



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**FARKLI VERİ KAYNAKLARI İLE
İYONOSFERİN İNCELENMESİ**

**Gürkan ÖZTAN
DOKTORA TEZİ**

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Gürkan ÖZTAN tarafından hazırlanan “FARKLI VERİ KAYNAKLARI İLE İYONOSFERİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 17/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. İlkay BUĞDAYCI

.....

Danışman

Prof. Dr. Salih ALÇAY

.....

Üye

Doç. Dr. Sercan BÜLBÜL

.....

Üye

Doç. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Behlül Numan Özdemir

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Gürkan ÖZTAN

Tarih: 17/06/2025

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI VERİ KAYNAKLARI İLE İYONOSFERİN İNCELENMESİ

Gürkan ÖZTAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Salih ALÇAY

2025, 311+xxx Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Salih ALÇAY

Doç. Dr. İlkey BUĞDAYCI

Doç. Dr. Sercan BÜLBÜL

Doç. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

Dr. Öğr. Üyesi Behlül Numan Özdemir

Gezegenler arası uzay havası ve Dünya kaynaklı etkiler nedeniyle iyonosfer tabakasında düzenli ve düzensiz değişimler meydana gelmektedir. İyonosferde meydana gelen değişimler çoğunlukla Düşey Toplam Elektron İçeriği (VTEC) parametresi kullanılarak değerlendirilmektedir. VTEC parametresi birçok veri kaynağından elde edilebilmektedir. Hangi veri kaynağından hangi doğrulukta VTEC verisinin elde edilebildiği ve sonuçlarının birbirleriyle ne seviyede tutarlı olduğunun belirlenmesi, hangi veri kaynağının kullanılmasının yerinde olacağını gösterecek olması açısından önemlidir. Bu amaçla, bu tez kapsamında Küresel İyonosfer Haritaları (GIMs), Radyo Okültasyonu (RO) (COSMIC (F7/C2) — Fengyun 3C (FY3C)), SWARM ve JASON veri kaynaklarından elde edilen VTEC verileri kullanılmıştır. Karşılaştırma işlemi farklı iyonosferik koşullarda ve küresel ölçekte gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeler kısa dönem (günlük) ve uzun dönem (mevsimsel ve yıllık) olarak dikkate alınmıştır. Uzun dönem analiz, 2015-2019 yılları arasındaki 5 yıllık süreci içermektedir. Karşılaştırmalı analizler GIM VTEC verileri referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kısa dönem (günlük) sonuçlar dikkate alınarak yapılan değerlendirme sonucunda GIM-VTEC'ten olan farklara ilişkin ortalamaların JASON veri kaynağında 3.14 – 5.02 TECU seviyesinde olduğu ve bu farkların diğer veri kaynaklarına ait farklardan daha düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. GIM-VTEC ile SWARM VTEC farklarına ilişkin ortalamalar ise 4.13 – 17.39 TECU aralığında olup, SWARM'ın VTEC anlamında en kötü performansa sahip olduğunu göstermiştir. Uzun dönem sonuçlar, GIM VTEC verileri referans alınarak elde edilen Karesel Ortalama Hata (RMSE) değerleri dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan mevsimsel değerlendirmeler sonucunda sonbahar ve yaz dönemlerinde daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Uzun dönem yıllık sonuçlar incelendiğinde ise sakin günlerde aktif günlere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Uzun dönem yıllık sonuçlara ait RMSE ile veri kümeleri arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde COSMIC RO VTEC değerlerine ait sonuçların GIM VTEC ile daha uyumlu olduğunu göstermiştir. Ayrıca Jeomanyetik fırtınaların, tüm veri kaynaklarının doğruluğunu etkilediği belirlenmiştir. GIM VTEC-SWARM VTEC arasındaki farkların diğer farklara nazaran daha yüksek olması, SWARM uydularının atmosferik ölçüm aralığının VTEC tahmini açısından iyonosferin önemli bir bölümünü içermiyor olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: COSMIC, FY3C, GIM, JASON, SWARM, TEC, VTEC

ABSTRACT

Ph.D THESIS

EXAMINATION OF THE IONOSPHERE WITH DIFFERENT DATA SOURCES

Gürkan ÖZTAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL SCIENCE OF NECMETTİN
ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF DOCTOR IN TOPOGRAPHICAL
ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Salih ALÇAY

2025, 311+xxx Pages

Jury

Prof. Dr. Salih ALÇAY

Assoc. Prof. Dr. İlkay BUĞDAYCI

Assoc. Prof. Dr. Sercan BÜLBÜL

Assoc. Prof. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

Asst. Prof. Dr. Behlül Numan Özdemir

Due to interplanetary space weather and Earth-based effects, regular and irregular changes occur in the ionosphere layer. Changes occurring in the ionosphere are mostly evaluated using the Vertical Total Electron Content (VTEC) parameter. The VTEC parameter can be obtained from many data sources. Determining which data source can be obtained with which accuracy and the level of consistency of the results is important in terms of showing which data source will be appropriate to use. For this purpose, VTEC data obtained from Global Ionospheric Maps (GIMs), Radio Occultation (RO) (COSMIC (F7/C2) — Fengyun 3C (FY3C)), SWARM and JASON data sources were used within the scope of this thesis. The comparison process was carried out under different ionospheric conditions and on a global scale. The evaluations were considered as short-term (daily) and long-term (seasonal and annual). The long-term analysis covers the 5-year period between 2015-2019. Comparative analyses were performed by taking GIM VTEC data as reference. According to the results obtained; as a result of the evaluation made by considering the short-term (daily) results, it was determined that the averages regarding the differences from GIM-VTEC were at the level of 3.14 - 5.02 TECU in the JASON data source and these differences were lower than the differences belonging to other data sources. The averages regarding the GIM-VTEC and SWARM VTEC differences were in the range of 4.13 - 17.39 TECU, showing that SWARM had the worst performance in terms of VTEC. Long-term results were examined by taking into account the Root Mean Square Error (RMSE) values obtained by taking GIM VTEC data as reference. As a result of the seasonal evaluations, it was seen that better results were obtained in the autumn and summer periods. When the long-term annual results were examined, better results were obtained on calm days than on active days. When the RMSE of the long-term annual results and the correlation coefficients between the data sets were examined, it was shown that the results belonging to COSMIC RO VTEC values were more compatible with GIM VTEC. It has also been determined that geomagnetic storms affect the accuracy of all data sources. The fact that the differences between GIM VTEC and SWARM VTEC are higher than the other differences can be said to be due to the fact that the atmospheric measurement range of SWARM satellites does not include a significant part of the ionosphere in terms of VTEC estimation.

Keywords: COSMIC, FY3C, GIM, JASON, SWARM, TEC, VTEC

ÖNSÖZ

Lisans eğitimimden bu yana tanıma fırsatı bulduğum, yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarım boyunca danışmanlığımı üstlenen, her aşamada yönlendirmeleri ve tecrübesiyle karşılaştığım sorunlara çözüm bulmamda yol gösterici olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hem akademik birikimi hem de hayat tecrübeleriyle bana ilham kaynağı olan, çalışma disiplini örnek aldığım ve ailemden biri gibi gördüğüm saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Salih ALÇAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez İzleme Komisyonu'nda yer alan, kıymetli katkı ve önerileriyle tezime değer katan Doç. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTCÜ ve Doç. Dr. Sercan BÜLBÜL hocalarıma da teşekkür ederim. Ayrıca bilgi ve birikimleriyle sürece destek olan Doç. Dr. Hüseyin DUMAN hocama da şükranlarımı sunarım.

Bu noktaya gelmemde her daim yanımda olan, sevgisi, duası ve desteğiyle varlığını hissettiren, en büyük dayanağım canım annem Nejla MAVİLER'e ve tüm aileme minnettarım.

Tez çalışmam boyunca bana inanan, sabırla destekleyen ve hayatın her alanında olduğu gibi bu süreçte de yanımda olan can yoldaşım, sevgili eşim Özge ÖZTAN'a en derin teşekkürlerimi sunuyorum.

Gürkan ÖZTAN
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER	ix
KISALTMALAR	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xxx
1. GİRİŞ	1
2. İYONOSFER	16
2.1. İyonosfer Bölgeleri	19
2.2. İyonosfer Tabakaları	20
2.3. İyonosfer Tabakasını Etkileyen Faktörler	22
2.3.1. Litosfer	22
2.3.1.1. Depremler	25
2.3.1.2. Volkanlar	26
2.3.2. Uzay iklim koşulları	29
2.3.2.1 Güneş aktivitesi	30
2.3.2.2 Koronal delikler	30
2.3.2.3. Güneş parlamaları	32
2.3.2.4. Güneş lekeleri	34
2.3.2.5. Güneş aşırı ultraviyole (EUV) ışınımı	36
2.3.2.6. Taçküre kütle atımı	38
2.3.2.7. Güneş radyasyon fırtınaları	39
2.3.2.8. Güneş rüzgârı	40
2.3.2.9. Galaktik kozmik ışınlar	41
2.3.2.10. Jeomanyetik fırtınalar	43
2.3.3. İnsan kaynaklı enerji değişimleri	44
2.4. İyonosfer Tabakasında Meydana Gelen Değişimler	44
2.4.1. Düzenli değişimler	45
2.4.1.1. TEC' in mevsimsel ve günlük değişimleri	45
2.4.1.2. TEC' in enleme göre değişimleri	45
2.4.1.3. Güneş' in hareketlerinden kaynaklanan TEC değişimleri	45
2.4.2. Düzensiz değişimler	45
2.4.2.1. Gezici iyonosferik bozucu etki	46
2.5. İyonosfer Tabakasında Değişim Olduğunu Gösteren Ölçütler	46

2.5.1.	Jeomanyetik fırtına indisleri	47
2.5.2.	Güneş aktivite indisleri.....	49
2.5.3.	Manyetik alan bileşenleri	50
2.5.4.	Plazma yoğunluğu parametresi.....	51
2.6.	İyonosfer Modelleme	51
2.6.1.	Deneyisel modeller	51
2.6.2.	GNSS tabanlı modelleme.....	56
2.6.2.2.	TEC parametresinin elde edilmesi	58
2.6.2.2.1.	Tek tabaka modeli	59
2.6.2.2.2.	Bölgesel TEC modeli.....	61
2.6.2.2.3.	Küresel TEC modeli	61
3.	FARKLI VERİ KAYNAKLARINDAN VTEC DEĞERİNİN ELDE EDİLMESİ	63
3.1.	GIM.....	63
3.2.	COSMIC RO	66
3.3.	FY3C RO	68
3.4.	SWARM.....	69
3.5.	JASON	70
4.	UYGULAMA	72
4.1.	Kısa Dönem VTEC Değerlerinin Analizi	76
4.1.1.	GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verilerinin karşılaştırılması	80
4.1.2.	GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verilerinin karşılaştırılması	84
4.1.3.	GIM VTEC ve JASON VTEC verilerinin karşılaştırılması	87
4.1.4.	GIM VTEC ve SWARM VTEC verilerinin karşılaştırılması	89
4.3.	Uzun Dönem VTEC Değerlerinin Analizi	93
4.3.1.	Mevsimsel dönemlerin analizi.....	96
4.3.1.1.	GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verilerinin karşılaştırılması.....	96
4.3.1.2.	GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verilerinin karşılaştırılması	97
4.3.1.3.	GIM VTEC ve JASON VTEC verilerinin karşılaştırılması	98
4.3.1.4.	GIM VTEC ve SWARM VTEC verilerinin karşılaştırılması.....	99
4.3.3.	Yıllık dönemlerin analizi.....	100
4.3.3.1.	GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verilerinin karşılaştırılması.....	101
4.3.3.2.	GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verilerinin karşılaştırılması	102
4.3.3.3.	GIM VTEC ve JASON VTEC verilerinin karşılaştırılması	103
4.3.3.4.	GIM VTEC ve SWARM VTEC verilerinin karşılaştırılması.....	104
5.	SONUÇLAR	106
	KAYNAKLAR	109
	EKLER	137
	YAYINLAR	309

SİMGELER

+	: 1/3 ekle
-	: 1/3 çıkar
±	: +, - aralık
=	: Eşit
~	: Yaklaşık
<	: Küçük
>	: Büyük
≥	: Büyük Eşit
≤	: Küçük Eşit
o	: Değişiklik Yapma
%	: Yüzde
°	: Derece
°C	: Santigrat Derece (Celsius/Sıcaklık Birimi)
'	: Dakika
"	: Saniye
#	: İlgili Gündeki Dosya Numarasını
/	: Ayıraç
.cdf	: Dosya Uzantısı (Cumulative Distribution Function)
.f	: Dosya Uzantısı
.gz	: Dosya Uzantısı
.i	: Dosya Uzantısı
.Z	: Sıkıştırılmış Dosya
$\rho_{i,k}^j$: Alıcı i'den Uydu j'ye Olan Geometrik Mesafe
ε_p	: Gürültü
α	: $40.3 \times 10^{16} \text{ ms}^{-2} \text{ TECU}^{-1}$
$\alpha\alpha$: Jeomanyetik İndis Ortalamaları
β	: Zenit Açıları Farkı
(β, s)	: İyonosfer Geçiş Noktasının Coğrafi – Güneş Koordinatı
(β_0, s_0)	: Taylor Açılım Merkezi Koordinatları
λ_0, β_0	: Başlangıç Enlem Ve Boylam
$\Delta\lambda, \Delta\beta$: Enlem Farkları Grid Genişlikleri
Σ	: Toplam
\int	: İntegral
AAA	: Analiz Merkezinin Adını
Ap	: A planetary Index
Ar	: Argon
B	: Enlem
$B_{i,k}, B_k^j$: Alıcı Ve Uydu Üzerindeki k'inci Frekanstaki Pseudorange
Donanım Gecikmesi	
$b_{i,k}, b_k^j$: Alıcı Ve Uydu Üzerindeki k-İnci Frekanstaki Faz Sapmaları
Bx, By, Bz	: Manyetik Alan Bileşenleri
C	: 5.3 GHz frekanslı Bant Genişliği
CH ₄	: Metan
cm	: Santimetre
cm ³	: Santimetre Küp
C _{nm} , S _{nm}	: Bilinmeyen Katsayıları

CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
cos	: Kosinüs
D	: İyonosfer D Tabakası
DDD	: Yılın Gününü
dGEC	: Rate of Global Electron Content
d_{orb}^j	: Uydu j'nin Yörünge Hatası
dR	: Metre Cinsinden Ku-Band İyonosferik Aralık Düzeltmesidir
dt_i, dt^j	: Alıcı i Ve Uydu j'nin Saat Hataları
Dst	: Disturbance Storm Time Index
ds	: 80 km ve LEO Uyduları Arası Yüksekliğe Göre Türevi
$E \times B$: Elektrik Alan (E) ve Manyetik Alan (B)
E	: İyonosfer E Tabakası
E	: TEC Ölçüleri
E ₀₀	: Referans İstasyonu Üzerindeki TEC'in Sıfıncı Derece Seriyeye

Açılımı

E _{0.0} , E _{1.0} , E _{0.1} , E _{1.1} :	En Yakın Noktalardaki TEC Değerleri
E _{int}	: Aranılan TEC Değeri
el.	: Elektron
elektron/m ²	: Ku-band Frekansında Elde Edilen VTEC verileri Birimi
E _{nm}	: Taylor Serisinin Bilinmeyenleri
Ev(β,s)	: Düşey Elektron Yoğunluğu
F	: İyonosfer F Tabakası
F1	: İyonosfer F1 Tabakası
F10.7	: Güneş Aktivite İndisi
F ₁ (z)	: SLM İz Düşüm Fonksiyonu
F2	: İyonosfer F2 Tabakası
f	: Sinyal Frekanası
f ₀ F2	: F2 Tabakası Zirve Frekanası
f ₁ , f ₂	: Taşıyıcı Faz
Fe	: Demir
f _{Ku}	: GHz cinsinden Ku-band frekanası
f ₀ E, f ₀ F1, f ₀ F2:	Critical frequencies
G1	: Minor (Küçük) Level Geomagnetic Storm
G2	: Moderate (Orta) Level Geomagnetic Storm
G3	: Strong (Kuvvetli) Level Geomagnetic Storm
G4	: Severe (Ağır) Level Geomagnetic Storm
G5	: Extreme (Aşırı) Level Geomagnetic Storm
Ghz	: Gigahertz
H ₂	: Hidrojen
He	: Helyum
hmF2	: F2 Tabakası Zirve Yüksekliği
H	: Tek Tabakanın Yeryuvarından Yüksekliği
HF	: Radyo Dalgaları
Hz	: Hertz
I	: f Frekansında İyonosferik Gecikme
$I_{i,k}^j$: Alıcı i'den Uydu j'ye k'ncı Frekansta Gözlem Yolundaki
İyonosferik Gecikme	
I ₂	: İyot
K	: Kuzey

km	: Kilometre
km/s	: Hız Birimi (Kilometre Bölü Saniye)
Kp	: Planetary Geomagnetic Disturbance Index
Kr	: Kripton
Ku	: 13.575 GHz frekanslı Bant Genişliği
L1, L2	: Kod Gözlemleri
M	: Deprem Şiddet Birimi
m	: metre
m ²	: metre kare
m ³	: metre küp
MeV	: Milyon Elektron Volt
MHz	: Megahertz
Mg	: Magnezyum
Mw	: Moment büyüklüğü
n	: Veri Sayısı
N	: Proton Yoğunluğu
N ₂	: Azot
N ₂ O	: Azot oksit
N/cm ³	: Proton Yoğunluğunun Birimi (1 Santimetreküpten Geçen Proton Sayısı)
<i>N</i> α	: Tamsayı Belirsizliği Ve Faz Sapmalarının Birleşik Terimi
Na	: Sodyum
Ne	: Elektron Yoğunluk Profili
Ne	: Neon
NH ₃	: Amonyak
nm	: Nanometre
NmF ₂	: F2 Tabakasındaki En Yüksek Yoğunluk Değeri
n _{max} , m _{max}	: Enlem Ve Boylamdaki İki Boyutlu Taylor Serisi En Yüksek Derecesi
n _{max} , m _{max}	: Küresel Harmonik Açılımın En Yüksek Derecesi
NO ₂	: Azot dioksit
nT	: Nanotesla
O/N ₂	: Atmosfer Bileşimi Oranı
O ₂	: Oksijen
O ₃	: Ozon
P	: Basınç
$P_{i,k}^j, \varphi_{i,k}^j$: k'nci Frekansta j Uydusunu Gözlemleyen Alıcı i'den Elde Edilen Pseudorange Ve Faz Gözlemleri
P _{nm} (sinβ)	: Legendre Fonksiyonu
p, q	: 0 – 1 Arasında Değer Alır
pfu	: particle cm ⁻² s ⁻¹ ster ⁻¹
R	: Yeryuvarının Ortalama Yarıçapı (~6371 km)
s	: 80 km ve LEO Uyduları Arası Yüksekliği
s	: Güneş Sabit Boylam
S1	: NOAA Space Weather Scale on a scale of minor
S2	: NOAA Space Weather Scale on a scale of moderate
S3	: NOAA Space Weather Scale on a scale of strong
S4	: NOAA Space Weather Scale on a scale of severe
S5	: NOAA Space Weather Scale on a scale of extreme
Si	: Silikon

sfu	: Solar Flux Birimi (10^{-22} Watt*m ⁻² Hz ⁻¹)(Bir Metrekarelik Alana, Bir Hertz'lik Bant Genişliğinde, Saniyede 10^{-22} Watt'lık Enerji Gelmesi)
TECU	: TEC Birimi (10^{16} el. /m ²)
TEC_i^G	: GIM'den Türetilen VTEC Verisi
$TEC_i^{C/F/S/J}$: Sırasıyla COSMIC RO (C), FY3C RO (F), SWARM (S) ve JASON (J) VTEC Verisi
T_i^j	: Alıcı i'den Uydu j'ye Kadar Olan Gözlem Yolundaki Troposferik Gecikme
V	: Flow Speed
v_i	: i'inci Ölçümler Arasındaki Mutlak Hata
Xe	: Ksenon
YY	: İlgili Yılın Son 2 Hanesini
YYYY	: Dosyasının Yılıını
z, z'	: İstasyondaki Ve Tek Tabakadaki Zenit Açıları



