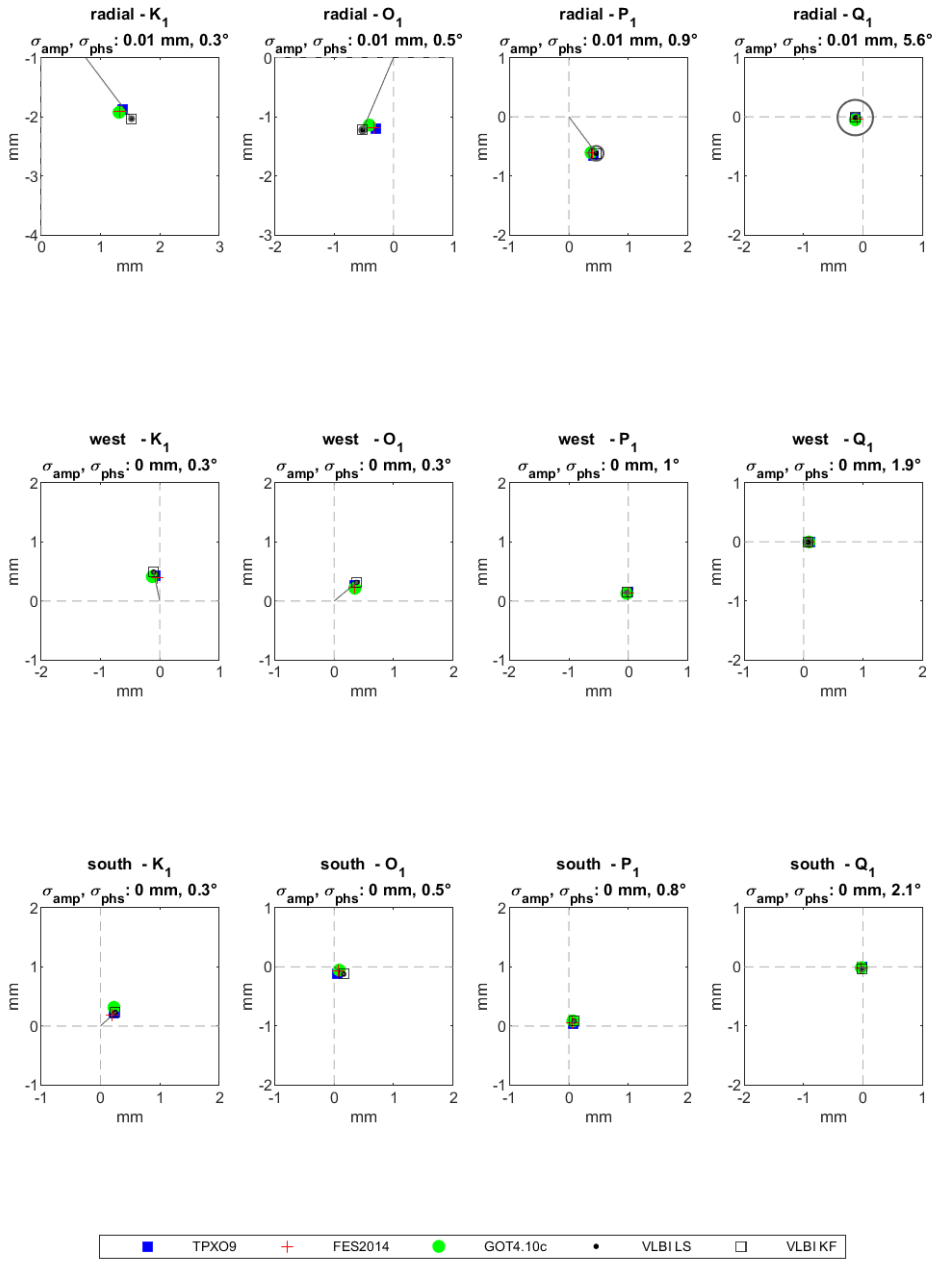
phasor vectors of diurnal tides at SVETLOE

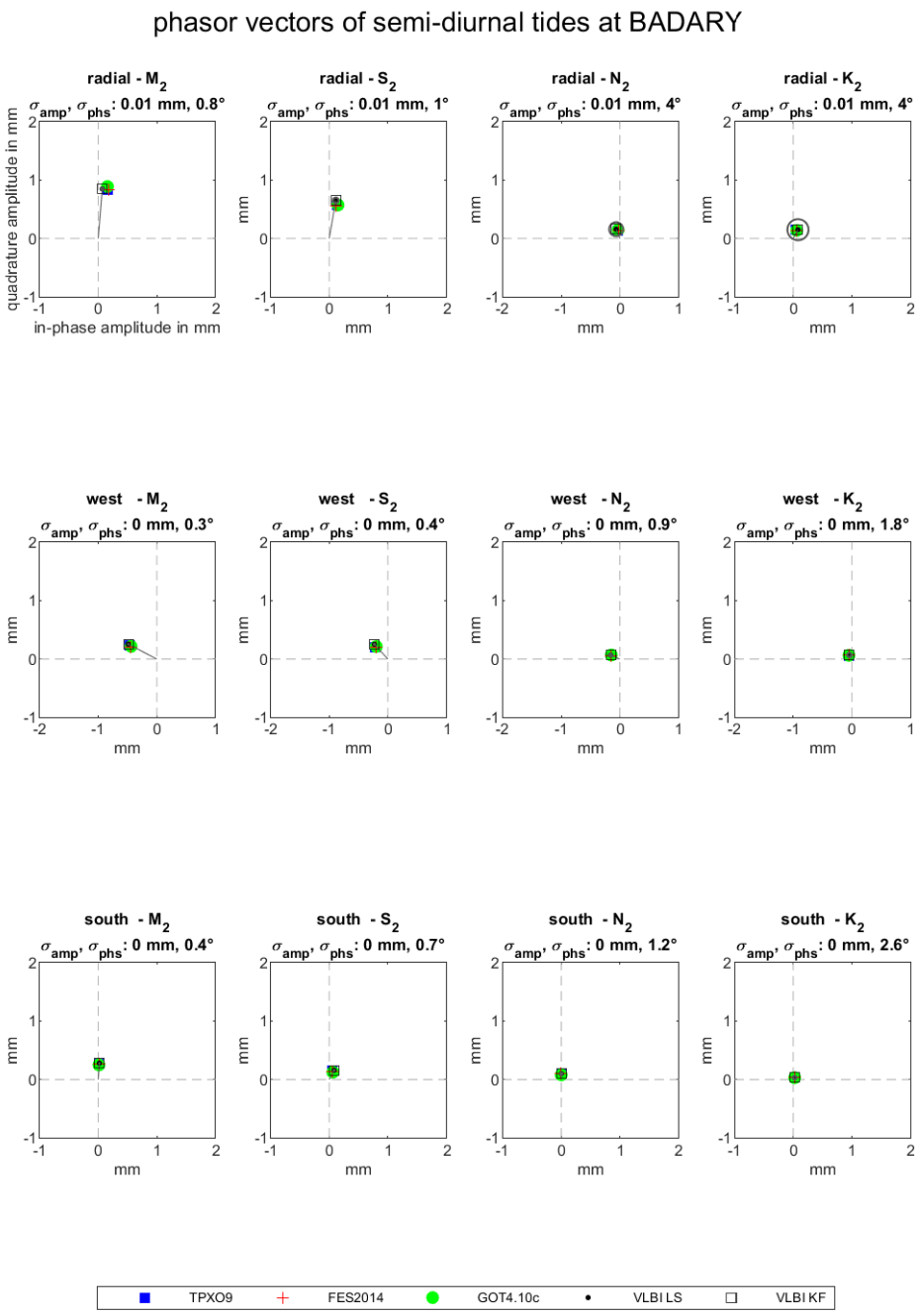


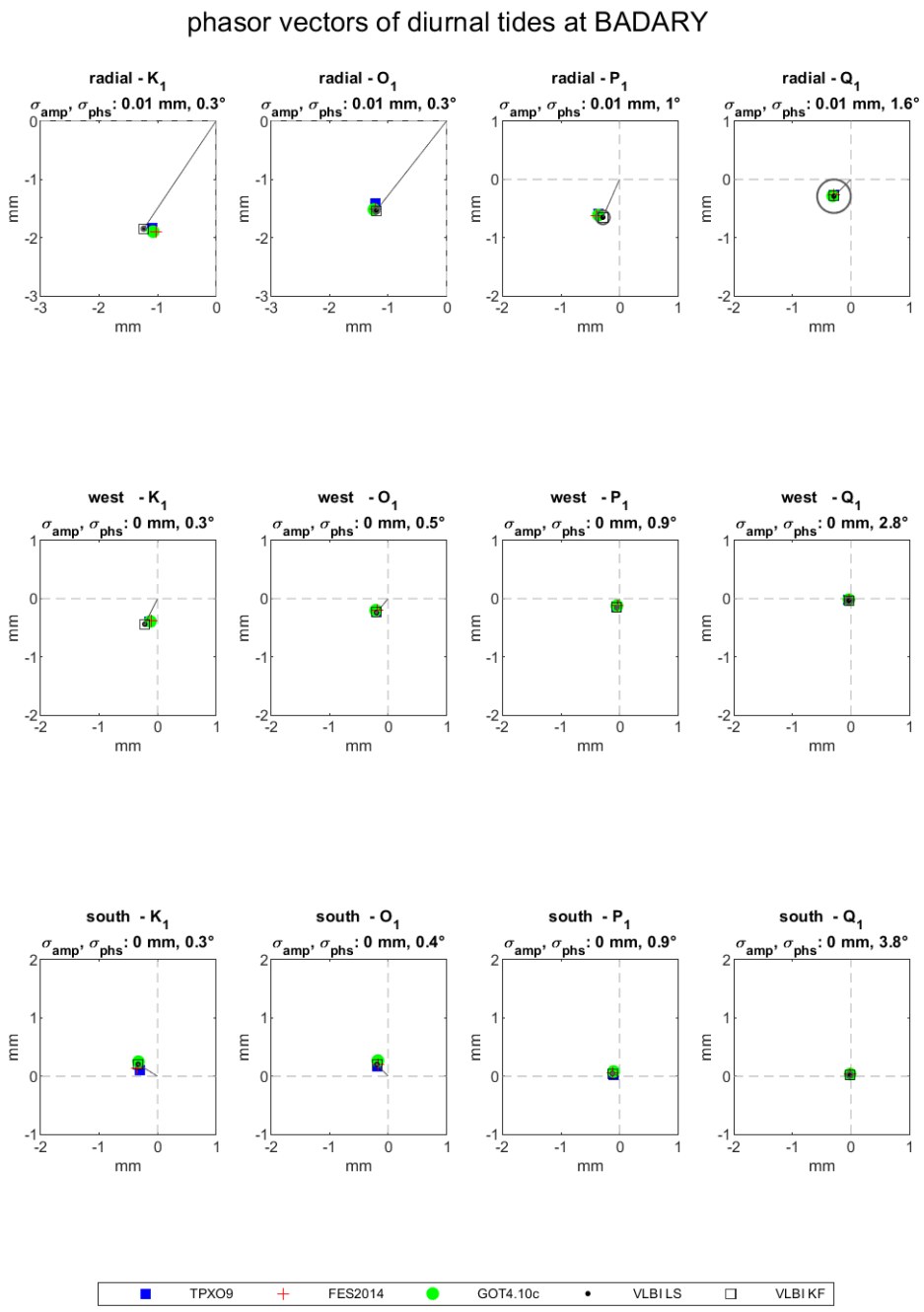
phasor vectors of semi-diurnal tides at ONSALA60



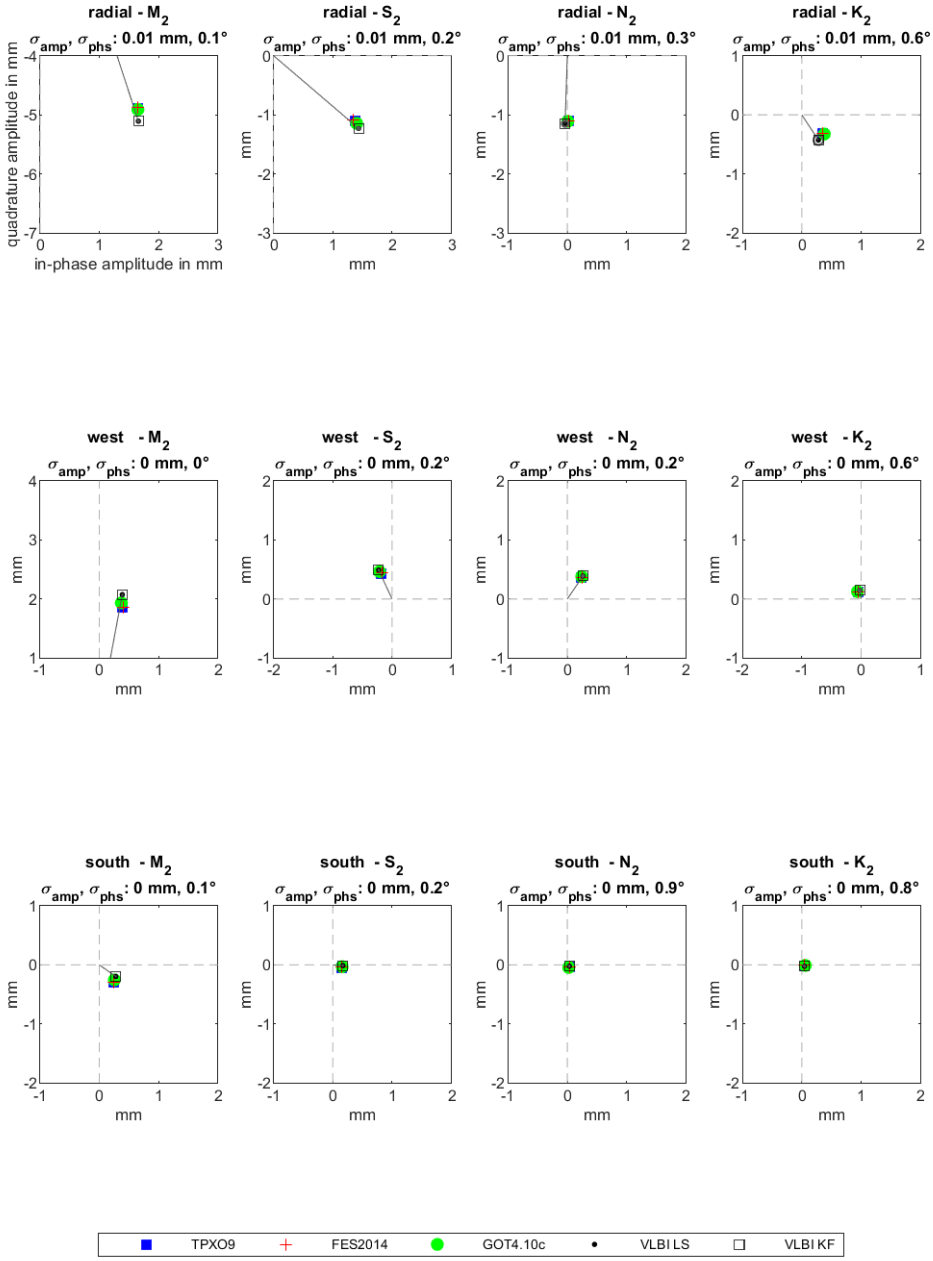
phasor vectors of diurnal tides at ONSALA60



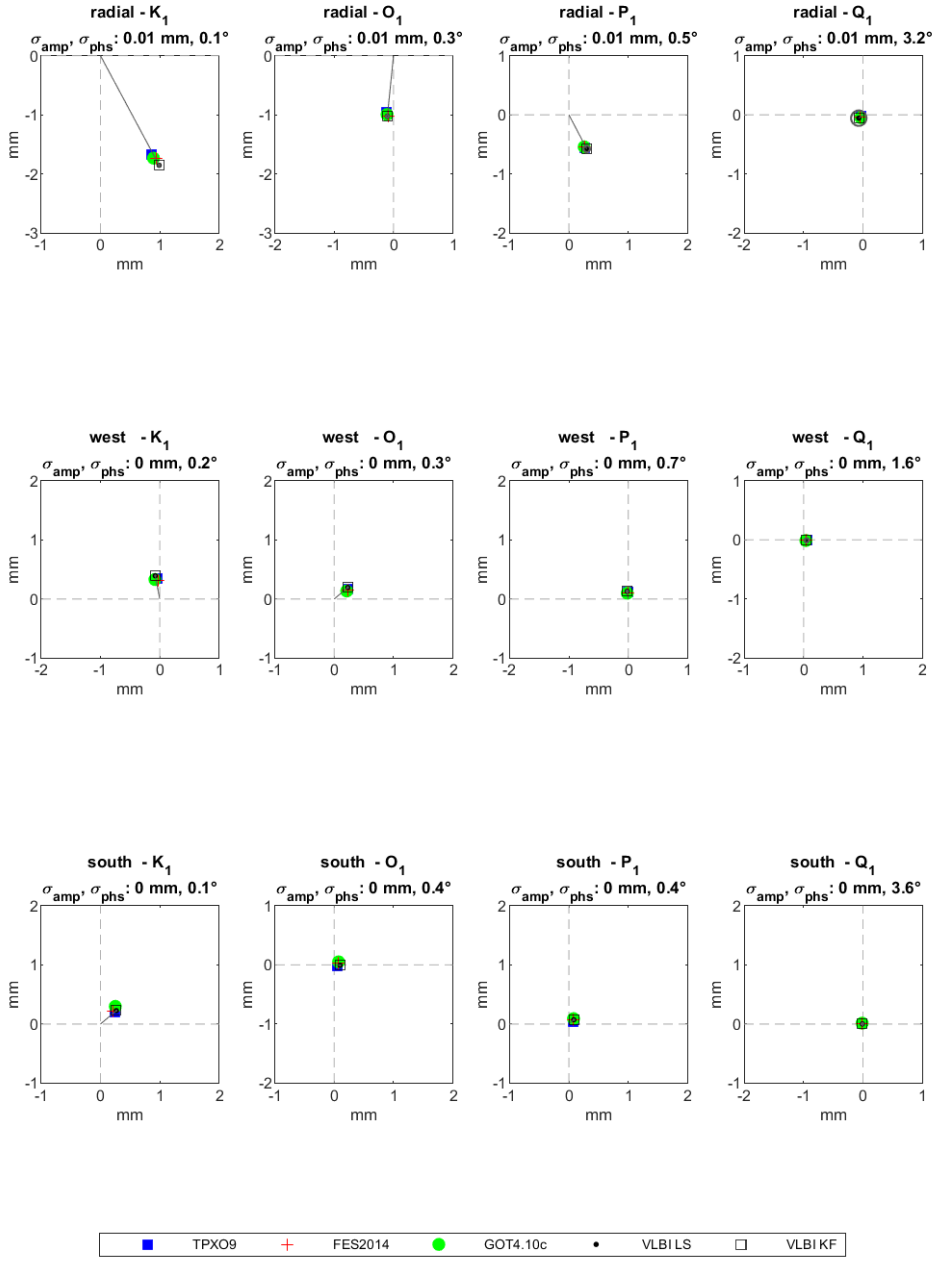

phasor vectors of semi-diurnal tides at BADARY
radial - M2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.8°
radial - S2
σamp, σphs: 0.01 mm, 1°
radial - N2
σamp, σphs: 0.01 mm, 4°
radial - K2
σamp, σphs: 0.01 mm, 4°
quadrature amplitude in mm
in-phase amplitude in mm
mm
west - M2
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
west - S2
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
west - N2
σamp, σphs: 0 mm, 0.9°
west - K2
σamp, σphs: 0 mm, 1.8°
south - M2
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
south - S2
σamp, σphs: 0 mm, 0.7°
south - N2
σamp, σphs: 0 mm, 1.2°
south - K2
σamp, σphs: 0 mm, 2.6°
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF


phasor vectors of diurnal tides at BADARY
radial - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.3°
radial - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.3°
radial - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.6°
west - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
west - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.5°
west - P1
σamp, σphs: 0 mm, 0.9°
west - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 2.8°
south - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
south - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
south - P1
σamp, σphs: 0 mm, 0.9°
south - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 3.8°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

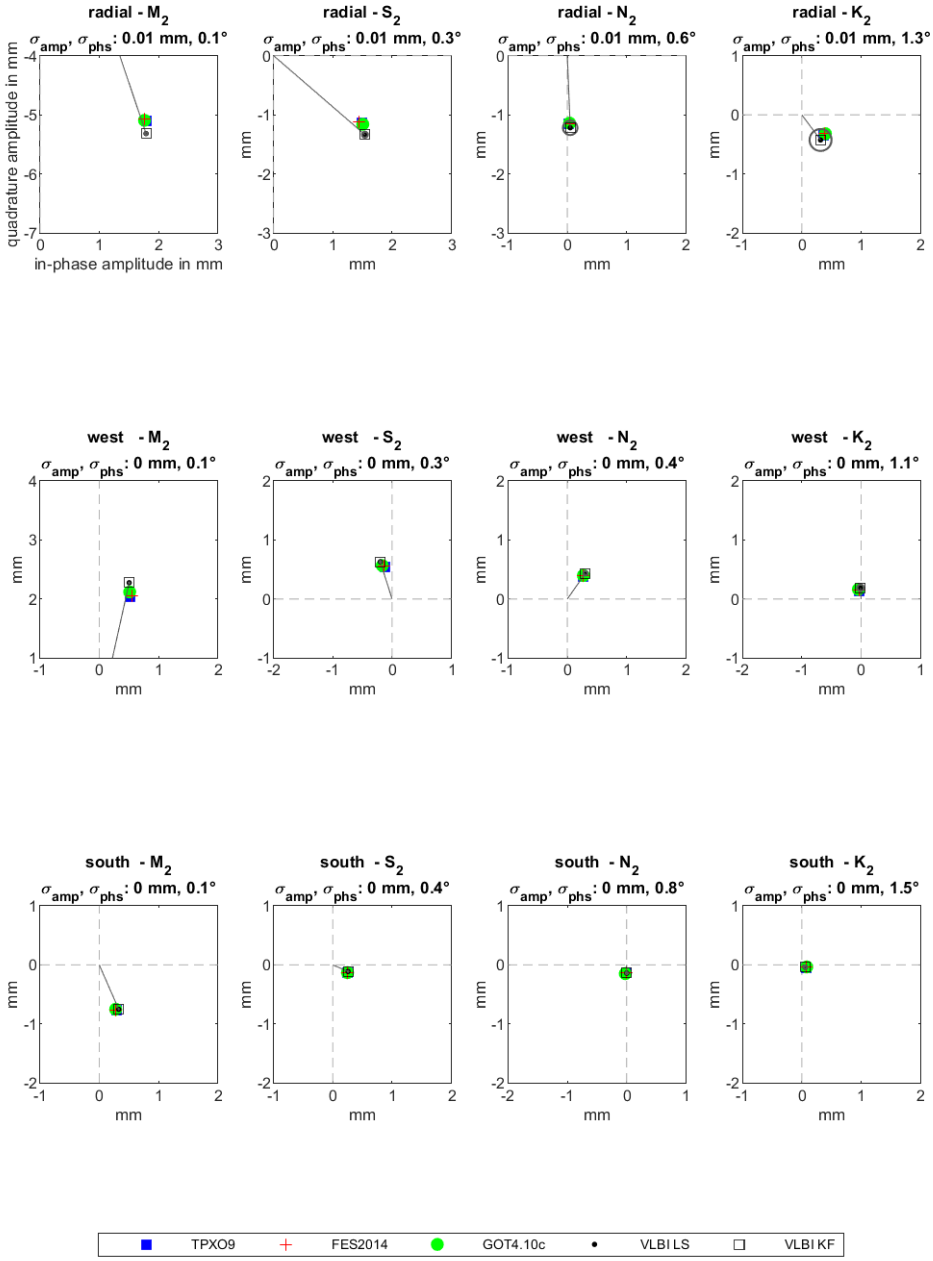
phasor vectors of semi-diurnal tides at WETTZELL

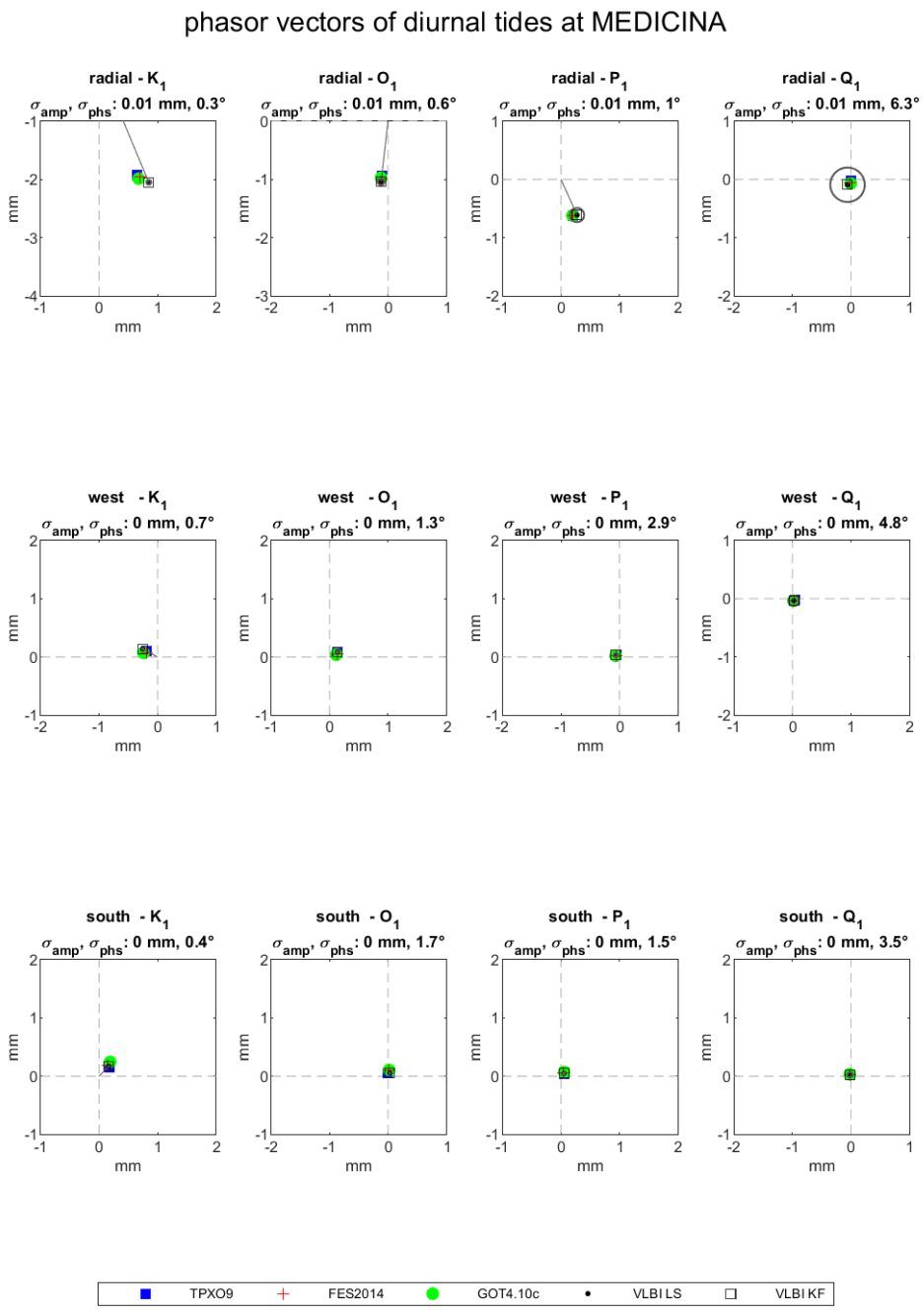


phasor vectors of diurnal tides at WETTZELL

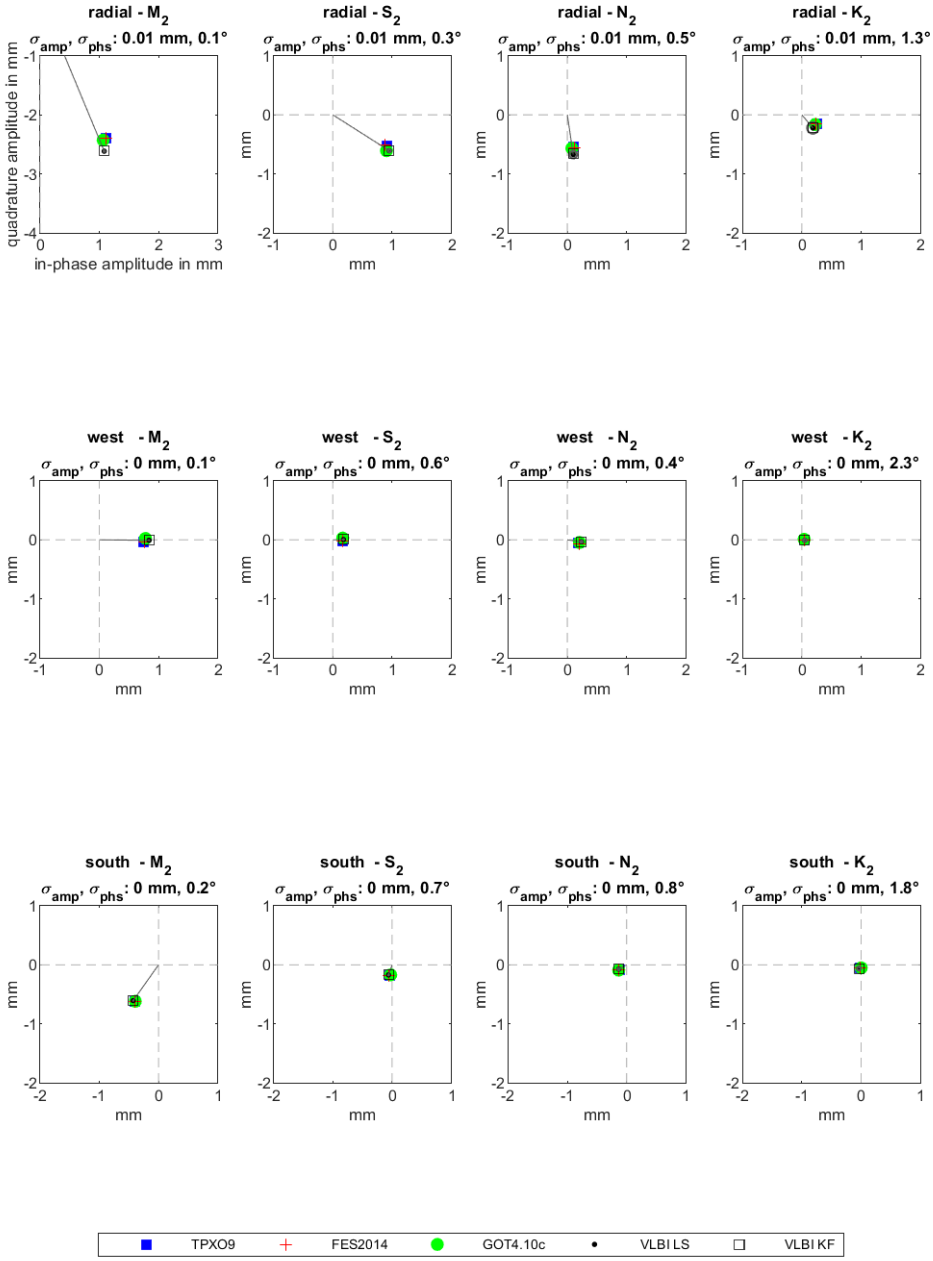


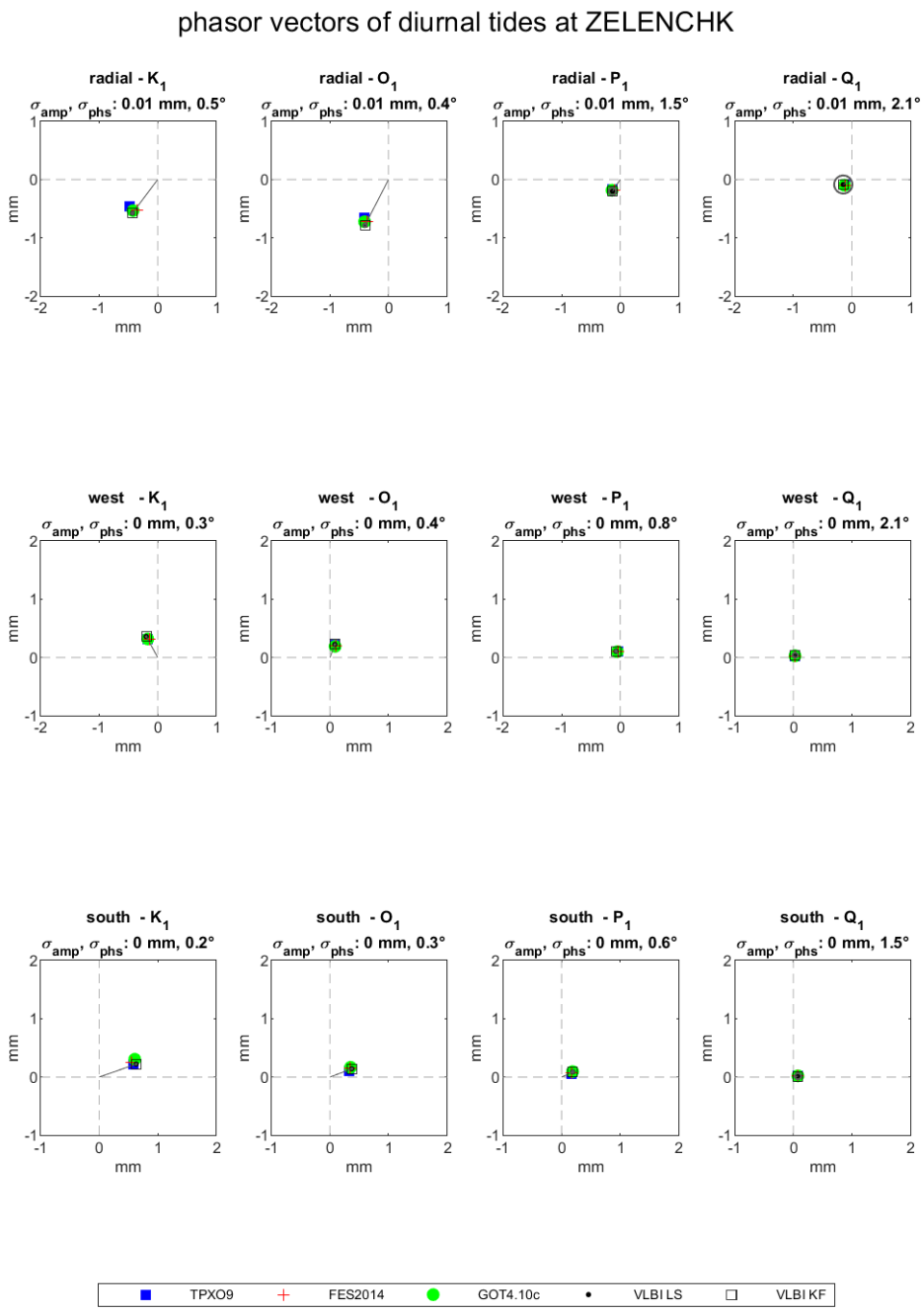
phasor vectors of semi-diurnal tides at MEDICINA