KISALTMALAR

A, B, C	: Alpha (A), Bravo (B) ve Charlie (C)
Akebone	: Akebone Electron Temperature Model
AMTB-2013	: Options For Maximum Ionization Height-IRI
ARIMA	: Autoregressive Integrated Moving Average
Aviso	: Altimetry In Situ and Space-based Observations
BeiDou	: Navigation Satellite System (China)
Bent	: Ionospheric Model
BDS	: BeiDou Navigation Satellite System
BOU	: IGS İstasyonu
BSE-1979	: Options For Maximum Ionization Height-IRI
C1PG, C2PG	: Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi GIM Kodu
CAS	: Chinese Academy of Sciences
CASG, CARG	: Çin Bilim Akademisi GIM kodu
CCMC	: Community Coordinated Modeling Center
CDAAC	: COSMIC Data Analysis and Archive Center
CELIAS	: Charge, Element, Isotope Analysis
CGGT	: IGS İstasyonu
CH	: Coronal Hole
CHAMP	: CHALLENGING Minisatellite Payload
Chapman	: Function
CME	: Coronal Mass Ejection
CNES	: Centre National d'études Spatiales
CNRC	: National Research Council Canada
CODE	: Center for Orbit Determination in Europe
CODG, CORG	: Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi GIM kodu
COPERNICUS	: Avrupa Uzay Ajansı (ESA) Ve Avrupa Komisyonu (EC)
İş Birliğiyle Yürütülen Bir Program	
Corr	: Correlation
CORS-TR	: Continously Operating Reference Stations – Turkey
COSMIC	: Constellation Observing System for Meteorology,
Ionosphere and Climate	
COSPAR	: Committee on Space Research
CSES-01	: China Seismo-Electromagnetic Satellite
DEMETER	: Detection of Electromagnetic Emissions Transmitted from
Earthquake Regions	
DCB	: Estimating the Differential Code Bias
DDEF, PPEF	: Elektrik Alanlar
DGFI-TUM	: Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut- Technische
Universität München	
DMSP	: Defense Meteorological Satellite Program
DODM	: IGS İstasyonu
DSCOVN	: Deep Space Climate Observatory
E1PG, E2G	: Avrupa Uzay Ajansı/Avrupa Uzay Operasyon Merkezi
GIM Kodu	
EDP	: Electron Density Profile
EEJ	: Equatorial Electrojet
EIA	: Equatorial Ionization Anomaly
EMRG	: Kanada Doğal Kaynaklar GIM Kodu

EPB	: Equatorial Plasma Bubble
ESA	: European Space Operations Center of European Space Agency
ESAG, ESRG, EHRG:	Avrupa Uzay Ajansı/Avrupa Uzay Operasyon Merkezi
GIM Kodu	
ESOC	: European Space Operations Centre
EUMETSAT	: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
EUV	: Extreme Ultraviolet
F3/C1	: FORMASAT3/COSMIC1
F7/C2	: FORMASAT7/COSMIC2
FORMOSAT	: Tayvan'a (Çin Cumhuriyeti) Ait Uydu Programı
FY3C	: Feng-Yun 3C
GAGAN	: GPS Aided GEO Augmented Navigation
GCPM	: Global Core Plasma Model
GCR	: Galactic Cosmic Rays
GEC	: Global Electron Density
GIM	: Global Ionospheric Model
GIMs	: Global Ionospheric Maps
GIS	: Global Ionospheric Specification
GMF2	: GPS-Tabanlı İyonosfer Modeli
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GNOS	: Global Navigation Satellite System Occultation Sounder
GOES	: Geostationary Operational Environmental Satellite
GPID	: Global Plasma Ionospheric Density Model
GPS	: Global Positioning System
GPS/MET	: Global Positioning System / Meteorology
GRACE	: Gravity Recovery and Climate Experiment
GRIMS	: Global and Regional Ionosphere Monitoring System
GUVI	: Global Ultraviolet Imager
HDI	: Highest Density Interval
HON (HNLC)	: IGS İstasyonu
HYDE	: IGS İstasyonu
IAAC	: Ionosphere Associate Analysis Center
ICTP	: The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics
IGS	: International GNSS Service
IGSG, IGRG	: Uluslararası GNSS Servisi GIM kodu
IMAGE/RPI	: Radio Plasma İmager (RPI) on the IMAGE Satellite
IMF	: Interplanetary Magnetic Field
(I)(O)GDR	: (Interim)(Operational) Geophysical Data Records
IONOLAB	: Ionosphere Research Laboratory
IONEX	: Ionosphere Map Exchange
IonPrf	: Dosya Türü
IRI	: International Reference Ionosphere
IRI-75	: IRI Model 1975 Version
IRI-78	: IRI Model 1978 Version
IRI-81	: IRI Model 1981 Version
IRI-86	: IRI Model 1986 Version
IRI-90	: IRI Model 1990 Version

IRI-95	: IRI Model 1995 Version
IRI-2001	: IRI Model 2001 Version
IRI-2007	: IRI Model 2007 Version
IRI-2012	: IRI Model 2012 Version
IRI-2016	: IRI Model 2016 Version
IRI-2020	: IRI Model 2020 Version
IRI-PLAS	: IRI Plasmasphere Model
ISES	: International Space Environment Service
ISR	: Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance
IWG	: Ionosphere Working Group
IZMIRAN	: Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere
and Radio Wave Propagation	Russian Academy of Sciences
JASON	: Oceanographic Altimeter Satellites
JPL	: Jet Propulsion Laboratory
JPLG, JPRG	: Jet İtki Laboratuvarı GIM kodu
Klobuchar	: Ionosphere Delay Model
La Plata	: GPS-Tabanlı İyonosfer Modeli
LASCO	: Large Angle Spectrometric Coronagraph
LEO	: Low Earth Orbit Satellite
Level2	: Veri Arayüzü
Level2d	: Veri Arayüzü
LP	: Langmuir Probe
LST	: Land Surface Temperature
LSTID	: Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances
MADR	: IGS İstasyonu
MARS	: IGS İstasyonu
Mission ID	: COSMIC RO Uyduları Görev Kimliği C001-C006
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSLM	: Modified Single-Layer Model Mapping Function
MSTID	: Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances Effect
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NeQuick	: İonospheric Electron Density Model
NetCDF	: Network Common Data Form
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
NRCan	: Canadian Geodetic Survey of Natural Resources Canada
NRL	: Naval Research Laboratory
NSMC	: National Satellite Meteorological Center
OPTIMAP	: Operational Tool for Ionospheric Mapping And Prediction
OrbView-1/MicroLab	: Lightning Detection And Radio Occultation
OSTM	: Ocean Surface Topography Mission
PEIA	: Polar Equatorial Ionospheric Anomaly
PIM	: Parameterized Ionospheric Model
PO.DAAC	: The Physical Oceanography Distributed Active Archive
Center	
POSEIDON-3	: Radar Altimetre Sistemi
PRN	: Pseudo-Random Noise
RINEX	: Receiver Independent Exchange
RMSE	: Root Mean Square Error
RO	: Radio Occultation
ROB	: Royal Observatory of Belgium

ROTI	: Radio Wave Characteristics Over Time
SEM	: Solar EUV Monitor
SEP	: Solar energetic particles
SHU-2015	: Options For Maximum Ionization Height-IRI
SIDC	: Solar Influences Data Analysis Center
SILSO	: Sunspot Index and Long-term Solar Observations
SLM	: Single-Layer Model Mapping Function
SOHO	: Solar and Heliospheric Observatory
SRS	: Solar Radiation Storms
SSN	: Sunspot Number
SSTID	: Small-Scale Traveling Ionospheric Disturbances
STD	: Standard Deviation
STEC	: Slant Total Electron Content
STEREO-A/STEREO-B:	Solar Terrestrial Relations Observatory A-B
SWARM	: The Earth's Magnetic Field and Environment Explorers
SWPC	: Space Weather Prediction Center
TEC	: Total Electron Content
TEC0	: İyonosferik İçerik İçin TEC
TEC1	: Plazmasferik İçerik İçin TEC
TEC_cal	: Yüksekliğe Bağlı TEC
TECxTMS_2F	: Swarm Product Data
THEMIS-E	: The Europa Thermal Emission Imaging System
TID	: Traveling Ionospheric Disturbances
TONG, LAUT, SAMO:	GNSS istasyonları
TOPEX/Poseidon	: Topography Experiment/Poseidon
TSX	: TerraSAR-X (Terra Synthetic Aperture Radar – X-band)
U-BLOX	: Çok Frekanslı GNSS Alıcısı
U2PG	: Katalonya Teknik Üniversitesi GIM Merkezi Kodu
UCAR	: University Corporation for Atmospheric Research
UHRG, UQRG	: Katalonya Teknik Üniversitesi GIM kodu
UNEC	: IGS İstasyonu
URSI	: International Union of RadioScience
UV	: Ultraviolet
UT	: Universal Time
UTC	: Coordinated Universal Time
UPC	: Universitat Politècnica de Catalunya
UPCG, UPRG	: Katalonya Teknik Üniversitesi GIM kodu
VirES	: The virtual research service
VTEC	: Vertical Total Electron Content
v3.18	: VirES Dosya Versiyonu
WDC	: World Data Center
WHU	: Wuhan University
WHUG, WHRG	: Wuhan Üniversitesi GIM kodu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Atmosferin katmanları; troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosfer (URL–2).....	17
Şekil 2. 2. Atmosferin katmanları için sıcaklık değişimleri (URL–3)	18
Şekil 2. 3. İyonosferin bölgeleri (Odjik, 2002).....	19
Şekil 2. 4. İyonosferin düşey profili (Odjik, 2002).....	21
Şekil 2. 5. Dünya'nın yapısı ve litosfer (URL–5)	23
Şekil 2. 6. Tektonik olarak ayrılmış litosfer levhaları (URL–6)	24
Şekil 2. 7. Litosfer ve astenosferin yapısı (URL–7)	25
Şekil 2. 8. Yer kabuğu hareketleri (URL–8).....	26
Şekil 2. 9. Dünya üzerindeki levha sınırları ve levhaların hareketi sonucu oluşan volkanlar (URL–10).....	27
Şekil 2. 10. Volkanların yapısı (URL–10)	28
Şekil 2. 11. Uzay iklim koşulları etkileri (Güngör, 2022; URL–15).....	30
Şekil 2. 12. CH görüntüleri (URL–14; URL–18).....	31
Şekil 2. 13. Ocak 2001 – Ağustos 2001 CH'lerin hareketi (Cranmer, 2009).....	32
Şekil 2. 14. 15 Eylül 2010 Güneş patlaması aşamaları (URL–20)	33
Şekil 2. 15. Güneş parlaması (URL–14)	33
Şekil 2. 16. Güneş lekesi (URL–14)	34
Şekil 2. 17. (a) 1995-2035 tarihleri arasındaki ISES SSN'nin aylık ortalamaları (URL–14) (b) 2012-2025 tarihleri arasındaki SILSO SSN'nin Aylık Ve Günlük Ortalamaları (URL–23).....	35
Şekil 2. 18. 2014-2024 tarihleri arasındaki 24. Güneş döngüsü ve 25. Güneş döngüsü İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Güneş Leke Gözlemleri SSN (URL–24)	36
Şekil 2. 19. 0.1–50 nm ve 26–34 nm bölgesi EUV akısı artışları ve TEC ilişkisi (Zhang ve ark., 2011)	38
Şekil 2. 20. 27 Şubat 2000 tarihindeki SOHO LASCO tarafından üretilen CME görüntüsü (URL–27).....	39
Şekil 2. 21. SRS' nin uydu görüntüsüne ektisi (URL–29)	40
Şekil 2. 22. Dünya manyetosferinin güneş rüzgâr plazması ile etkileşimi (Wang, 2018)	41
Şekil 2. 23. Galaktik kozmik ışınlar (URL–33).....	43

Şekil 2. 24. Dst indislerinin elde edildiği 4 manyetik gözlemevinin konumları (URL–41)	48
Şekil 2. 25. Ekim 2004 – Ekim 2024 tarihleri arasında, NRC tarafından üretilen 10.7 cm dalga boyundaki Güneş akısı ölçülerinin aylık ortalamaları (URL–44)	50
Şekil 2. 26. NeQuick 2 model arayüzü (URL–46)	53
Şekil 2. 27. CCMC IRI arayüzü (URL–48)	54
Şekil 2. 28. IRI elektron yoğunluğu artışı (Bilitza ve ark., 2014)	55
Şekil 2. 29. IRI-PLAS 2017 arayüzü (URL–49)	56
Şekil 2. 30. Toplam elektron yoğunluğunun elde edilmesi (Langley, 2002)	59
Şekil 2. 31. Tek Tabaka Modeli (Dach ve Walser, 2015)	60
Şekil 3. 1. Atmosferik sondaj kullanılarak FORMOSAT/COSMIC tarafından sinyal gecikmesinin RO analizi (Anthes ve ark., 2008)	68
Şekil 4. 1. 01/01/2008 – 01/12/2023 tarihleri arasındaki Kp indis değerleri	73
Şekil 4. 2. Uygulama akış diyagramı	75
Şekil 4. 3. Kp indis değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	77
Şekil 4. 4. Dst indis değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	77
Şekil 4. 5. F10.7 indis değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	78
Şekil 4. 6. Bx parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	78
Şekil 4. 7. By parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	79
Şekil 4. 8. Bz parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	79

Şekil 4. 9. Proton yoğunluğu parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	80
Şekil 4. 10. Güneş rüzgâr hızı parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	80
Şekil 4. 11. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan COSMIC RO VTEC konumları.....	81
Şekil 4. 12. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı 22/06/2015 tarihindeki Mission ID C001 – PRN01 GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verileri	82
Şekil 4. 13. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan FY3C RO VTEC konumları.....	84
Şekil 4. 14. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı 08/09/2017 tarihindeki PRN01 GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verileri.....	86
Şekil 4. 15. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günlerde JASON VTEC verilerinin elde edildikleri konumlar	87
Şekil 4. 16. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı 22/06/2015 tarihindeki GIM VTEC ve JASON VTEC verileri.....	88
Şekil 4. 17. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan SWARM VTEC konumları.....	90
Şekil 4. 18. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı 22/06/2015 tarihindeki GIM VTEC ve SWARM A VTEC verileri	91
Şekil 4. 19. 2015-2016-2017-2018 ve 2019 yılı Kp, Dst, F10.7 indisleri ve Bx, By, Bz, Güneş Rüzgâr Hızı ve Proton Yoğunluğu parametreleri	95
Şekil 4. 20. 2015 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	97
Şekil 4. 21. 2015 yılı FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri	98
Şekil 4. 22. 2015 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	99
Şekil 4. 23. 2015 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri	100
Şekil 4. 24. 2015 – 2016 yılları COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri	102

Şekil 4. 25. 2015 – 2016 yılları FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri	103
Şekil 4. 26. 2015 – 2016 yılları JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri	104
Şekil 4. 27. 2015 – 2016 yılları SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri	105
Şekil Ek 1. 1. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	139
Şekil Ek 1. 2. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08	140
Şekil Ek 1. 3. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN09 / PRN10 / PRN11 / PRN12.....	141
Şekil Ek 1. 4. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN13 / PRN14 / PRN15 / PRN16	142
Şekil Ek 1. 5. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN17 / PRN18 / PRN19 / PRN20	143
Şekil Ek 1. 6. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24	144
Şekil Ek 1. 7. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN25 / PRN26 / PRN27 / PRN28	145
Şekil Ek 1. 8. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32	146
Şekil Ek 1. 9. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	147
Şekil Ek 1. 10. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08	148
Şekil Ek 1. 11. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN11 / PRN12 / PRN13 / PRN14.....	149
Şekil Ek 1. 12. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN15 / PRN16 / PRN18 / PRN20	150
Şekil Ek 1. 13. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24	151
Şekil Ek 1. 14. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN26 / PRN27 / PRN28 / PRN29	152