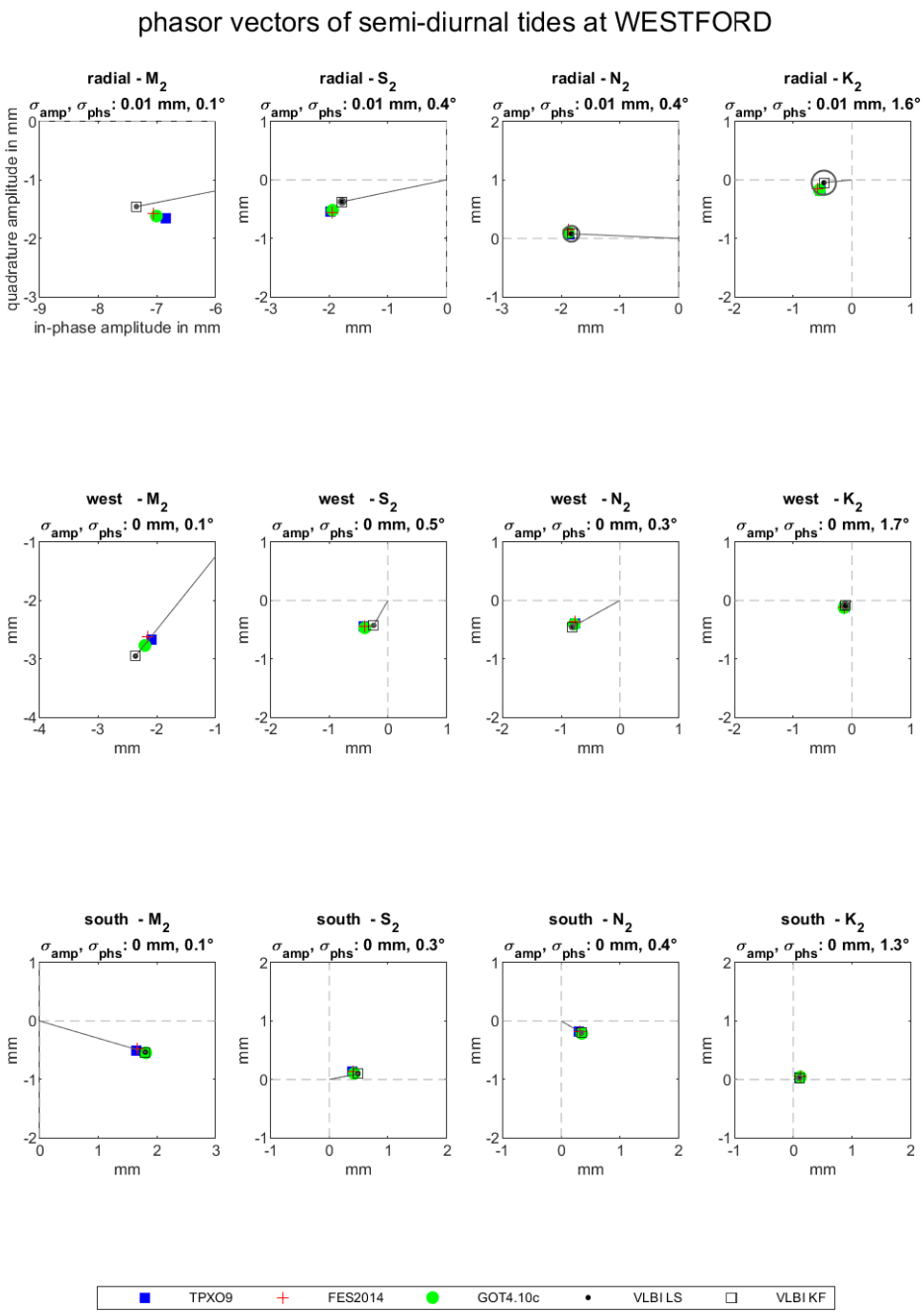


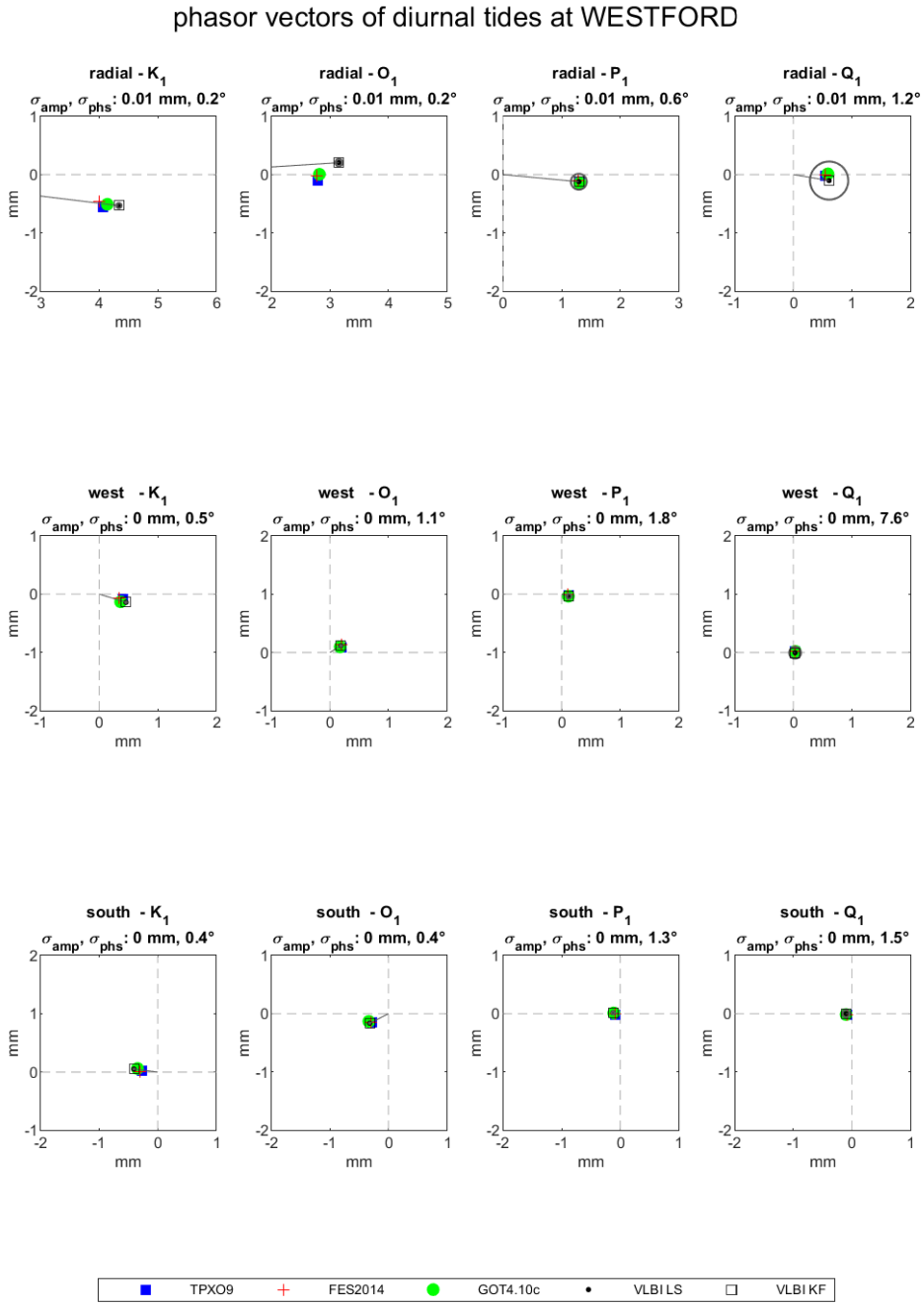

phasor vectors of diurnal tides at MEDICINA
radial - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.3°
radial - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.6°
radial - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 6.3°
west - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.7°
west - O1
σamp, σphs: 0 mm, 1.3°
west - P1
σamp, σphs: 0 mm, 2.9°
west - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 4.8°
south - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
south - O1
σamp, σphs: 0 mm, 1.7°
south - P1
σamp, σphs: 0 mm, 1.5°
south - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 3.5°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

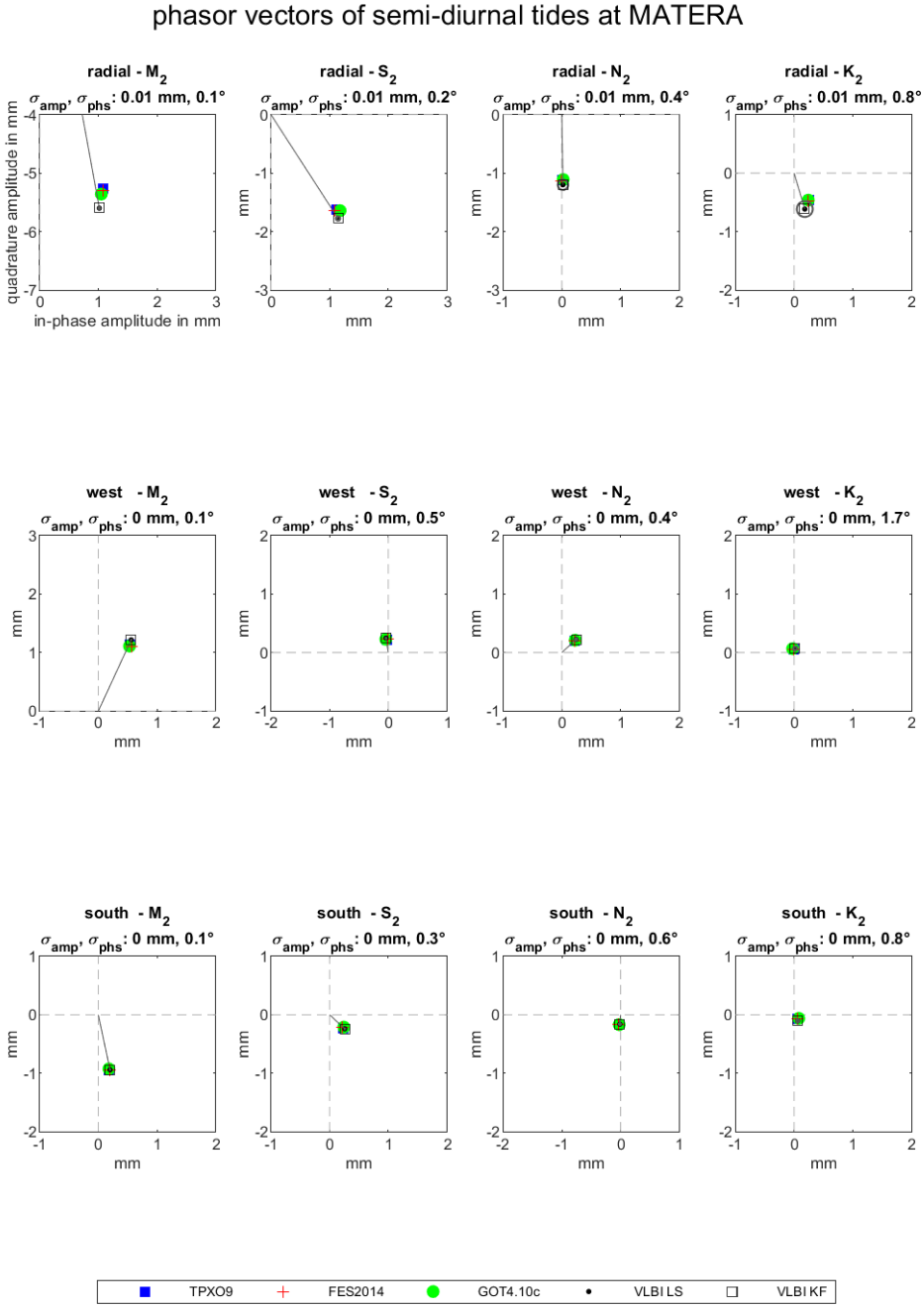
phasor vectors of semi-diurnal tides at ZELENCHK



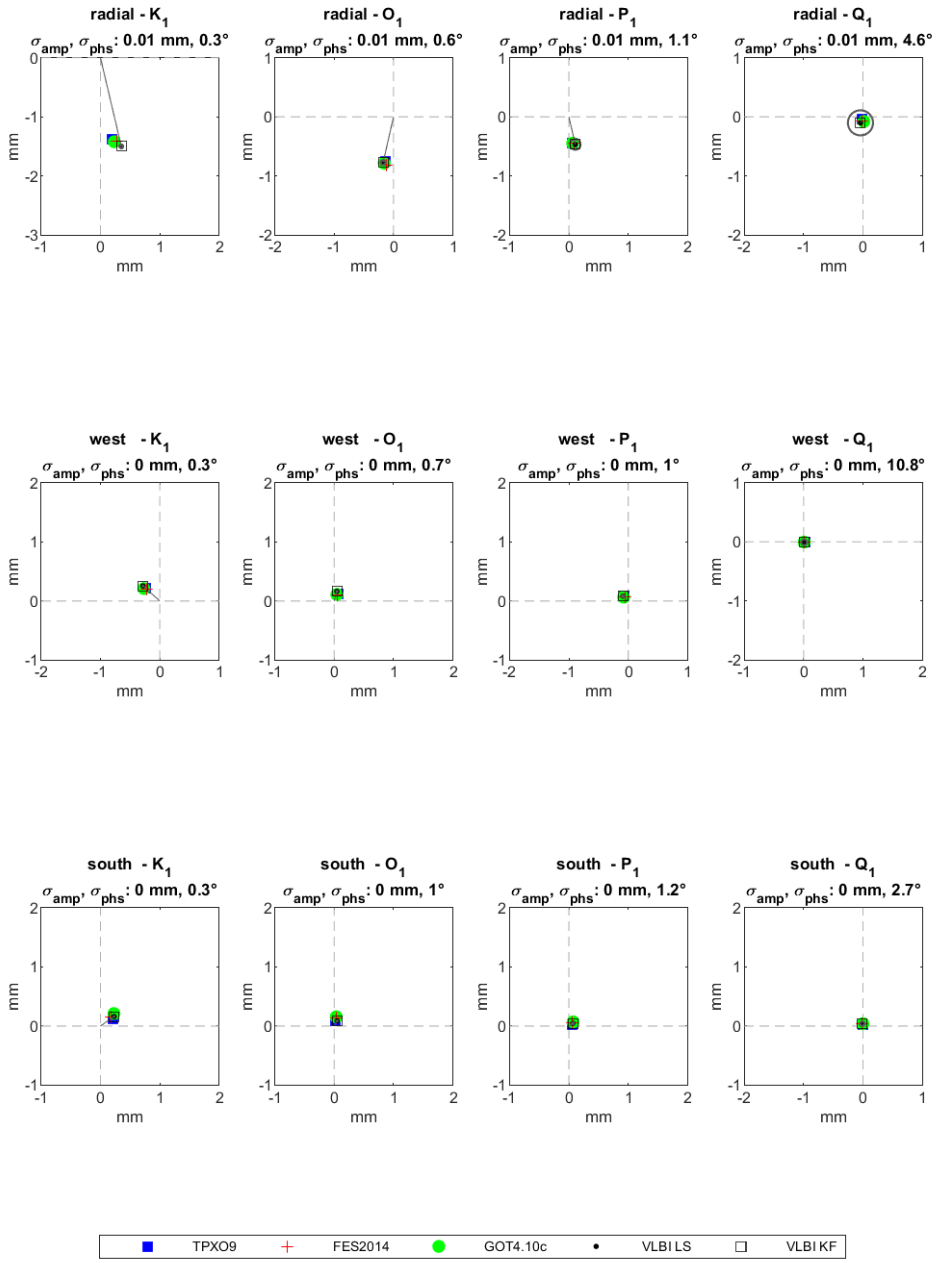

phasor vectors of diurnal tides at ZELENCHK
radial - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.5°
radial - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.4°
radial - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.5°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 2.1°
west - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
west - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
west - P1
σamp, σphs: 0 mm, 0.8°
west - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 2.1°
south - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.2°
south - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
south - P1
σamp, σphs: 0 mm, 0.6°
south - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 1.5°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF


phasor vectors of semi-diurnal tides at WESTFORD
radial - M2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.1°
radial - S2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.4°
radial - N2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.4°
radial - K2
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.6°
quadrature amplitude in mm
in-phase amplitude in mm
mm
west - M2
σamp, σphs: 0 mm, 0.1°
west - S2
σamp, σphs: 0 mm, 0.5°
west - N2
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
west - K2
σamp, σphs: 0 mm, 1.7°
south - M2
σamp, σphs: 0 mm, 0.1°
south - S2
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
south - N2
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
south - K2
σamp, σphs: 0 mm, 1.3°
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

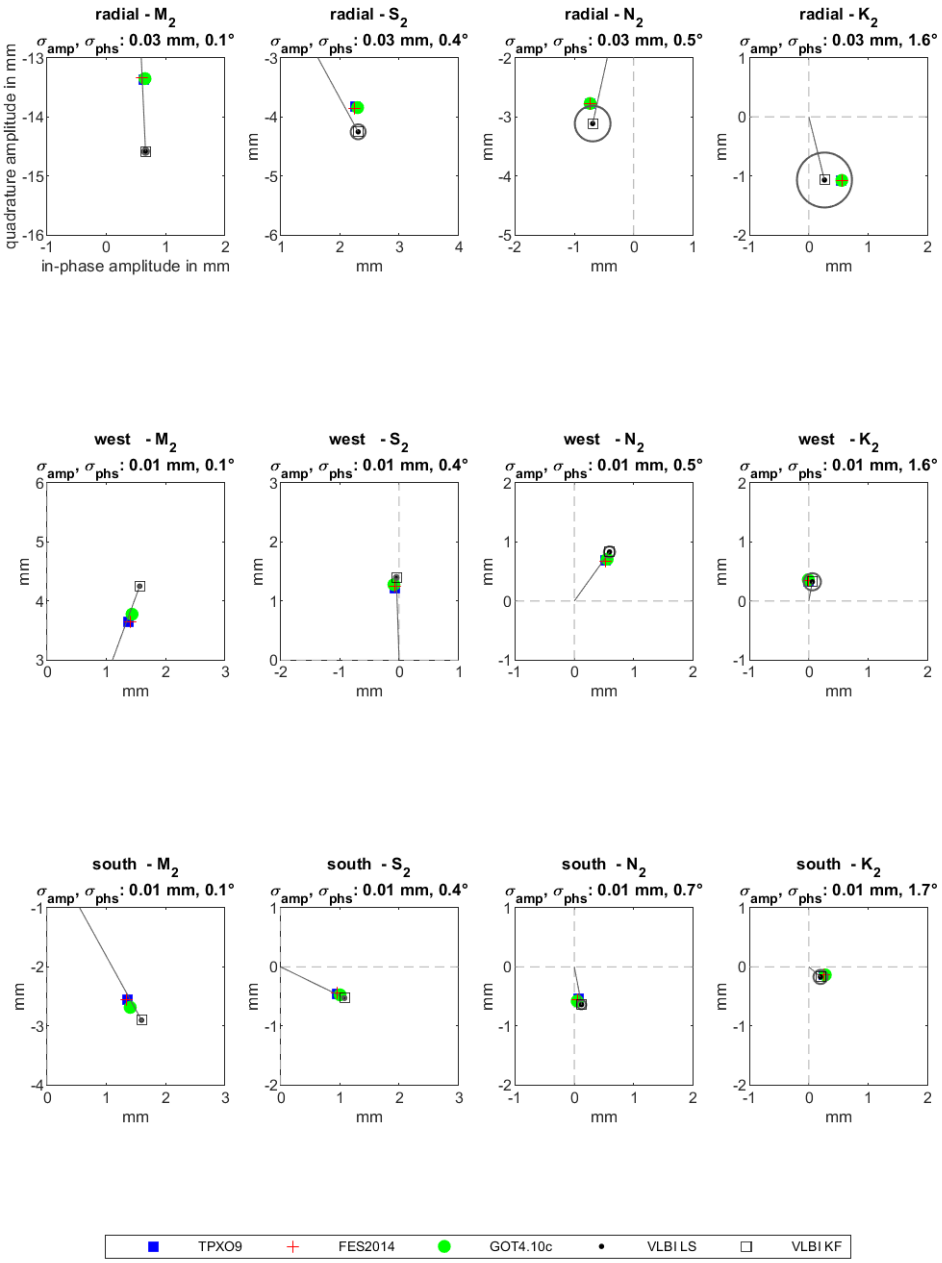

phasor vectors of diurnal tides at WESTFORD
radial - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
radial - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
radial - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.6°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.2°
west - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.5°
west - O1
σamp, σphs: 0 mm, 1.1°
west - P1
σamp, σphs: 0 mm, 1.8°
west - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 7.6°
south - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
south - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
south - P1
σamp, σphs: 0 mm, 1.3°
south - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 1.5°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF


phasor vectors of semi-diurnal tides at MATERA
radial - M2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.1°
radial - S2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
radial - N2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.4°
radial - K2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.8°
quadrature amplitude in mm
in-phase amplitude in mm
mm
west - M2
σamp, σphs: 0 mm, 0.1°
west - S2
σamp, σphs: 0 mm, 0.5°
west - N2
σamp, σphs: 0 mm, 0.4°
west - K2
σamp, σphs: 0 mm, 1.7°
south - M2
σamp, σphs: 0 mm, 0.1°
south - S2
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
south - N2
σamp, σphs: 0 mm, 0.6°
south - K2
σamp, σphs: 0 mm, 0.8°
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

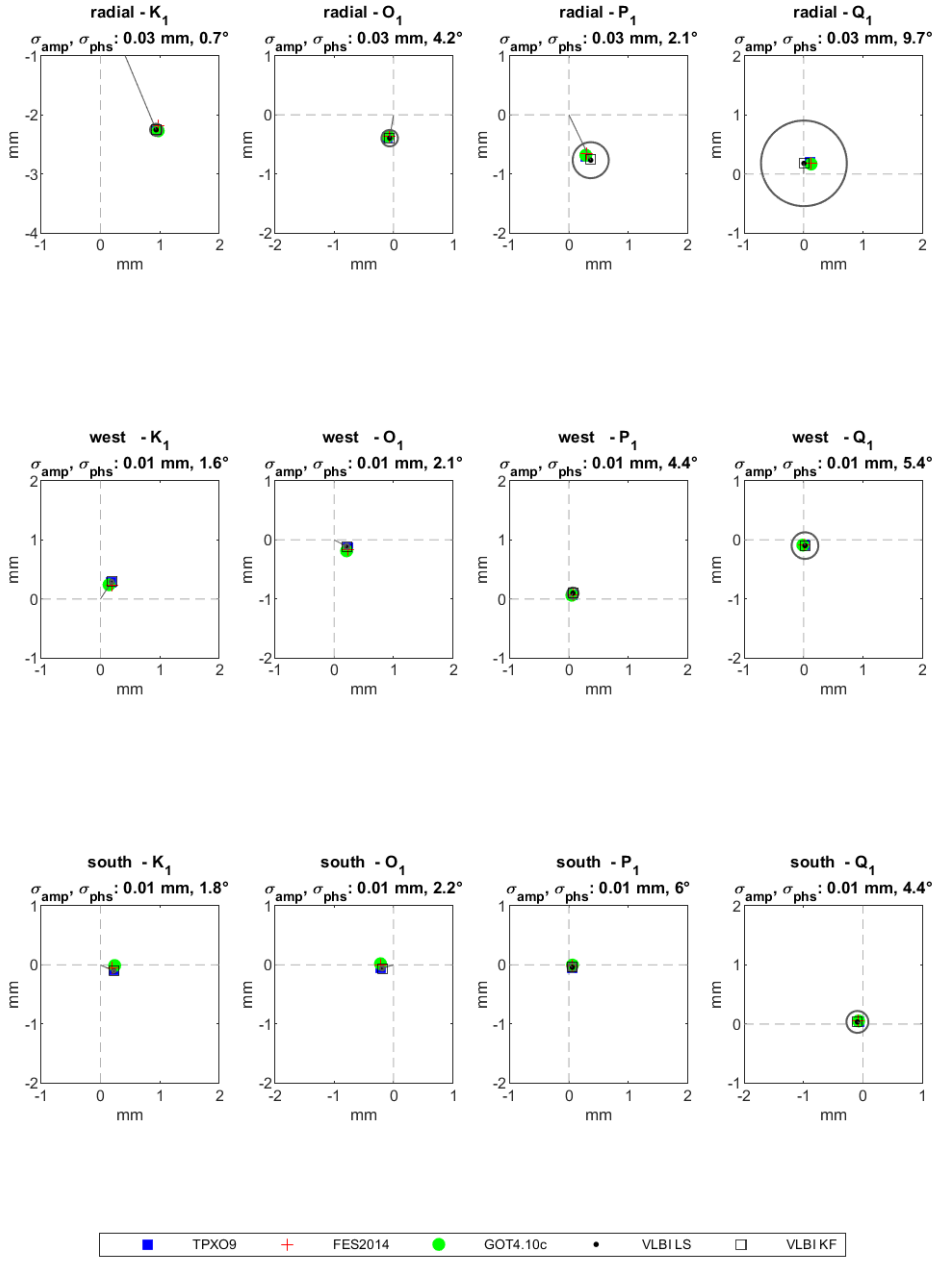
phasor vectors of diurnal tides at MATERA



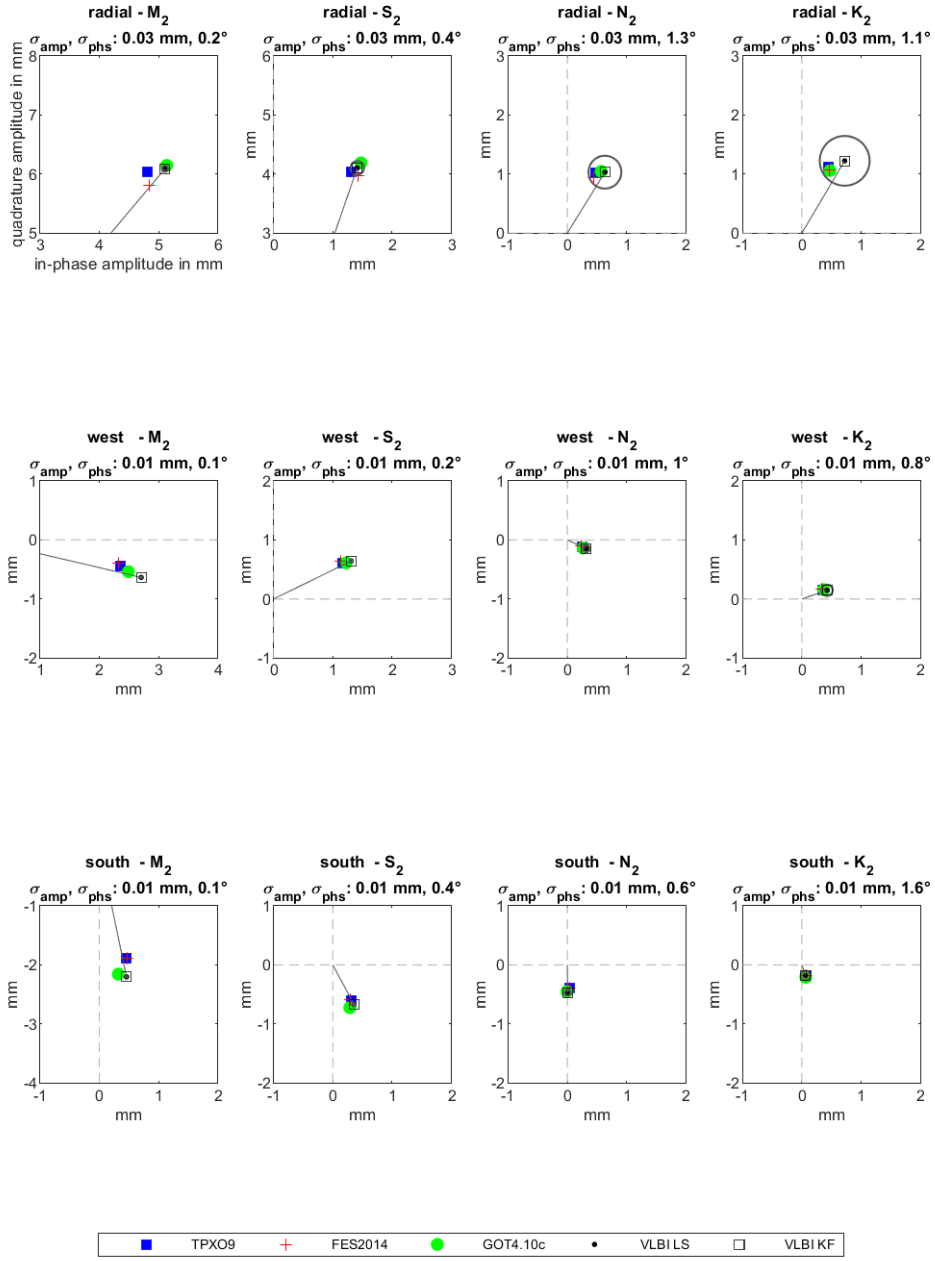
phasor vectors of semi-diurnal tides at YEBES40M

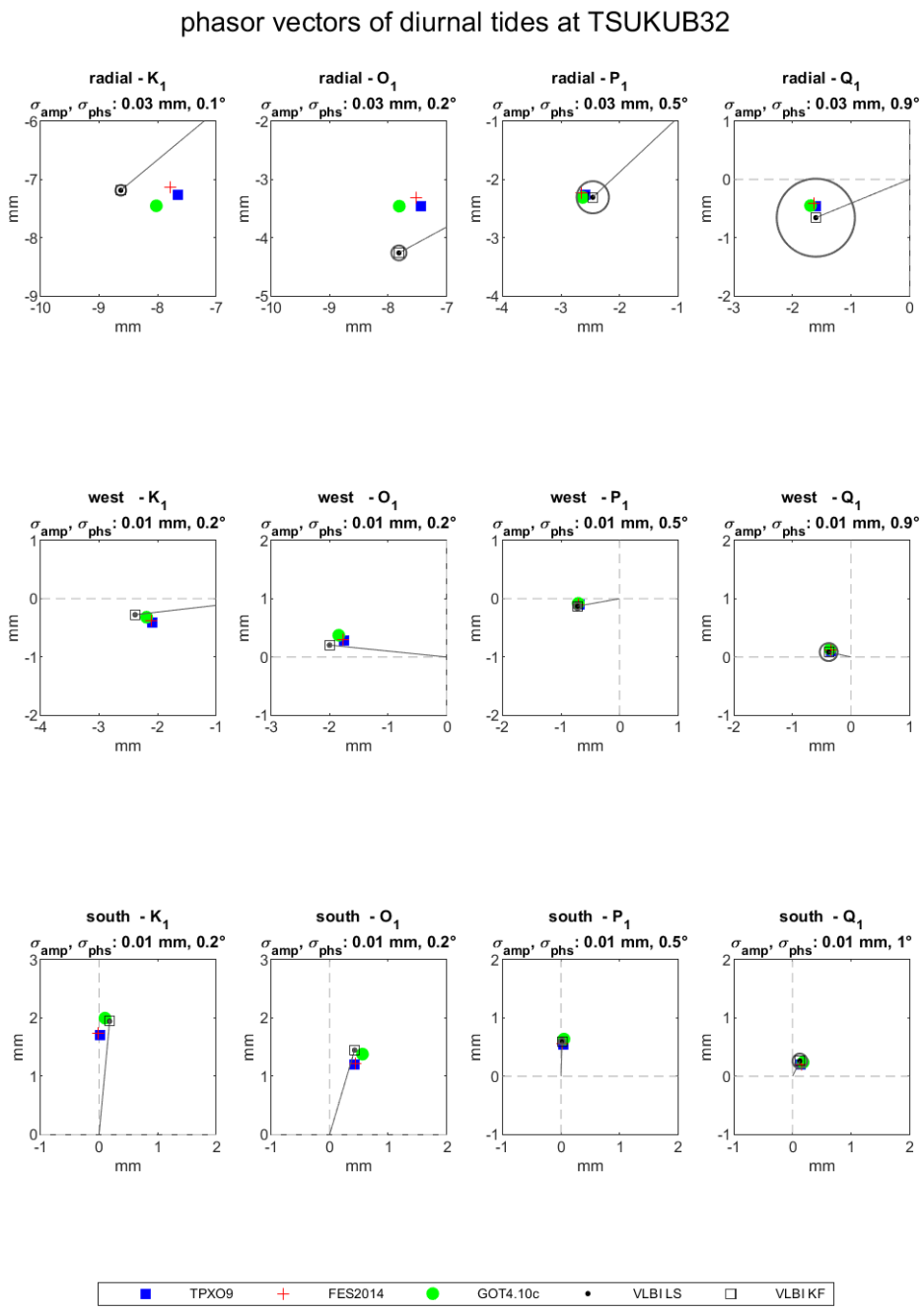


phasor vectors of diurnal tides at YEBES40M

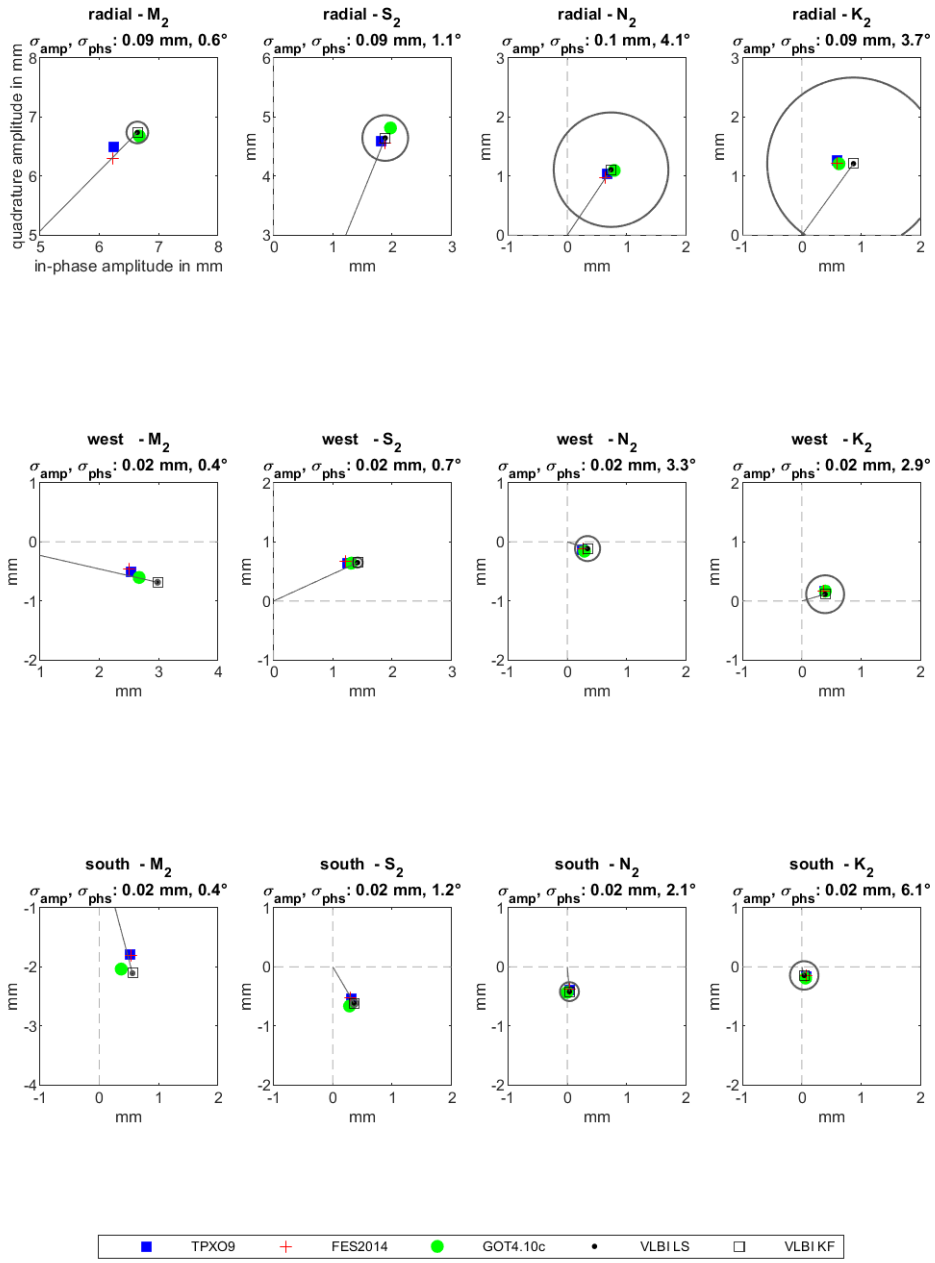


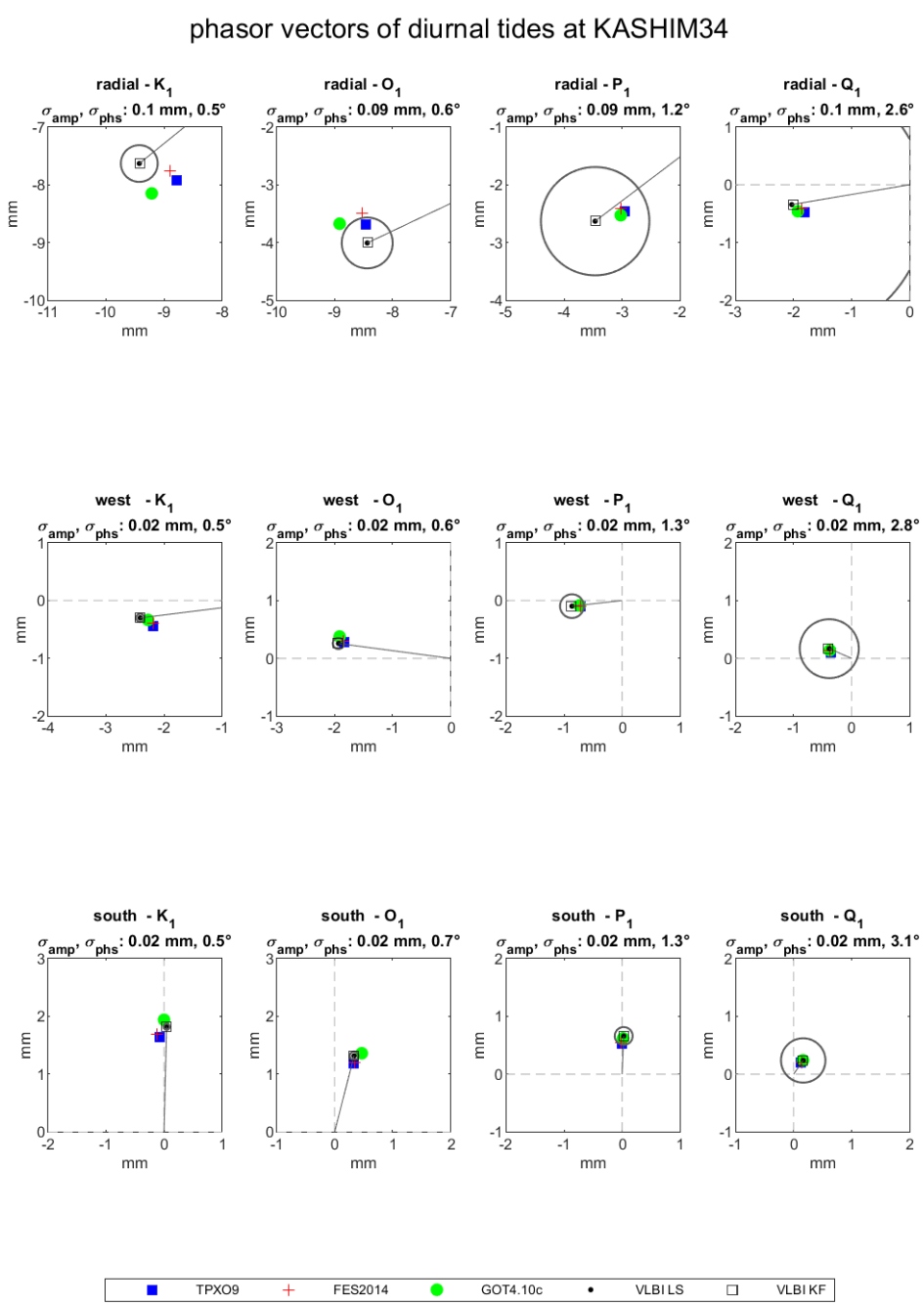
phasor vectors of semi-diurnal tides at TSUKUB32

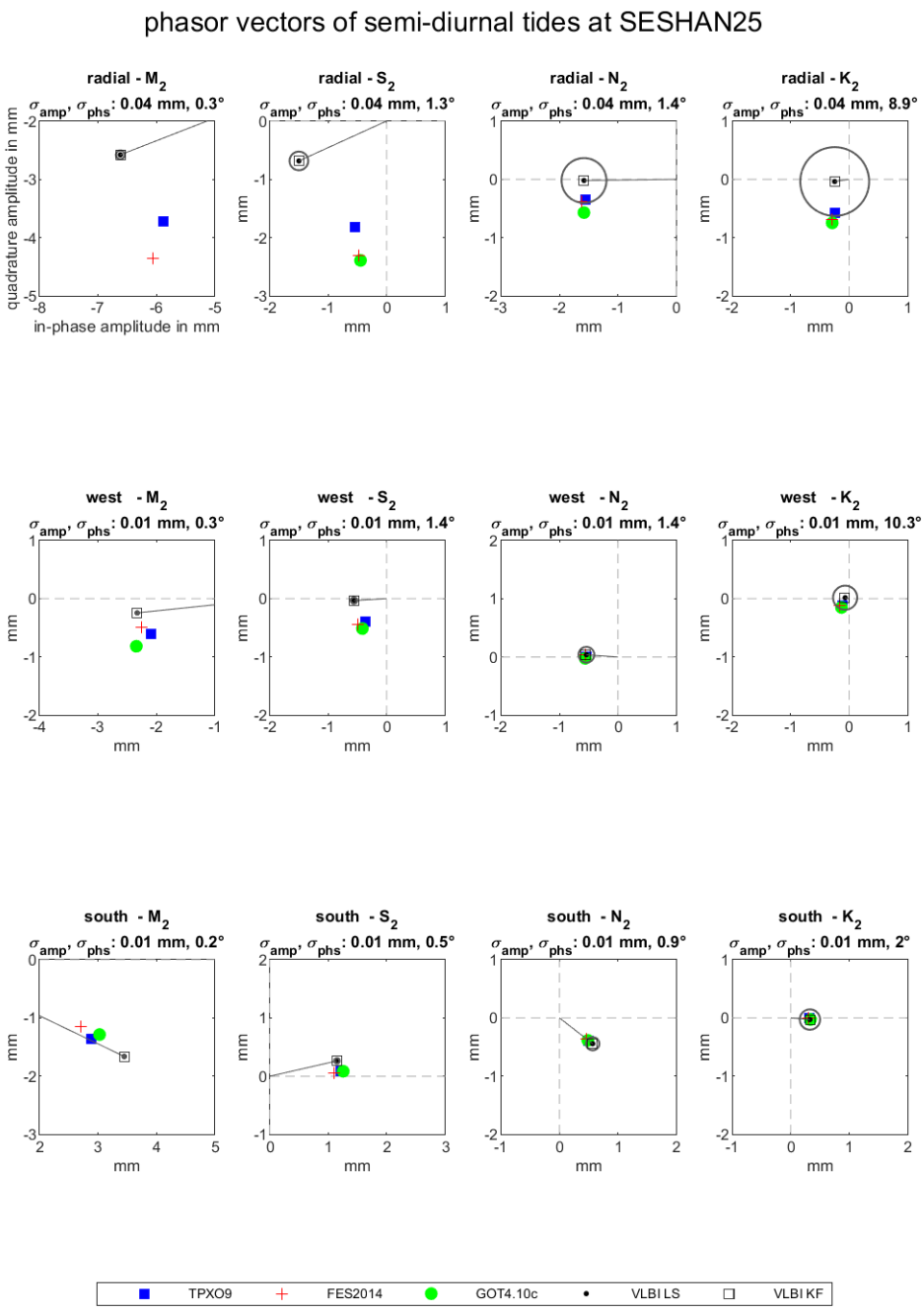


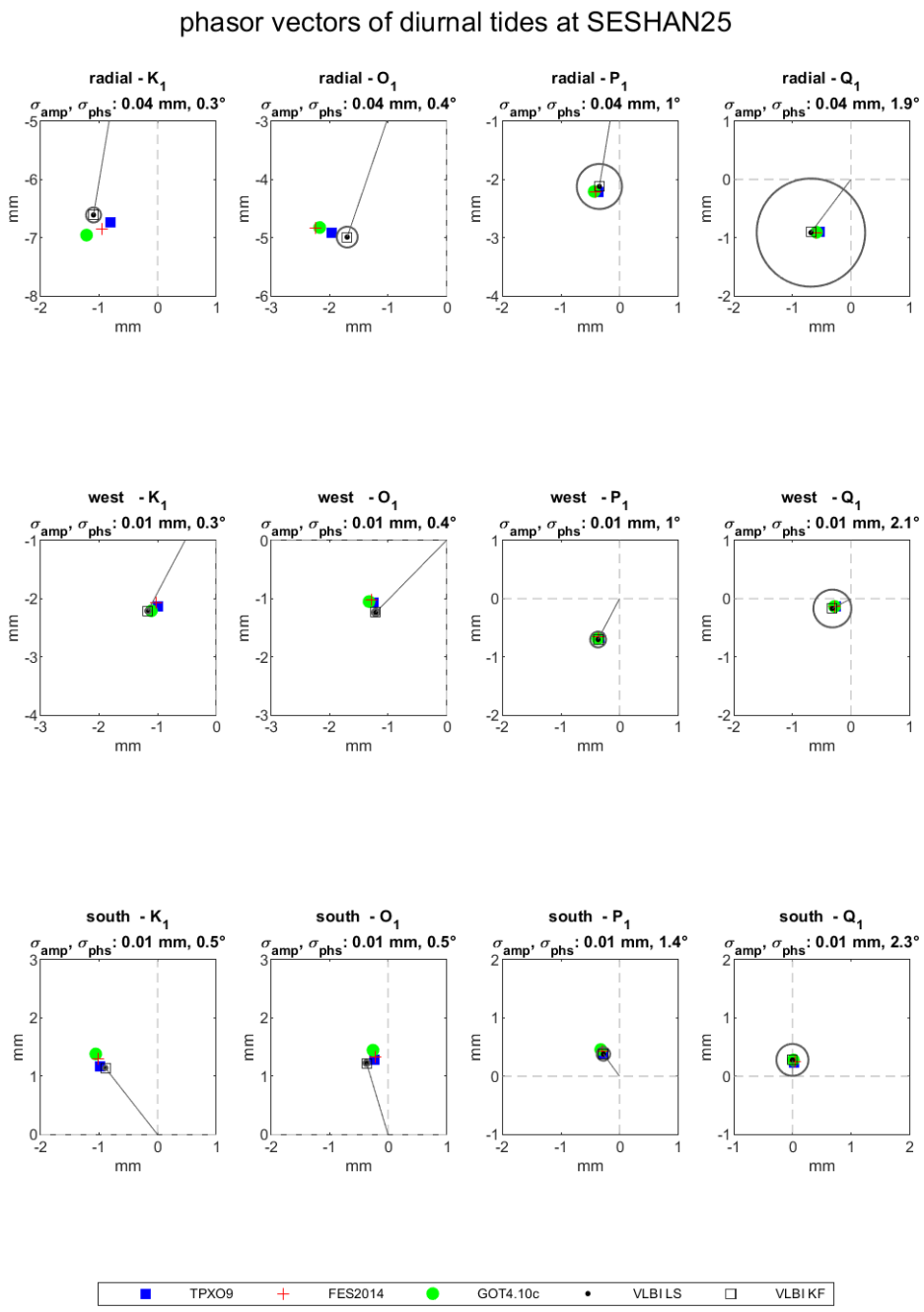

phasor vectors of diurnal tides at TSUKUB32
radial - K1
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.1°
radial - O1
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.2°
radial - P1
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.5°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.9°
west - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
west - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
west - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.5°
west - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.9°
south - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
south - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
south - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.5°
south - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

phasor vectors of semi-diurnal tides at KASHIM34

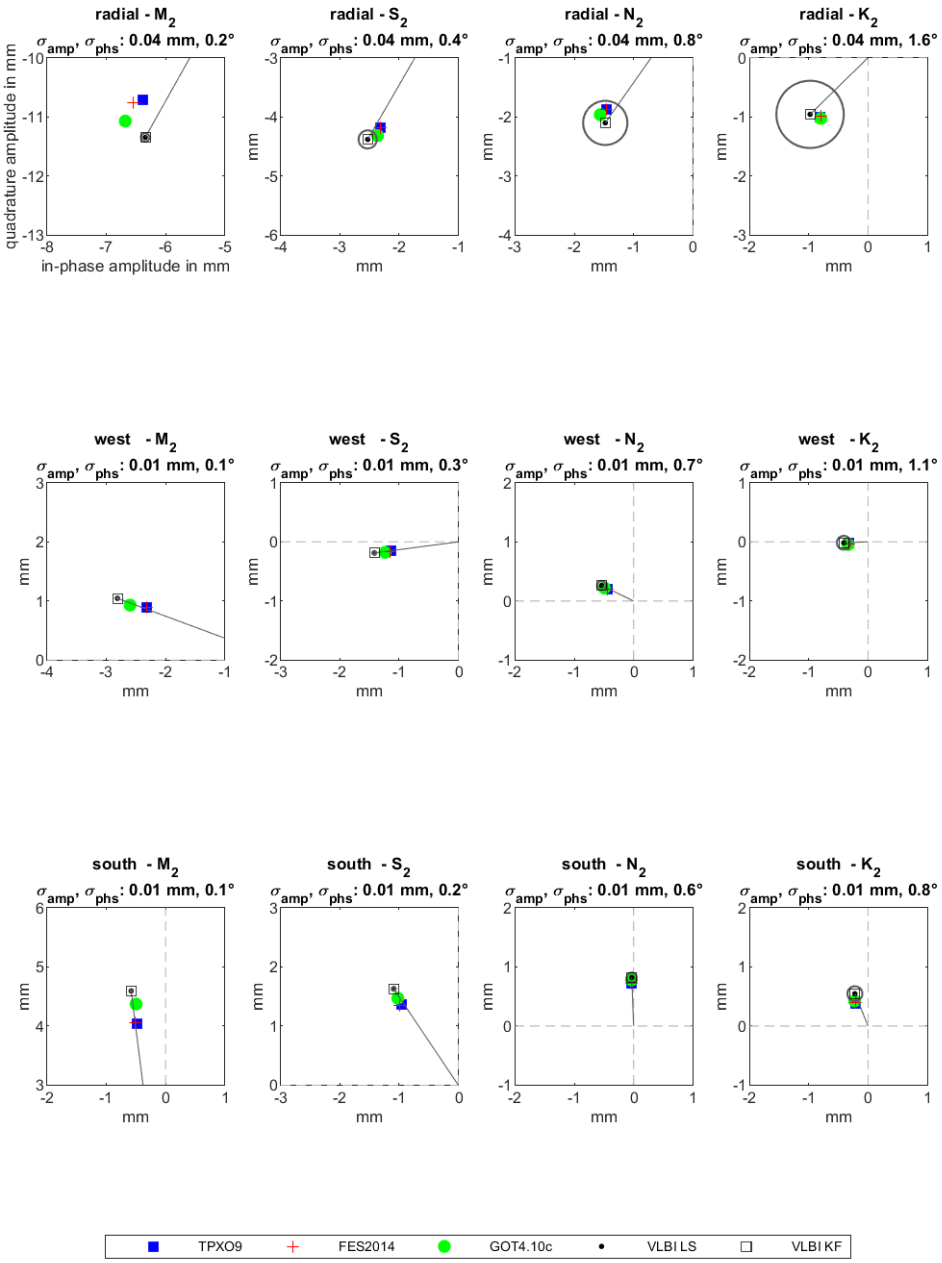



phasor vectors of diurnal tides at KASHIM34
radial - K1
σamp, σphs: 0.1 mm, 0.5°
radial - O1
σamp, σphs: 0.09 mm, 0.6°
radial - P1
σamp, σphs: 0.09 mm, 1.2°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.1 mm, 2.6°
west - K1
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.5°
west - O1
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.6°
west - P1
σamp, σphs: 0.02 mm, 1.3°
west - Q1
σamp, σphs: 0.02 mm, 2.8°
south - K1
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.5°
south - O1
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.7°
south - P1
σamp, σphs: 0.02 mm, 1.3°
south - Q1
σamp, σphs: 0.02 mm, 3.1°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

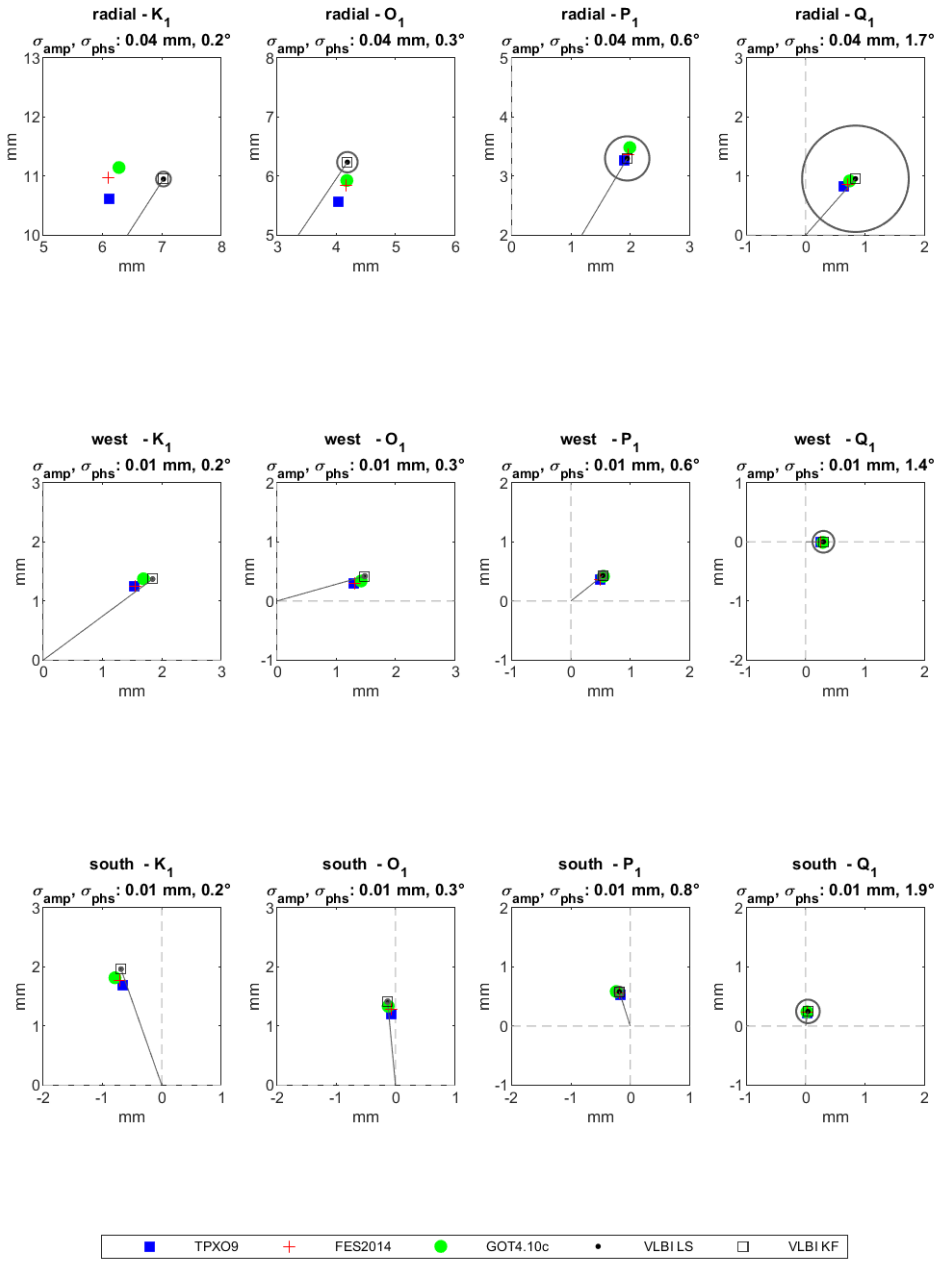

phasor vectors of semi-diurnal tides at SESHAN25
radial - M2
σamp, σphs: 0.04 mm, 0.3°
radial - S2
σamp, σphs: 0.04 mm, 1.3°
radial - N2
σamp, σphs: 0.04 mm, 1.4°
radial - K2
σamp, σphs: 0.04 mm, 8.9°
quadrature amplitude in mm
in-phase amplitude in mm
mm
west - M2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.3°
west - S2
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.4°
west - N2
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.4°
west - K2
σamp, σphs: 0.01 mm, 10.3°
south - M2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
south - S2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.5°
south - N2
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.9°
south - K2
σamp, σphs: 0.01 mm, 2°
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF


phasor vectors of diurnal tides at SESHAN25
radial - K1
σamp, σphs: 0.04 mm, 0.3°
radial - O1
σamp, σphs: 0.04 mm, 0.4°
radial - P1
σamp, σphs: 0.04 mm, 1°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.04 mm, 1.9°
west - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.3°
west - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.4°
west - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1°
west - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 2.1°
south - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.5°
south - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.5°
south - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.4°
south - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 2.3°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

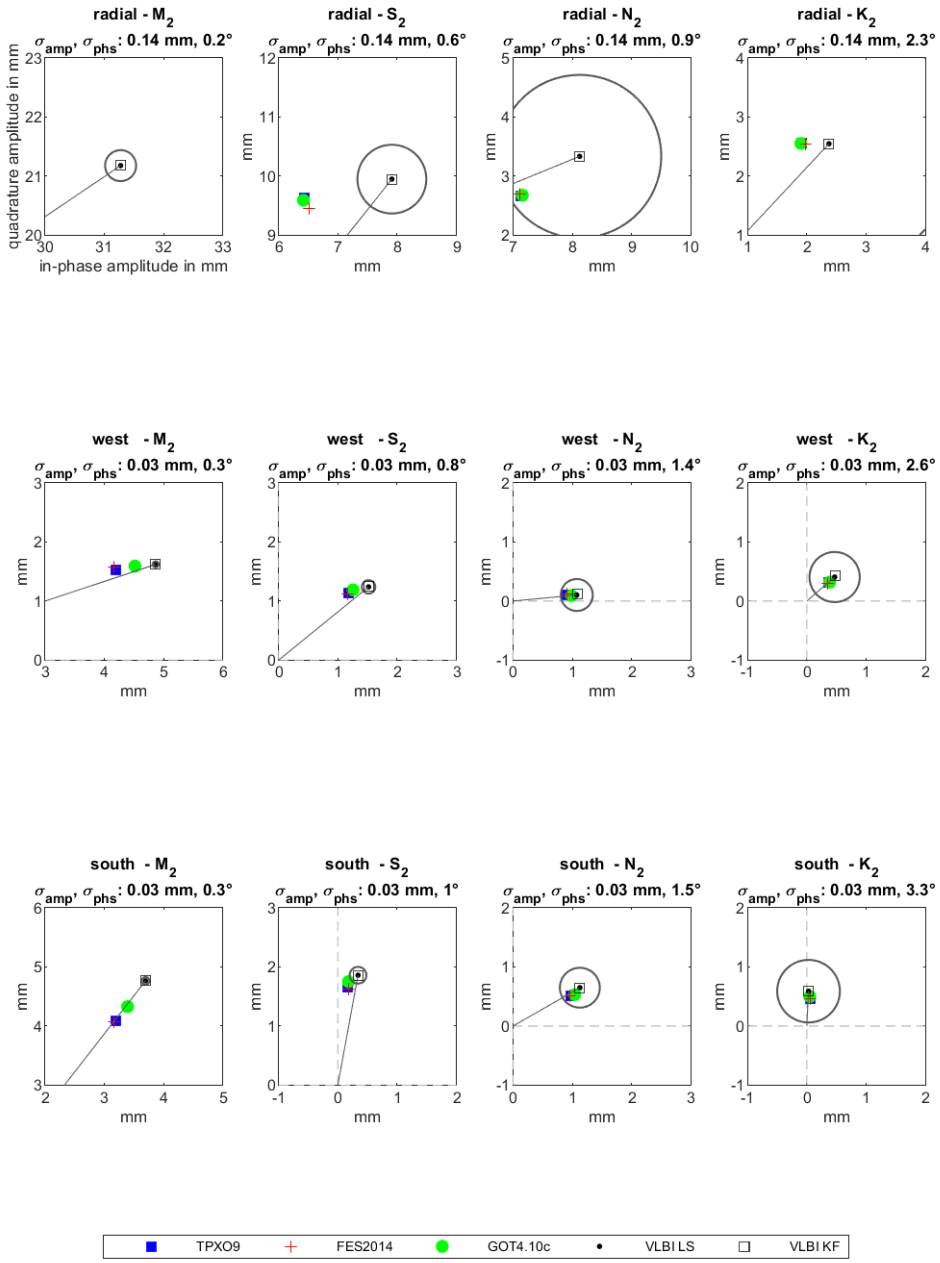
phasor vectors of semi-diurnal tides at KOKEE



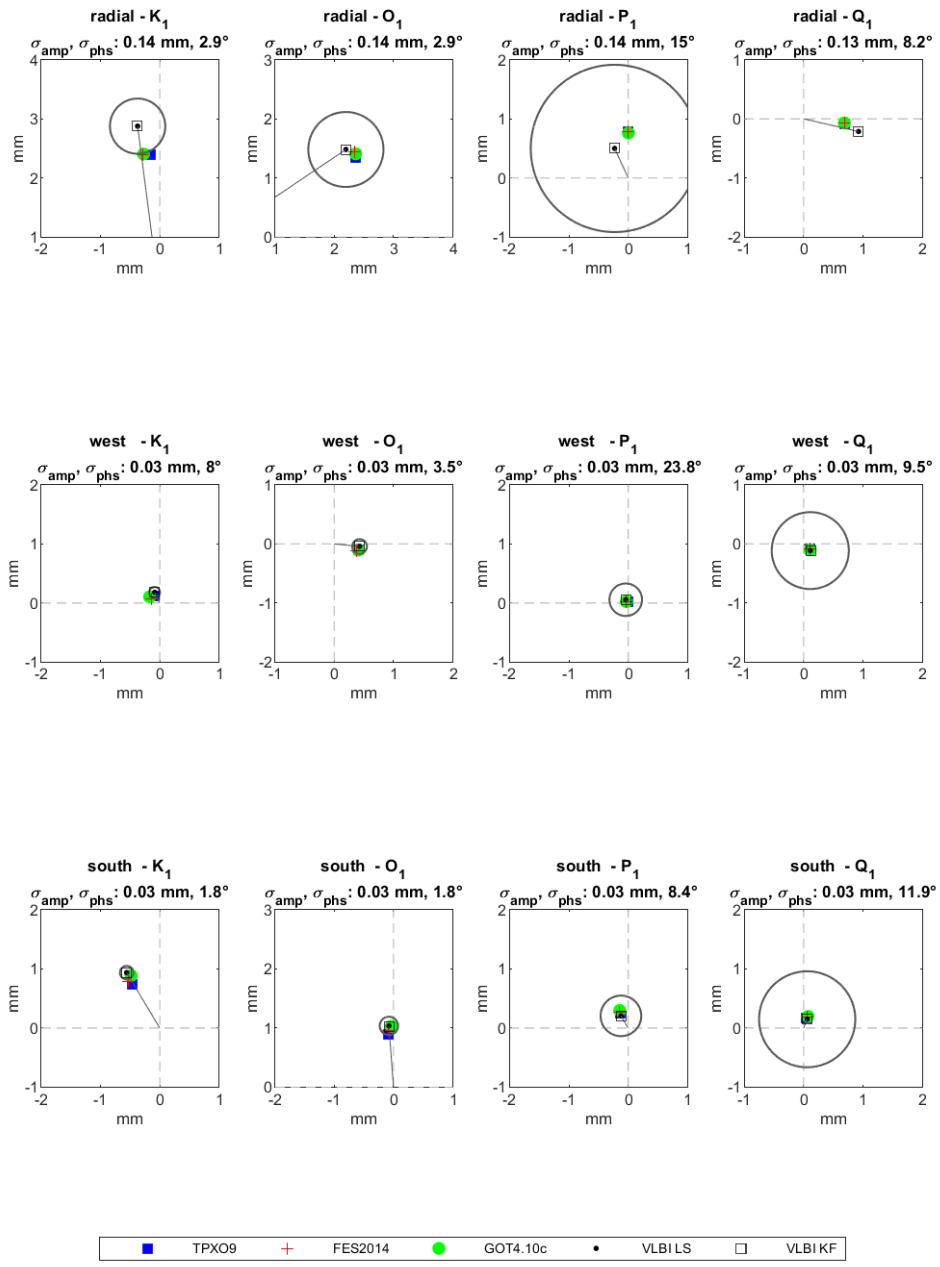
phasor vectors of diurnal tides at KOKEE