Şekil Ek 1. 15. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN30 / PRN31	153
Şekil Ek 1. 16. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	154
Şekil Ek 1. 17. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08	155
Şekil Ek 1. 18. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN09 / PRN10 / PRN11 / PRN12.....	156
Şekil Ek 1. 19. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN13 / PRN14 / PRN15 / PRN16	157
Şekil Ek 1. 20. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN17 / PRN18 / PRN19 / PRN20	158
Şekil Ek 1. 21. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24	159
Şekil Ek 1. 22. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN25 / PRN26 / PRN27 / PRN28	160
Şekil Ek 1. 23. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32	161
Şekil Ek 1. 24. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	162
Şekil Ek 1. 25. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08	163
Şekil Ek 1. 26. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN09 / PRN10 / PRN12 / PRN13	164
Şekil Ek 1. 27. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19	165
Şekil Ek 1. 28. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23	166
Şekil Ek 1. 29. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN24 / PRN25 / PRN27 / PRN28	167
Şekil Ek 1. 30. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN29 / PRN30 / PRN31.....	168
Şekil Ek 1. 31. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	169

Şekil Ek 1. 32. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08	170
Şekil Ek 1. 33. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN09 / PRN10 / PRN11 / PRN12.....	171
Şekil Ek 1. 34. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN13 / PRN14 / PRN15 / PRN16	172
Şekil Ek 1. 35. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN17 / PRN18 / PRN19 / PRN20	173
Şekil Ek 1. 36. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24	174
Şekil Ek 1. 37. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN25 / PRN27 / PRN28 / PRN29	175
Şekil Ek 1. 38. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN30 / PRN31 / PRN32.....	176
Şekil Ek 1. 39. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	177
Şekil Ek 1. 40. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08	178
Şekil Ek 1. 41. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN09 / PRN11 / PRN12 / PRN13.....	179
Şekil Ek 1. 42. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17	180
Şekil Ek 1. 43. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN18 / PRN19 / PRN20 / PRN21	181
Şekil Ek 1. 44. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN22 / PRN23 / PRN24 / PRN25	182
Şekil Ek 1. 45. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN26 / PRN27 / PRN28 / PRN29	183
Şekil Ek 1. 46. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN30 / PRN31 / PRN32.....	184
Şekil Ek 1. 47. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05	185
Şekil Ek 1. 48. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN06 / PRN07 / PRN09 / PRN10	186

Şekil Ek 1. 49. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN11 / PRN12 / PRN13 / PRN16.....	187
Şekil Ek 1. 50. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN17 / PRN18 / PRN20 / PRN21	188
Şekil Ek 1. 51. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN22 / PRN23 / PRN24 / PRN25	189
Şekil Ek 1. 52. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN27 / PRN28 / PRN29 / PRN30	190
Şekil Ek 1. 53. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN31 / PRN32.....	191
Şekil Ek 1. 54. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05	192
Şekil Ek 1. 55. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09	193
Şekil Ek 1. 56. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN13.....	194
Şekil Ek 1. 57. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17	195
Şekil Ek 1. 58. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN18 / PRN19 / PRN20 / PRN21	196
Şekil Ek 1. 59. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN22 / PRN23 / PRN24 / PRN25	197
Şekil Ek 1. 60. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN26 / PRN27 / PRN28 / PRN29	198
Şekil Ek 1. 61. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN30 / PRN31 / PRN32.....	199
Şekil Ek 1. 62. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	200
Şekil Ek 1. 63. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08	201
Şekil Ek 1. 64. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN10 / PRN12 / PRN13 / PRN15	202
Şekil Ek 1. 65. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19	203

Şekil Ek 1. 66. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23	204
Şekil Ek 1. 67. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN24 / PRN25 / PRN27 / PRN28	205
Şekil Ek 1. 68. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN29 / PRN30 / PRN31.....	206
Şekil Ek 1. 69. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	207
Şekil Ek 1. 70. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08	208
Şekil Ek 1. 71. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN09 / PRN10 / PRN11 / PRN12.....	209
Şekil Ek 1. 72. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN13 / PRN14 / PRN15 / PRN16	210
Şekil Ek 1. 73. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN17 / PRN18 / PRN19 / PRN20	211
Şekil Ek 1. 74. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24	212
Şekil Ek 1. 75. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN25 / PRN27 / PRN28 / PRN29	213
Şekil Ek 1. 76. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN30 / PRN31 / PRN32.....	214
Şekil Ek 1. 77. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05	215
Şekil Ek 1. 78. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09	216
Şekil Ek 1. 79. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN13.....	217
Şekil Ek 1. 80. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17	218
Şekil Ek 1. 81. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN019 / PRN21 / PRN22 / PRN23	219
Şekil Ek 1. 82. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN24 / PRN25 / PRN26 / PRN27	220

Şekil Ek 1. 83. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32	221
Şekil Ek 1. 84. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN01 / PRN02 / PRN05 / PRN06	222
Şekil Ek 1. 85. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN07 / PRN08 / PRN09 / PRN10	223
Şekil Ek 1. 86. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN11 / PRN13 / PRN14 / PRN15.....	224
Şekil Ek 1. 87. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19	225
Şekil Ek 1. 88. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23	226
Şekil Ek 1. 89. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN24 / PRN25 / PRN26 / PRN27	227
Şekil Ek 1. 90. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN28 / PRN29 / PRN30 / PRN31	228
Şekil Ek 1. 91. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN32	229
Şekil Ek 2. 1. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05	230
Şekil Ek 2. 2. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09	231
Şekil Ek 2. 3. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN15	232
Şekil Ek 2. 4. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19	233
Şekil Ek 2. 5. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23	234
Şekil Ek 2. 6. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN24 / PRN25 / PRN26 / PRN27	235
Şekil Ek 2. 7. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN28 / PRN29 / PRN30 / PRN31	236
Şekil Ek 2. 8. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN32.....	237

Şekil Ek 2. 9. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	238
Şekil Ek 2. 10. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN09	239
Şekil Ek 2. 11. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN15	240
Şekil Ek 2. 12. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19	241
Şekil Ek 2. 13. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23	242
Şekil Ek 2. 14. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN24 / PRN25 / PRN27 / PRN28	243
Şekil Ek 2. 15. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32	244
Şekil Ek 2. 16. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05	245
Şekil Ek 2. 17. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09	246
Şekil Ek 2. 18. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN14	247
Şekil Ek 2. 19. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN15 / PRN16 / PRN17 / PRN18	248
Şekil Ek 2. 20. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN19 / PRN20 / PRN21 / PRN22	249
Şekil Ek 2. 21. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN23 / PRN24 / PRN25 / PRN26	250
Şekil Ek 2. 22. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN27 / PRN29 / PRN30 / PRN31	251
Şekil Ek 2. 23. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN32.....	252
Şekil Ek 2. 24. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05	253
Şekil Ek 2. 25. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09	254

Şekil Ek 2. 26. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN13	255
Şekil Ek 2. 27. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17	256
Şekil Ek 2. 28. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN18 / PRN19 / PRN20 / PRN21	257
Şekil Ek 2. 29. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN22 / PRN23 / PRN24 / PRN25	258
Şekil Ek 2. 30. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN26 / PRN27 / PRN28 / PRN29	259
Şekil Ek 2. 31. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN30 / PRN31 / PRN32	260
Şekil Ek 2. 32. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05	261
Şekil Ek 2. 33. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09	262
Şekil Ek 2. 34. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN13	263
Şekil Ek 2. 35. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17	264
Şekil Ek 2. 36. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN18 / PRN19 / PRN20 / PRN21	265
Şekil Ek 2. 37. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN22 / PRN23/ PRN24 / PRN25	266
Şekil Ek 2. 38. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN26 / PRN27 / PRN29 / PRN30	267
Şekil Ek 2. 39. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN31	268
Şekil Ek 2. 40. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04	269
Şekil Ek 2. 41. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN09	270
Şekil Ek 2. 42. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN10 / PRN12 / PRN14 / PRN15	271

Şekil Ek 2. 43. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN16 / PRN17 / PRN19 / PRN20	272
Şekil Ek 2. 44. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24	273
Şekil Ek 2. 45. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN25 / PRN27 / PRN28 / PRN29	274
Şekil Ek 2. 46. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN30 / PRN31 / PRN32	275
Şekil Ek 2. 47. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN02 / PRN03 / PRN05 / PRN06	276
Şekil Ek 2. 48. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN07 / PRN08 / PRN09 / PRN10	277
Şekil Ek 2. 49. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN11 / PRN12 / PRN13 / PRN14	278
Şekil Ek 2. 50. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN15 / PRN16 / PRN17 / PRN18	279
Şekil Ek 2. 51. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN19 / PRN20 / PRN21 / PRN22	280
Şekil Ek 2. 52. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN23 / PRN24 / PRN26 / PRN27	281
Şekil Ek 2. 53. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32	282
Şekil Ek 3. 1. JASON VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 – 18/03/2015 – 22/06/2015 – 21/12/2015	283
Şekil Ek 3. 2. JASON VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 – 07/09/2017 – 08/09/2017 – 26/08/2018	284
Şekil Ek 4. 1. SWARM VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015.....	285
Şekil Ek 4. 2. SWARM VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015.....	286
Şekil Ek 4. 3. SWARM VTEC ve GIM VTEC 22/06/2015.....	287
Şekil Ek 4. 4. SWARM VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015.....	288
Şekil Ek 4. 5. SWARM VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016.....	289
Şekil Ek 4. 6. SWARM VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017.....	290
Şekil Ek 4. 7. SWARM VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017.....	291
Şekil Ek 4. 8. SWARM VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018.....	292

Şekil Ek 5.1. 2016 – 2017 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	293
Şekil Ek 5.2. 2018 – 2019 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	294
Şekil Ek 6. 1. 2016 – 2017 yılı FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	295
Şekil Ek 6. 2. 2018 – 2019 yılı FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	296
Şekil Ek 7. 1. 2016 – 2017 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	297
Şekil Ek 7. 2. 2018 – 2019 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	298
Şekil Ek 8. 1. 2016 – 2017 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	299
Şekil Ek 8. 2. 2018 – 2019 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	300
Şekil Ek 9. 1. 2017 – 2018 – 2019 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri.....	301
Şekil Ek 10. 1. 2017 – 2018 – 2019 yılı FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri.....	302
Şekil Ek 11. 1. 2017 – 2018 – 2019 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri.....	303
Şekil Ek 12. 1. 2017 – 2018 – 2019 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri.....	304
Şekil Ek 13. 1. Ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan COSMIC RO VTEC konumları.....	305
Şekil Ek 14. 1. Ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan FY3C RO VTEC konumları.....	306
Şekil Ek 15. 1. Ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan JASON VTEC konumları.....	307
Şekil Ek 16. 1. Ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan SWARM VTEC konumları.....	308

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2. 1. Atmosferdeki gazlar ve miktarları (URL-1).....	16
Çizelge 2. 2. Kp indis değerlerinin manyetik fırtına şiddetine göre sınıflandırılması (Arslan, 2004)	47
Çizelge 2. 3. Dst indis değerlerinin sınıflandırılması (Arslan, 2004; Öztan, 2018)	49
Çizelge 3. 1. Kullanılan dosyaların eski ve yeni isimleri.....	64
Çizelge 3. 2. GIM' lerin kodu, üreten analiz merkezleri, türü ve üretim aşamasında kullanılan hesaplama teknikleri (Zhao ve ark., 2021)	64
Çizelge 4. 1. Veri Kaynaklarının VTEC verilerinin indirilebilir tarih aralığı (URL-55; URL-62; URL-63; URL-64).....	72
Çizelge 4. 2. Uygulamada kullanılan farklı veri kaynakları ve özellikleri.....	72
Çizelge 4.3. GIM VTEC- COSMIC RO VTEC farklarına ilişkin farklı jeomanyetik koşullardaki günlük temel istatistiksel değerleri.....	83
Çizelge 4. 4. GIM VTEC ve FY3C RO VTEC farklarının şiddetli, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günlerdeki temel istatistiksel değerleri	86
Çizelge 4. 5. GIM VTEC ve JASON VTEC farklarının şiddetli, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günlerdeki temel istatistiksel değerleri	89
Çizelge 4. 6. GIM VTEC ve SWARM VTEC farklarının şiddetli, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günlerdeki temel istatistiksel değerleri	92
Çizelge 4. 7. Tüm veri kaynaklarında yıllık dönemde 2015 – 2016 – 2017 – 2018 – 2019 yıllarında aktif gün ve sakin günlerdeki veri sayıları	100

1. GİRİŞ

Güneş sistemimizdeki birçok uzay hava olayı, Dünya üzerinde birtakım etkiler meydana getirmektedir. Bu etkileri tespit etmek ve modellemek amacıyla uzay hava koşullarının en çok etkilediği Dünya atmosferinin incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple, farklı amaçlar ve disiplinlerle çok yönlü olarak araştırmalara konu olmuştur. Dünya üzerindeki canlı yaşam ve elektronik sistemler üzerindeki etkileri, atmosferin hangi katmanında gerçekleştiği ve atmosferdeki etkiler, bu araştırmalardan bazılarıdır. Atmosferin, Dünya'nın yeryüzünden yaklaşık 50 km ile 1000 km yükseklikteki uzay hava olaylarından en çok etkilenen tabakası iyonosfer tabakasıdır. İyonosferdeki moleküler yapı ve elektrik yüküne sahip atomlar, Güneş'te gerçekleşen olaylarla oluşan radyasyon sonucunda meydana gelir. İyonosferde 11 yıllık, 27 günlük, mevsimsel, günlük vb. periyotlarla düzenli değişimler olduğu gibi, Gezici İyonosferik Bozucu Etki (Traveling Ionospheric Disturbances-TID), jeomanyetik fırtınalar, volkanlar, depremler vb. kaynaklı düzensiz değişimler de meydana gelmektedir. Bu değişimler iyonosfer yapısının oldukça dinamik bir hal almasını sağlar (Atabati ve ark., 2021; Essien ve ark., 2021; Feng ve ark., 2023; López-Urias ve ark., 2023; Nayak ve ark., 2023a; Öztan, 2018; Zhang ve ark., 2022).

İyonosferde meydana gelen değişimleri belirlemek amacıyla iyonosfer tabakası düzenli olarak izlenmektedir. Yapılan izleme çalışmaları neticesinde çok sayıda model geliştirilmiştir. Günümüzde en yaygın kullanılan ve güncellenen model ise Uluslararası Referans İyonosfer (International Reference Ionosphere-IRI) modelidir.

İyonosferi incelemek amacıyla Elektron Sıcaklığı, Elektron Yoğunluk Profilleri (EDP), F2 Katmanının Elektron Yoğunluğu (NmF2), F2 Tabakası Zirve Frekansı (f0F2), Tepe Yüksekliği (hmF2) ve Toplam Elektron Yoğunluğu (Total Electron Content – TEC) gibi çeşitli parametreler kullanılmaktadır. İyonosferdeki değişimleri yansıtabilen ve çoğunlukla tercih edilen en önemli parametre TEC'dir. TEC, uydu ve alıcı arasında sinyal yolu boyunca (eğik TEC (STEC) veya düşey TEC (VTEC)) 1 m² kesitteki toplam serbest elektron miktarı olarak ifade edilir. VTEC değeri, uydulardan gönderilen sinyallerin alıcı ile arasındaki sinyal yolu boyunca hesaplanan STEC değerlerinden elde edilir. VTEC değerleri küresel, bölgesel ve istasyon tabanlı olarak elde edilebilmektedir (Jakowski ve ark., 2006; Milanowska ve ark., 2021; Nayak ve ark., 2023b; Oztan ve ark. 2024; Şentürk ve Çepni, 2019; Shah ve ark., 2023; Sharma ve ark., 2024).

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System-GNSS) verilerinin depolanması ve değişimi için uluslararası standart olan Alıcı Bağımsız Değişim Formatı (Receiver Independent Exchange Format – RINEX) kullanılır (Janssen, 2024). İyonosfer ile ilgili çalışmalarda da yaygın olarak belirli merkezlerde üretilen Küresel İyonosfer Haritaları (Global Ionospheric Map-GIM) kullanılır. Bu haritalar genellikle IONosphere Map Exchange (IONEX) formatında paylaşılmaktadır (Oztan ve Alcaç, 2022; Oztan ve ark., 2024; Schaer ve ark., 1998).

VTEC verisi, GNSS'in yanı sıra JASON, GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), TSX (TerraSAR-X (Terra Synthetic Aperture Radar – X-band)), Formosat/COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate), SWARM ve FY3C (Feng-Yun 3C) RO (Radio Occultation) gibi birçok veri kaynağından elde edilebilmektedir (Oztan ve ark., 2024).

Dünya iyonosferini ve iyonosfer üzerindeki 27 günlük, mevsimsel, altı aylık, yıllık, 11 yıllık gibi düzenli değişimlerin izlenmesi kadar düzensiz değişimlerin etkisini araştırmak da önemlidir. Bu amaçla uzay iklim koşullarının iyonosfer üzerindeki etkisi ve iyonosferin modellenmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Ayrıca, depremler, volkanlar ve insan kaynaklı etkilerin iyonosferde ne tür değişimlere sebep olduğu birçok araştırmaya konu olmuştur. Büyük depremlerden önce sismo-iyonosferik anomalilerin meydana gelmesi ve bu anomalilerin yer ve uydu ölçümlerinden elde edildiğini gösteren birçok çalışma vardır. Deprem bölgelerinde yapılan çalışmaların en büyük dezavantajı, aynı dönemde gerçekleşen iyonosferin mevsimsel değişimlerinden etkilenip anomali göstermesidir. Her deprem için iyonosferdeki etkilerin tespiti farklı bir teknikle yapıldığından, iyonosferde mevsimsel etkilerin tespiti ile birlikte karmaşıklığa sebep olmaktadır (Ahmed ve ark., 2022; Marchetti ve ark., 2020; Rishbeth, 2006, 2009; Shah ve ark., 2019b). Yapılan araştırmaların çoğu, depremin yaşandığı günden bir iki hafta öncesi ya da sonrasında iyonosferik anomalilerin gerçekleştiğini göstermiştir (Ahmed ve ark., 2022; Shah ve ark., 2020a; Shah ve ark., 2020b; Shah ve ark., 2020c).

Uzay iklim koşulları üzerine yapılmış çalışmalar:

İyonosfer, Güneş aktivitesi kaynaklı meydana gelen Güneş radyasyonu tarafından iyonize olur. İyonlar ve serbest elektronlar açısından zengin olan iyonosfer, uydu navigasyon sinyallerini etkiler. Abdelaziz ve ark. (2025) Güneş aktivitesi etkileriyle uydu konumlandırma doğruluğu ve yakınsama süresi değişimlerini farklı zamansal

çözünürlükte GIM'ler kullanarak araştırmıştır. Zamansal çözünürlüğü iki saat olan CODE (Center for Orbit Determination in Europe), zamansal çözünürlüğü bir saat olan bcom1 ve zamansal çözünürlüğü beş dakika olan b5mg verisi, Güneş aktivitesinin düşük olduğu 2009 yılı ve Güneş aktivitesinin yüksek olduğu 2014 yılında incelenmiştir. Uydu yakınsama süresinde, farklı zamansal çözünürlükteki GIM'ler kullanılarak yaklaşık %18 – %78 arasında daha iyi sonuçlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca MARS istasyonunda VTEC verileri ile Güneş aktivitesi arasında önemli varyasyonlar ortaya koymuşlardır.

Güneş aktivitesinin neden olduğu radyasyon fırtınaları gibi Güneş yüzeyinde oluşan Koronal Delikler (CH-Coronal Holes) de Güneş Rüzgarlarına neden olur. Younas ve ark. (2022) de Ağustos 2020 tarihinde meydana gelen CH olayının etkilerini incelemişlerdir. Yer manyetometreleri, GIM'ler ve SWARM uydu verileri kullanılarak CH sonucu oluşan fırtına etkileri, manyetik alan ve plazma yoğunluğu parametreleri değişimi ile ortaya konmuştur. Ayrıca yapılan karşılaştırmalı analizlerle CH'lerin iyonosferik parametrelerde köklü değişikliklere neden olduğu gösterilmiştir.

Güneş parlamaları, iyonosferi etkileyen bir başka uzay iklim koşuludur. Oljira (2023), yüksek enlem bölgesindeki Tromsø Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service-IGS) istasyonunda jeomanyetik fırtınaların ve güneş parlamalarının TEC verileri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Orta jeomanyetik fırtına ve güçlü jeomanyetik fırtına sırasında yaklaşık 7-10 TECU seviyesinde TEC artışını ortaya koymuştur. Ayrıca, 28 Ekim 2021'deki güneş parlamasının en yüksek seviyesinde iyonosferik düzensizlikleri yansıttığını belirtmiştir.

Güneşteki aktivite, Güneş yüzeyinde Güneş lekelerini meydana getirir. Güneş lekelerinin etkileri ise iyonosferi etkiler. Faruna ve ark. (2024), Güneş Lekesi Sayısı (Sunspot Number-(SSN) ve jeomanyetik aktivite etkileri ile VTEC değerleri arasındaki korelasyonu araştırmışlardır. Bu amaçla CGGT ve UNEC IGS istasyonları kullanılarak IGS, CODE ve IRI-2020'den elde edilen VTEC değerleri elde edilmiştir. SSN, Ap indisi ve Dst indisi ile VTEC arasında güçlü bir korelasyon olduğunu detaylı olarak açıklamışlardır.

Aşırı Ultraviyole (EUV- Extreme Ultraviolet) ışınımındaki değişimler, iyonosferdeki elektron yoğunluğunda artışa sebep olur. Bekker ve ark. (2024), bir Güneş parlaması sonucunda gerçekleşen EUV ışınımı sonucunda iyonosferdeki TEC değişimlerini incelemişlerdir. Farklı fazlardaki Güneş parlamasını dikkate alarak TEC değerlerindeki değişimleri göstermişlerdir. EUV'nin geç evresinde, Güneş parlamasının ani fazındaki TEC'in üç kat arttığını belirtmişlerdir.

Taç Küre Kütle Atımı (CME) jeomanyetik fırtınaları tetikler ve iyonosferde değişimlere sebep olur. Uga ve ark. (2024) 6-9 Eylül 2017 tarihindeki CME etkisiyle oluşan iyonosferik etki araştırmalarında TEC verilerindeki değişimlerin analizlerini incelemeyi amaçlamışlardır. Araştırma sonuçları HYDE, BOU, HON (HNLC) ve DODM gibi ekvatorial istasyonlar en yüksek günlük TEC verilerini verdiği gözlemlenmiştir. Bu verilerin TEC verilerinin jeomanyetik fırtınada 5-25 TECU kadar değiştiğini göstermişlerdir.

İyonosfer, Galaktik Kozmik Işınlara (GCR), Güneş fırtınaları, jeomanyetik fırtınalar vb. gibi Güneş Radyasyon Fırtınaları'ndan (Solar Radiation Storms-SRS) etkilenir. Srivastava ve ark. (2024) son dört Güneş döngüsündeki SRS'nin etkisini araştırmışlardır. 24. Güneş döngüsü sırasında diğer üç döngüye göre daha az Güneş radyasyon fırtınası olduğunu ortaya koymuşlardır. 22. Güneş döngüsünde ~ 43,000 pfu şiddetli radyasyon fırtınası (S4), 24. Güneş döngüsünde ~ 6,530 pfu (S3) sonucunu elde etmişlerdir. Ayrıca Güneş parlamasının yoğunluğu, parlamadan sonraki jeomanyetik aktivitenin yoğunluğuyla ilişkili olmadığı sonucuna varmışlardır. 23. ve 24. Güneş döngülerinde meydana gelen Güneş radyasyon fırtınasının yalnızca 11 gün şiddetli jeomanyetik fırtına dönemiyle çakıştığını ortaya koymuşlardır.

Güneş rüzgârı parametresi, iyonosferik hava koşullarının incelenmesi açısından çok önemlidir. Gulyaeva, (2024) yoğun Güneş rüzgârları sırasında Güneş'in, Gezegenler Arası Manyetik Alan'ın (IMF) ve jeomanyetik parametrelerin Küresel Elektron Yoğunluğu (Global Electron Content-GEC) üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Saatlik GEC değerleri, 1995'ten 2023'e kadar JPL (Jet Propulsion Laboratory) toplam elektron yoğunluğu GIM-TEC küresel haritalardan hesaplanmış ve IRI-PLAS tarafından üretilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. RMSE (Root Mean Square Error) %45'ten %80'e düşürülmesiyle dGEC tahmininin iyileştirildiğini göstermiştir. GEC'in, Güneş'teki iyonlaşma ile jeomanyetik fırtınanın maksimum seviyeye ulaşmasına yakın pozitif anomaliye sebep olduğunu ve Güneş rüzgârlarının ise negatif anomaliye sebep olduğunu belirtmiştir.

Süpernovalar, kara delikler ve aktif galaktik çekirdekler gibi çeşitli astrofizik kaynaklar yüksek enerjili parçacıklar olan GCR meydana getirir. Işık hızına yakın bir hızla hareket eden GCR, uzay araçları, uydular, Dünya'nın atmosferi ve manyetik alanları etkiler. Mishra ve ark. (2024), GCR'lerin meydana gelmesi ve etkileri hakkında detaylı bilgi vermektedir. Polatoğlu (2024) ise GCR'leri kayıt altına alınmaya başlanmasından itibaren incelemiş ve Geant4 programı ile GCR'leri simüle etmiştir.

Jeomanyetik fırtınalar, iyonosferi etkileyen ve GNSS uygulamaları üzerinde etkileri olan olaylardır. Ugonabo ve ark. (2024) orta enlem istasyonları olan Brüksel, Madrid ve Irkutsk ile sırasıyla ekvatorial ve düşük enlem istasyonları olan Libreville ve Lusaka istasyonlarının TEC kestirim performanslarını karşılaştırmalı bir yaklaşımla vermişlerdir. 2004 gündönümünde gerçekleşen iki jeomanyetik fırtına verileri ve VTEC ortalamalarından sapmalar detaylı olarak incelenmiştir. Calabia ve ark. (2024) ise üst atmosferde plazma hareketlerini araştırmak üzere GNSS, iyonosonda, manyetometre ve uydu verilerini farklı jeomanyetik fırtına koşullarında incelemişlerdir. Düşey elektrik alan (E) ve manyetik alan (B) ($E \times B$) anındaki ani artışların ekvatorial iyonosferik anomali zirve seviyelerini daha yüksek enlemlere kaydırıldığı bilgisini vermişlerdir.

Uzay havasının yerdeki ve uzaydaki teknik sistemler üzerindeki etkilerinin azaltılması ve olası koruyucu önlemlerin geliştirilmesi, modern iletişim ve navigasyon sistemlerindeki önemli kesintiler, artan güvenlik sorunları, ekonomik kayıplar ve yaşam kalitesinin düşmesi gibi problemler için çok değerlidir. Ishii ve ark. (2024) uzay havasının iletişim ve navigasyon sistemlerini bozabilecek çok çeşitli iyonosferik olayların etkilerinin azaltılması için öneriler sunmuştur. Uzay hava koşulları uydu iletişimini olumsuz etkiler ve üst atmosferin modellenmesini zorlaştırır. Uydu iletişiminin yanı sıra GNSS tabanlı bir zamanlama sisteminin tamamen arızalanması ihtimali Etchells ve ark. (2024) tarafından araştırılmıştır. Aşırı bir uzay hava olayının meydana gelme olasılığına göre GNSS tabanlı bir zamanlama sisteminin tamamen arızalanması için olasılığın on yılda %3 – %12 arasında olduğu bilgisi verilmiştir.

İyonosferin modellenmesi üzerine yapılmış çalışmalar:

İyonosferin modellenmesi, iyonosferdeki elektronların düzenli ve düzensiz değişimlere göre etkilenmesi, bu etkilerin nedenleri ve sonuçları uydu bazlı çalışmalar için önemlidir. En yaygın kullanılan IRI modeli, elektron sıcaklığı, iyon bileşimi ve sıcaklığı, elektron yoğunluğu, TEC vb. parametreleri, girilen konum, tarih ve saat için veri sağlayan deneysel bir modeldir. Alcay ve Oztan (2016) İspanya'daki bir orta enlem istasyonu (MADR) üzerindeki IRI-2012 ve IRI-PLAS modellerinin manyetik fırtınalı ve fırtınasız günlere ilişkin TEC kestirim performanslarını araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sakin gün için GPS (Global Positioning System)-TEC, IRI-PLAS ve IRI-2012 modelleri arasında iyi bir uyum gözlenmiştir. Ancak aktif günün bazı saatlerinde farklar 13 – 15 TECU seviyelerine ulaşmıştır. Öztan (2018) farklı coğrafi bölgelerden seçilen dokuz IGS istasyonuna ilişkin IRI-2012 TEC ve IRI-PLAS TEC değerlerinin

2015 yılına ait bir yıllık incelenmesini yapmıştır. Manyetik fırtınasız güne ilişkin sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu, manyetik fırtınalı günde ise GPS-TEC verileri ile IRI-PLAS ve IRI-2012 değerleri arasındaki farkların belirli günlerde fırtınanın şiddetiyle ilişkili olarak önemli seviyeye ulaştığını ortaya koymuştur. Alçay ve Oztan (2019) ise 9 IGS istasyonunun, uzun vadeli (01.01.2015–31.12.2015) davranışının yanı sıra, 2014–2017 ekinoks ve gündönümü günlerindeki TEC tahminlerini de test etmiştir. Yıllık analizde jeomanyetik ve güneş aktif günlerin olmadığı (sakin) günlerde IRI-PLAS TEC ve GPS TEC arasındaki farkların, kuzey yarımküredeki istasyonlarda oldukça küçük ($\sim 2 - 3$ TECU), güney yarımküre istasyonlarında genellikle $\sim 4 - 5$ TECU seviyesinde olduğunu ve birkaç saat boyunca 10 TECU'nun üzerine çıktığını göstermişlerdir. IRI-PLAS TEC ve GPS TEC değerleri benzer koşullardaki 21 Mart ve 23 Eylül ekinoksları için birbirine yakın bir eğilim göstermiştir. Yine IRI deneysel modelin en güncel sürümü olan IRI-2020 modelinin performansını Alçay ve ark. (2024)'de incelemiştir. Alçay ve ark. (2024) günlük analizin yanı sıra mevsimsel ve yıllık analizlerde GPS TEC sonuçlarıyla IRI-2020 TEC değerleri incelendiğinde günlük sonuçların, IRI-2020 TEC'in GPS TEC'ten çoğunlukla yüksek olduğunu, aylık ve yıllık ortalamalar dikkate alındığında, GPS TEC değerlerinin biraz daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. IRI-2020 ve GPS TEC arasındaki 1 yıllık dönemde farkların mutlak ortalaması 3,89 TECU ve veriler arasındaki korelasyon katsayıları $\sim 0,97$ ile $\sim 0,99$ olarak belirlenmiştir.

Deneysel üç boyutlu iyonosferik elektron yoğunluğu modeli olan NeQuick2 modelinin TEC tahmini performansı Alçay ve ark. (2022)'de jeomanyetik aktif, güneş aktif ve durgun günlerde farklı bölgelerdeki dört GPS istasyonundan alınan TEC verileriyle karşılaştırılmıştır. NeQuick2 ve IGS'den elde edilen VTEC değerleri arasındaki farkların sakın günlerde ve yüksek enlem bölgelerindeki istasyonlarda daha az olduğunu göstermiştir. Ancak, jeomanyetik ve güneş aktif günlerde tutarsızlıkların arttığı belirtilmiştir. İyonosferin modellenmesinde kullanılan diğer bir deneysel model olan Bent modeli Meza ve ark. (2002) tarafından 1997 yılı Aralık ayına ait seçilen jeomanyetik sakın günlerde (20–29 Aralık) GPS-tabanlı iyonosfer modeli (La Plata), TOPEX-Poseidon ve IRI modelleri kullanılarak elde edilen VTEC verileriyle karşılaştırmalı yaklaşımla incelenmiştir. La Plata modelinin, global ölçekte ve tüm enlemlerde TOPEX-Poseidon ölçümleriyle en yüksek korelasyona sahip model olduğunu göstermiştir. Bent ve IRI modellerinin ise kuzey yarımkürede orta enlemlerde daha iyi sonuç verdiği, güney yarımkürede belirgin sapmalara sahip olduğunu göstermiştir. En büyük farkların ekvator bölgelerinde ortaya çıktığı ve tüm modellerin TOPEX-Poseidon verilerinden daha yüksek

VTEC değerleri ürettiği sonucuna varmışlardır. Parametrelili İyonosferik Model (Parameterized Ionospheric Model- PIM) modeli ise Angling ve Cannon, (2004)'de RO yoluyla elde edilen küresel ve bölgesel VTEC, NmF2 ve hmF2 verileriyle karşılaştırılmıştır. VTEC verilerinin RMSE değerinin dörtte bire indirildiği, NmF2 verilerinin RMSE değerinin üçte birine düştüğü ve hmF2 verilerinin RMSE değerinin yarıya indiği sonuçları ortaya çıkmıştır.

İyonosferde değişim olduğunu gösteren indisler üzerine yapılmış çalışmalar:

Uzay havası ve iyonosfer modellerinin yanı sıra iyonosferde değişim olduğunu gösteren indisler üzerine yapılan çalışmalarda da iyonosfer incelemeleri yapılmıştır. He ve Zhu (2024) Ap indisi ve Dst indisi ile güneş aktivitesi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Ap indisinin güneş aktivitesi ve güneş rüzgârı koşulları ile daha güçlü bir ilişki ortaya koyarak, SSN'nin jeomanyetik indislerle daha uyumlu olacağını öngörmüştür.

Richardson ve ark. (2002) yaklaşık üç güneş döngüsü boyunca (1972-2000) güneş rüzgârı bileşenlerinin (yüksek hızlı akımlar, yavaş güneş rüzgârı, gezegenler arası CME vb.) $\alpha\alpha$ jeomanyetik indis ortalamalarına ve IMF'ye etkilerini uzun dönem olarak incelemiştir. Solar minimumda yüksek hızlı akımların, Dünya'nın çevresindeki güneş rüzgârının %55'ini, jeomanyetik aktivitenin ($\alpha\alpha$ indisi) %67'sini ve IMF'nin de yaklaşık %55' ni oluşturduğu bilgisini vermiştir. Solar maksimumda ise CME'lerin daha sık olduğunu belirtmiştir. Bu CME'lerin, Dünya'ya ulaşan rüzgârların %35'ini ve Jeomanyetik etkinliğin %50'sini oluşturduğunu detaylı bir şekilde açıklamıştır. Jeomanyetik aktivite ve IMF'nin, en çok yüksek hızlı akımlarla ilişkili olduğu ve CME'lerin büyük fırtınalar oluşturabildiği bilgisini vermiştir.