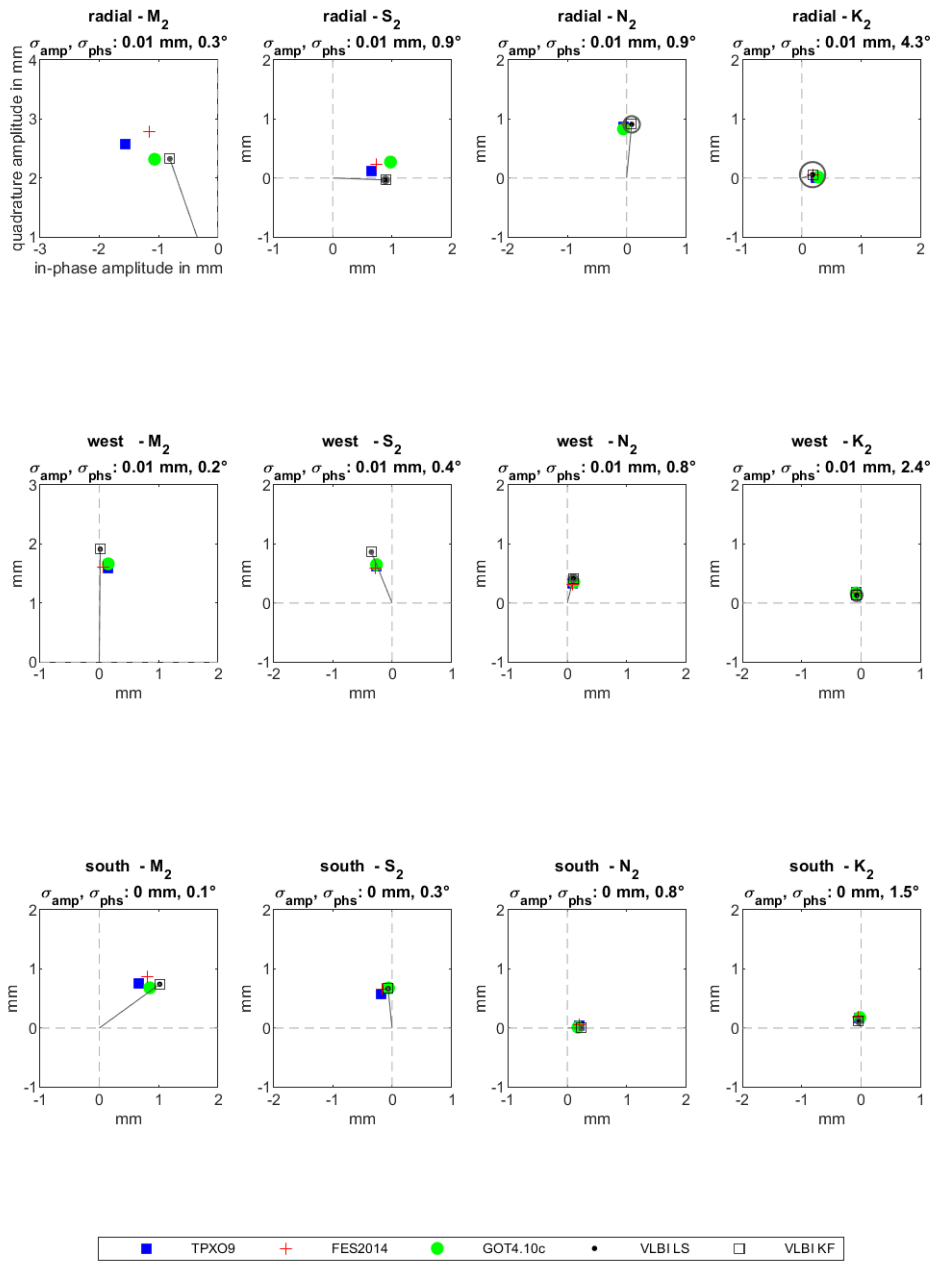
phasor vectors of semi-diurnal tides at FORTLEZA

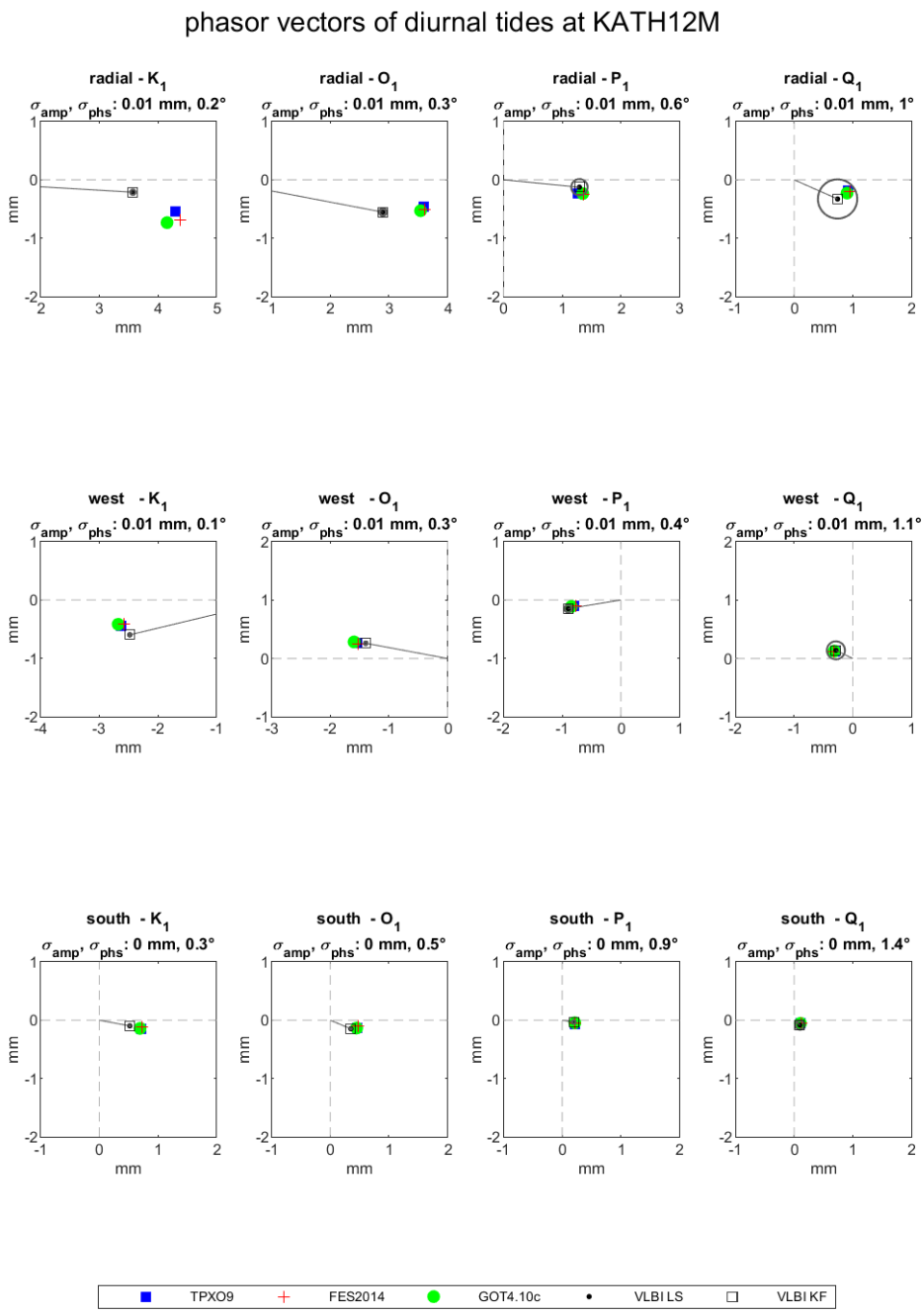


phasor vectors of diurnal tides at FORTLEZA

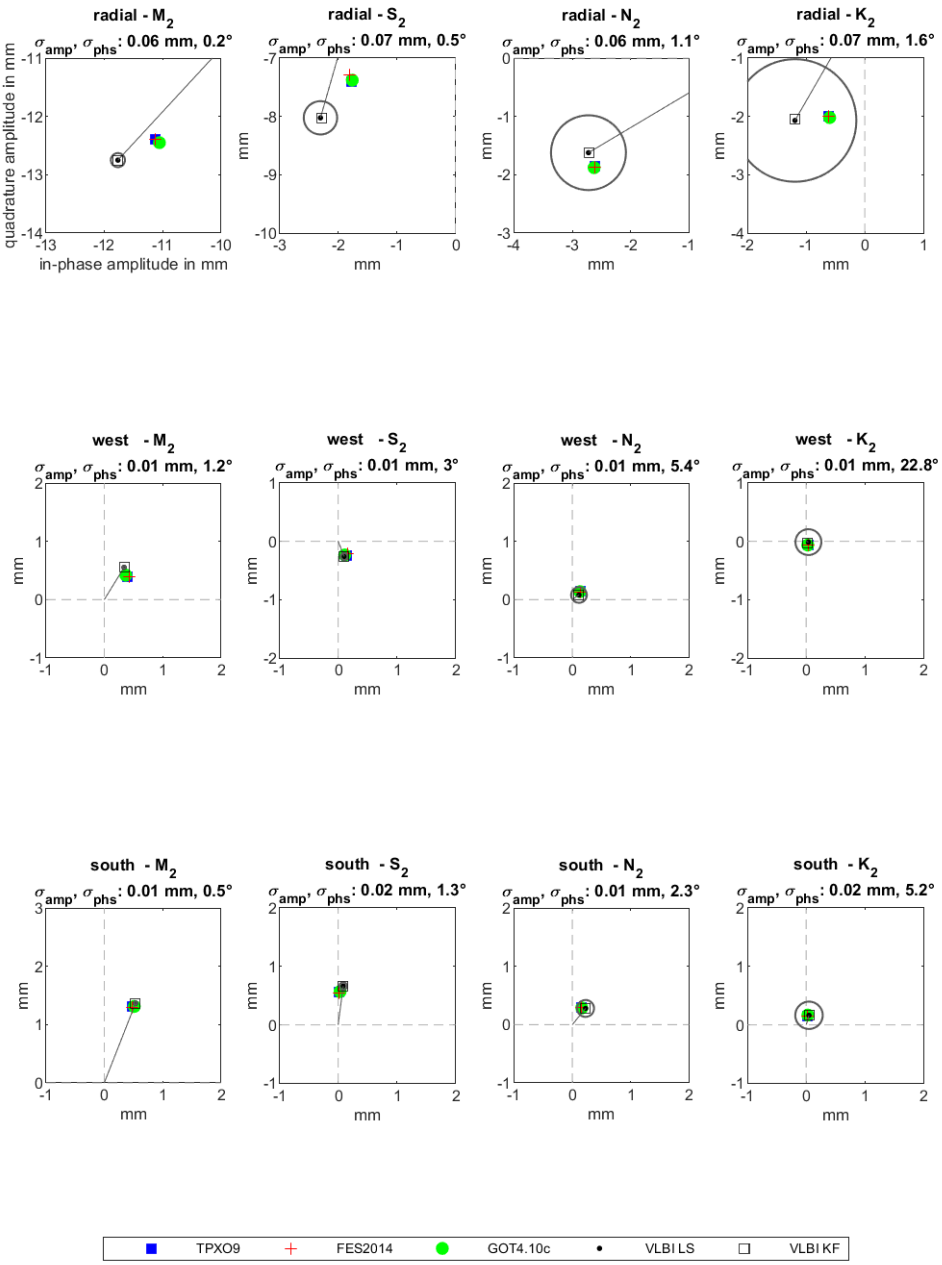


phasor vectors of semi-diurnal tides at KATH12M

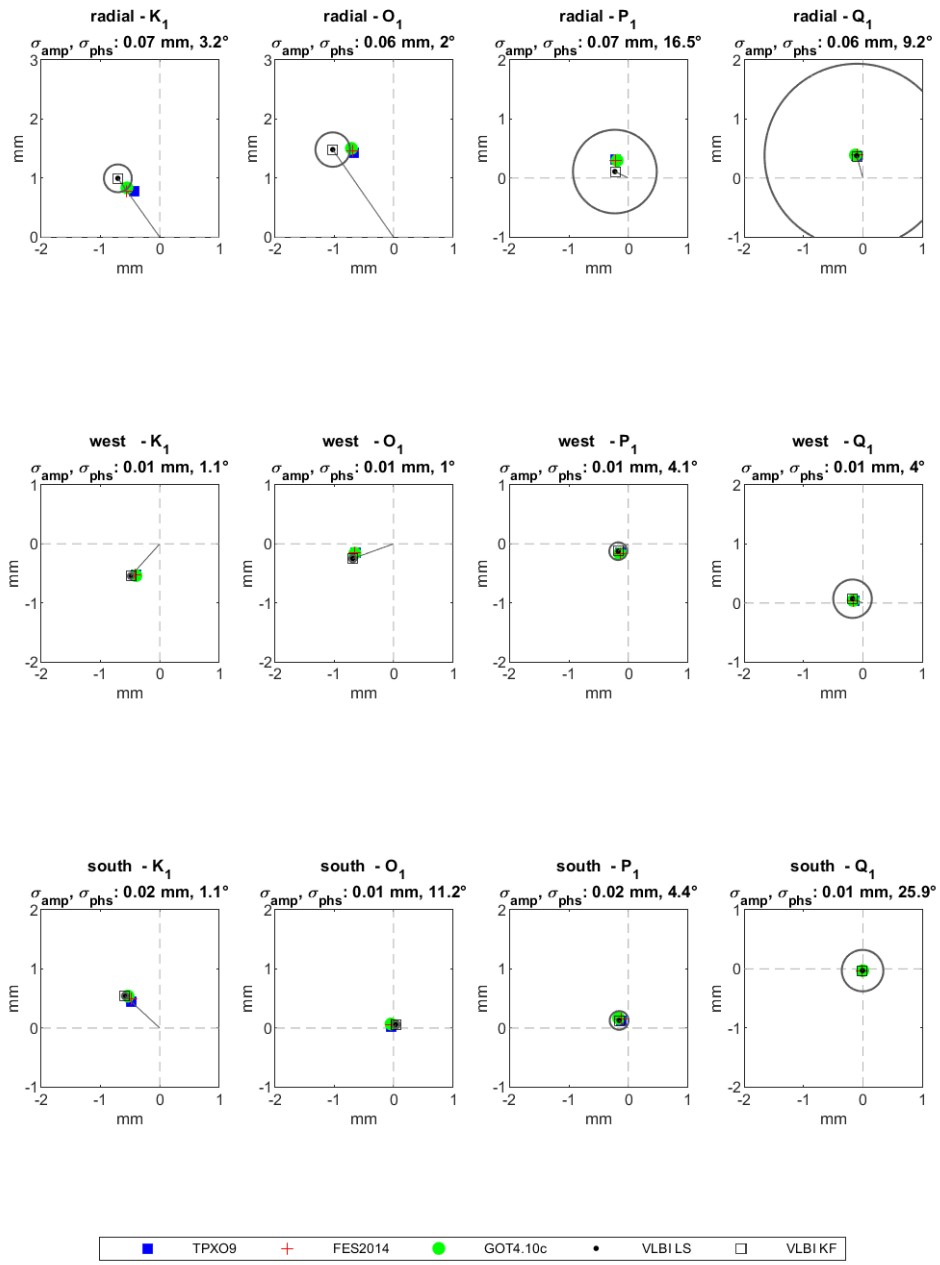



phasor vectors of diurnal tides at KATH12M
radial - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.2°
radial - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.3°
radial - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.6°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1°
west - K1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.1°
west - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.3°
west - P1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.4°
west - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 1.1°
south - K1
σamp, σphs: 0 mm, 0.3°
south - O1
σamp, σphs: 0 mm, 0.5°
south - P1
σamp, σphs: 0 mm, 0.9°
south - Q1
σamp, σphs: 0 mm, 1.4°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

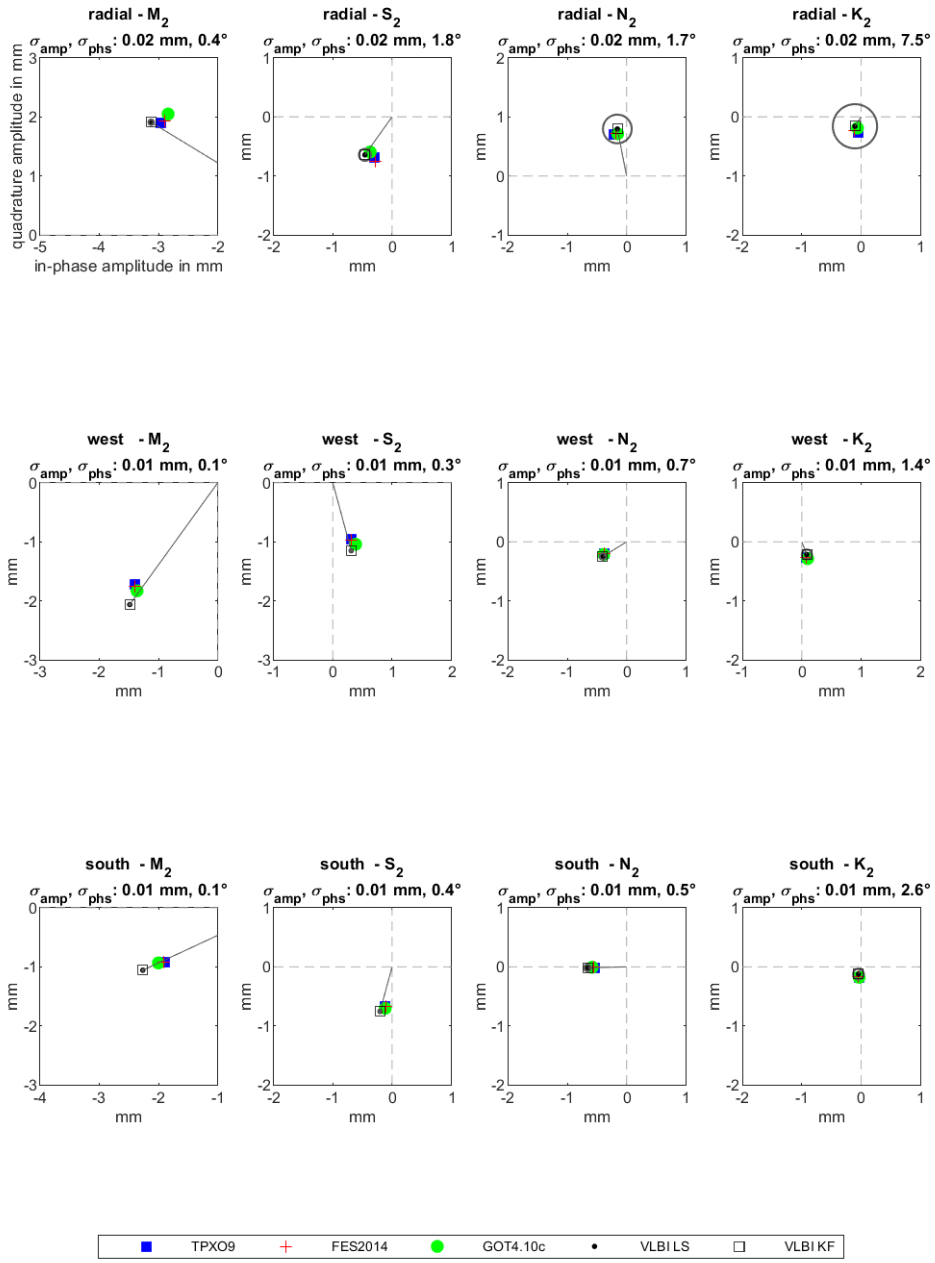
phasor vectors of semi-diurnal tides at HARTRAO



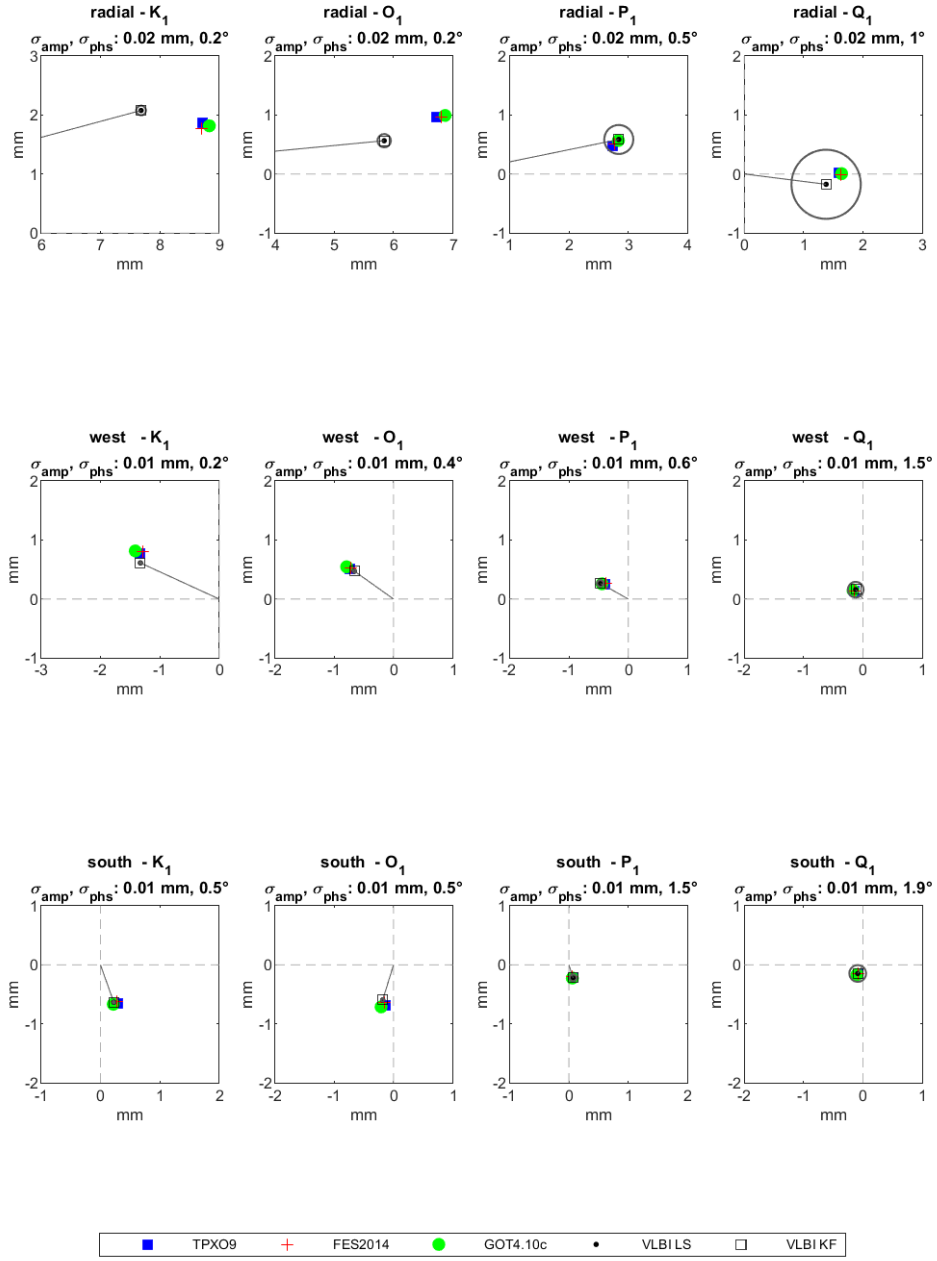
phasor vectors of diurnal tides at HARTRAO

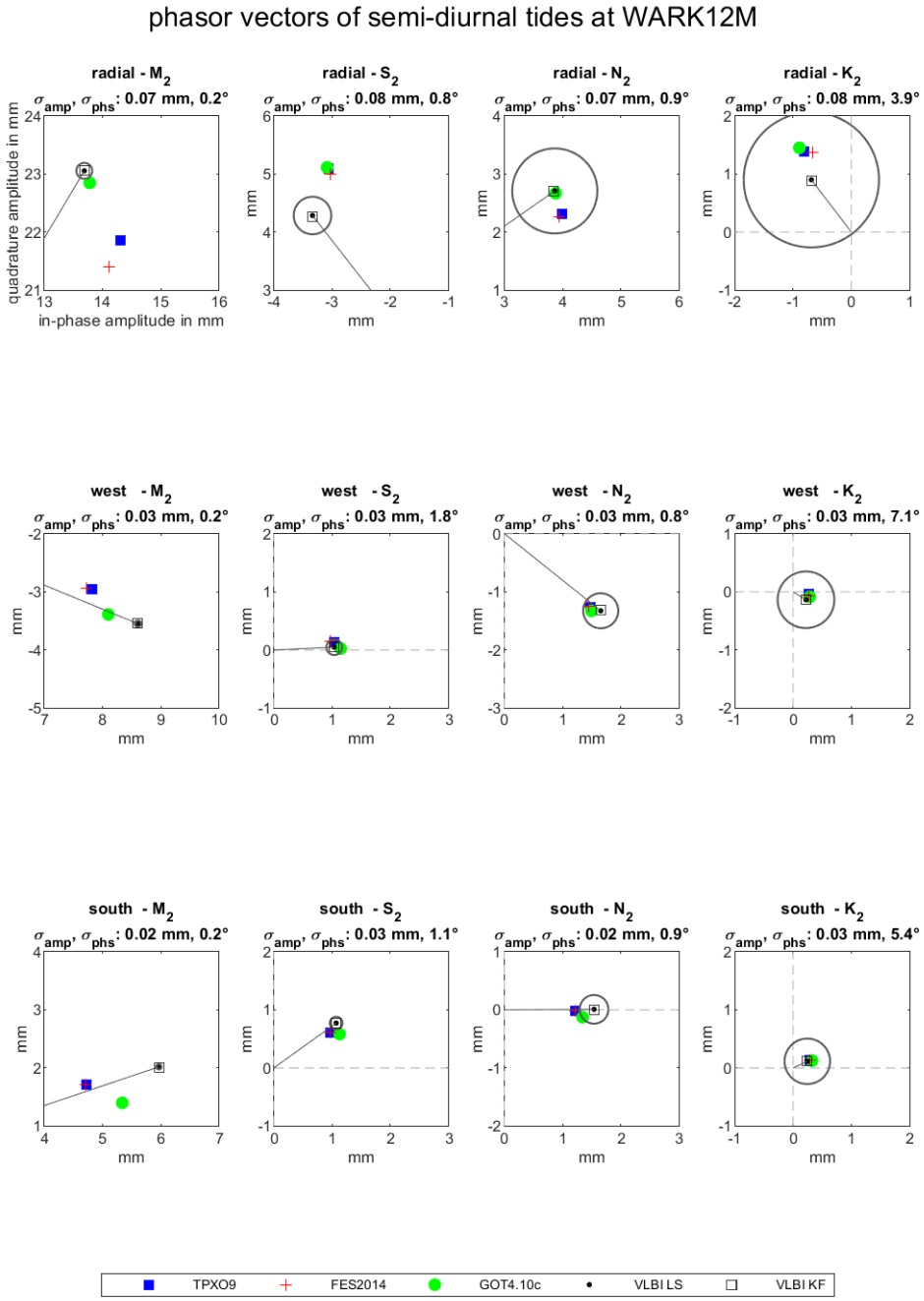


phasor vectors of semi-diurnal tides at YARRA12M

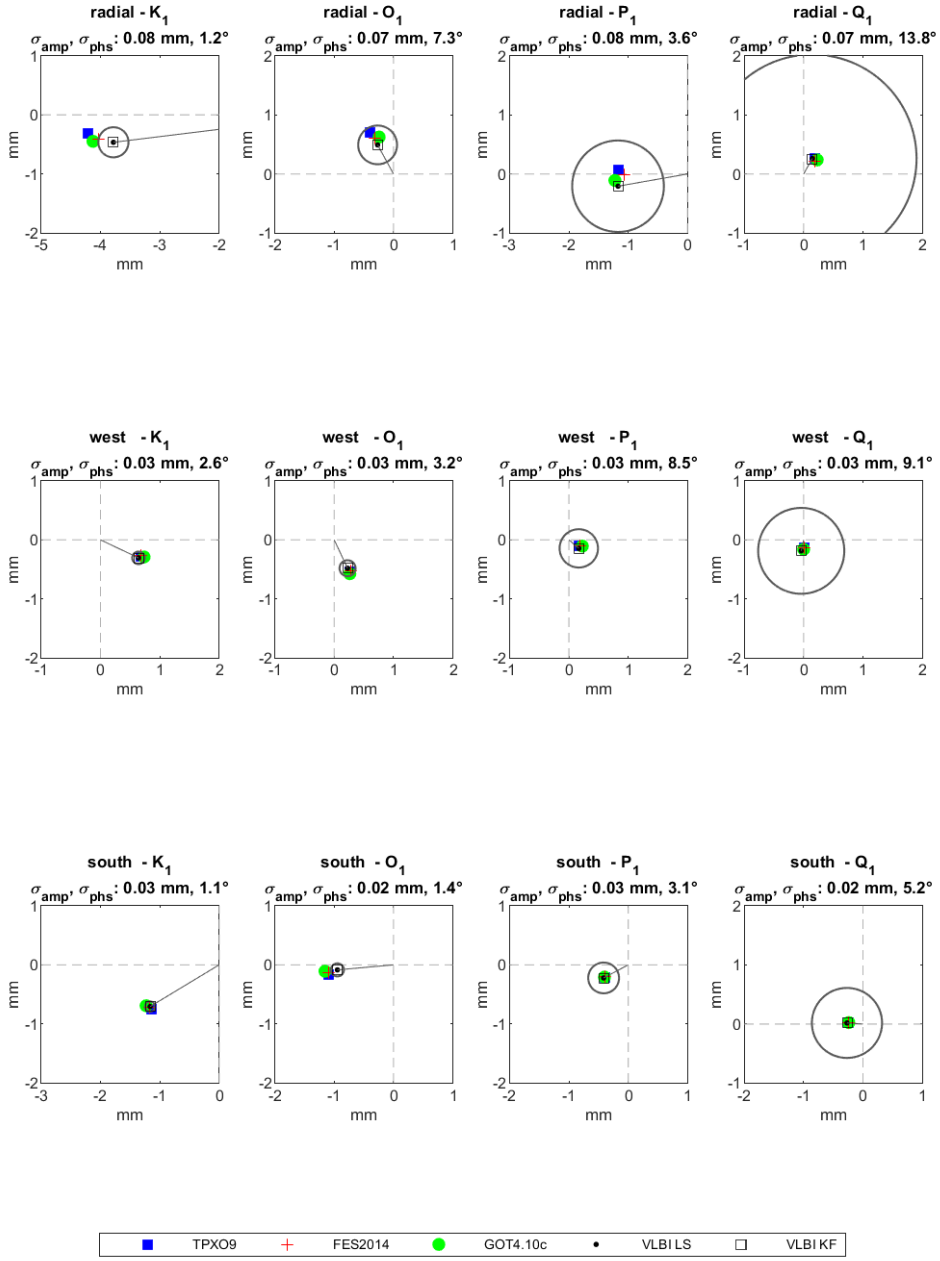


phasor vectors of diurnal tides at YARRA12M

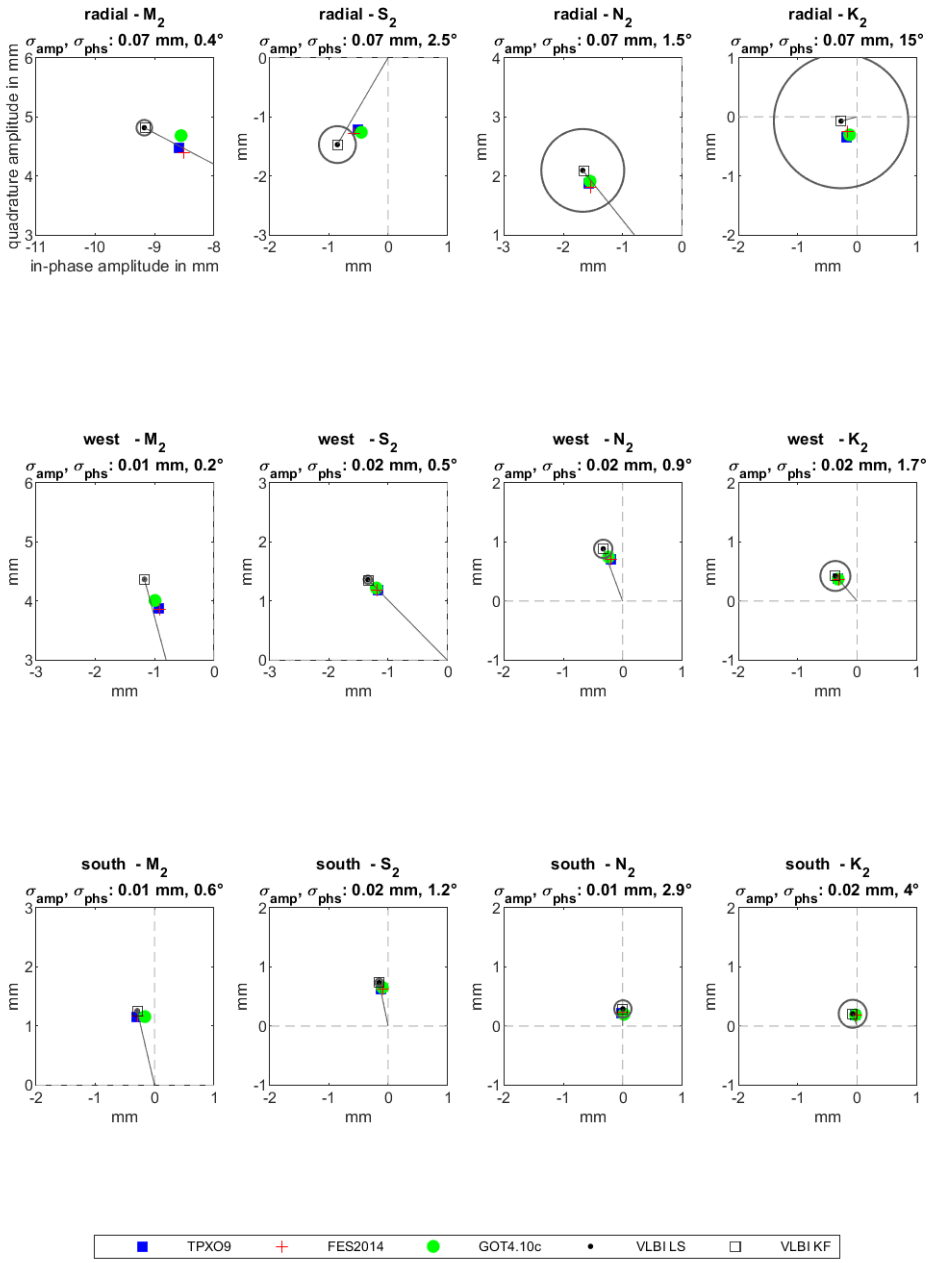


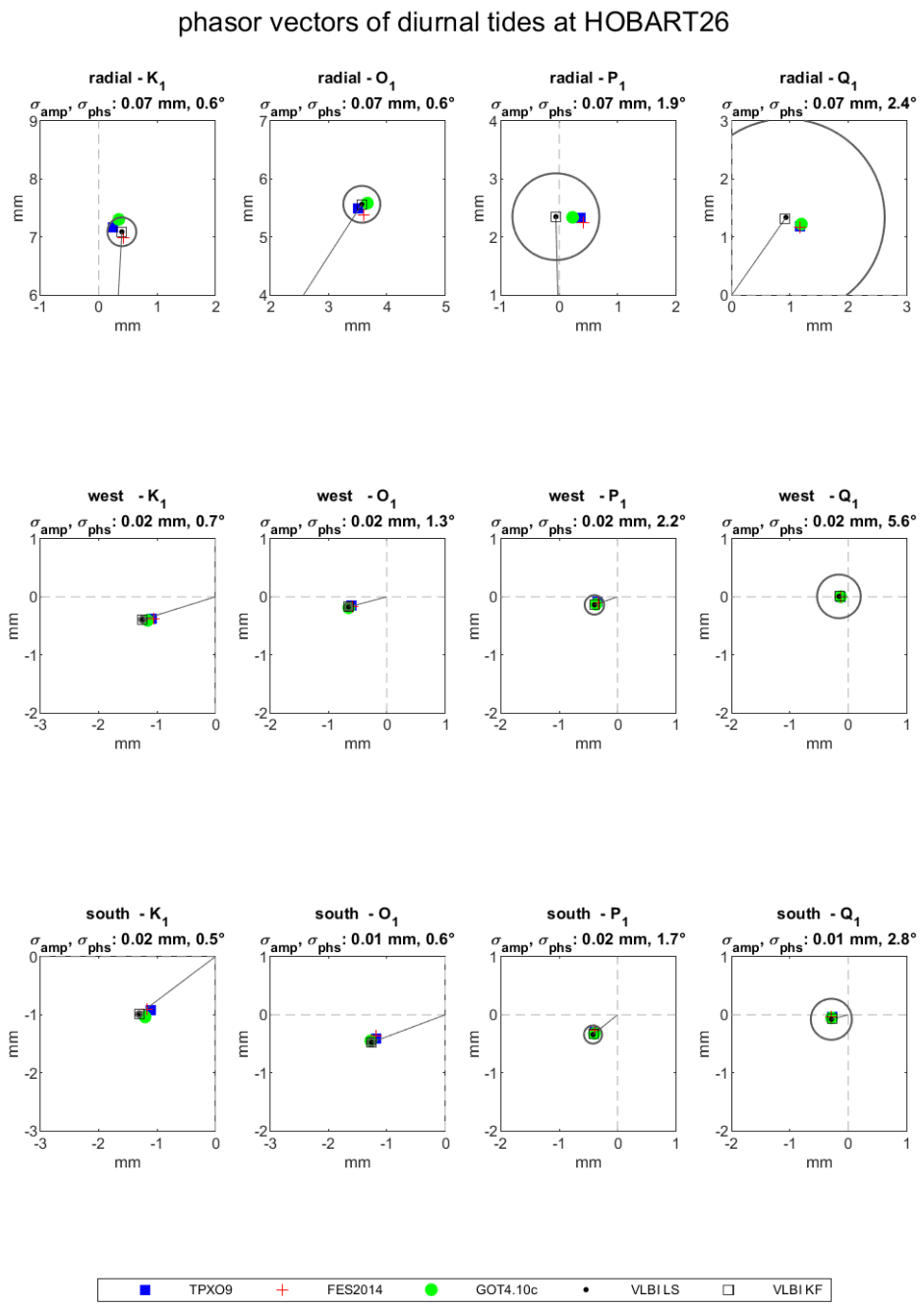

phasor vectors of semi-diurnal tides at WARK12M
radial - M2
σamp, σphs: 0.07 mm, 0.2°
radial - S2
σamp, σphs: 0.08 mm, 0.8°
radial - N2
σamp, σphs: 0.07 mm, 0.9°
radial - K2
σamp, σphs: 0.08 mm, 3.9°
quadrature amplitude in mm
in-phase amplitude in mm
mm
west - M2
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.2°
west - S2
σamp, σphs: 0.03 mm, 1.8°
west - N2
σamp, σphs: 0.03 mm, 0.8°
west - K2
σamp, σphs: 0.03 mm, 7.1°
south - M2
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.2°
south - S2
σamp, σphs: 0.03 mm, 1.1°
south - N2
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.9°
south - K2
σamp, σphs: 0.03 mm, 5.4°
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