Shubin ve Gulyaeva (2021), kendi geliştirdikleri SSN ve iyonosferin F2 tabakasının özelliklerini daha doğru tahmin edebilen GMF2 modeli kullanarak 1958–2016 yılları arasında 227 IGS istasyonu verilerini incelemiştir. Sakin jeomanyetik koşullar ($A_p < 15$ nT) için IRI-PLAS modelin ve GMF2 modelinin TEC kestirim performansını karşılaştırmalı bir yaklaşımla vermişlerdir. GMF2 modelin %20-%50 oranında daha iyi doğruluk gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Basciftci ve Bulbul (2023) tarafından 26 Ağustos 2018'deki yoğun jeomanyetik fırtınanın Türkiye'nin Konya ilindeki sekiz CORS-TR (Continuously Operating Reference Stations – Turkey) GNSS istasyonları üzerinden iyonosferde (TEC) yarattığı etkileri incelemiştir. Jeomanyetik fırtına etkilerini belirlemek amacıyla jeomanyetik fırtına indislerini (K_p , A_p , Dst) ve Güneş rüzgârı parametrelerini (B_z , E , P , N , v) analiz

etmişlerdir. Bölgesel TEC verileri ve küresel modelleri (CODE, IRI-2016, IRI-PLAS) karşılaştırmalı bir yaklaşımla vermişlerdir. CODE modelinin, bölgesel TEC verileriyle en yüksek uyumu gösteren en güvenilir küresel model olduğunu göstermişlerdir. Fırtına öncesi ve sonrası günlerde hem pozitif hem negatif TEC anomalileri tespit etmişler ve GNSS verilerinin iyonosferik bozulmaların belirlenmesinde etkin olduğu sonucuna varmışlardır.

Güneş aktivite indisleri, jeomanyetik fırtına indisleri, manyetik alan bileşenleri ve proton yoğunluğu gibi parametrelerin bir arada değerlendirilmesi, olası anomalilerin kaynağı hakkında yanlış çıkarımlara engel olabilir. Bu kadar parametrenin bir arada izlenmesi ve incelenmesi, otomatik bir veri setini analiz etmekle mümkündür. Ozdemir ve ark. (2024) bu amaçla Küresel ve Bölgesel İyonosfer İzleme Sistemi'ni (Global and Regional Ionosphere Monitoring System – GRIMS) tasarlamışlardır. Küresel iyonosfer haritaları ve GNSS alıcı verileri kullanılarak, En Yüksek Yoğunluk Aralığı (Highest Density Interval – HDI) ve Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average – ARIMA) gibi yöntemler aracılığıyla küresel, bölgesel ve istasyona özgü anomaliler düzenli olarak tespit edilebilmektedir. Ayrıca bu sistem, kullanıcıların sonuçları indirmesine ve belirli günler için veri talep etmesine olanak sağlamaktadır.

Farklı veri kaynakları üzerine yapılmış çalışmalar:

Vishnu Vardhan ve ark. (2020) tarafından Mart 2015'te meydana gelen jeomanyetik fırtınanın Hindistan üzerindeki düşük enlem iyonosfer yapısına etkilerini farklı veri kaynaklarından elde edilen TEC verileriyle incelemişlerdir. GAGAN (GPS Aided GEO Augmented Navigation) ağı, İyonosonda, COSMIC RO ve SWARM uydularından elde edilen verileri 15–20 Mart 2015 tarihleri arasında analiz etmişlerdir. 17 Mart'ta negatif fırtına etkisi, 18 Mart'ta ise Ekvatorial İyonizasyon Anomalisinin (Equatorial Ionization Anomaly-EIA) zayıfladığı fırtına sonrası etkisi tespit edilmiştir. Gözlemler, yer ve uzay tabanlı sistemlerin birlikte kullanımının, bölgesel iyonosfer modellemeleri için yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir. Xu ve ark. (2021) ise 2015 ve 2018 yılları için COSMIC RO, FY3C RO ve iyonosonda performansları EDP'ler f0F2 ve TEC kullanılarak incelenmiş ve sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür. COSMIC RO TEC ve FY3C RO TEC verilerinin GIM TEC ile %92 ve %95 korelasyonlu olduğu belirtilmiştir.

Lin ve ark. (2020) ise FORMOSAT-7/COSMIC-2 (F7/C2) RO sondajına dayalı Küresel İyonosferik Spesifikasyon (Global Ionospheric Specification-GIS) elektron yoğunluğu ve Ne destekli Abel elektron yoğunluğu profilleri karşılaştırıldığında 300 km yükseklik üzerinde birbirleriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Meydana gelen bir jeomanyetik fırtına sırasında hem Abel elektron yoğunluğu profilleri hem de GIS ile elektron yoğunluğu değişimleri tespit edilmiştir. Dijisondalardan elde edilen NmF2 ve hmF2 parametreleri ile karşılaştırıldığında Abel inversiyonu her iki parametre için 0.885 ve GIS için sırasıyla 0.903 – 0.862 korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Bu sonuçlar iyonosferin incelenmesinde hem GIS'in hem de Ne-aided Abel'in güvenilir olduğunu ve GIS'in uzay hava durumu araştırmaları ve günlük değişimler için ek bir avantaja sahip olduğunu göstermektedir.

Panda ve ark. (2021) tarafından FORMOSAT-3/COSMIC-1 (F3/C1) RO ile elde edilen TEC profilleri ile 39 küresel dijisonda TEC verileri ve deneysel modellere ait (IRI-2016, NeQuick-2 ve IRI-PLAS 2017) TEC verilerinin 2007 – 2015 tarihleri arasında karşılaştırılması yapılmıştır. NeQuick ve IRI-PLAS modelleri kullanılarak iyonosferin alt taraf ve üst taraf elektron yoğunluğu tutarsızlıkları arasında zıt bir davranış olduğu gösterilmiştir ve NeQuick ile IRI modelleri arasında, IRI-PLAS modelinin nispeten üstün performansı ortaya konmuştur. Özellikle tam elektron yoğunluk profilinin kestirilmesinde iyonosferin üst taraf, alt taraf ve plazmasferik elektron yoğunluğunun tahmininde, iyonosferik modeller (IRI-PLAS) yüksek kesimlerde daha iyi sonuç vermiştir.

Singh ve ark. (2021) Kıbrıs'ta bulunan orta enlemdeki bir dijisonda istasyonu üzerinden iyonosferin üst katmanına ait elektron yoğunluğu profillerini incelemişlerdir. Bu amaçla 2014 – 2017 yılları arasında SWARM ve COSMIC uydularından elde edilen uydu verilerini, yer tabanlı dijisonda gözlemlerini ve IRI-2016 ile düzeltilmiş NeQuick modeliyle elde edilen verileri karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelemişlerdir. Dijisonda verilerinin sistematik olarak gerçek uydu ölçümlerine göre eksik, IRI model verilerinin ise genellikle fazla tahminler ürettiğini göstermişlerdir. IRI-düzeltilmiş NeQuick model verilerinin özellikle 100 km üzerindeki bölgelerde daha düşük hata oranına sahip olduğunu ve en iyi genel performansı sağladığını ortaya koymuşlardır. IRI model verileriyle kıyaslandığında SWARM verilerinin dijisonda verileri ile daha düşük korelasyon gösterdiğini, COSMIC verileriyle kıyaslandığında IRI model verilerinin performansının daha dengeli olduğunu göstermişlerdir. Bu durum üst iyonosferin doğru modellenmesi için tek başına yer tabanlı verilerin yetersiz kaldığını, farklı veri

kaynaklarının ve IRI gibi küresel modellerin geliştirilmiş sürümlerinin kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar sunduğunu göstermiştir.

Şentürk ve ark. (2021) 21 Haziran 2020’de Afrika ve Asya kıtalarını kapsayan ve 14 ülkeyi etkileyen halkalı Güneş tutulmasının iyonosfer yapısı üzerindeki etkilerini incelemek için GNSS tabanlı GIM, 9 IGS istasyonu ve COSMIC RO uydularından elde edilen TEC verilerini karşılaştırmalı bir yaklaşımla ele almışlardır. Beş günlük zaman serisinde TEC değerlerinin medyan değeri baz alınarak yapılan karşılaştırmalarda farkların IGS istasyonlarında 1 TECU – 9 TECU seviyesinde olduğunu göstermişlerdir. COSMIC RO TEC değerlerinin, 240 km yükseklikte tüm tutulma etki alanlarında yaklaşık onda birlik genel bir negatif TEC anomalisi oluşturduğunu, 100 –140 km arası yüksekliklerde ise belirgin dalgalanmalar meydana geldiğini belirtmişlerdir. 16 – 22 Haziran tarihleri arasındaki SSN, güneş rüzgarları, Dst ve Kp indis parametreleri incelendiğinde bu farkların uzay havasından kaynaklandığını sonucuna ulaşmışlardır. TEC zaman serisi incelendiğinde, Güneş tutulmasından önce, tutulma sırasında (sakin uzay havasının) ve Güneş tutulmasından sonra gerçekleşen TEC hareketlerinin halkalı Güneş tutulmasından kaynaklandığını göstermişlerdir.

Huang ve ark. (2021), COSMIC RO, ISR (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) ve dijisonda verileriyle IRI-2016 modelinde yer alan üç farklı hmF2 tahmin seçeneğinin (BSE-1979, AMTB-2013, SHU-2015), düşük ve yüksek Güneş aktivitesi koşullarındaki doğruluklarını karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelemişlerdir. SHU-2015’in, düşük ve orta enlemlerde en doğru sonuçları verdiğini ve BSE-1979’nin yüksek enlemlerde daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca model seçeneklerinin performansının Güneş aktivitesinden çok enleme bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir.

Okoh ve ark. (2021), Afrika Ekvator bölgesindeki Abuja-Nijerya kentinde yeni kurulan ve diğer GNSS alıcılarına göre daha düşük maliyetli çok frekanslı GNSS alıcısı U-BLOX’dan elde edilen Temmuz-Ağustos ve Kasım-Aralık 2020 dönemlerine ait TEC değerlerini farklı veri kaynaklarından elde edilen TEC değerleri ile karşılaştırmalı yaklaşımla incelemişlerdir. U-BLOX alıcısı TEC değerlerinin, GNSS TEC değerlerine çok benzer olduğunu ve veri kaynaklarından elde edilen TEC değerleri arasındaki farkların genellikle küçük olduğunu göstermişlerdir. U-BLOX alıcısı ve veri kaynaklarından elde edilen TEC değerleri arasındaki RMSE değerlerinin genellikle 5 TECU’dan az olduğunu ve bu alıcının düşük maliyetli bir alternatif olarak bölgedeki iyonosfer çalışmaları için uygun olduğunu ortaya koymuşlardır.

Spogli ve ark. (2021), Güneş döngüsünün minimumunda olduğu 25 Ağustos 2018 tarihinde meydana gelen jeomanyetik fırtına etkilerini uydu tabanlı (CSES-01 ve SWARM A) ve yer tabanlı (iyonosonda, manyetometreler ve IGS) sistemlerden elde edilen verilerle incelemiştir. Fırtına sırasında ve sonrasında Ekvatorial Elektrojet (Equatorial Electrojet-EEJ) akımlarının zayıfladığını ve bazı saatlerde ters yönde olduğunu göstermiş ve bu durumun Brezilya'da daha belirginken, Peru'da daha az görüldüğü sonucuna varmışlardır. Ayrıca, gündüz saatlerinde ionosferde elektron yoğunluğu artışı ve anomaliler tespit etmişlerdir. Yine aynı tarihteki jeomanyetik fırtına sırasında Batı Afrika üzerinde gece yarısı sonrası saatlerde oluşan büyük bir Ekvatorial Plazma Balonu (U-BLOX) Piersanti ve ark. (2021) tarafından CSES-01, Swarm A ve THEMIS-E uydu verileriyle incelenmiştir. EPB (Equatorial Plasma Bubble) oluşumunun, fırtına sırasında güneş rüzgârındaki ani basınç değişimiyle ilişkili olduğunu ve bu değişimin yüksek enlemlerden ekvatora doğru ilerleyen bir elektrik alan oluşturarak EPB'yi tetiklediğini belirtmişlerdir.

Zhang ve ark. (2020) tarafından 21 Haziran 2020 tarihinde gerçekleşen halkalı Güneş tutulmasındaki ionosferik anomalileri; ionosondalar, GNSS alıcıları, COSMIC-2, DMSP ve SWARM verilerini kullanılarak karşılaştırmalı bir şekilde incelemiştir. TEC değerlerinden tutulma sırasında sabah saatlerinde (20–70°E) hafif ve öğleden sonra (80–150°E) ise belirgin biçimde negatif anomali olduğunu göstermişlerdir. En büyük negatif anomalinin Güneş'in tutulmasının tam merkezinde değil tutulma sınırlarında meydana geldiğini belirtmişlerdir. NmF2 değerlerinin TEC değerleri ile benzer değişimler gösterdiğini, plazma hareketlerinin ve iyon yoğunluğu değişimlerinin (özellikle ekvator yakınında) dikkate değer seviyede olduğunu ifade etmişlerdir. SWARM verilerinin de tutulma bölgesinde ve bazı bölgelerde elektron sıcaklığındaki düşüşü gösterdiği bilgisini vermişlerdir.

Astafyeva ve ark. (2015), 24. Güneş döngüsünde yaşanan 17-18 Mart 2015'teki jeomanyetik fırtına etkilerini Dünya genelinde farklı veri kaynaklarından elde edilen TEC, elektron yoğunluğu (Ne) ve atmosfer bileşimi (O/N₂ oranı) verileri yardımıyla incelemiştir. Yer tabanlı (GNSS, ionosonda) ve uydu tabanlı (SWARM, GRACE, JASON, TerraSAR-X ve GUVI (Global Ultraviolet Imager)) sistemlerden elde edilen verilerde düşük enlemlerde, sabah ve akşam saatlerinde %100'e varan TEC artışı olduğunu gözlemlemiştir. Yüksek enlemlerde TEC verilerinde negatif anomali olduğunu ve O/N₂ oranındaki değişimlerinin ise negatif fırtına etkilerini yansıttığını göstermiştir. Elektrik alanlar (PPEF, DDEF), nötr rüzgarlar ve güneş rüzgârı değişimlerinin de pozitif

fırtına etkilerini yansıttığını göstermiştir. Ayrıca uydu verilerinin, 460–510 km arasındaki yüksekliklerdeki iyonosferin üst katmanında %150 – 280'e varan yoğunluk artışlarını tespit etmiştir.

Milanowska ve ark. (2021) tarafından yüksek (2014) ve düşük (2018) Güneş aktivitesi dönemlerinde farklı analiz merkezleri (İyonosferle İlişkili Analiz Merkezleri/Ionosphere Associate Analysis Center-IAAC) ve UQRG modeli performansı karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelemiştir. GIM'den elde edilen STEC, 25 küresel GNSS istasyonundan alınan faz ölçümleriyle ve GIM'den elde edilen VTEC, JASON-2 ve JASON-3 uydularından elde edilen altimetre VTEC değerleriyle karşılaştırılmıştır. Güneş aktivitesinin yüksek olduğu dönemde GNSS verilerinden elde edilen farklara göre RMSE değeri 1.98 – 3.00 TECU, altimetre verilerinden elde edilen farklara göre STD (Standard Deviation) değeri 3.61 – 5.97 TECU arasında olduğunu belirtmiştir. Güneş aktivitesinin düşük olduğu dönemde ise GNSS verilerinden elde edilen farklara göre RMSE değeri 0.96–1.29 TECU, altimetre verilerinden elde edilen farklara göre STD değerleri 1.92–2.78 TECU aralığında olduğunu ifade etmiştir. En başarılı performansın UQRG modelinde olup, IAAC modelleri arasında CODG'nin en güvenilir sonuçları verdiğini göstermiştir. Ayrıca, bu tür doğrulama analizlerinde hem GNSS hem de altimetre verilerinin birlikte kullanılması, model kalitesini değerlendirmede etkin bir yöntem olduğunu ifade etmiştir.

Oztan ve Alcay (2022), CODE GIM VTEC değerlerini ve okyanus bölgeleri hakkında bilgi içeren JASON-3 (I)(O)GDR VTEC ((Interim)(Operational) Geophysical Data Records) değerlerini, Güneş aktif, jeomanyetik aktif ve sakin günler için karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelemiştir. GIM VTEC ile JASON-3 VTEC farklarının ortalamasının tüm seçeneklerde 5 TECU altında olduğunu ve JASON-3 GDR VTEC değerlerinin, aktif ve durgun günlerde GIM VTEC değerleriyle daha uyumlu olduğunu göstermiştir.

Oztan ve ark. (2024), GIM VTEC değerleri ile jeomanyetik aktif, güneş aktif ve sakin günlerde COSMIC RO (F7/C2) VTEC, FY3C RO VTEC, SWARM VTEC ve JASON VTEC performansları, günlük ve uzun vadede küresel ölçekte karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelemiştir. Günlük VTEC verilerinin analizinde GIM VTEC değerleri ile veri kaynakları arasındaki farkların aktif günlerde yüksek olduğunu, GIM VTEC değerlerine en yakın JASON VTEC değerleri (JASON'un düşey yöndeki kapsama aralığından dolayı) olduğunu ve en yüksek farkların ise SWARM VTEC değerlerinde olduğunu göstermiştir. Uzun dönem analizinde de günlük analize benzer şekilde her iki

iyonosferik koşul için GIM VTEC değerleriyle, JASON VTEC değerlerinin %97 korelasyon gösterdiğini ve en yüksek farkların SWARM VTEC değerlerine sahip olduğu sonuçlarını ortaya koymuştur.

Depremler, volkanlar ve insan kaynaklı enerji değişimleri üzerine yapılmış çalışmalar:

Ahmed ve ark. (2022) tarafından 24 Eylül 2019 tarihinde Pakistan'ın Mirpur bölgesinde meydana gelen M5.6 büyüklüğündeki depremin iyonosferdeki etkilerini İslamabad (yakın) ve Sonmiani (uzak) iyonosonda istasyonundan elde edilen 90 günlük (deprem öncesi ve sonrası) foF2 zaman serileri değişimleri incelemiştir. Aynı zamanda iyonosonda istasyonlarından elde edilen verilerle Güneş ve jeomanyetik aktivite verilerini (Kp, Dst) karşılaştırmalı bir yaklaşım ile analiz etmiştir. İslamabad istasyonunda depremden 5–10 gün önce, düşük yoğunluklu fakat tekrarlayan pozitif ve negatif foF2 anomalileri gözlemlenmiştir. Bu durum sakin jeomanyetik koşullarda ortaya çıktığı için, depremlerle ilişkili olabileceğini belirtmiştir. Diğer iyonosonda istasyonunda ise depremden hemen önce (5–10 gün) belirgin bir anomali olmadığını (deprem kaynaklı oldukları kesin olmayan zayıf etkiler hariç) ifade etmiştir.