phasor vectors of diurnal tides at WARK12M

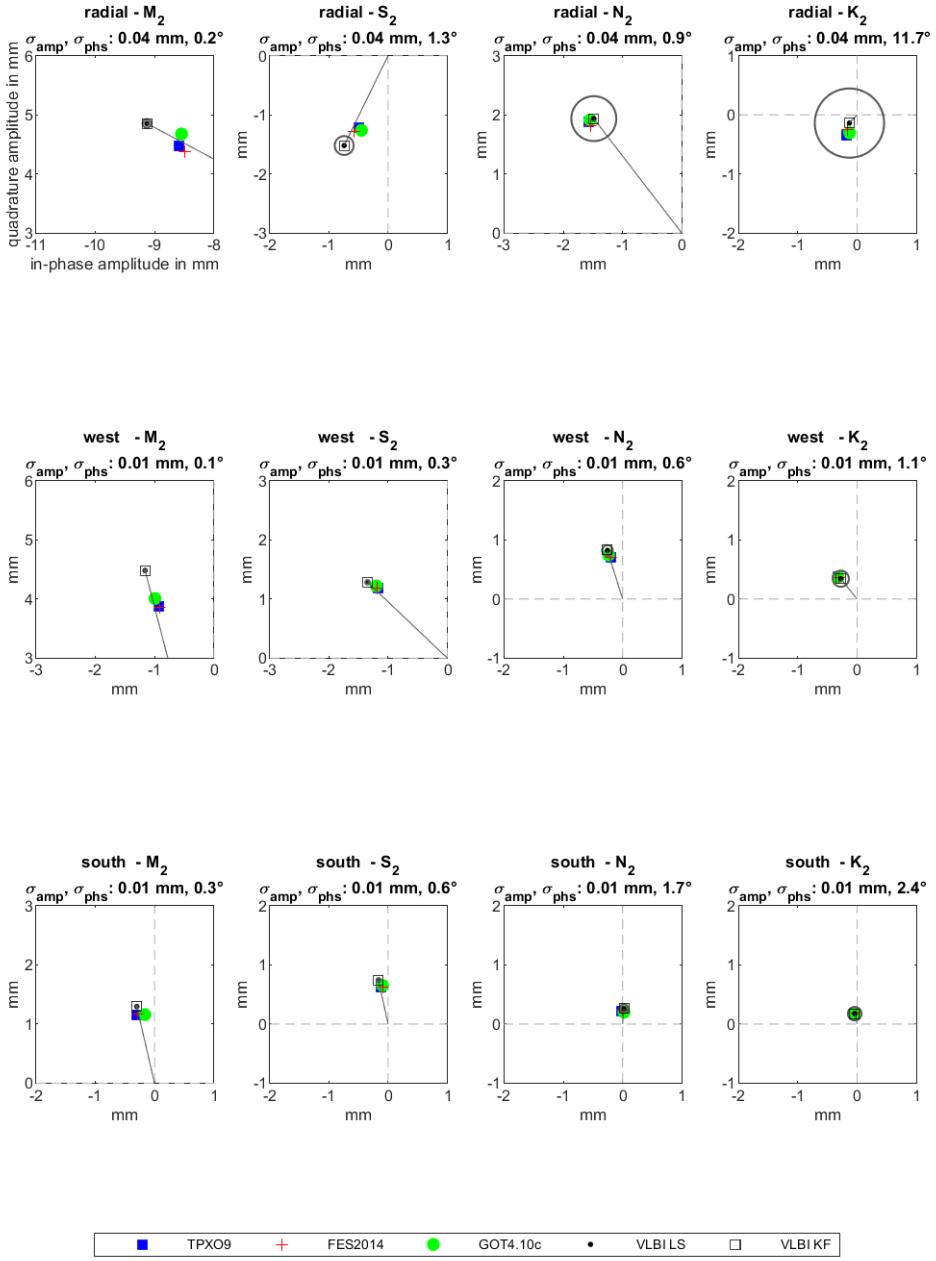


phasor vectors of semi-diurnal tides at HOBART26

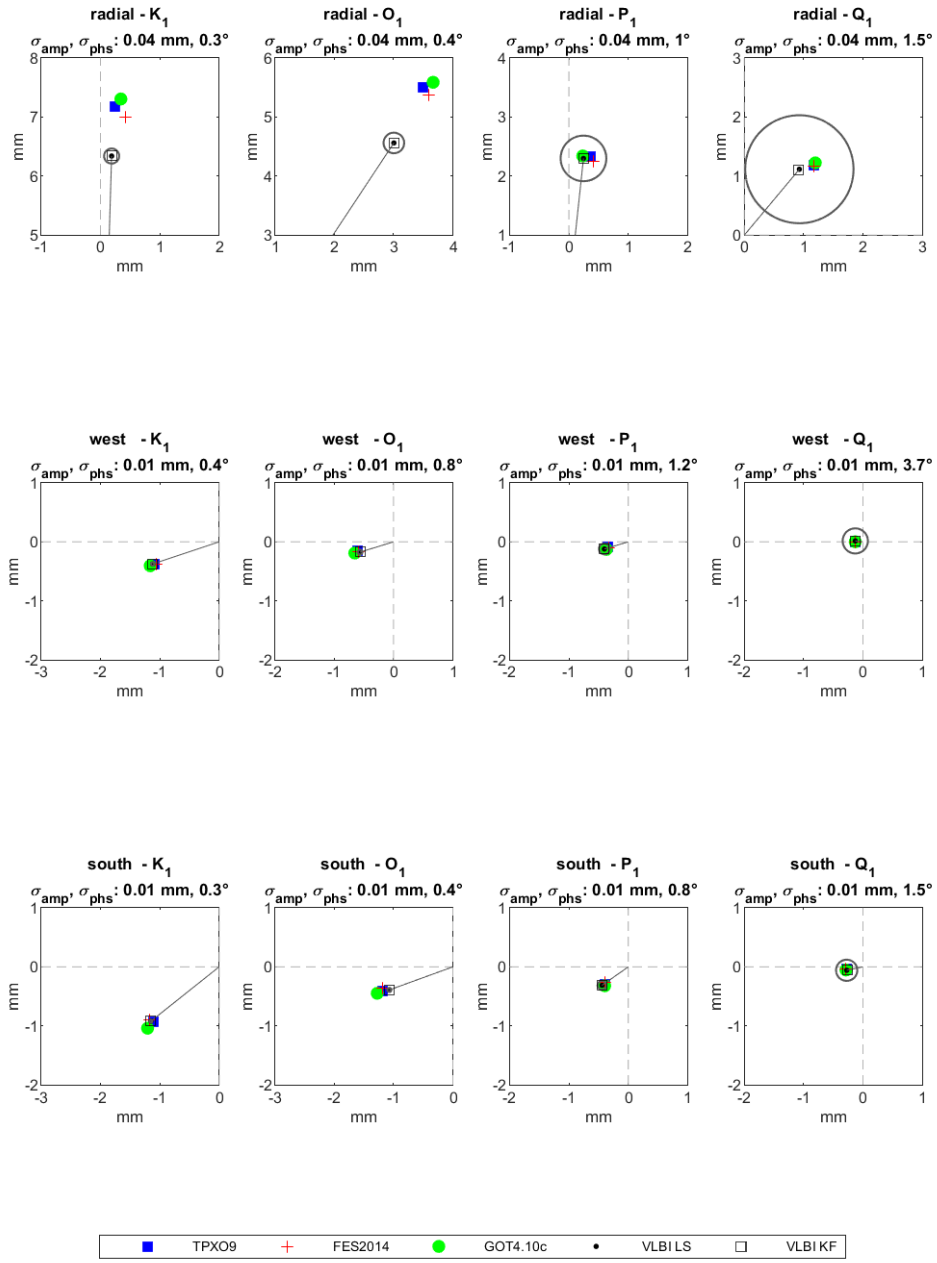



phasor vectors of diurnal tides at HOBART26
radial - K1
σamp, σphs: 0.07 mm, 0.6°
radial - O1
σamp, σphs: 0.07 mm, 0.6°
radial - P1
σamp, σphs: 0.07 mm, 1.9°
radial - Q1
σamp, σphs: 0.07 mm, 2.4°
west - K1
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.7°
west - O1
σamp, σphs: 0.02 mm, 1.3°
west - P1
σamp, σphs: 0.02 mm, 2.2°
west - Q1
σamp, σphs: 0.02 mm, 5.6°
south - K1
σamp, σphs: 0.02 mm, 0.5°
south - O1
σamp, σphs: 0.01 mm, 0.6°
south - P1
σamp, σphs: 0.02 mm, 1.7°
south - Q1
σamp, σphs: 0.01 mm, 2.8°
mm
TPXO9
FES2014
GOT4.10c
VLBI LS
VLBI KF

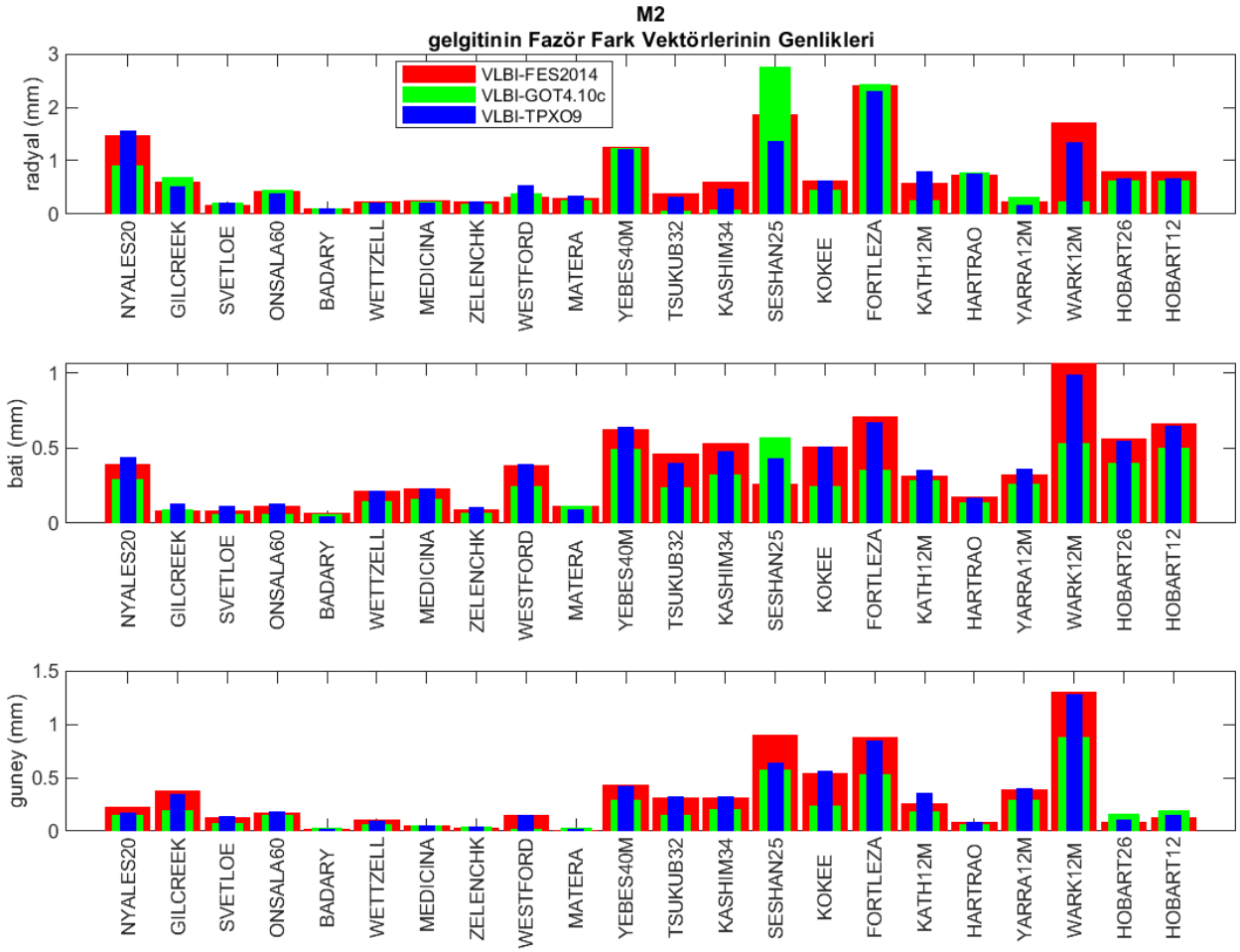
phasor vectors of semi-diurnal tides at HOBART12

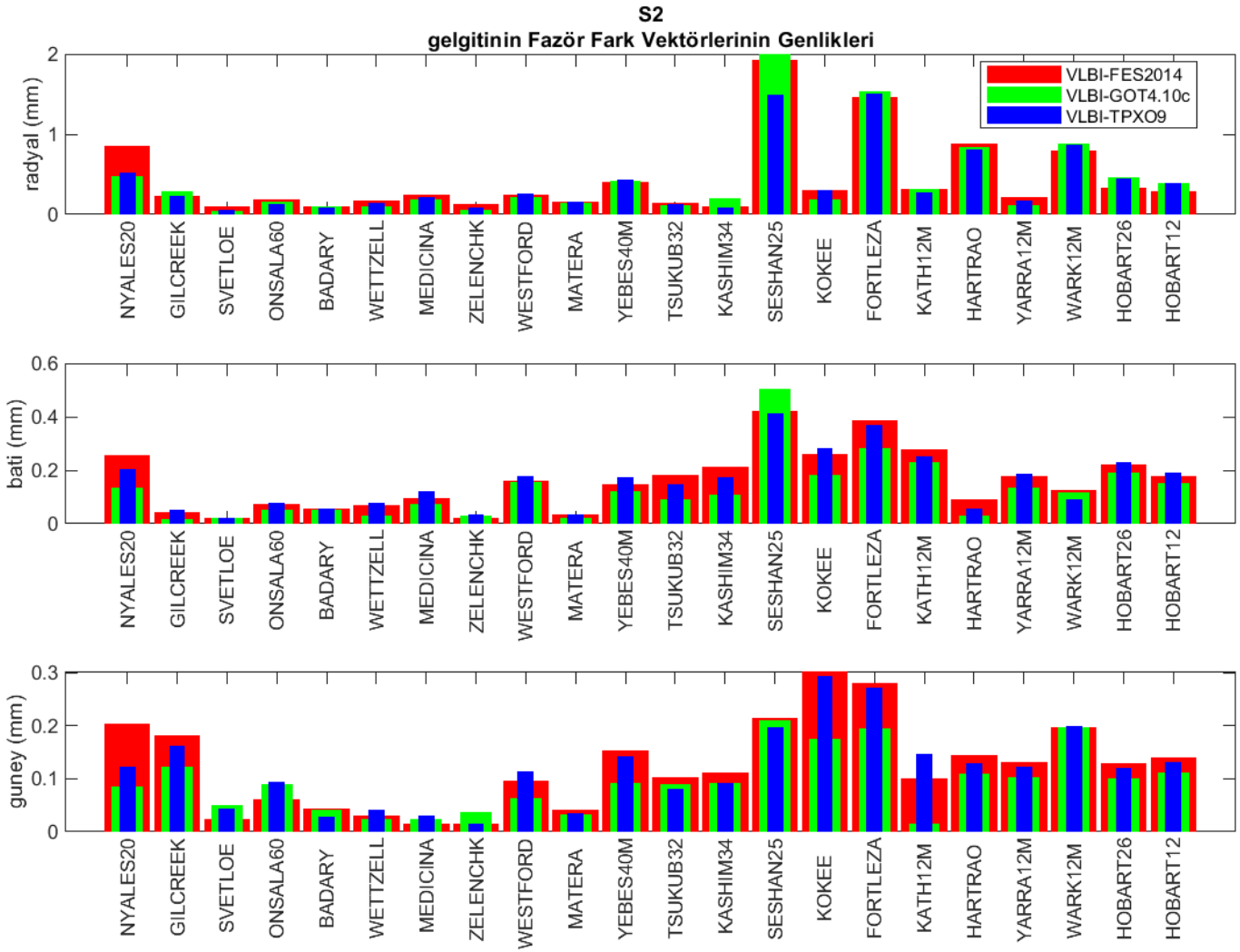


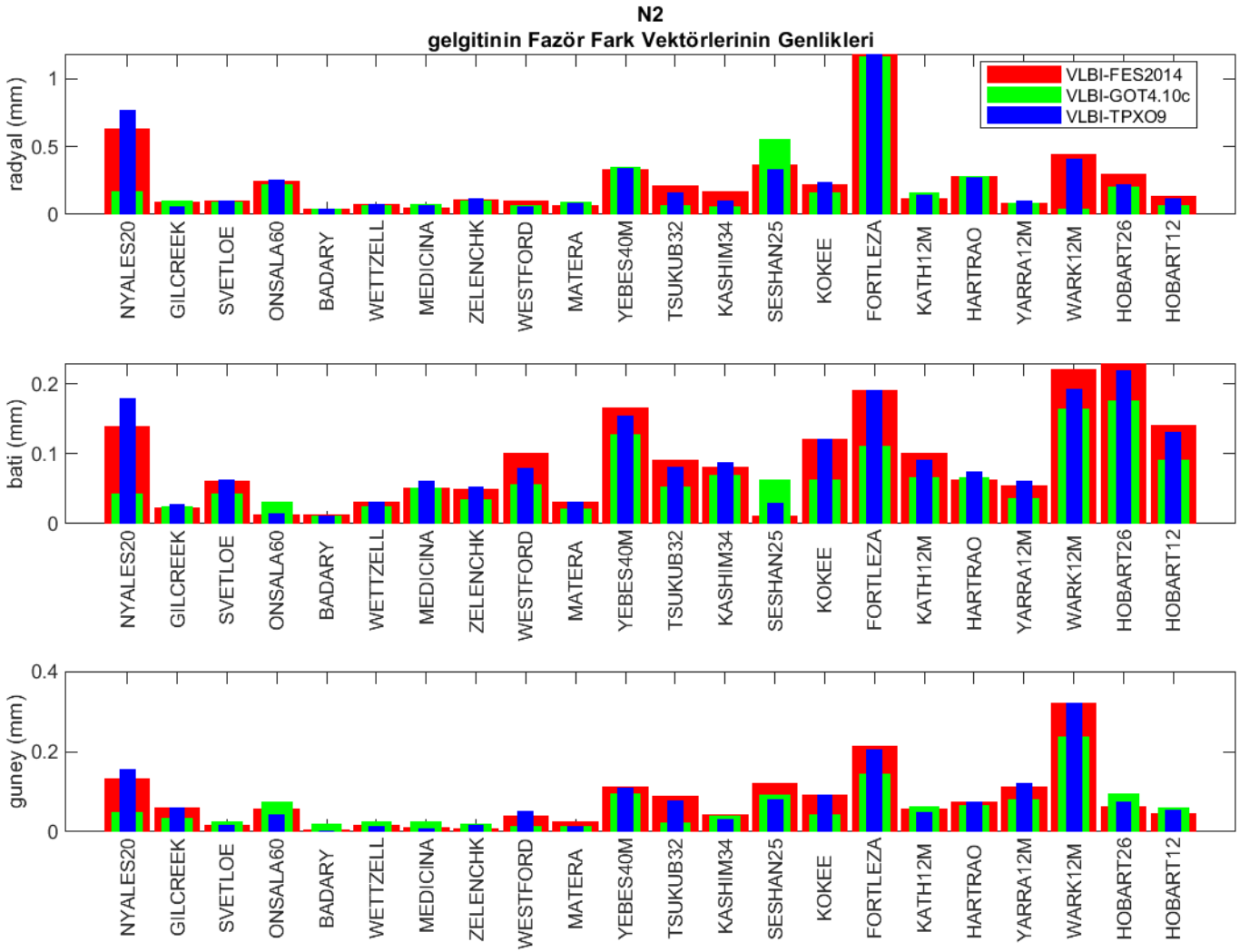
phasor vectors of diurnal tides at HOBART12

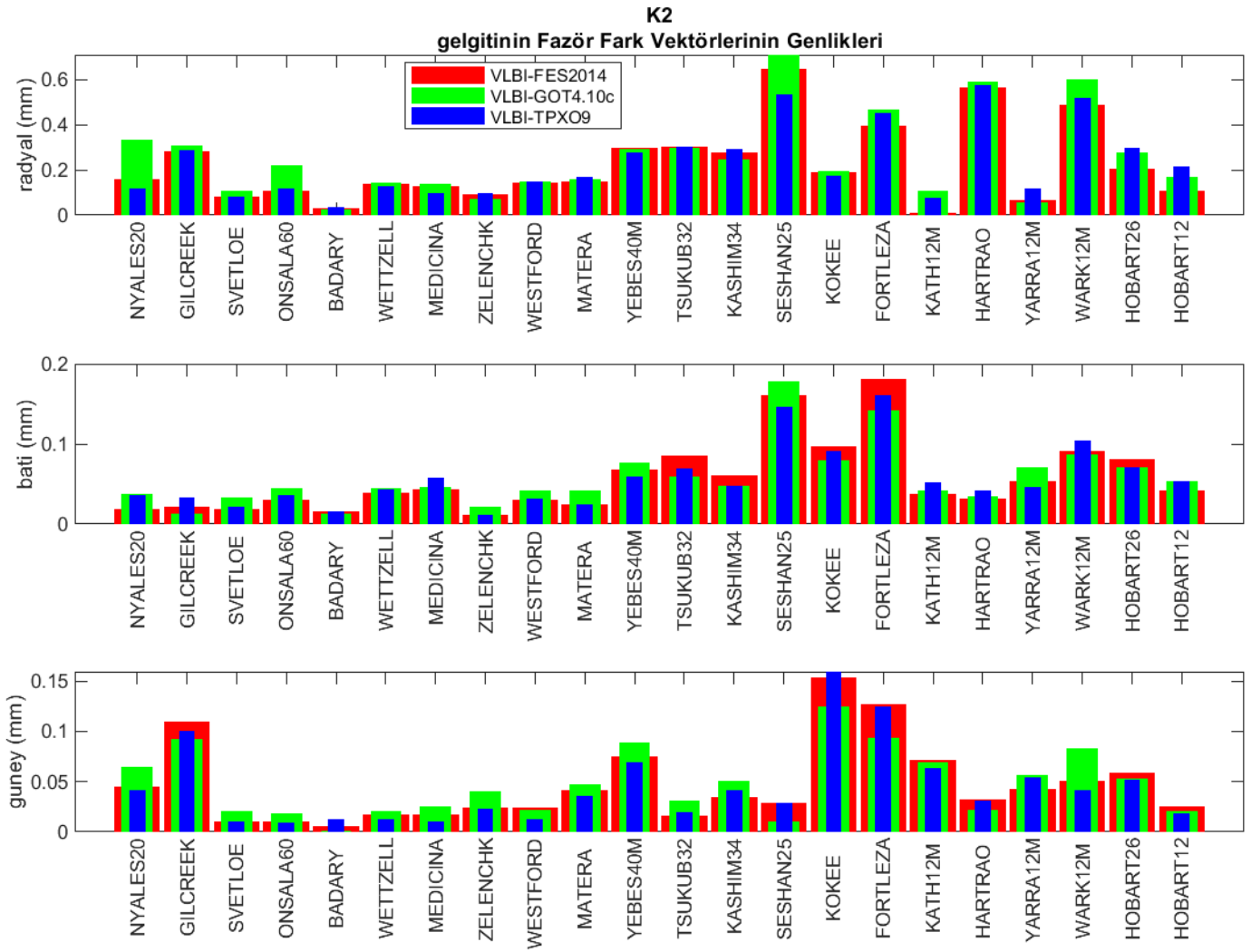


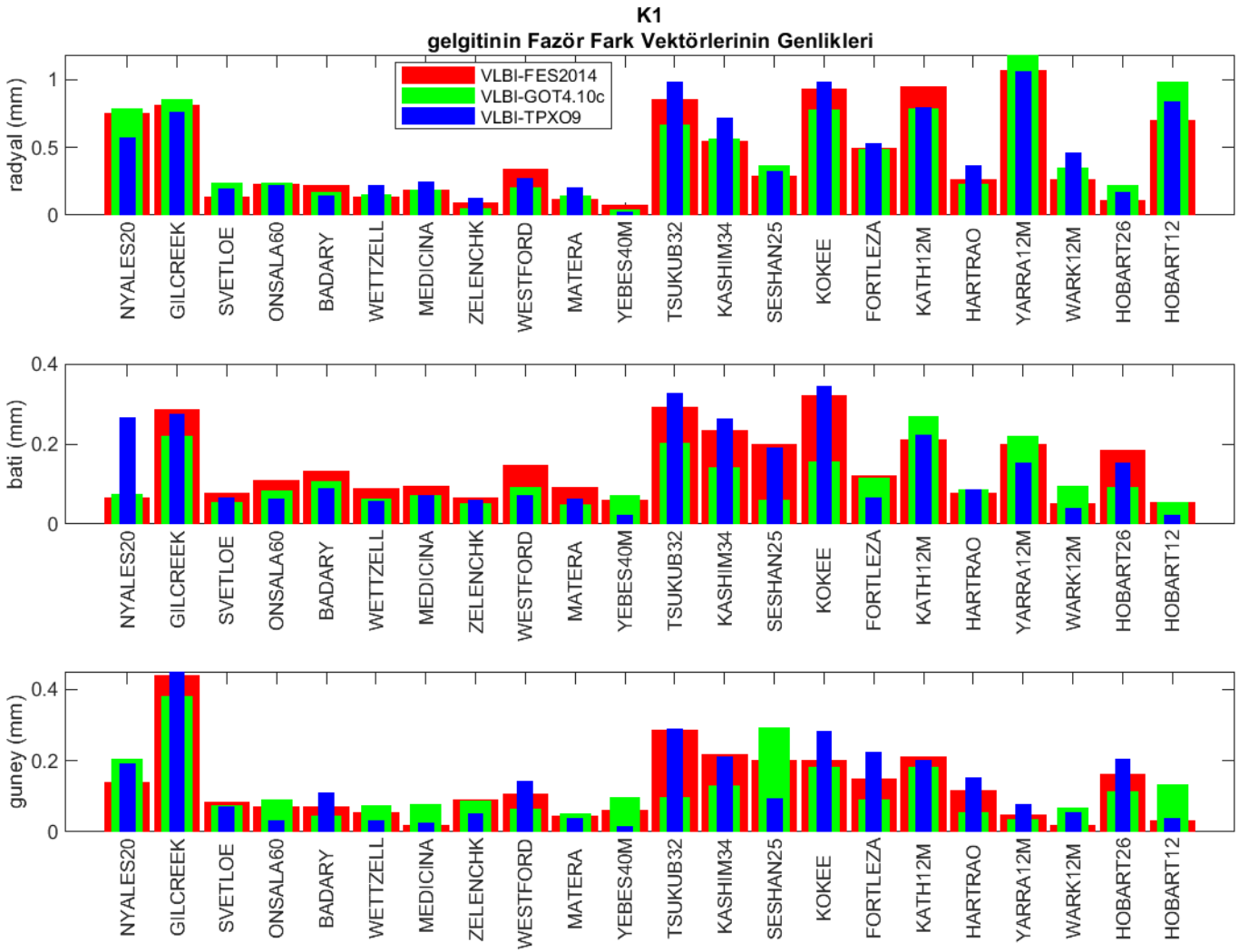
EK 4 –OTL Yer Değiştirmeleri Ana Gelgit Bileşenlerinin Her Biri İçin Tüm İstasyonlardaki, VLBI - Model Fazör Fark Vektörleri Genlikleri

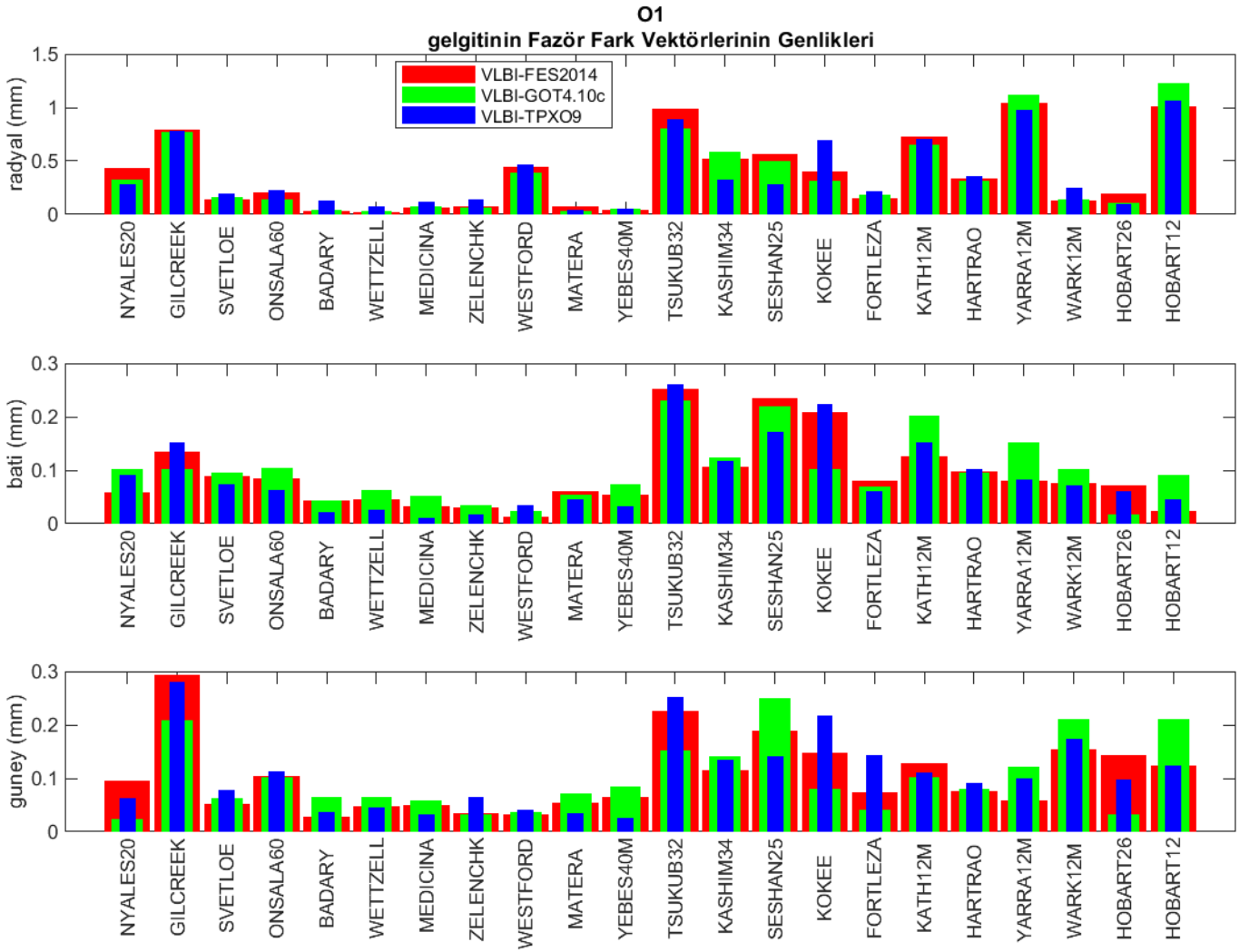


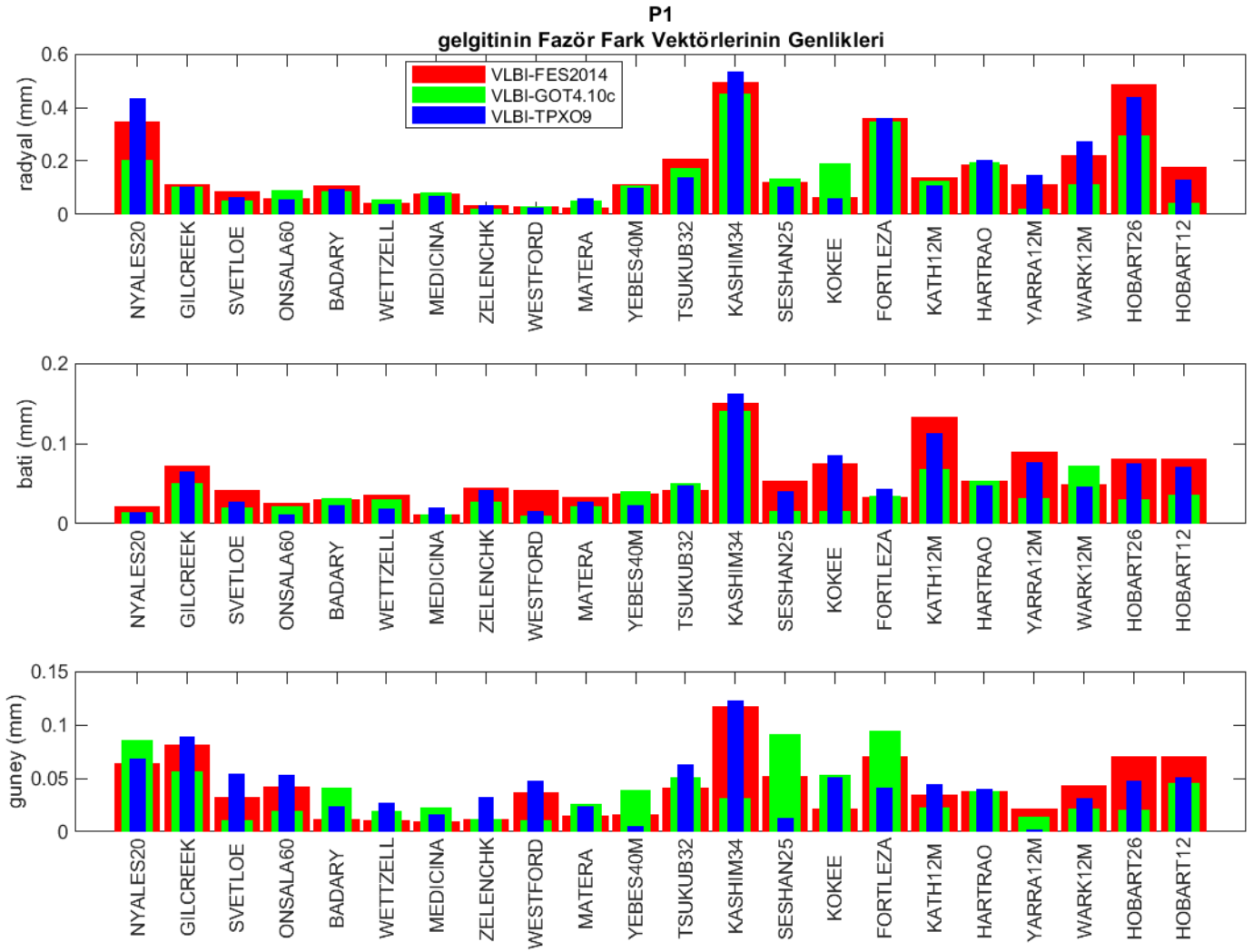

S2
gelgitinin Fazör Fark Vektörlerinin Genlikleri
radyal (mm)
bati (mm)
guney (mm)
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
NYALES20
GILCREEK
SVETLOE
ONSALA60
BADARY
WETTZELL
MEDICINA
ZELENCHK
WESTFORD
MATERA
YEBES40M
TSUKUB32
KASHIM34
SESHAN25
KOKEE
FORTLEZA
KATH12M
HARTRAO
YARRA12M
WARK12M
HOBART26
HOBART12

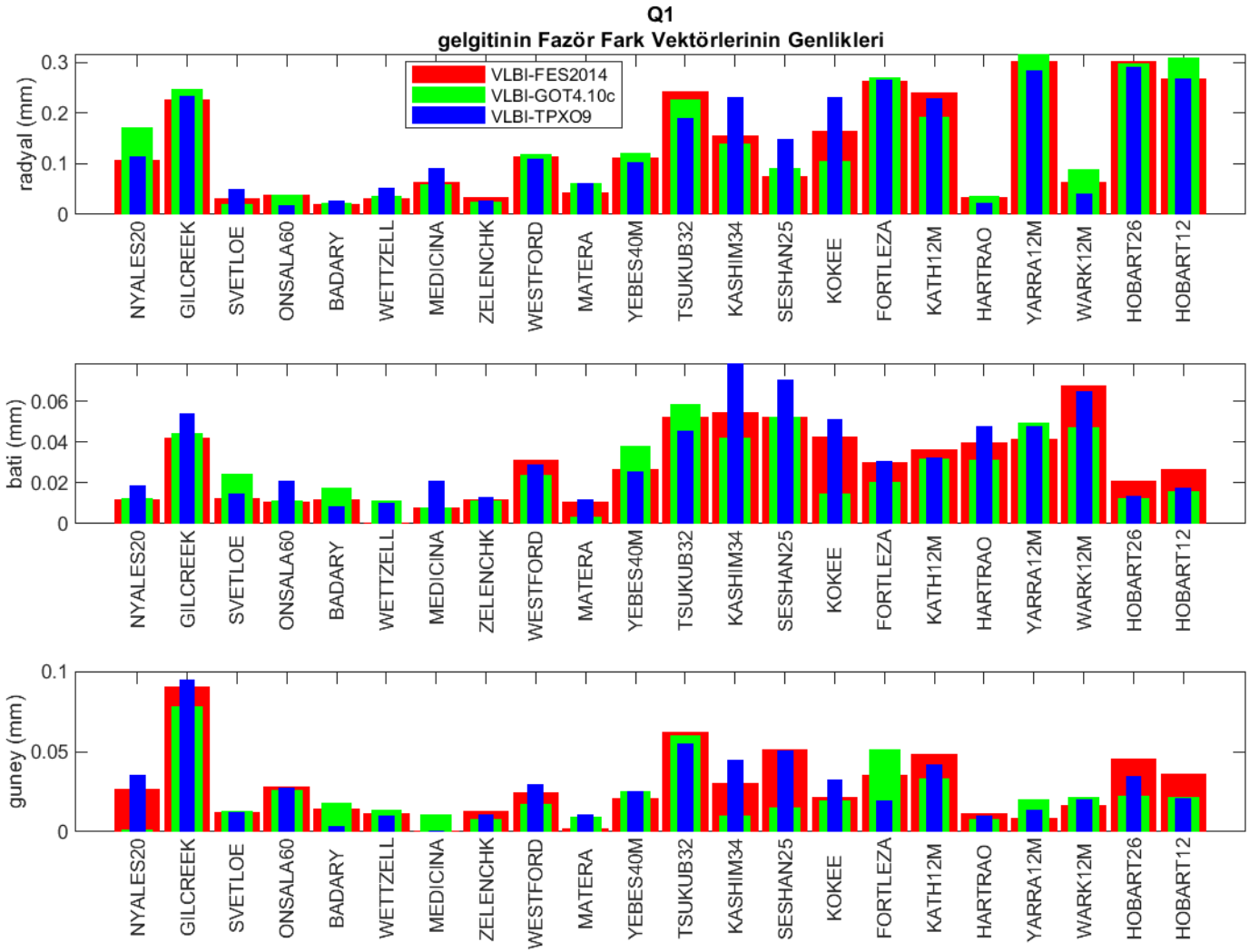

N2
gelgitinin Fazör Fark Vektörlerinin Genlikleri
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
radyal (mm)
bati (mm)
guney (mm)
NYALES20
GILCREEK
SVETLOE
ONSALA60
BADARY
WETTZELL
MEDICINA
ZELENCHK
WESTFORD
MATERA
YEBES40M
TSUKUB32
KASHIM34
SESHAN25
KOKEE
FORTLEZA
KATH12M
HARTRAO
YARRA12M
WARK12M
HOBART26
HOBART12


K2
gelgitinin Fazör Fark Vektörlerinin Genlikleri
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
radyal (mm)
bati (mm)
guney (mm)
NYALES20
GILCREEK
SVETLOE
ONSALA60
BADARY
WETTZELL
MEDICINA
ZELENCHK
WESTFORD
MATERA
YEBES40M
TSUKUB32
KASHIM34
SESHAN25
KOKEE
FORTLEZA
KATH12M
HARTRAO
YARRA12M
WARK12M
HOBART26
HOBART12

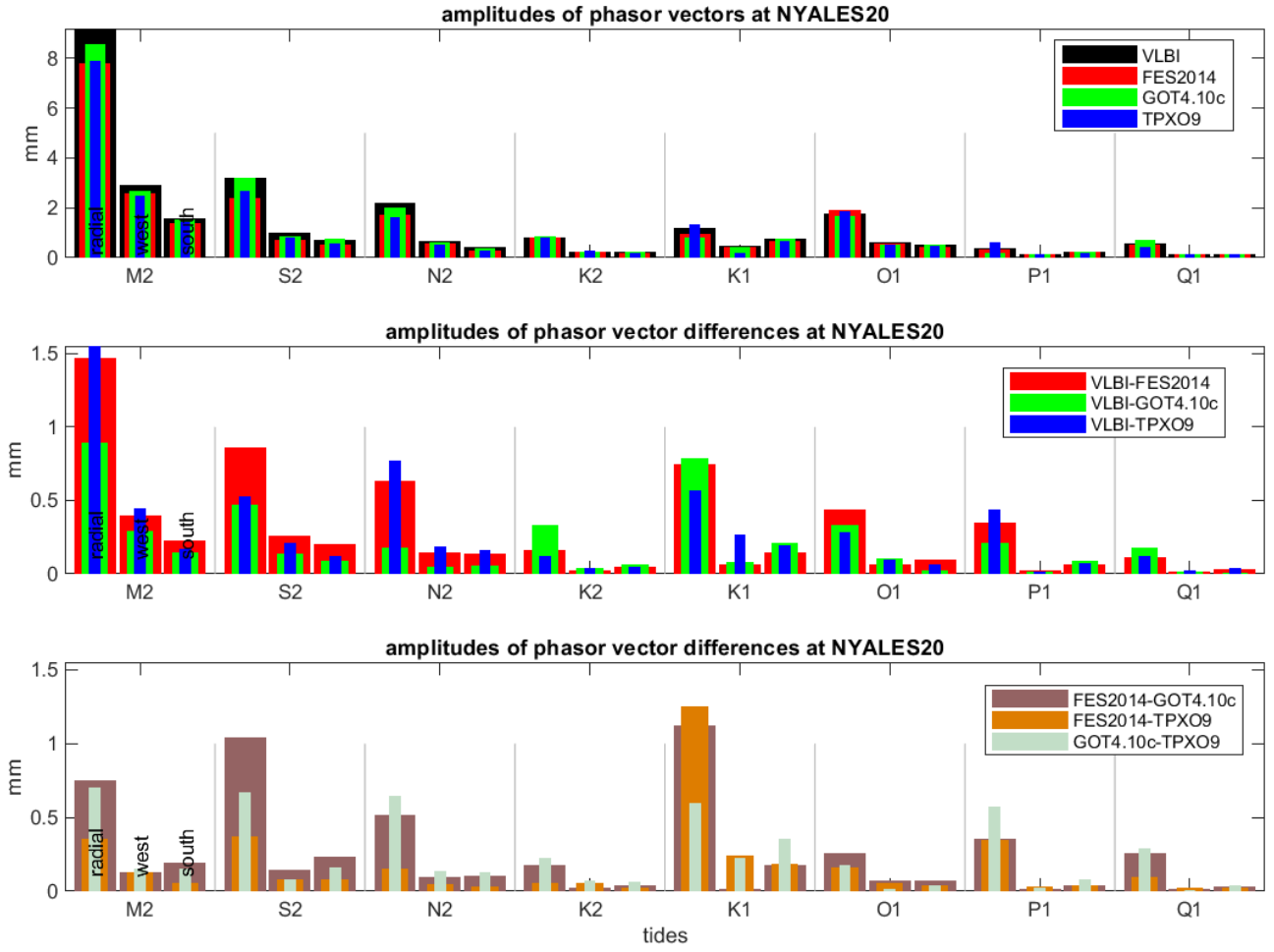

K1
gelgitinin Fazör Fark Vektörlerinin Genlikleri
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
radyal (mm)
bati (mm)
guney (mm)
0
0.5
1
0.2
0.4
NYALES20
GILCREEK
SVETLOE
ONSALA60
BADARY
WETTZELL
MEDICINA
ZELENCHK
WESTFORD
MATERA
YEBES40M
TSUKUB32
KASHIM34
SESHAN25
KOKEE
FORTLEZA
KATH12M
HARTRAO
YARRA12M
WARK12M
HOBART26
HOBART12

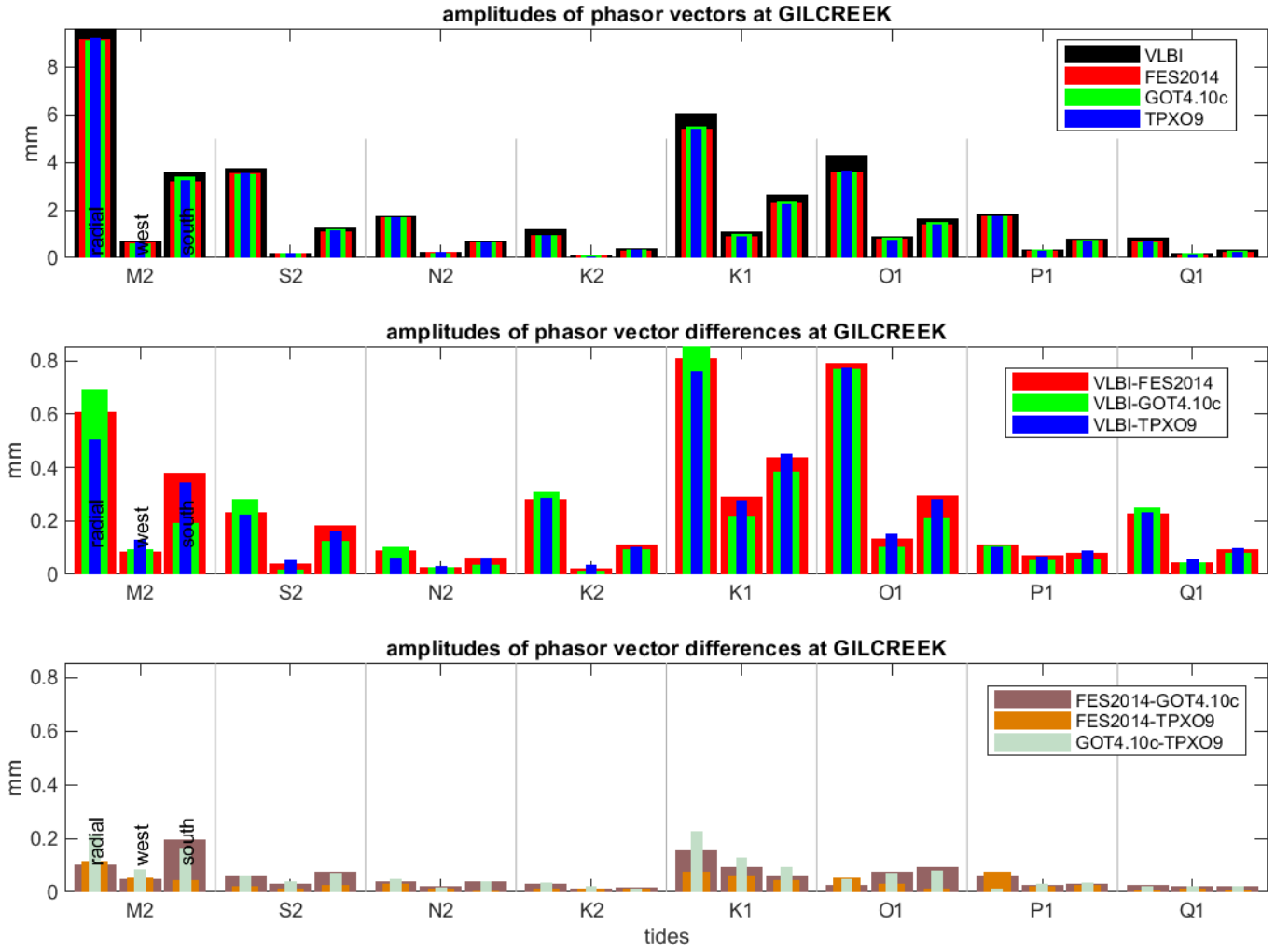

O1
gelgitinin Fazör Fark Vektörlerinin Genlikleri
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
radyal (mm)
bati (mm)
guney (mm)
NYALES20
GILCREEK
SVETLOE
ONSALA60
BADARY
WETTZELL
MEDICINA
ZELENCHK
WESTFORD
MATERA
YEBES40M
TSUKUB32
KASHIM34
SESHAN25
KOKEE
FORTLEZA
KATH12M
HARTRAO
YARRA12M
WARK12M
HOBART26
HOBART12

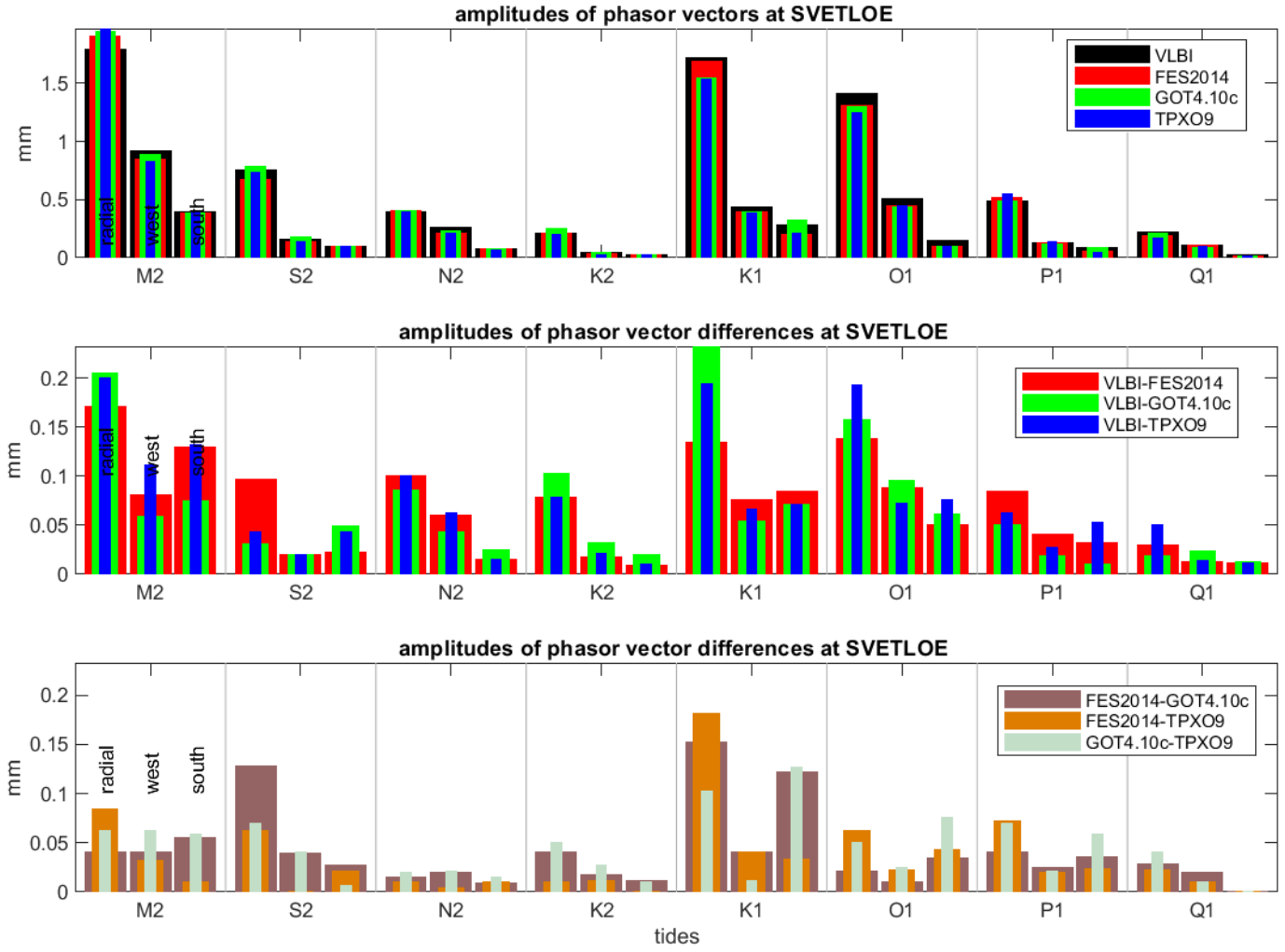

P1
gelgitinin Fazör Fark Vektörlerinin Genlikleri
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
radyal (mm)
bati (mm)
guney (mm)
NYALES20
GILCREEK
SVETLOE
ONSALA60
BADARY
WETTZELL
MEDICINA
ZELENCHK
WESTFORD
MATERA
YEBES40M
TSUKUB32
KASHIM34
SESHAN25
KOKEE
FORTLEZA
KATH12M
HARTRAO
YARRA12M
WARK12M
HOBART26
HOBART12

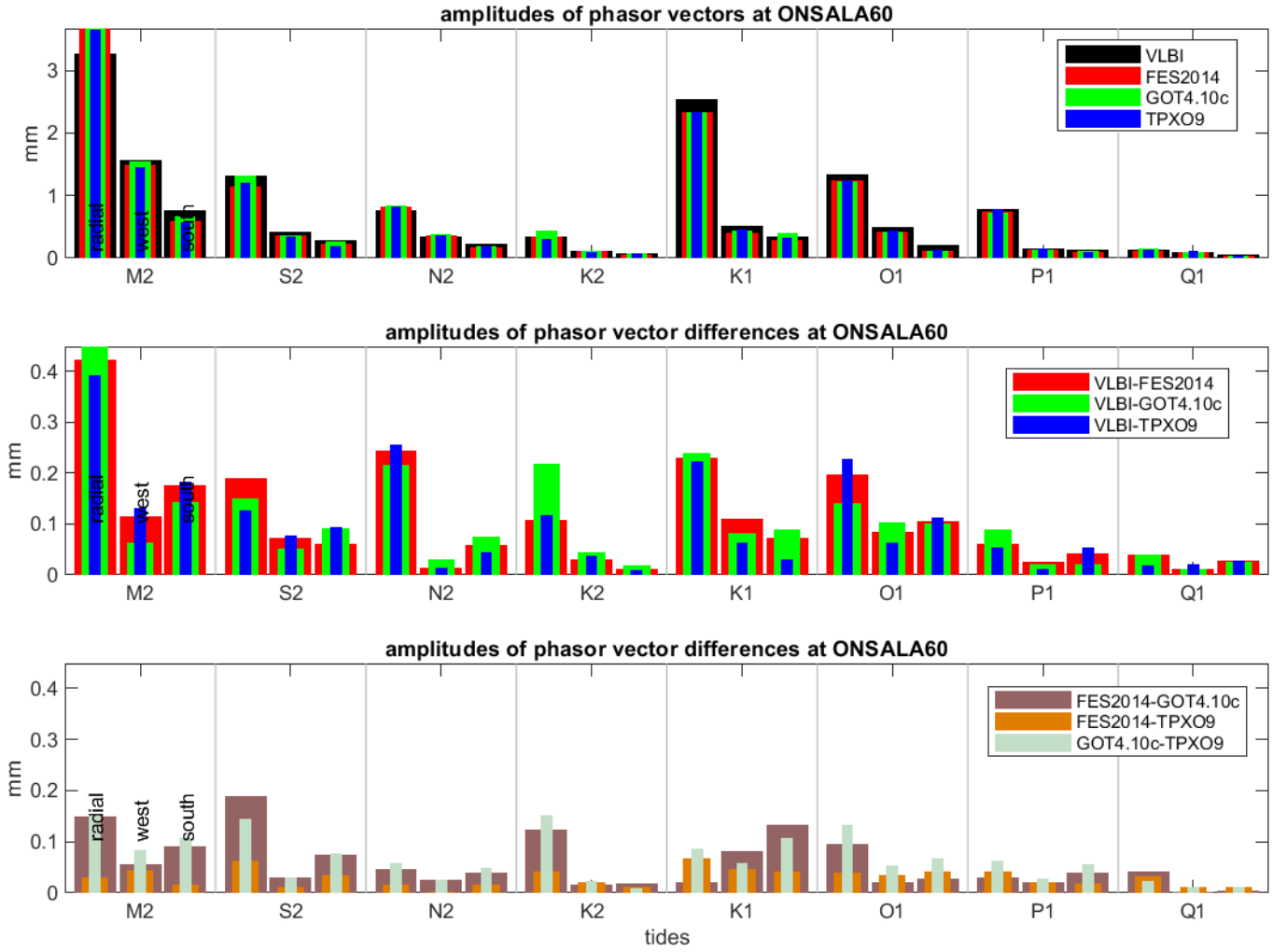

Q1
gelgitinin Fazör Fark Vektörlerinin Genlikleri
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
radyal (mm)
bati (mm)
guney (mm)
NYALES20
GILCREEK
SVETLOE
ONSALA60
BADARY
WETTZELL
MEDICINA
ZELENCHK
WESTFORD
MATERA
YEBES40M
TSUKUB32
KASHIM34
SESHAN25
KOKEE
FORTLEZA
KATH12M
HARTRAO
YARRA12M
WARK12M
HOBART26
HOBART12

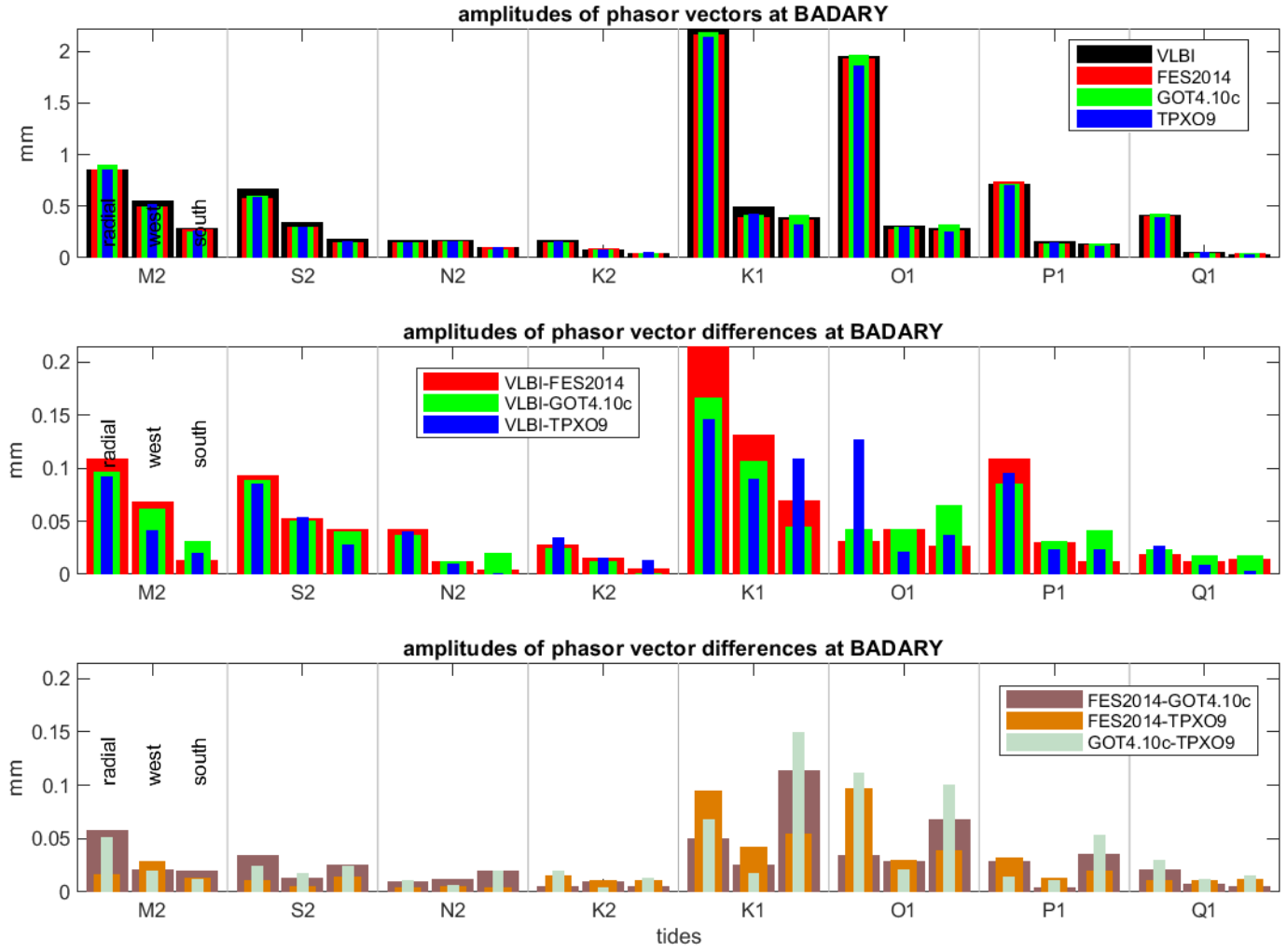
EK 5 –Her Bir İstasyon İçin OTL Yer Değiştirmeleri Ana Gelgit Bileşenlerinin, VLBI - Model Fazör Fark Vektörleri Genlikleri