Shah ve Jin (2018) tarafından 24 Eylül 2013'te Pakistan'ın Awaran bölgesinde meydana gelen $M_w = 7.7$ büyüklüğündeki depremin öncesinde iyonosferde gözlenen anomalileri incelemiştir. Bu amaçla GNSS'ten elde edilen TEC verilerini, COSMIC RO'dan elde edilen plazma yoğunluğu verilerini, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu verilerinden elde edilen Kara Yüzeyi Sıcaklığı (Land Surface Temperature-LST) verilerini ve iyonosonda istasyonlarından elde edilen foF2 verilerini kullanmıştır. Depremden 3 gün önce GIM TEC verilerinde belirgin TEC artışı oluşunu (10 TECU ve %50'ye varan sapma) ve COSMIC RO verilerinin de bu artışı yansıttığını, foF2 ve LST verilerinde de aynı dönemde anomali yaşandığını göstermiştir. Deprem öncesinde Güneş aktivitesi ve jeomanyetik aktivitenin düşük (sakin) olduğu için bu değişimlerin depremlerle ilişkili olabileceğini ancak bu tür ilişkilerin tam olarak anlaşılması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğunu ifade etmiştir.

Liu ve ark., (2024), 12 Kasım 2017'de İran-İrak sınırında meydana gelen M7.3 büyüklüğündeki depremin öncesinde gözlenen iyonosferik anomalileri (Polar Equatorial Ionospheric Anomaly-PEIA) ve aynı ayda yaşanan iki manyetik fırtınanın iyonosfer üzerindeki etkilerini FORMOSAT-5 ve GIM TEC verilerini kullanarak incelemiştir. Ayrıca 1999–2016 yılları arasında İran-İrak bölgesinde meydana gelen 53 adet $M \geq 5.5$

deprem dönemlerdeki TEC değişimlerini dikkate almıştır. Depremden 8–10 gün önce ve 1 Aralık 2017'deki M6.1 büyüklüğündeki depremden önce, TEC'de belirgin pozitif anomaliler gözlemlenmiştir. Bu anomalilerin sakin uzay havası koşullarında gözlemlendiği için, anomalilerin uzay havası kaynaklı değil, depremden dolayı olabileceğini ifade etmiştir. TEC verilerinin ve FORMOSAT-5/AIP uydusunun PEIA'ları başarıyla saptayabildiğini ve bu anomalilerin özellikle depremlerden 6–14 gün önce ve belirli zaman dilimlerinde (04:00–16:00 UTC (Coordinated Universal Time)) oluştuğu bilgisini vermiştir.

Cullen ve ark. (2024) tarafından büyük depremlerden önceki 12 saatlik zaman diliminde olası anomalilerin depremlerle ilişkili olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla 2000 – 2020 yılları arasında küresel ölçekte, Japonya ve Güney Amerika gibi bölgesel ölçekte GNSS verilerinden elde edilen TEC verileri ile 7 büyüklüğünün üzerindeki deprem verileri eşleştirip istatistiksel karşılaştırmalar yapmıştır. Deprem öncesi iyonosferde, küresel ölçekte tutarlı bir değişiklik olmadığını ancak bölgesel ölçekte bazı anlamlı anomaliler olduğunu (Japonya'da depremden 3–8 saat önce ve Güney Amerika'da depremden 7–10 saat önce) belirlemiştir. Deprem tahmini çalışmalarında, bölgesel iyonosfer verilerinin analizlerine dayalı farklı veri kaynaklarının erken uyarı sistemlerine faydalı olabileceği sonucunu ortaya koymuştur.

Volkanların araştırılması, iyonosferik anomalilerle ilişkilendirilmesi depremler kadar önemlidir. Feng ve ark. (2023), 15 Ocak 2022 tarihinde meydana gelen Hunga Tonga–Hunga Ha'apai denizaltı volkanik patlamasından önce iyonosferde gözlemlenen anomalileri, GIM TEC, COSMIC RO elektron yoğunluk profilleri ve GNSS TEC (TONG, LAUT, SAMO istasyonları) verileri kullanılarak araştırmıştır. Volkanın merkezine yakın üç GNSS istasyonunda negatif TEC anomalileri olduğunu (maksimum sapma 6 TECU) ve CODE GIM verilerinde de yalnızca volkanın yakın çevresinde negatif TEC anomalisi olduğunu belirtmiştir. Bazı tarihlerde gözlenen TEC anomalileri, güneş/jeomanyetik aktiviteler veya alt atmosferik etkilerle ilişkilendirilmiş ve bu nedenle çalışma kapsamında dikkate alınmadığı ifade edilmiştir. 5 Ocak 2022 tarihinde tespit edilen negatif TEC anomalilerinin patlama öncesi iyonosferik bir öncül olabileceğini göstermiştir.

Depremler ve volkanlar dışında insan kaynaklı etkiler de iyonosferde anomaliye sebep olabilmektedir. Bu etkilere, maden patlamaları, nükleer patlamalar ve roket fırlatmaları örnek verilebilir. Hawarey (2004) yapmış olduğu çalışmada, güçlü uzun

menzilli balistik füzeler nedeniyle ortaya çıkan enerjinin TEC anomalilerine sebebiyet verdiğini belirlemiştir.

Bu tez çalışmasında ise farklı veri kaynaklarının VTEC kestirim performansı kısa ve uzun dönemde farklı jeomanyetik koşullar dikkate alınarak incelenmiştir. Bu amaçla SWARM, JASON, FY3C RO ve COSMIC RO' dan elde edilen VTEC değerleri GIM VTEC değerleri ile karşılaştırmalı bir yaklaşımla ele alınmıştır. Böylece hangi şartlarda hangi veri kaynağına ait VTEC kullanımının daha sağlıklı olduğu belirlenmiştir.



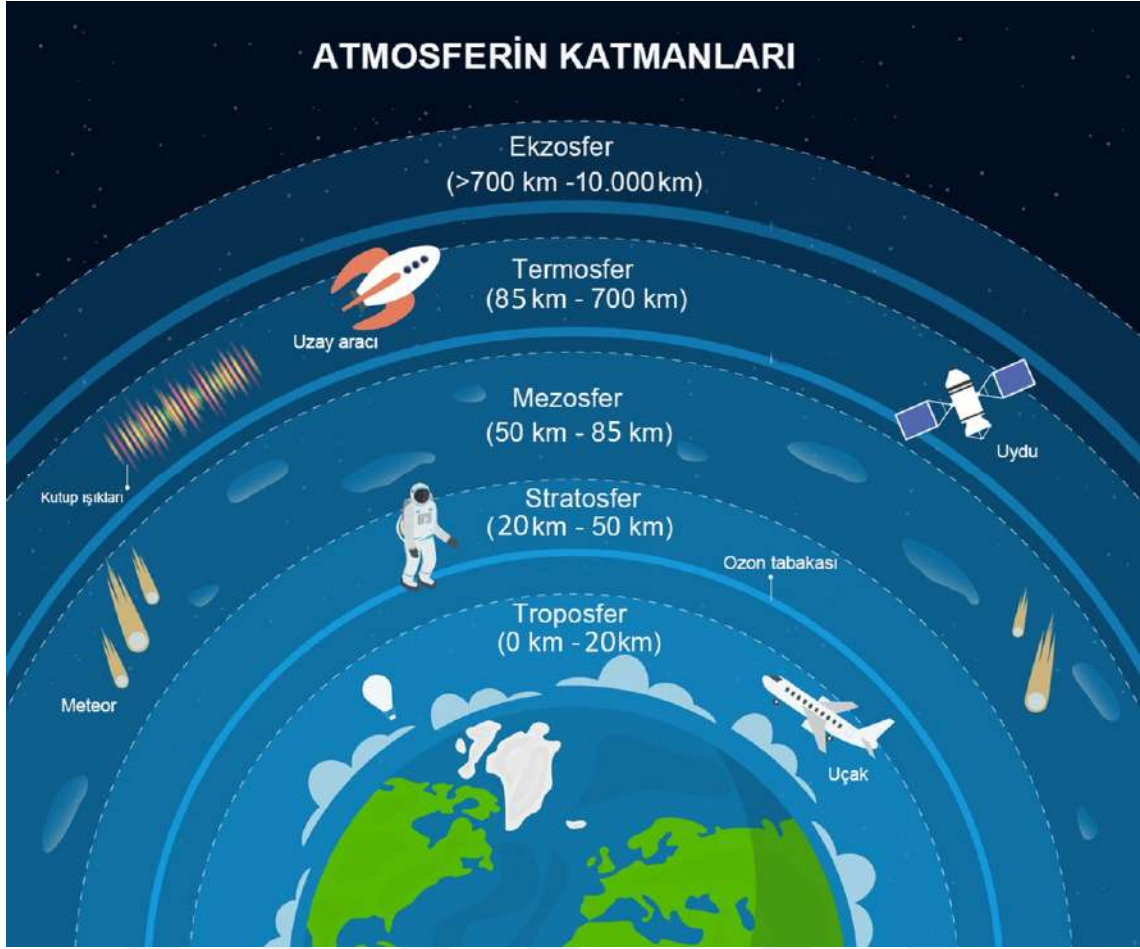
2. İYONOSFER

Dünya atmosferi, uzay ve Dünya arasında kalkan görevi görerek Dünya'yı çevreler ve Dünya'daki havayı korur. Atmosfer; su buharı (nem), küçük parçacıklar ve gazlardan meydana gelir. Atmosferdeki gazların miktarları Çizelge 1.2.'de verilmiştir. Atmosferdeki gazlardan azot, oksijen, argon ve karbondioksit, tüm gazların %99,998'ini oluşturur. (URL-1).

Çizelge 2. 1. Atmosferdeki gazlar ve miktarları (URL-1)

Gaz	Sembol	İçerik
Azot	N ₂	78.084%
Oksijen	O ₂	20.946%
Argon	Ar	0,934%
Karbondioksit	CO ₂	0,042%
Neon	Ne	Milyon başına 18.182 parça
Helyum	He	Milyon başına 5.24 parça
Metan	CH ₄	Milyon başına 1.92 parça
Kripton	Kr	Milyon başına 1.14 parça
Hidrojen	H ₂	Milyon başına 0.55 parça
Azot oksit	N ₂ O	Milyon başına 0.33 parça
Karbon monoksit	CO	Milyon başına 0.10 parça
Ksenon	Xe	Milyon başına 0.09 parça
Ozon	O ₃	Milyon başına 0.07 parça
Azot dioksit	NO ₂	Milyon başına 0.02 parça
İyot	I ₂	Milyon başına 0.01 parça
Amonyak	NH ₃	Eser miktarda

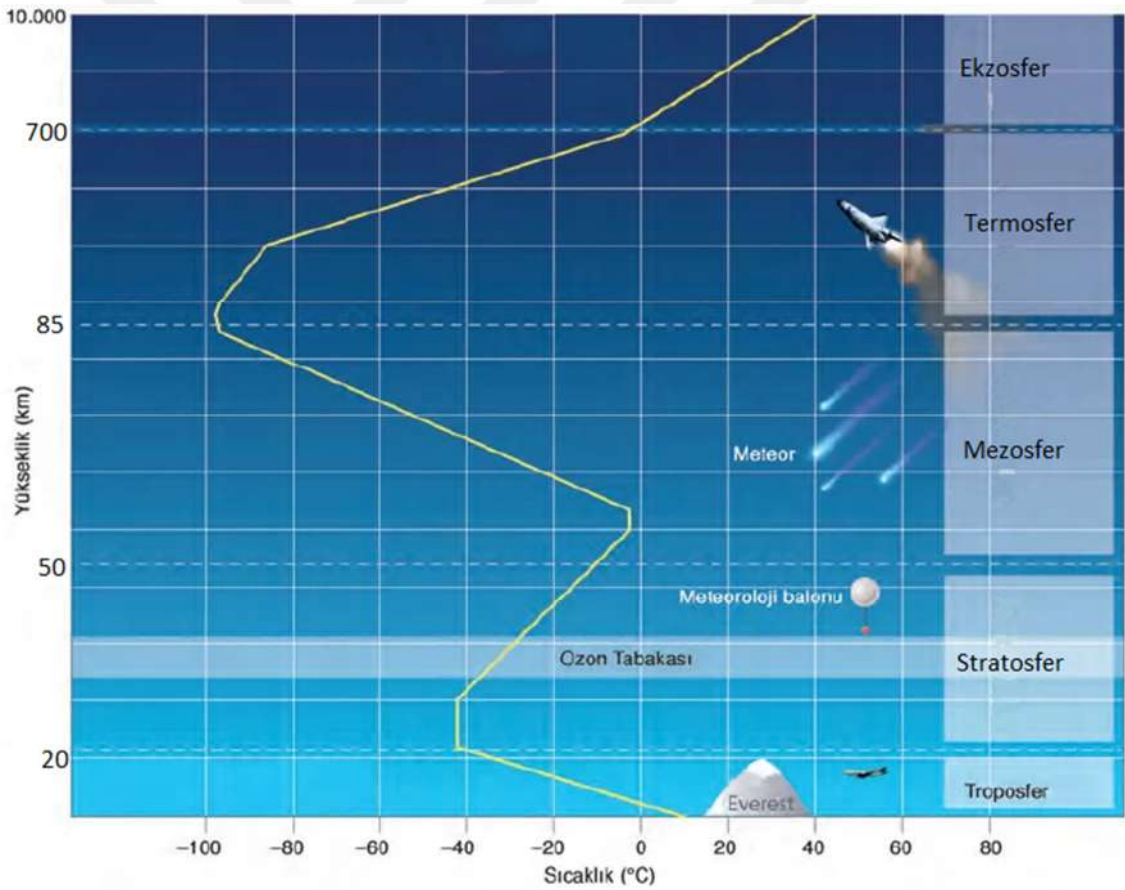
Atmosferde bulunan gazların kesin miktarları günlük olarak değişmektedir. Atmosferde yüksekliğe bağlı olarak içerisindeki kimyasal bileşikler, elektron-iyon hareketleri, sıcaklık ve yoğunluk miktarları da değişmektedir. Bu değişimlerin yaşandığı bir “pause” bölgesi bulunmaktadır. Bu bölge, sıcaklık değişiminin yön değiştirdiği sınırları tanımlar (URL-1). Her sınırda atmosfer bir katman değiştirir. Atmosfer; troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosfer olmak üzere beş katmana ayrılır (Şekil 2.1.)(URL-2).



Şekil 2. 1. Atmosferin katmanları; troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosfer (URL-2)

Atmosfer katmanlarında yaşanan en belirgin değişim sıcaklıktır. Sıcaklık değişimi de atmosferin yapısındaki basınç dağılımı, rüzgarlar, hava dolaşımı, nem ve yoğunlaşma gibi birçok durumu etkiler. Atmosferin en alt katmanı olan troposfer katmanında tüm hava olayları meydana gelir, Dünya yüzeyinden başlar ve alt atmosfer olarak bilinir. Troposferin yüksekliği yeryüzünün şekline göre sürekli değişir ancak 20 km yüksekliğe kadar çıktığı bilinmektedir. Troposfer katmanında yükseklik arttıkça içerdiği hava yoğunluğu azalır ve sıcaklığın ortalama 17°C civarından -51°C 'ye düşmesine sebep olur (Şekil 2.2.). Atmosferin 50 km yüksekliğine kadar ikinci katman olan stratosfer katmanı bulunmaktadır. Stratosferde atmosferdeki gazların yüzde 19'u bulunmasına rağmen su buharı çok azdır. Sıcaklık ise troposferin aksine yükseğe çıktıkça artmaktadır. Sıcaklık en yüksek noktada yaklaşık -15°C 'ye çıkmaktadır. İyonosferin üçüncü katmanı mezosfer, 85 km yüksekliğe kadar olan katmandır. Mezosferde bulunan gazların irtifa yükseldikçe yoğunluğu azalır. Ancak mezosferdeki gazlar atmosfere giren meteorları yavaşlatacak kadar kalındır ve gece atmosferde izler bırakacak kadar yanarlar. Stratosfer ve mezosfer

orta atmosfer olarak tabir edilir. Üst atmosfer olarak atmosferin dördüncü katmanı termosfer kabul edilir. Termosferin yüksekliği 700 km'ye kadar çıkar. Termosferdeki yükseklik arttıkça gazların yoğunluğu azalır. Fakat Güneş'ten gelen yüksek enerjili morötesi ve X-ışını ışınları bu katmandaki moleküller tarafından emilmeye başlar ve bu durum büyük bir sıcaklık artışına neden olur. Bu sıcaklık artışı, termosferin en alt bölgesinin sıcaklığının $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındayken üst bölgesinin sıcaklığının $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkması ile gerçekleşebilir (Şekil 2.2.)(URL-1). Sıcaklığın bu seviyedeki değişimi, termosfer katmanındaki molekül sayısının çok az olmasından dolayı yer yüzüne etkisi neredeyse hiç olmamaktadır. Atmosferin en dış katmanı olan ekzosferin de 10.000 km yüksekliğe kadar çıktığı kabul edilebilir. Uyduların Dünya yörüngesinde döndüğü ekzosfer katmanındaki moleküller ve atomlar, atmosferden uzay havasına giriş çıkış yapabilirler (URL-1).