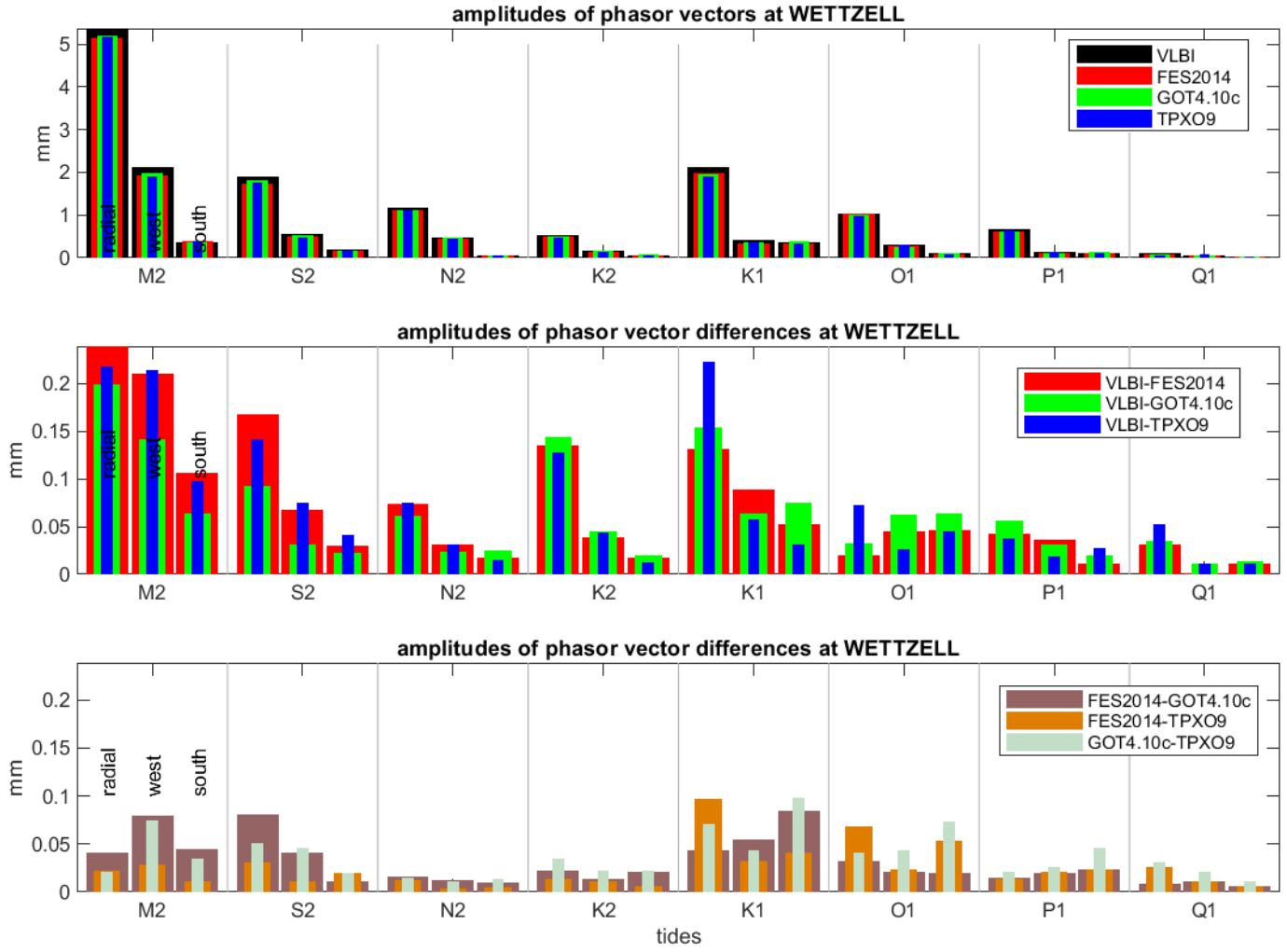


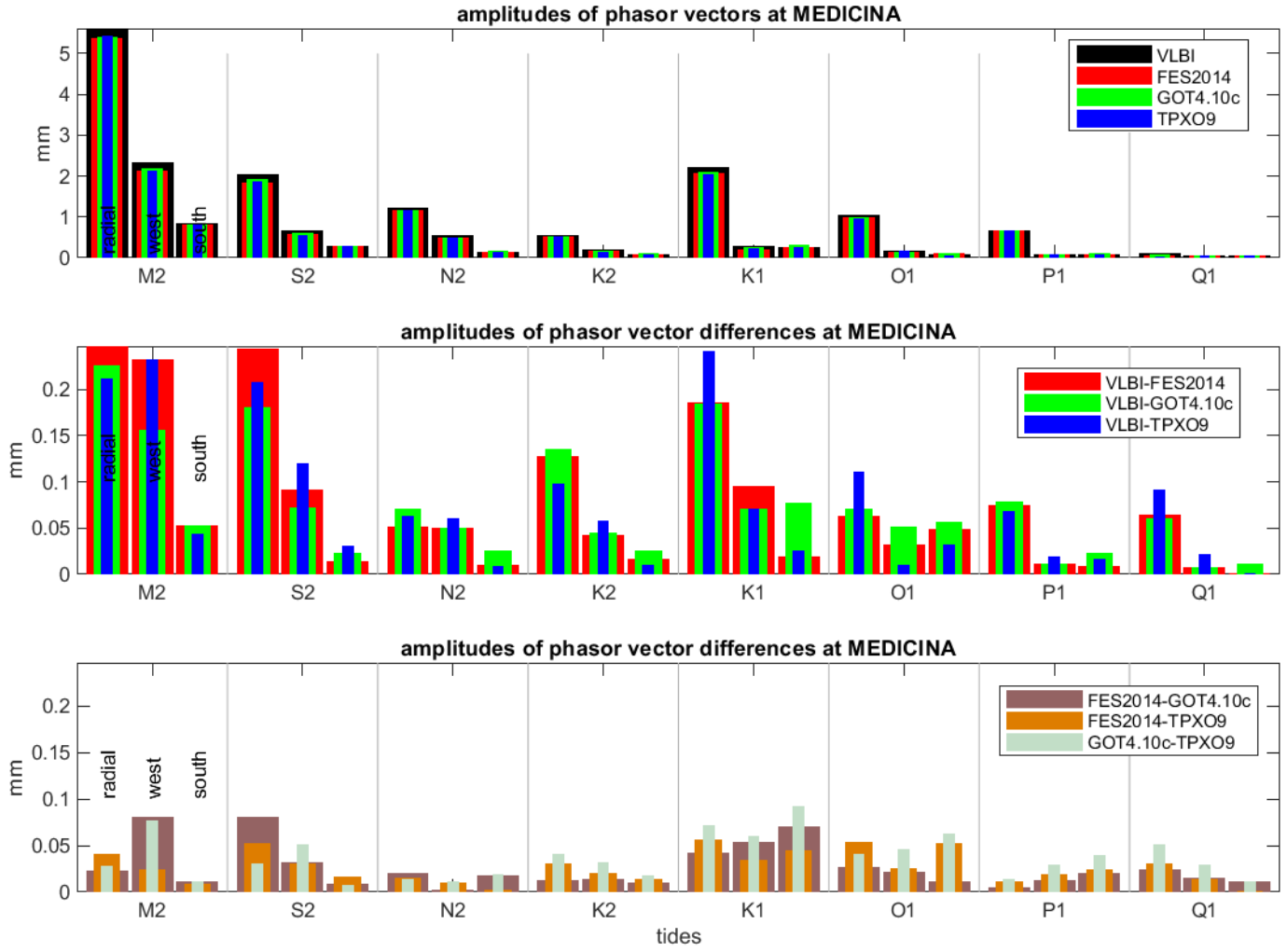

amplitudes of phasor vectors at GILCREEK
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at GILCREEK
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at GILCREEK
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

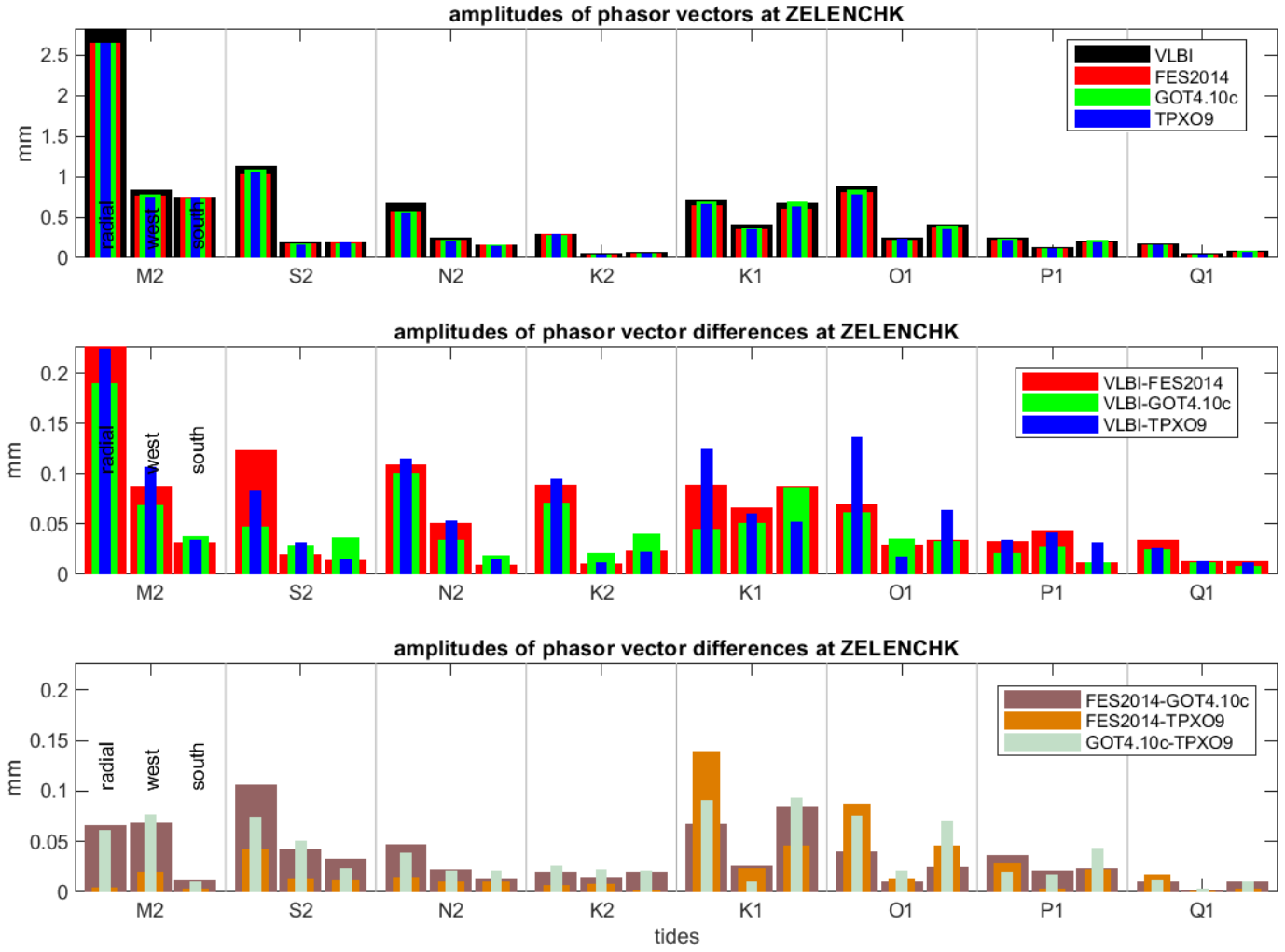

amplitudes of phasor vectors at SVETLOE
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at SVETLOE
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at SVETLOE
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

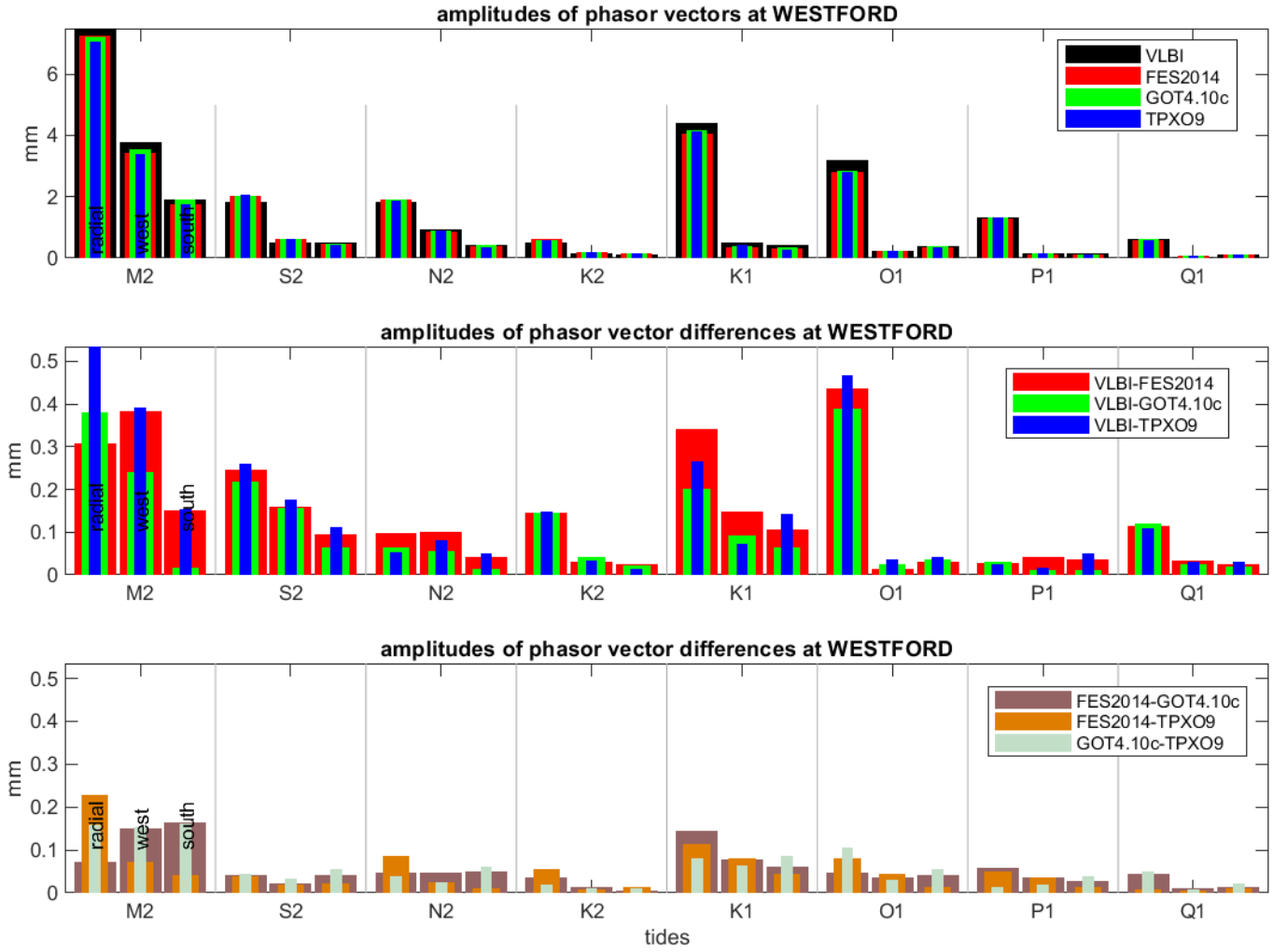

amplitudes of phasor vectors at ONSALA60
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
mm
radial
west
south
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at ONSALA60
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at ONSALA60
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

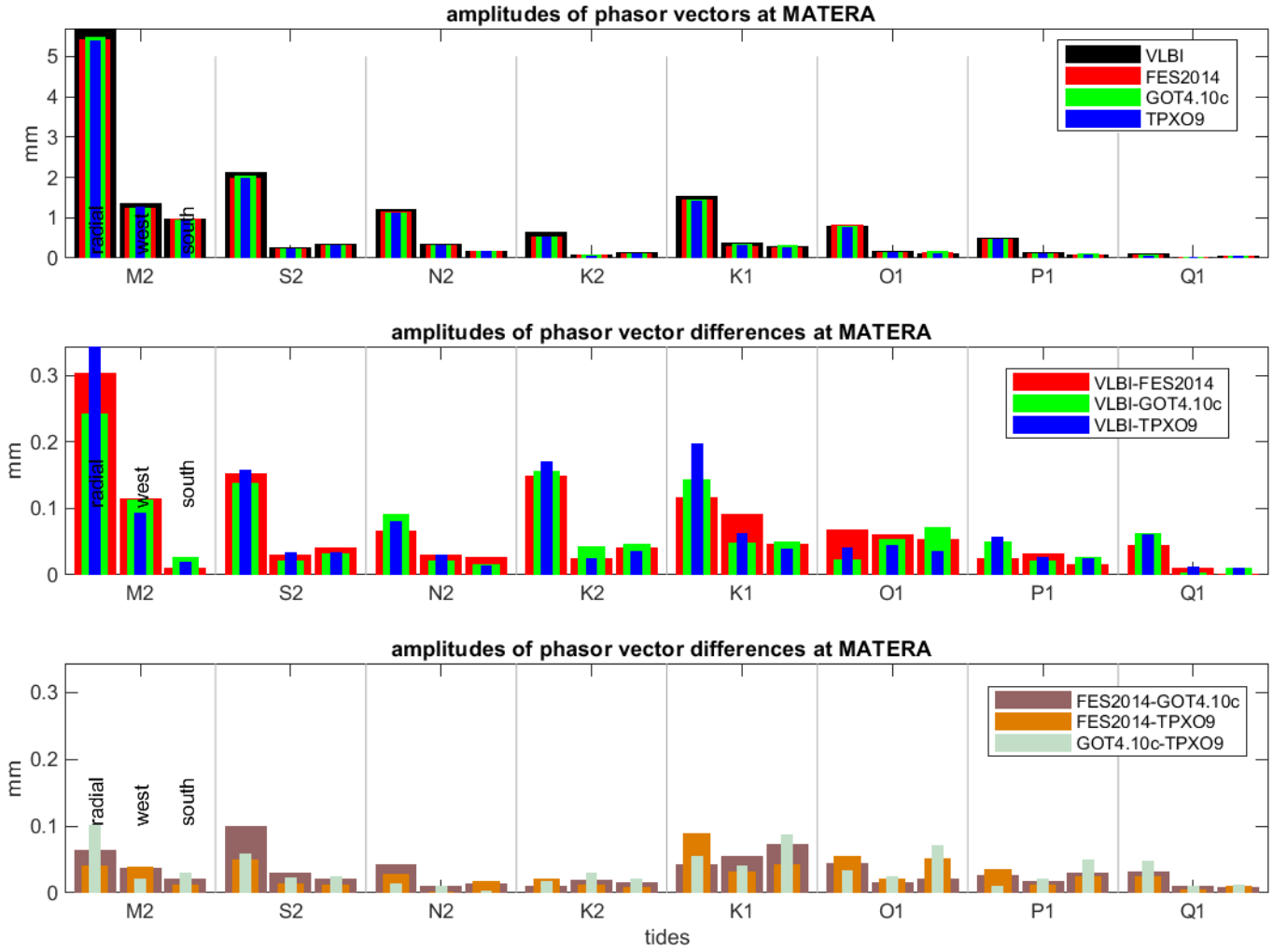

amplitudes of phasor vectors at BADARY
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at BADARY
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at BADARY
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

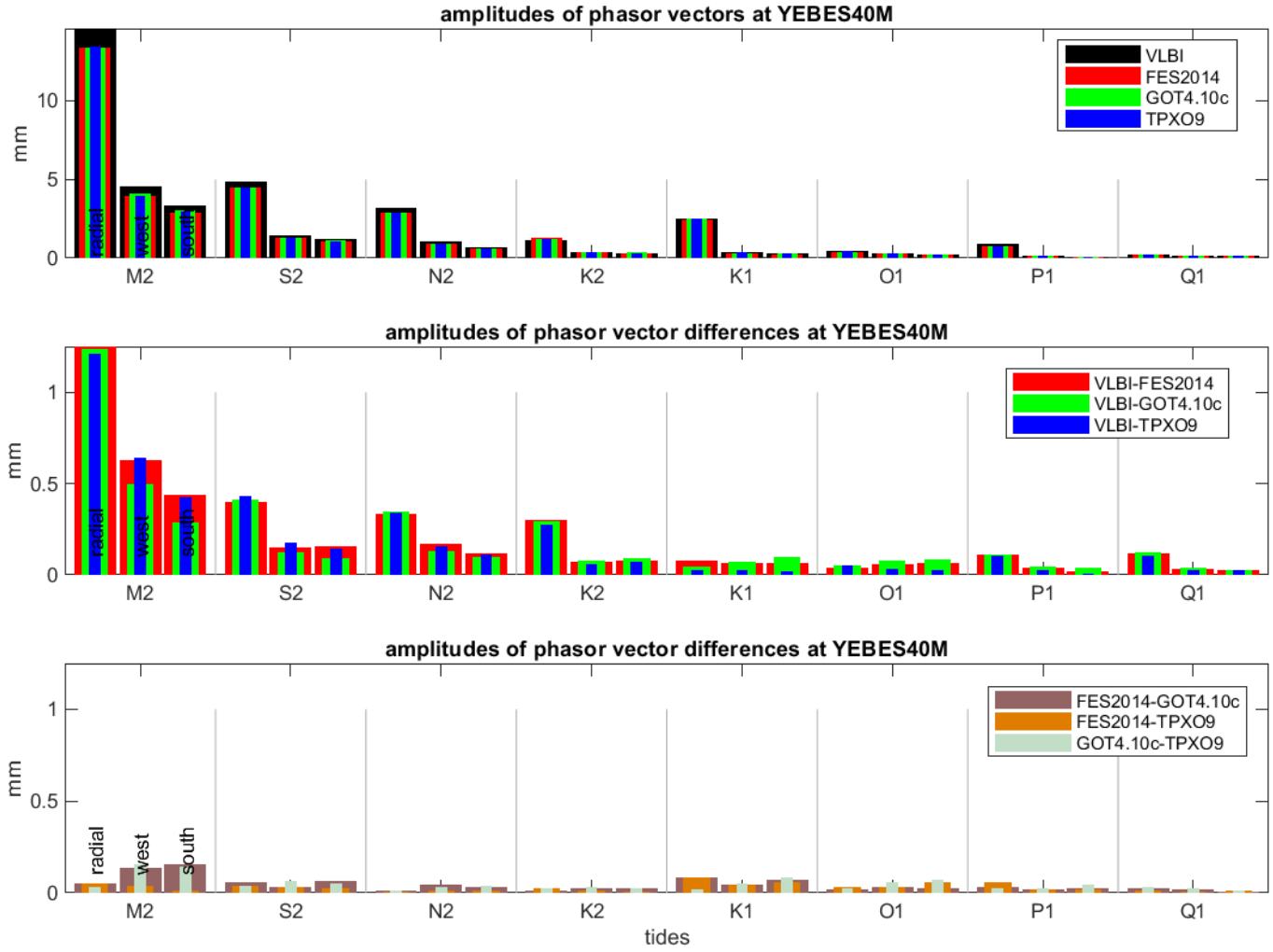

amplitudes of phasor vectors at WETTZELL
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at WETTZELL
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at WETTZELL
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

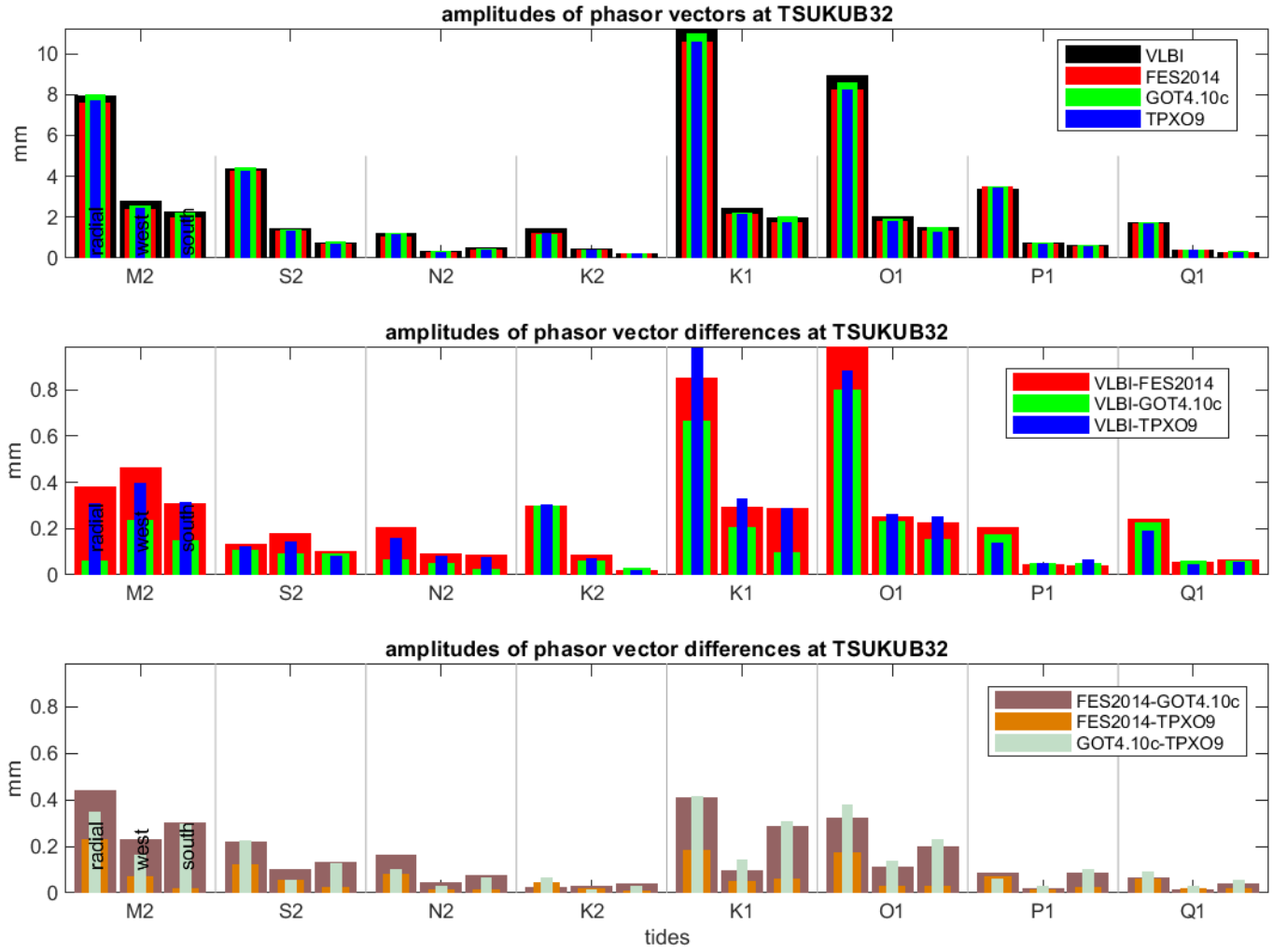

amplitudes of phasor vectors at MEDICINA
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at MEDICINA
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at MEDICINA
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

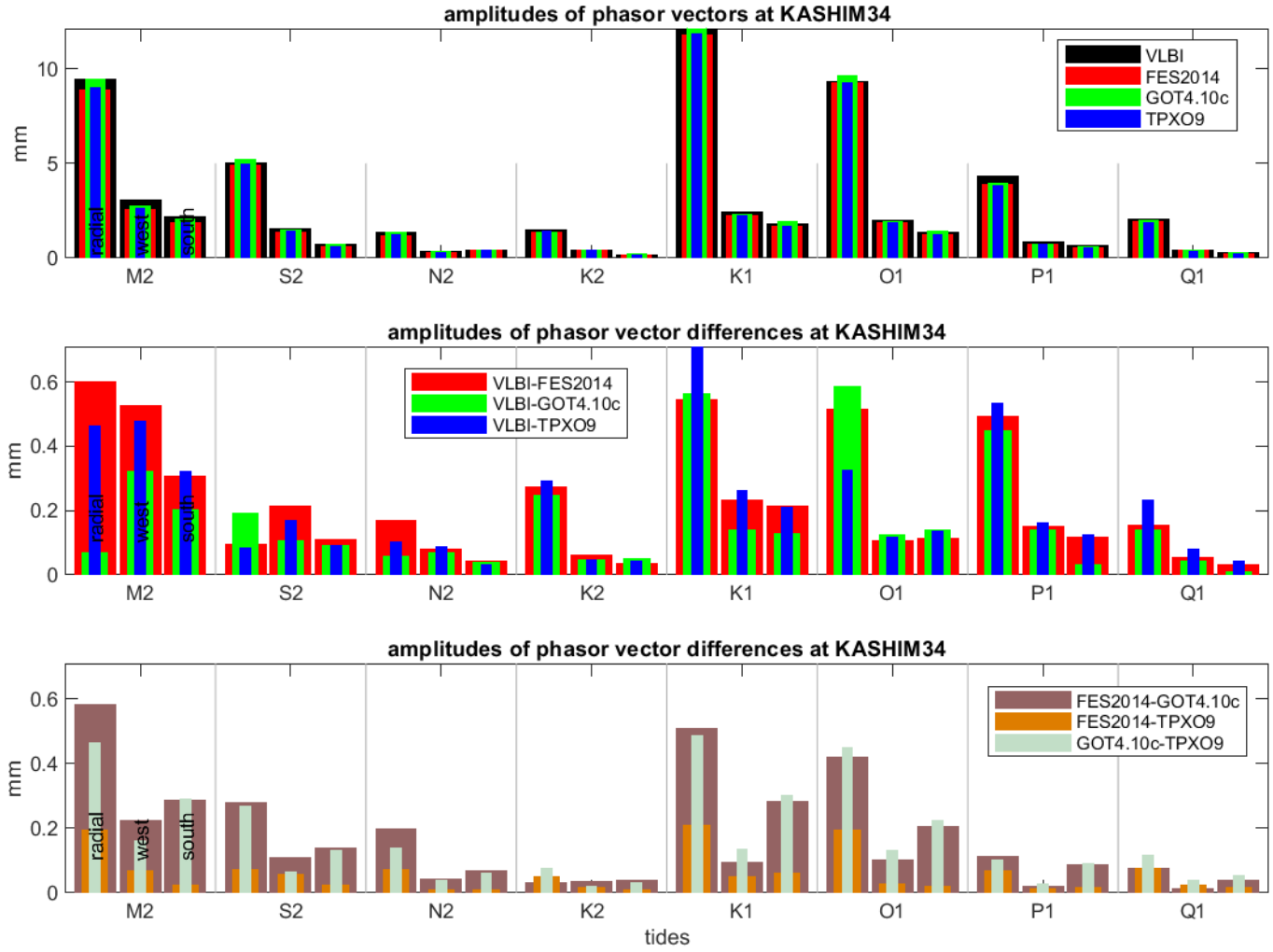

amplitudes of phasor vectors at ZELENCHK
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at ZELENCHK
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at ZELENCHK
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

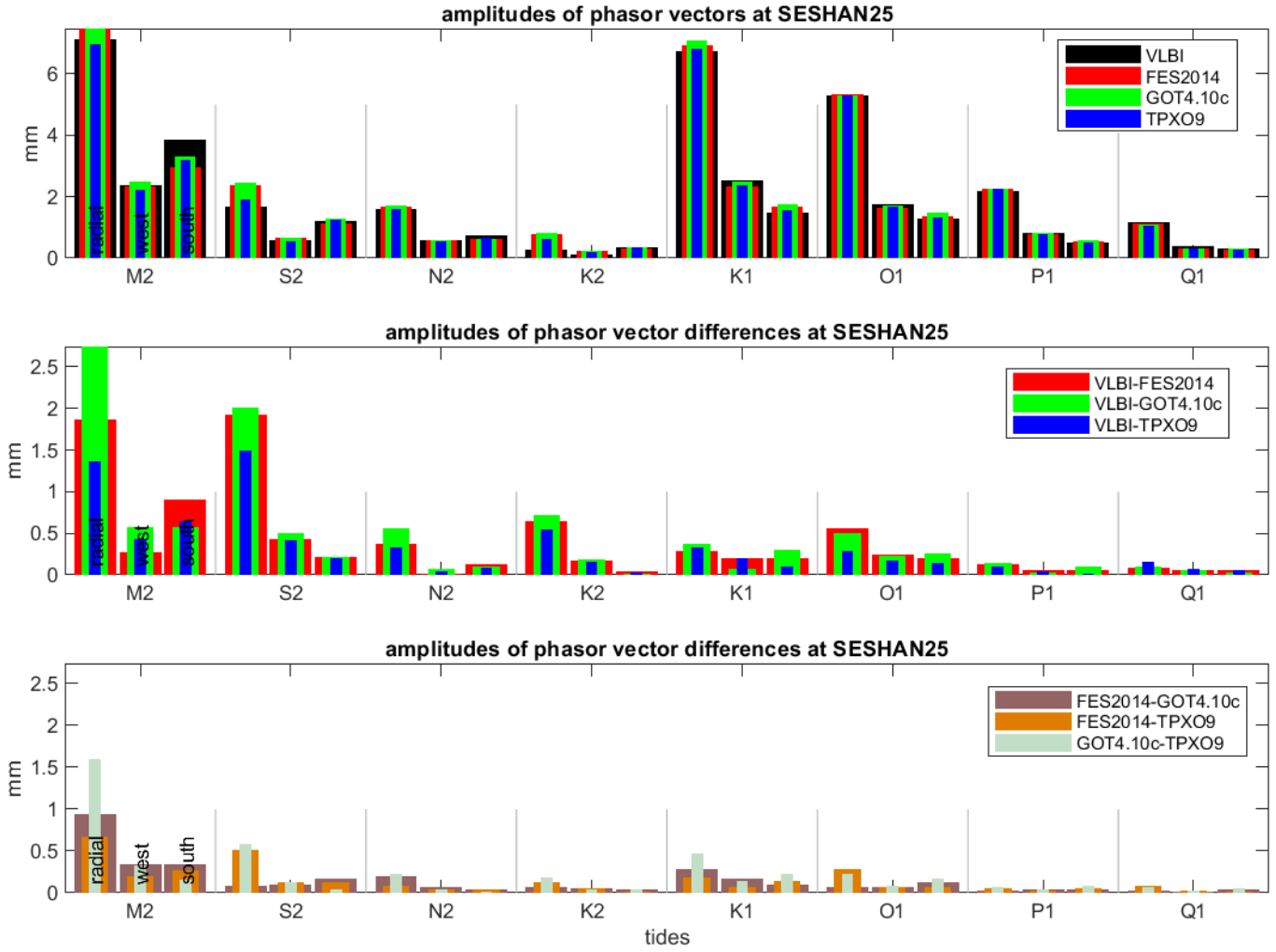

amplitudes of phasor vectors at WESTFORD
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at WESTFORD
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at WESTFORD
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