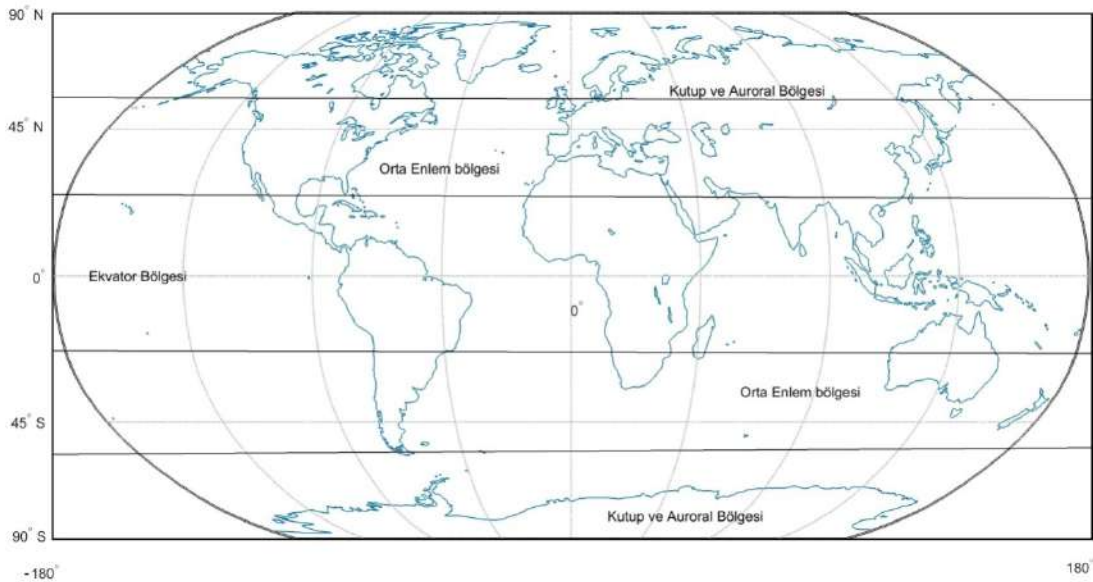
Şekil 2. 2. Atmosferin katmanları için sıcaklık değişimleri (URL-3)

Yeryüzünden yaklaşık 50 km ile 1000 km yükseklikte bulunan ve yukarıda belirtilen katmanlardan Termosferin tamamı ile Mezosfer ve Ekzosferin bir kısmını

içeren katman ise iyonosfer tabakası olarak isimlendirilmektedir. İyonosfer tabakasında bulunan gazlar, güneş ışınları tarafından iyonize olur. Atmosfer tabakasından askeri ve sivil haberleşme sağlanabilmesi için kullanılan radyo dalgaları geçmektedir. Şiddetli güneş patlamaları, bu haberleşme sistemlerinde kesintiye yol açabilir. İyonosfer tabakası, uydu haberleşmesi için de kritiktir. İyonosferden kaynaklanan hataların giderilmesi amacıyla, ölçüleri hangi yönde etkilediğini test etmek ve iyonosferin etkilerini ortaya koymak için iyonosferin sürekli izlenmesi gerekmektedir. İyonosferin etkilerinin belirlenmesi, iyonosferdeki elektron yoğunluğu izlenerek yapılmaktadır. Mevsimsel değişimlerin yanı sıra, Dünya'nın Güneş etrafında dönmesi, Güneş döngüsü ve Güneş leke sayıları iyonosferi etkilemektedir (URL-4).

2.1. İyonosfer Bölgeleri

İyonosfer, coğrafi enleme göre yüksek enlem bölgesi, orta enlem bölgesi ve ekvator bölgesi olmak üzere üç ana bölgeye kategorize edilir (Şekil 2.3.). Bu bölgeler bilimsel çalışmalarda temel olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda yüksek enlem bölgeleri auroral bölgesi ve kutup bölgesi olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 2. 3. İyonosferin bölgeleri (Odjik, 2002)

Ekvator bölgesi maksimum elektron yoğunluğunun en yüksek olduğu, Kuzey Yarım Küre’ de 23°27’ kuzey paraleli ile Güney Yarım Küre’de 23° 27’ güney paraleli arasındaki bölgedir. Yoğun iyonlaşma ve güçlü Güneş radyasyonu sebebiyle ekvator

bölgesinde sinyal genliği ve fazı sürekli değişir (Arslan, 2004). Ekvatorial anomali olarak isimlendirilen iyonosferik hareketlilik ekvator bölgesinde gerçekleşir. Jeomanyetik fırtına vb. etkilerle elektron yoğunluğundaki azalma ekvatorial anomali olarak ifade edilebilir. Anomali yerel zamana göre en yüksek değerine saat 14:00 – 15:00 gibi ulaşır (El Gizawy, 2003).

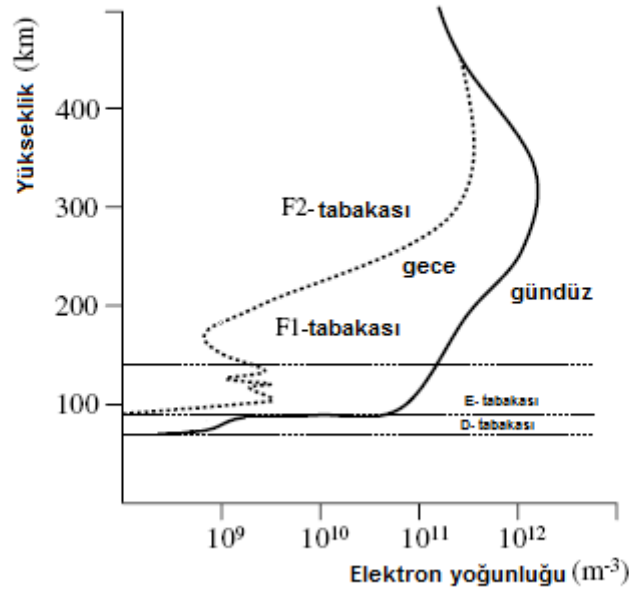
Orta enlem bölgesi değişimlerin ve bozulmaların daha az olduğu Türkiye’yi de içine alan bölgedir (Bülbül, 2020). Kuzey Yarım Küre’ de 23°27’ kuzey paraleli ile 66° 33’ kuzey paraleli arasında ve Güney Yarım Küre’de 23° 27’ güney paraleli ile 66° 33’ güney paraleli arasındadır (Öztan, 2018). Orta enlem bölgesinde yatay manyetik alan etkileri azdır (URL-4). Bu sebeple iyonosfer çalışmaları en çok orta enlem bölgesinde yapılmakta ve iyonosfer inceleme istasyonlarının çoğu orta enlem bölgesinde bulunmaktadır (Schaer, 1999). Güneş’ten gelen X ışını emisyonu ve enerji yüklü ultraviyole radyasyonun meydana getirdiği iyonlaşma, iyonosferdeki kimyasal işlemlerle biter (Arslan, 2004).

Yüksek enlem bölgesi aurora bölgesi ve kutup bölgesinden meydana gelir. Ekvator bölgesindeki elektron yoğunluğundan daha düşük elektron yoğunluğuna sahiptir. Fakat kısa süreli iyonosferik değişimler ekvator bölgesinden fazladır (Danilov ve Lastovicka, 2001; Skone ve Cannon, 1999). Kuzey yarım kürede gerçekleşen aurora borealis ve Güney yarım kürede gerçekleşen aurora australis havadaki atomların solar yüklü parçacıklarla harekete geçmesiyle oluşan ışımaya olayıdır (Roy ve Clarke, 1982). Auroral bölge 55° K ile 65° K coğrafi enlemleri arasında yer alır ve Kanada, Alaska, Kuzey Avrupa ve Rusya’nın bir kısmını içermektedir (Arslan, 2004). Ayrıca Auroral bölge zenginleştirilmiş üretken enerji yüklü elektron yağışı (precipitation) olarak ifade edilir (Bülbül, 2020). Kutup bölgesi ise aurora bölgesinin üzerindeki enlemlerdeki bölgedir (Arslan, 2004). Elektron hareketleri Güneş ışınlarının etkisiyle yüksek enlem bölgesindeki iyonlaşmayla değişir. Ultraviyole (UV) ışınlarının düşük iyonlaşma gösterdiği gündüz zamanı yüksek enlem bölgesinde iyonosferik gecikme düşüktür (Bülbül, 2020). Yüksek enlem bölgesindeki iyonlaşma, ısı akışları ve elektrik alanlar gibi olaylar yaratan manyetosferik etki ile de meydana gelebilir (Ünal ve ark., 2017).

2.2. İyonosfer Tabakaları

Farklı dalga boylarındaki Güneş ışınının emilmesi ve farklı yüksekliklerdeki iyonlaşma farklılıkları iyonosferin tabaka yapısını meydana getirir (Arslan, 2004).

İyonlaşma miktarı yükseklik arttıkça yükselir. Ayrıca iyonlaşma miktarı, iyonosferin konumu Güneş'e göre değiştiğinden zamana göre de değişmektedir. İyonosfer tabakasının üst sınırı için net bir değer belirlenmese de başlangıcı 50 km olup 1000 km yüksekliğe kadar çıktığı kabul edilir. İyonosfer tabakasının üst kısmı için inceltirilmiş elektron yoğunluğu olarak plazmasfer tabakası kullanılır (Alcay ve ark., 2014). Güneş'te gerçekleşen Güneş patlamaları gibi olaylar iyonosferdeki serbest elektron miktarını ve iyonlaşma miktarını ciddi ölçüde değiştirir. Değişen iyonlaşma miktarına göre iyonosfer tabakası D, E ve F (F₁, F₂) tabakalarına ayrılmaktadır (URL-4)(Şekil 2.4.).



Şekil 2. 4. İyonosferin düşey profili (Odjik, 2002)

Yerkabuğuna en yakın 50 km ile 90 km arasındaki yükseklikte D tabakası bulunmaktadır. D tabakasındaki iyonlaşma miktarını Güneş etkileri belirlemektedir (Wild, 1994). Bu iyonlaşma Güneş'in doğuşuyla meydana gelir. Serbest elektron miktarı yüksekliğin artmasıyla artar ve iyonlaşmanın en düşük olduğu tabakadır (Arslan, 2004). D tabakası, uzun ve orta dalga boyundaki sinyalleri iyonlaşmanın etkisiyle zayıflatır veya soğurur. Gece saatlerinde iyonların ve serbest elektronların birleşmesi ile D tabakası kaybolur (URL-4). Genellikle kuzey orta enlem bölgelerindeki kış anomalisi D tabakasında meydana gelir. Bu kış anomalisi düşük enlem bölgelerinde az görülür (Wild,

1994). GNSS ölçülerine bu tabakanın önemli bir etkisinin olmadığı kabul edilir (Spilker ve ark., 1996).

Yerkabuğunun 90 km ile 150 km yükseklikleri arasında E tabakası bulunmaktadır. E tabakasında Güneş ışınımı ile iyonlaşma gerçekleşir (Wild, 1994). E tabakasının GNSS sinyallerine etkisi düşük enerjili X ışınları ile olduğundan azdır. 100 km – 120 km yükseklikleri arasında yüksek iyonlaşma gerçekleşir ve bulutların oluşturulduğu güçlü bir E tabakası meydana gelir. Oluşan bu tabaka Es tabakası ya da düzensiz E tabakası olarak ifade edilir. Es tabakasından 1000 km üzerinde 100-150 MHz frekanslardaki sinyaller yansır (Arslan, 2004; URL-4). Parlama etkisi, kutup bölgelerindeki Güneş parçacıklarındaki düzensiz değişimlerle gerçekleşir (Arslan, 2004; Spilker ve ark., 1996).

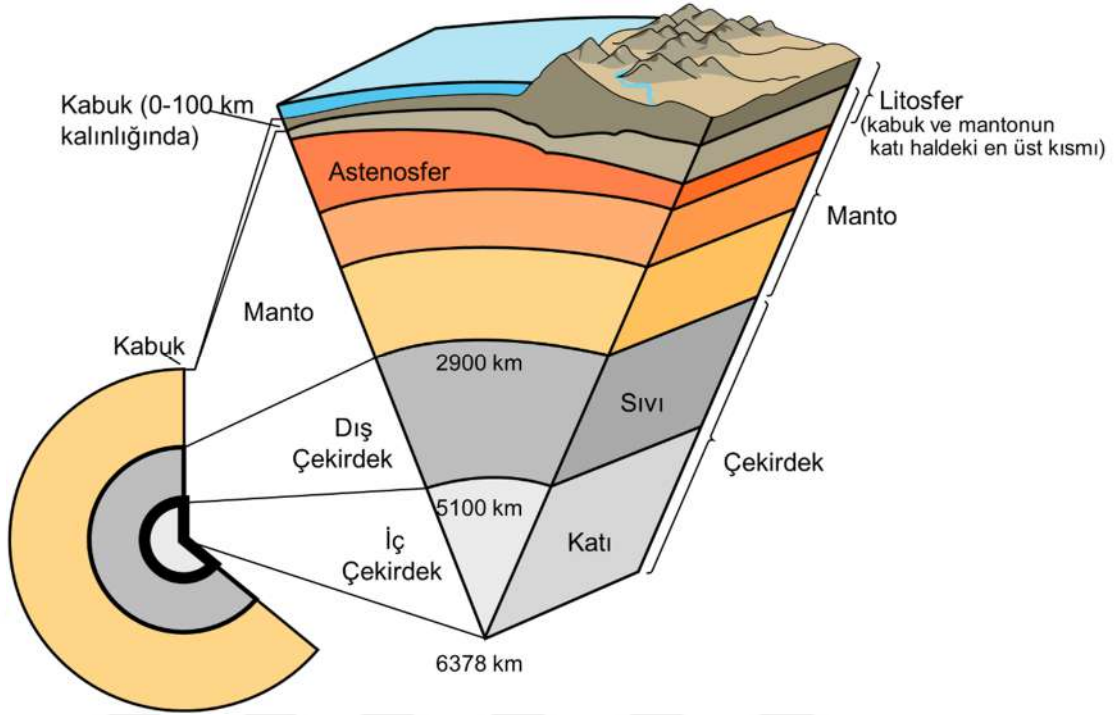
Yerkabuğundan 150 km üzerindeki en fazla serbest elektron ve iyon içeren tabaka F tabakasıdır. Güneş'in morötesi ışınlarıyla meydana gelen F tabakası iki katmandan oluşur (F₁ ve F₂). Düzenli yapıya sahip F₁ katmanı 150 km – 250 km yükseklikleri arasındadır (Arslan, 2004). Yerkabuğundan 250 km – 1000 km arasındaki yüksekliklerde F₂ katmanı bulunur. Üst iyonosfer tabakası F₂ katmanı ve yukarısı olarak ifade edilir. Alt iyonosfer ise D, E tabakaları ve F₁ katmanından oluşmaktadır. İyonlaşmanın en fazla olduğu katman F₂ katmanıdır (URL-4).

2.3. İyonosfer Tabakasını Etkileyen Faktörler

Dünya'nın iyonosfer tabakasını birçok faktör etkilemektedir. Bunlar litosfer, uzay iklim koşulları ve insanlar tarafından oluşturulan yüksek enerjili olaylardır. Bu faktörler hakkında alt bölümlerde bilgi verilmektedir.

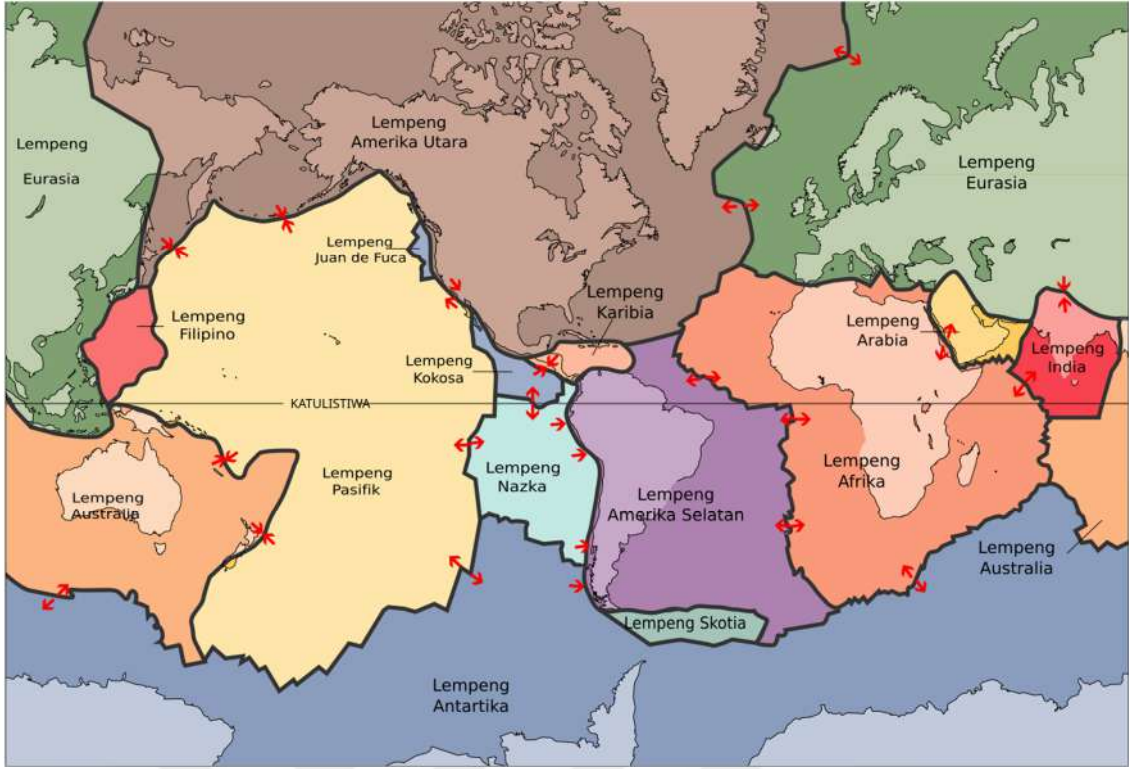
2.3.1. Litosfer

Dünyamız çekirdek, manto ve yeryüzündeki oluşumlardan meydana gelir. Dünya'nın yeryüzünde bulunan kabuk ve mantonun katı haldeki en üst katmanını içine alan tabaka litosfer olarak adlandırılır. Litosferin altındaki manto tabakası astenosferdir. Elastik yapıya sahip olan litosfer, Dünya'nın yeryüzünün en sert dış kabuğudur (Giese, 2005)(Şekil 2.5.).