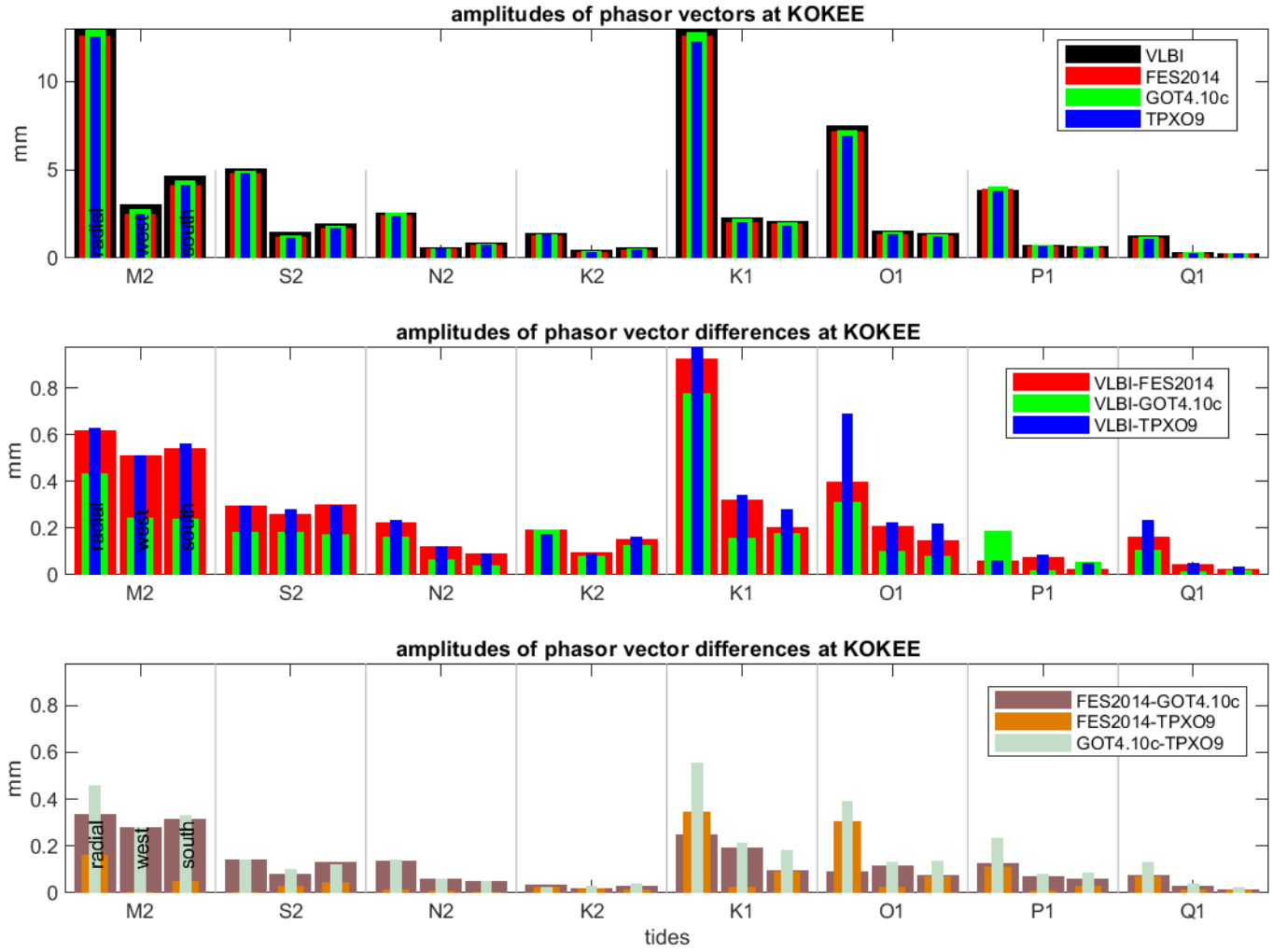

amplitudes of phasor vectors at MATERA
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at MATERA
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at MATERA
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

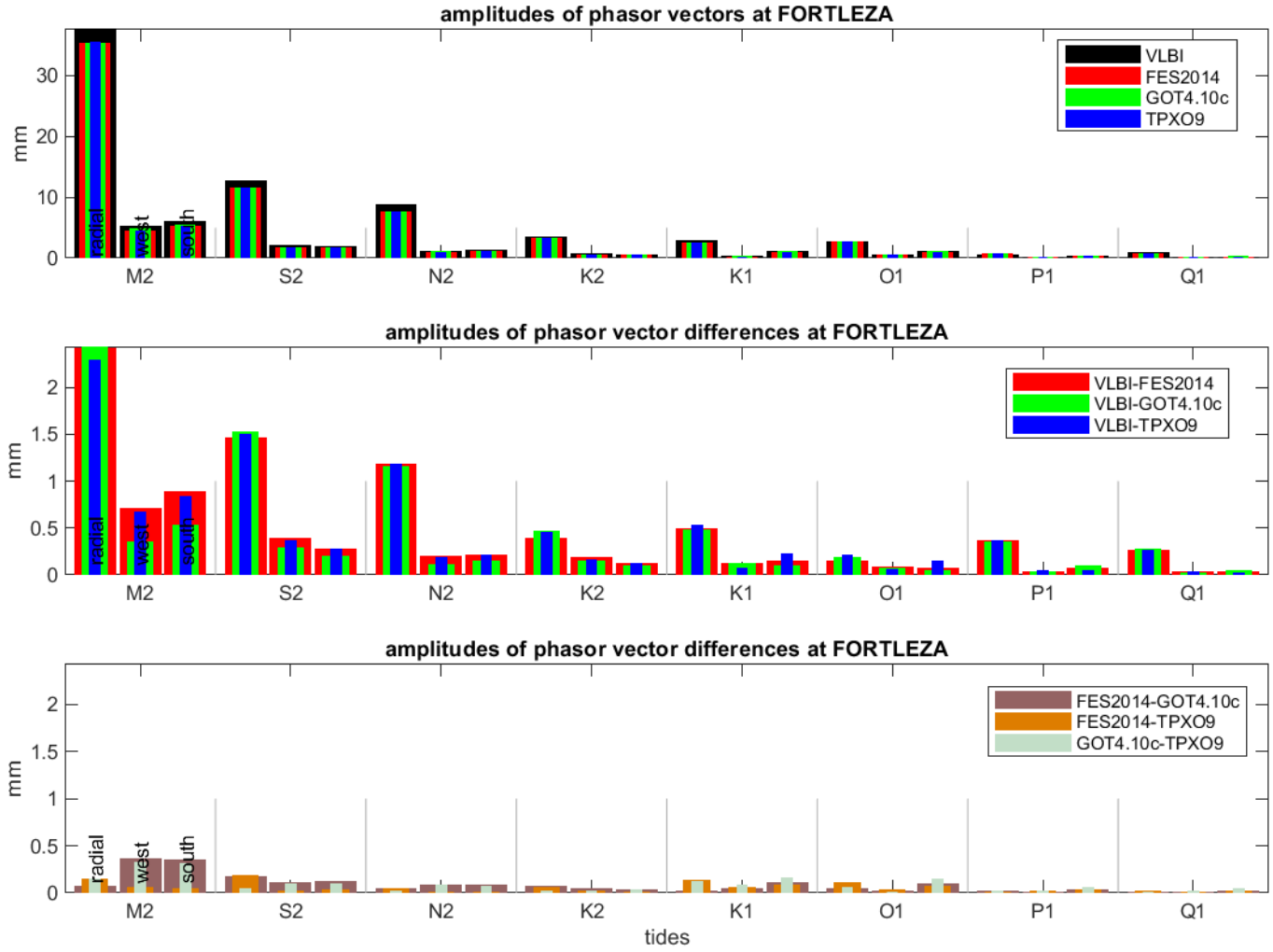

amplitudes of phasor vectors at YEBES40M
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
mm
10
5
0
radial
west
south
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at YEBES40M
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
mm
1
0.5
0
radial
west
south
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at YEBES40M
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
mm
1
0.5
0
radial
west
south
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
tides

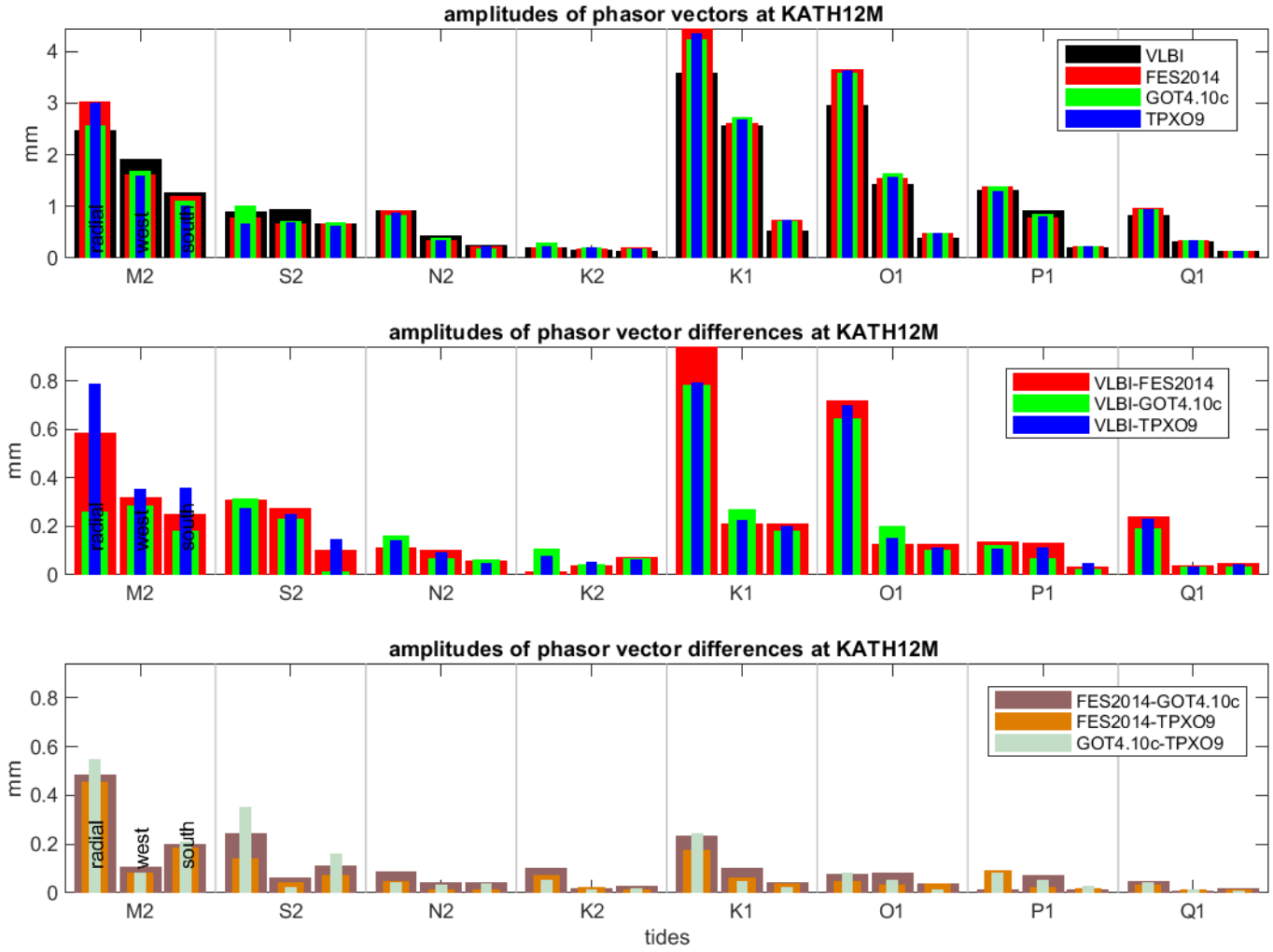

amplitudes of phasor vectors at TSUKUB32
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at TSUKUB32
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at TSUKUB32
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

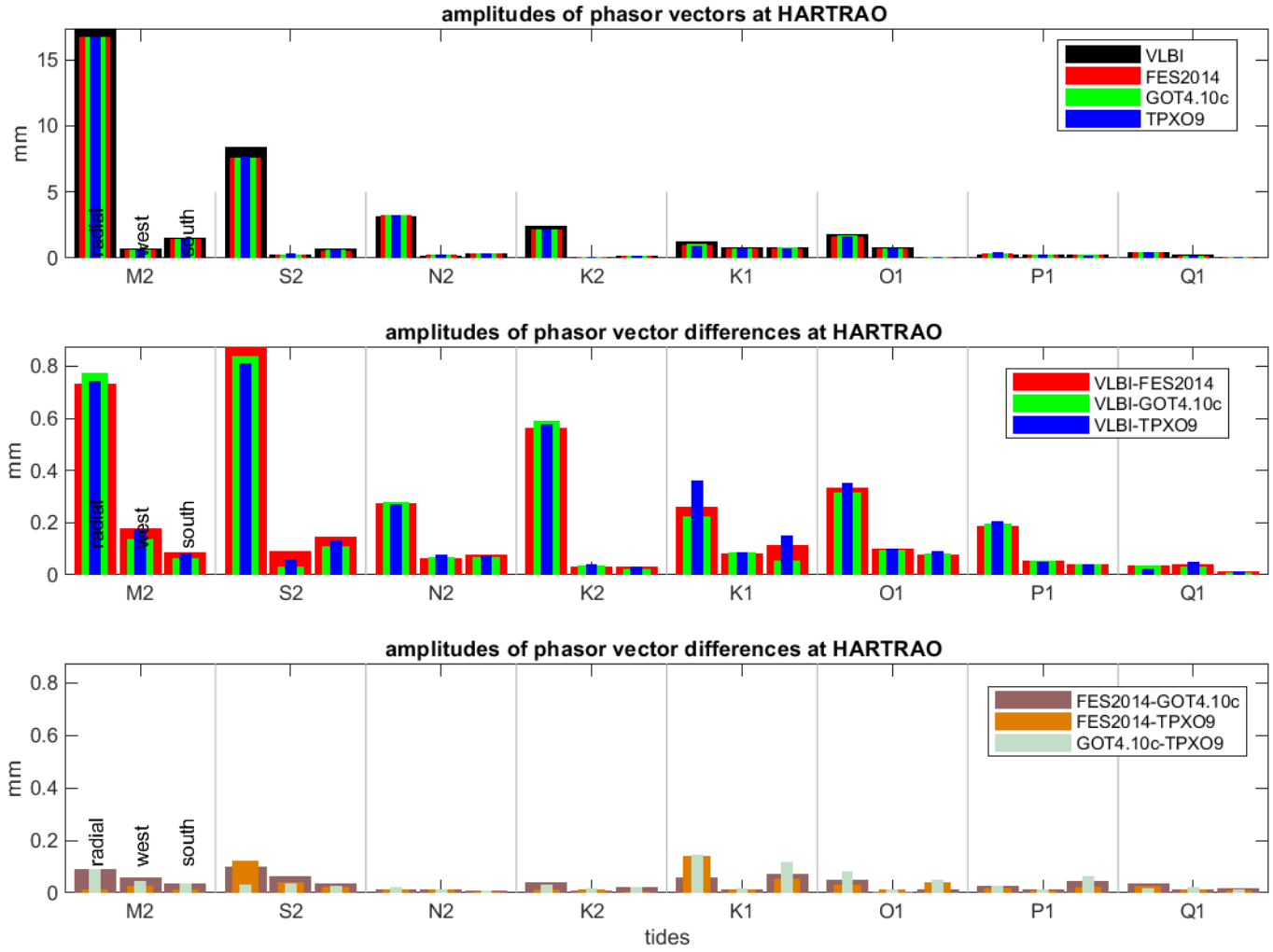

amplitudes of phasor vectors at KASHIM34
mm
10
5
0
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at KASHIM34
mm
0.6
0.4
0.2
0
radial
west
south
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at KASHIM34
mm
0.6
0.4
0.2
0
radial
west
south
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
tides

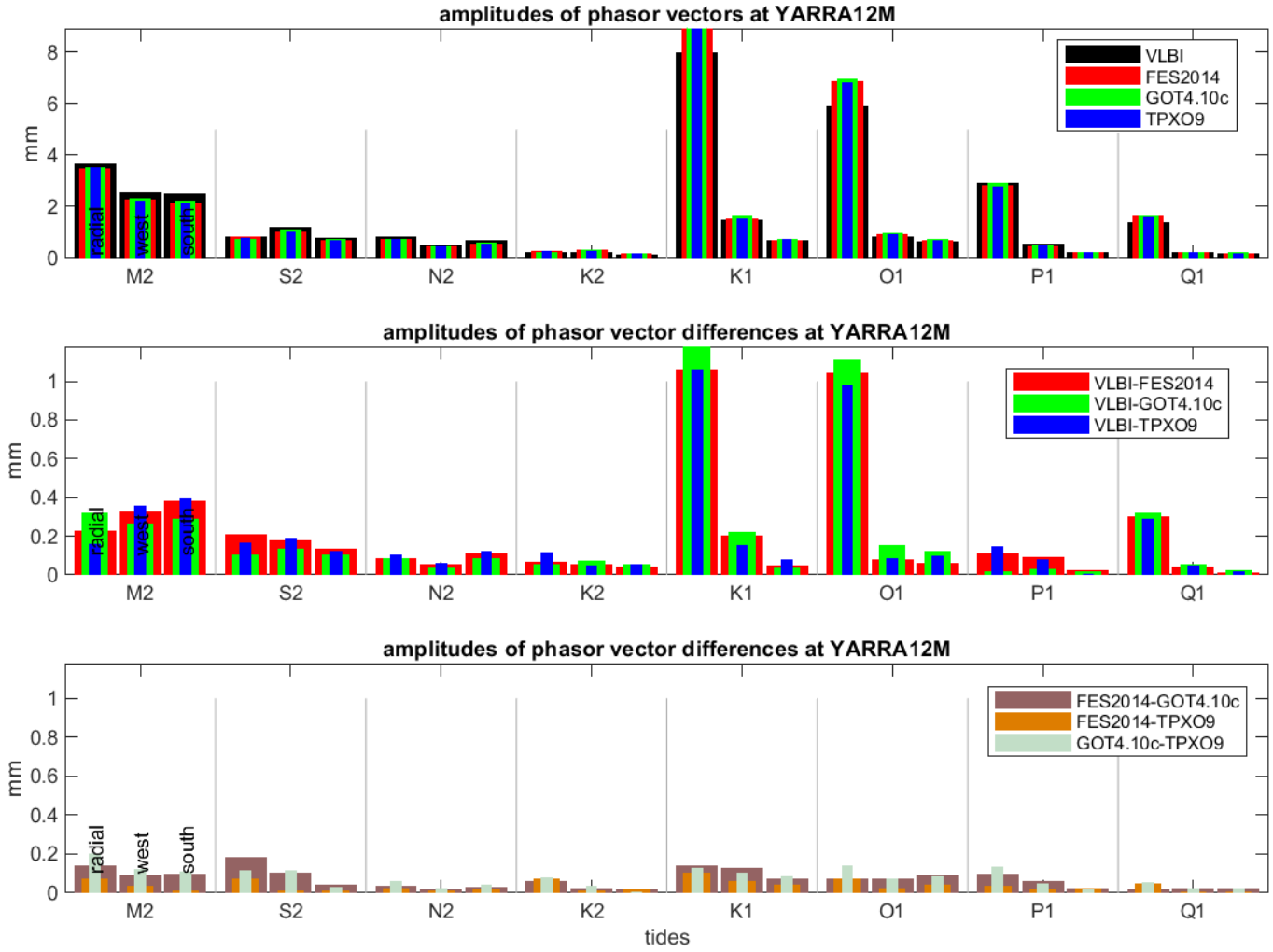

amplitudes of phasor vectors at SESHAN25
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at SESHAN25
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at SESHAN25
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

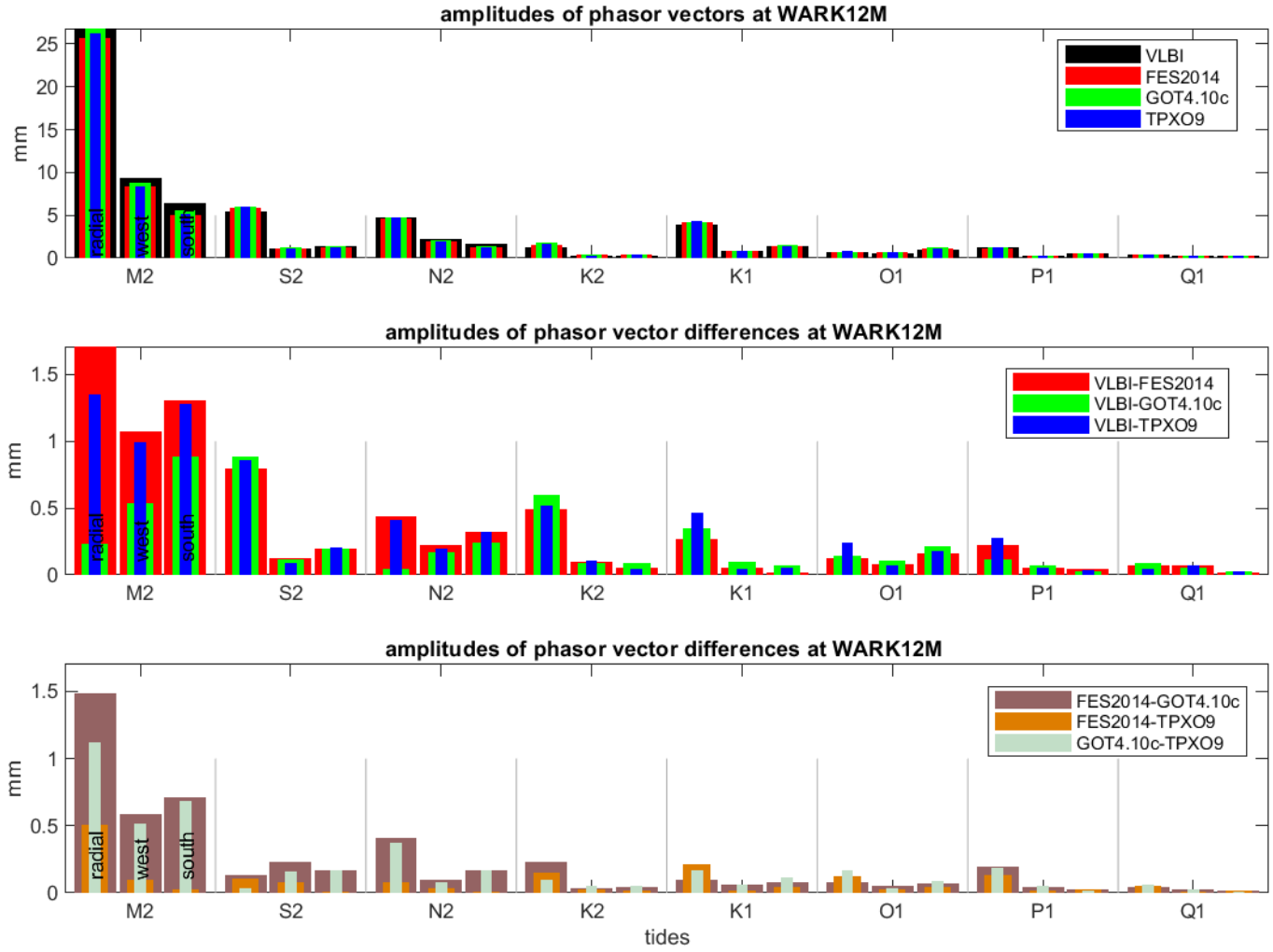

amplitudes of phasor vectors at KOKEE
mm
10
5
0
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at KOKEE
mm
0.8
0.6
0.4
0.2
0
radial
west
south
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at KOKEE
mm
0.8
0.6
0.4
0.2
0
radial
west
south
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
tides

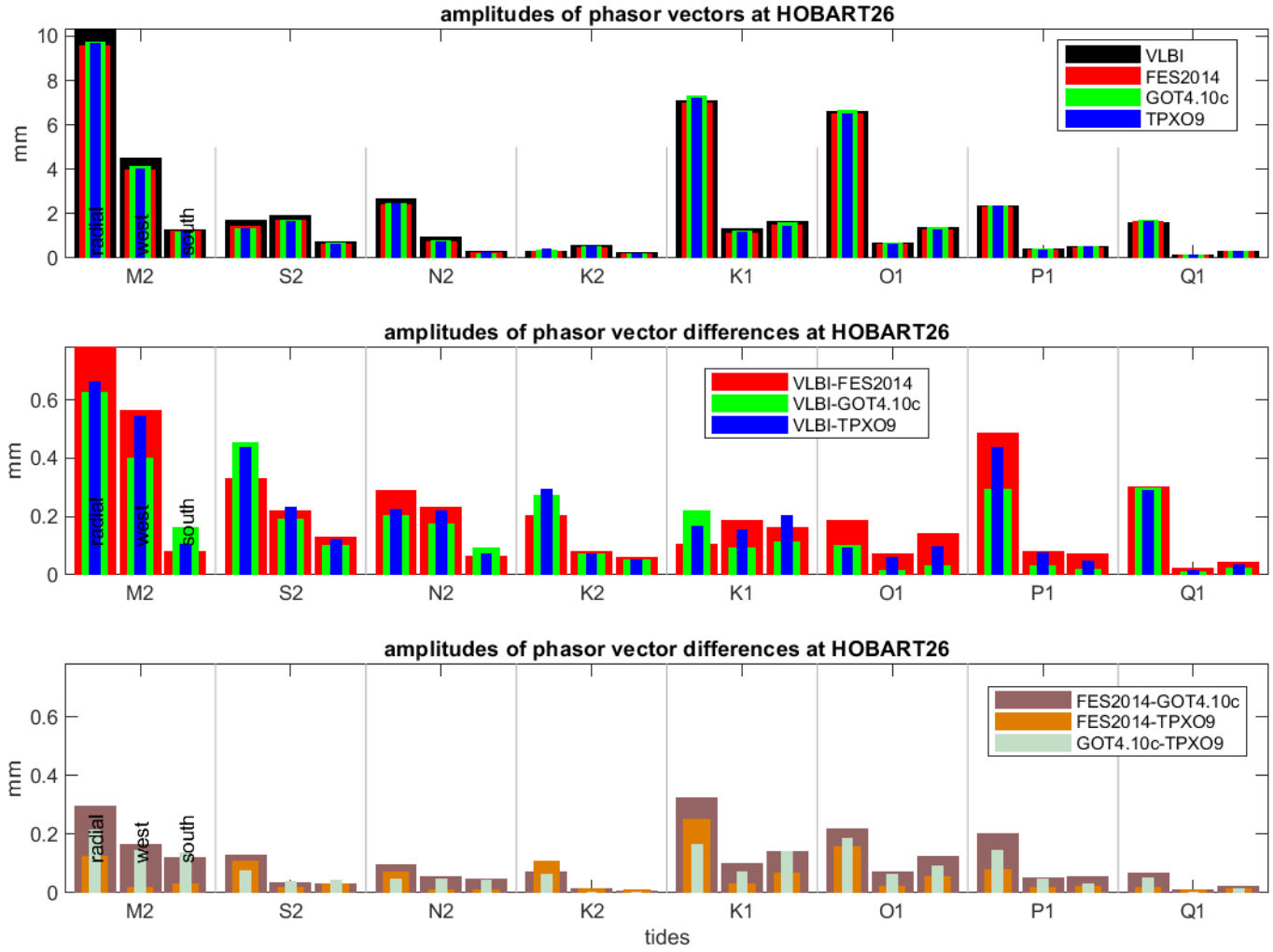

amplitudes of phasor vectors at FORTLEZA
mm
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
radial
west
south
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at FORTLEZA
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at FORTLEZA
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

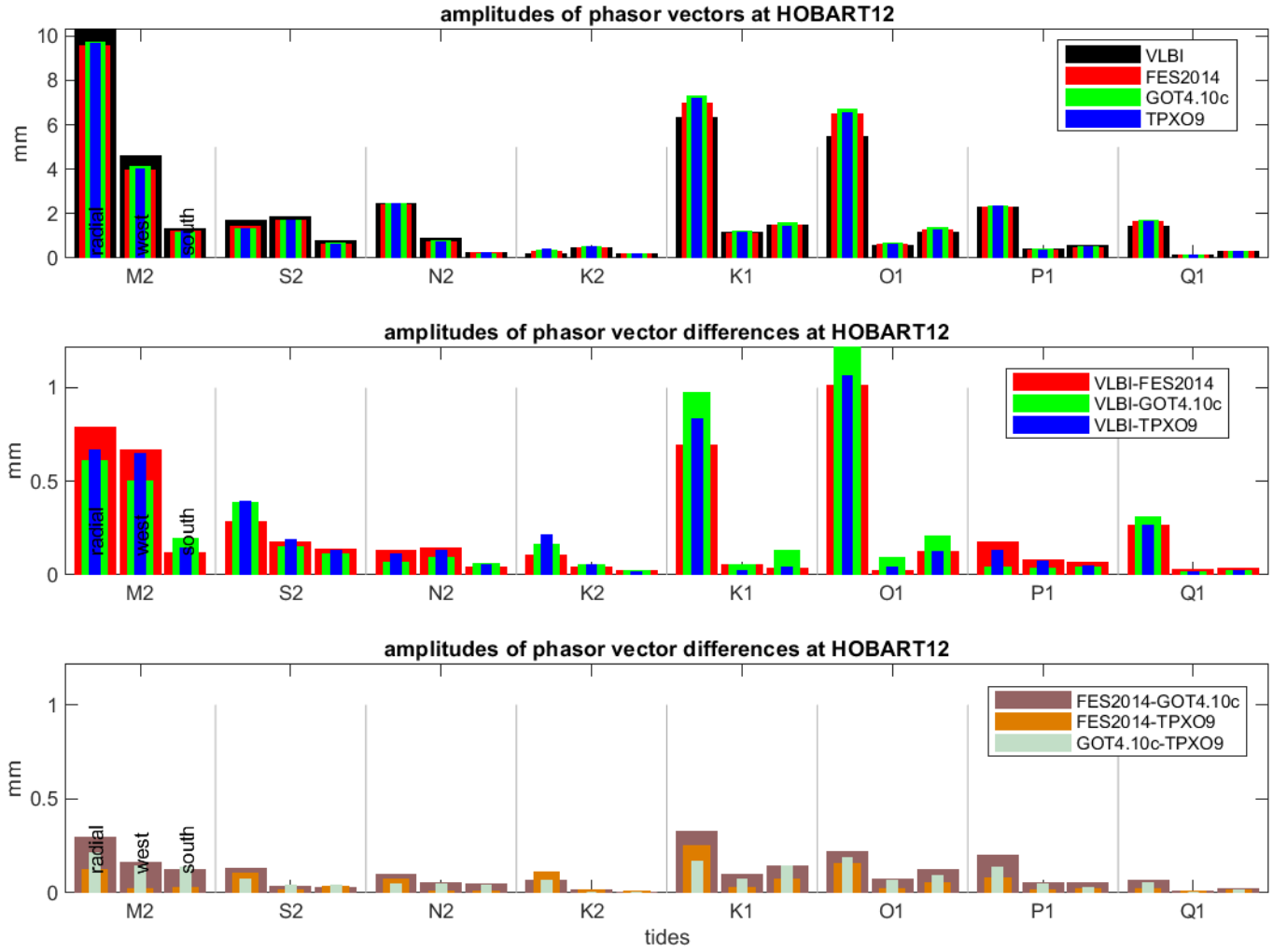

amplitudes of phasor vectors at KATH12M
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at KATH12M
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at KATH12M
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides


amplitudes of phasor vectors at HARTRAO
mm
15
10
5
0
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at HARTRAO
mm
0.8
0.6
0.4
0.2
0
radial
west
south
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at HARTRAO
mm
0.8
0.6
0.4
0.2
0
radial
west
south
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
tides


amplitudes of phasor vectors at YARRA12M
mm
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
radial
west
south
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at YARRA12M
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at YARRA12M
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides


amplitudes of phasor vectors at WARK12M
mm
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
radial
west
south
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at WARK12M
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at WARK12M
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides


amplitudes of phasor vectors at HOBART26
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at HOBART26
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at HOBART26
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides


amplitudes of phasor vectors at HOBART12
mm
radial
west
south
VLBI
FES2014
GOT4.10c
TPXO9
M2
S2
N2
K2
K1
O1
P1
Q1
amplitudes of phasor vector differences at HOBART12
VLBI-FES2014
VLBI-GOT4.10c
VLBI-TPXO9
amplitudes of phasor vector differences at HOBART12
FES2014-GOT4.10c
FES2014-TPXO9
GOT4.10c-TPXO9
tides

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 07/07/2020

Tez Başlığı / Konusu: OKYANUS GELGİT YÜKLEMESİ KONUM DEĞİŞİMLERİNİN VLBI ÖLÇÜLERİNDEN KESTİRİMİ VE GLOBAL OKYANUS GELGİT MODELLERİ İLE DOĞRULANMASI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 344 sayfalık kısmına ilişkin, 07/07/2020 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:
1- Kaynakça hariç
2- Alıntılar hariç
3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

07/07/2020

Adı Soyadı:	Özgür ÖZEL
Öğrenci No:	N17138346
Anabilim Dalı:	Geomatik Mühendisliği
Programı:	Geomatik Mühendisliği
Statüsü:	☒ Y. Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Kamil TEKE

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:	Özgür ÖZEL
Doğum yeri	:	İskilip/Çorum
Doğum tarihi	:	01.09.1992
Medeni hali	:	Evli
Yazışma adresi	:	Tıp Fakültesi Cad. Harita Genel Müdürlüğü Çankaya/ANKARA
Telefon	:	0542 548 1696
Elektronik posta adresi	:	ozgur.ozel@harita.gov.tr ozgur.ozel@hacettepe.edu.tr
Yabancı dili	:	İngilizce (İyi)

EĞİTİM DURUMU

Lisans	:	Kara Harp Okulu (Sistem Mühendisliği) Harita Yüksek Teknik Okulu (Harita Mühendisliği)

İş Tecrübesi

2014-2016 : Harita Yüksek Teknik Okulu / Kursiyer Subay

2016-... : Harita Genel Müdürlüğü Jeodezi Dairesi Bşk.lığı / Jeodezik Ağ Subayı

Deneyim Alanları

Uzay Jeodezisi Teknikleri (VLBI, GNSS), Jeodezik Ağ Kurulumu, Sabit GNSS İstasyonu Kurulum, Bakım ve Onarımı, GAMIT/GLOBK, MATLAB