Şekil 2. 5. Dünya'nın yapısı ve litosfer (URL-5)

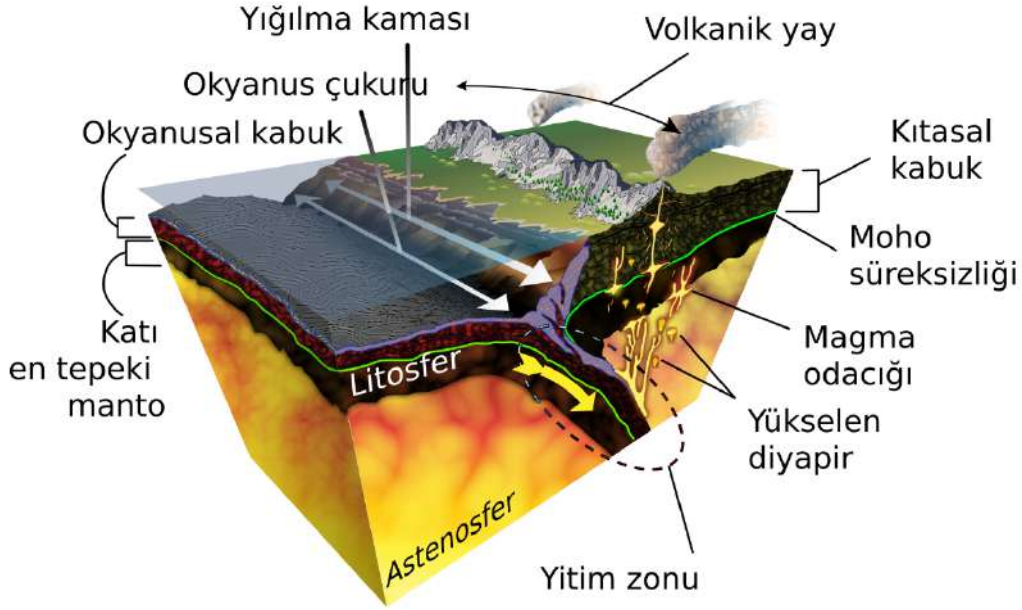
Litosfer tektonik levhalara bölünür (Olson, 2003; URL-6) (Şekil 2.6.). Litosferin tüm jeolojik zamanlarda katı yapıda kalması, levha tektoniğinin temel bir özelliğidir. Litosferdeki kaya yapıları, düşük sıcaklıklar nedeniyle milyarlarca yıl deformasyona karşı koyar. Litosferin altındaki kaya yapısı ise katı hal akışkanlığı için yeterince sıcaktır (Turcotte, 2003). Kıta litosferi 15 km – 200 km yüksekliğe ulaşabilirken, okyanus litosferinin ortalama kalınlığı 80 km – 100 km'dir (Mooney, 2003; Turcotte, 2003). Volkanik bir kuvvet litosfere etki ettiğinde, esnek yapıdaki litosferin hareket etmesine sebep olur. Jeolojik zamanlarda litosferdeki levhaların sınırlarında büyük mesafelere ulaşabilen gerilimler meydana gelir. Yaşanan gerilimler levha içi deformasyona ve depremlere sebep olur. Litosferdeki kabuk ve manto arasında bulunan sınırdaki sıkıştırma dalga hızı ortalama 8,07 km/s'dir (Turcotte, 2003).



Şekil 2. 6. Tektonik olarak ayrılmış litosfer levhaları (URL-6)

1909 tarihinde Yugoslav jeofizikçi Andrija Mohorovičić tarafından keşfedilen bu sınır, magnezyum ve demir gibi ağır elementler açısından zengin kimyasal bir sınırdır (Pieri ve Dziewonski, 2007). Litosfer, jeotermal olarak Dünya yüzeyinin derinliklerine doğru bir sıcaklık fonksiyonudur (Stein ve Stein, 2004). Levha hareketleriyle doğrudan ilişkili olmayan uzun ömürlü volkanik merkezler sıcak noktalar olarak ifade edilir (Olson, 2003). Zamana bağlı yaşanan ısı değişimlerinin, deniz tabanı derinliği ve jeoid yüksekliği gibi etkileri incelenmektedir (Parmentier, 2007). Litosfer ve astenosferin yapısı; yığılma kaması, volkanik yay, okyanus çukuru, kıtasal kabuk, Moho süreksizliği, magma odacığı, yitim zonu, okyanusal kabuk, yükselen diyapir ve en üst katı mantodan oluşur (URL-7)(Şekil 2.7.).

Litosferde yaşanan olaylar, yeryüzünde ve iyonosferde doğrudan etkiler bırakabildiği gibi, manyetik alan gibi faktörler de iyonosferi etkilemektedir. Litosferdeki manyetik alanın haritalanması için alçak yörüngeli CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload) uydusu 2001 yılında görevine başlamıştır (Purucker ve Whaler, 2007).

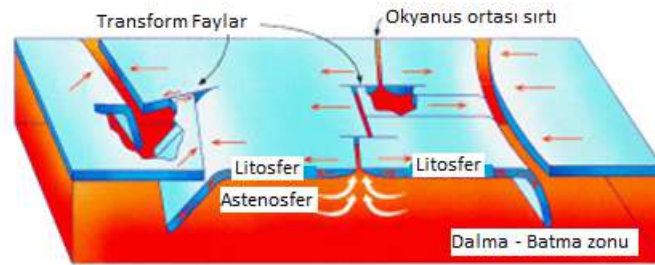


Şekil 2. 7. Litosfer ve astenosferin yapısı (URL-7)

2.3.1.1. Depremler

Manto tabakası sert bir yapıya sahip olmasına rağmen derinlere doğru sıvılaşma artmaktadır. Sıvılaşma ile oluşan hareketlenmeler astenosferdeki konveksiyon akımlarını tetikler. Konveksiyon akımları, yüksek gerilme ile zayıf zonları kırar, yerkürede parçalanmalara neden olur ve levhalar meydana gelir. Levhalar, kıtalarla birlikte astenosfer üzerinde çok düşük bir hızla hareket etmektedir. Konveksiyon akımlarına radyoaktivite ile açığa çıkan yüksek ısı sebep olur. Yüksek konveksiyon akımları levhaları birbirlerinden uzaklaştırır ve açığa çıkan magma okyanus ortası sırtlarını oluşturur. Birbirine sınır levhalar arası etkileşim sıkıştırma ve sürtünmelere neden olur. Sürtünme hareketi levhalardan birinin mantoya doğru hareket etmesine yol açar ve sıvılaşarak yitim zonlarını oluşturur (Şekil 2.7.)(URL-8). Yaşanan bu olay zinciri yerkürenin altında devam eder. Yeryüzündeki kırılmalar, levhalardaki sıkıştırma ile sürtünmeler oluşturur ve ortaya çıkan ani titreşim dalgaları yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzünü sallamasıyla deprem gerçekleşir. Levhaların birbiri arasındaki sürtünme katsayısı aşılmadığı sürece depremler meydana gelmez. Depremler ani ve şok şeklinde ortaya çıkar; enerjisini azaltarak kilometrelerce devam eden arazi kırıkları (fay) oluşabilir (URL-8). Yerkabuğu hareketleri litosfer üzerinde farklı yapıdaki fayları meydana getirir. Bu faylar, yatay hareketliğe sahip transform faylar, su altı sıra dağlarını oluşturan okyanus

ortası sırtı ve bir levhanın diğerinin altında hareket ettiği dalma-batma zonu olarak ifade edilir (Defant, 1998; Moores ve Twiss, 2014; URL-8, URL-9)(Şekil 2.8.).



Şekil 2. 8. Yer kabuğu hareketleri (URL-8)

Tektonik depremler, yeryuvarında gerçekleşen depremlerin %90'ını oluşturur ve tektonik depremler, levha hareketlerinin sonucunda meydana gelir. Bu depremlerin dışında volkanlar aktif hale gelerek, yeryüzüne fiziksel ve kimyasal olaylarla meydana gelen gazlarla birlikte püskürür ve volkanik depremleri oluşturur. Ayrıca çöküntü depremleri, yer altında oluşan boşlukların yeryüzünde oluşturdukları çökmelerle meydana gelir. Büyük bir depremin öncesinde küçük sarsıntılar ya da sonrasında şiddeti azalan yüzlerce deprem yaşanabilir. Bu küçük sarsıntılara öncü depremler, depremin sonrasındaki sarsıntılar da artçı depremler olarak adlandırılır. Herhangi bir derinlikte ve bölgede meydana gelen depremler, o bölgedeki etkilerine göre derecelendirilir. Bu derecelendirmelere göre depremlerin şiddeti belirlenir (URL-8).

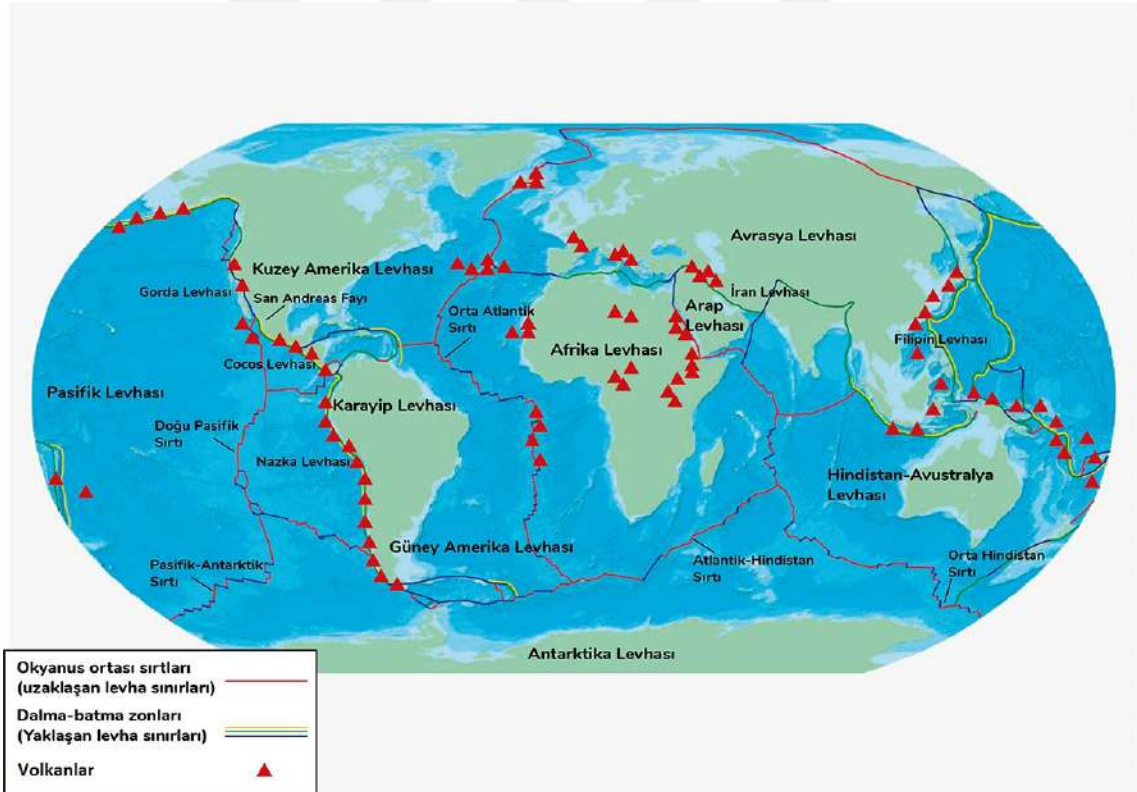
Depremler sonucunda yaşanan enerji değişimleri ve gaz moleküllerindeki değişimler, iyonosferdeki elektronları etkiler. Elektronlar üzerindeki etkiler, GNSS tabanlı ve farklı veri kaynaklarından elde edilen TEC verileri ile araştırılır. Depremler sonucunda TEC değişimleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Eroglu ve Basciftci, 2024a, 2024b; Ghafar ve ark., 2024; Jia ve ark., 2024; Liu ve ark., 2004, 2024; Shah ve Jin, 2015, 2018; Shah ve ark., 2019a; Shah ve ark., 2019b; Shah ve ark., 2020a, 2020b, 2020c).

2.3.1.2. Volkanlar

Dünya üzerindeki levhalar okyanus levhaları ve kıtasal levhalardır. Bu levhalar, manto üzerinde hareketli halde birbirleriyle çarpışması ya da bir levhanın diğer bir levha altına doğru hareket ederek yaptığı sıkıştırmalar sonucunda levha sınırları oluşur. Oluşan levha sınırları belirli konumlarda volkanların meydana gelmesine sebep olur. Levhaların

yaptığı hareket sonucu manto içerisindeki su buharı ve karbondioksit gibi gazlar, mantodaki kayaçların akışkan hale gelmesine yol açar. Sıcaklığın etkisiyle akışkan hale gelen kayaçlar magmayı oluşturur ve levha sınırları boyunca yüzeye çıkarak volkanları meydana getirir. Levhaların birbirine zıt yönde hareket etmeleri sonucunda meydana gelen açıklıklarda da astenosferdeki magma yüzeye çıkarak volkanları oluşturabilir. Yeryüzündeki tüm volkanların %80'inden fazlası, levhaların zıt yöndeki hareketi sonucu okyanus yüzeyinde oluşan volkanik sıradağlardan meydana gelir. Dünya üzerindeki levha sınırları ve levhaların hareketi sonucu oluşan volkanlar Şekil 2.9.'da verilmiştir (URL-7; URL-8; URL-9; URL-10).

Bazı durumlarda manto derinliklerinde aşırı sıcaklık artışları yaşanabilir. Sıcaklığın aşırı artışı magmanın oluşmasına sebep olur ve oluşan magmanın yoğunluğu etrafındaki kayaçların yoğunluğundan daha düşük olması durumunda meydana gelen yüksek basınçla birlikte litosferdeki kırıkları izleyerek fişkirabilir. Bu tür fişkirmalar, levha hareketlerinden bağımsız olarak volkanların oluşmasına neden olabilir (URL-10).

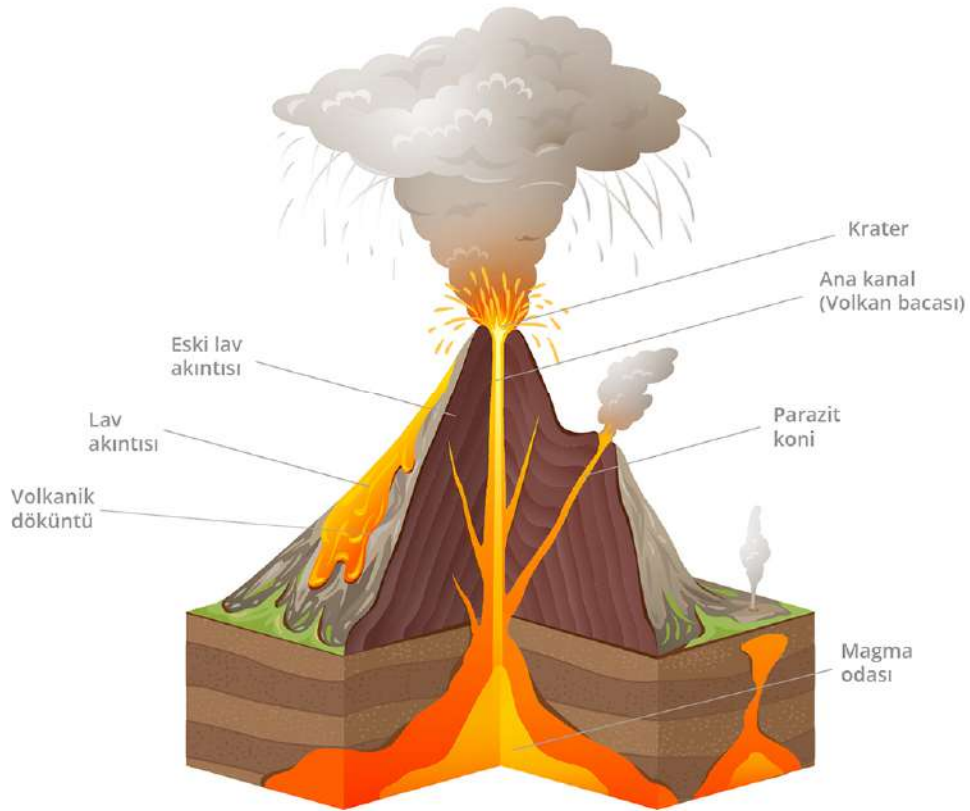


Şekil 2. 9. Dünya üzerindeki levha sınırları ve levhaların hareketi sonucu oluşan volkanlar (URL-10)

Volkanların yapısına bakıldığında; mantodaki magmanın birikip volkanın tabanını oluşturduğu alan magma odası, magmaya etki eden basıncın magmadaki

basınçtan fazla olması durumunda ilerlediği yol volkan bacası (ana kanal) ve yan kanallar, volkanın tepesindeki çukur alan kraterden meydana gelir. Yan kanalların yeryüzündeki açık ucu da parazit koni olarak ifade edilir (Şekil 2.10.)(Segall, 2010; URL-11; URL-12; URL-13).

Volkanların faaliyetlerini bitirmesi, volkanik hareketlerini sonlandırdığı anlamına gelmez. Volkanlar on binlerce yıl arayla aktif hale gelebilir. Hatta volkanların ömrü yüz binlerce ya da milyonlarca yıl sürebilir. Volkanik faaliyetlerin gücü çok yüksektir. Bazı volkanlar patladığında açığa çıkan enerji, 200 megaton güçteki patlayıcıya eşit enerjiye ulaşabilir. Bu enerji, Hiroşima'daki atom bombası felaketinde açığa çıkan enerjinin yaklaşık 13.000 katı anlamına gelmektedir (URL-10; URL-11; URL-12; URL-13).



Şekil 2. 10. Volkanların yapısı (URL-10)

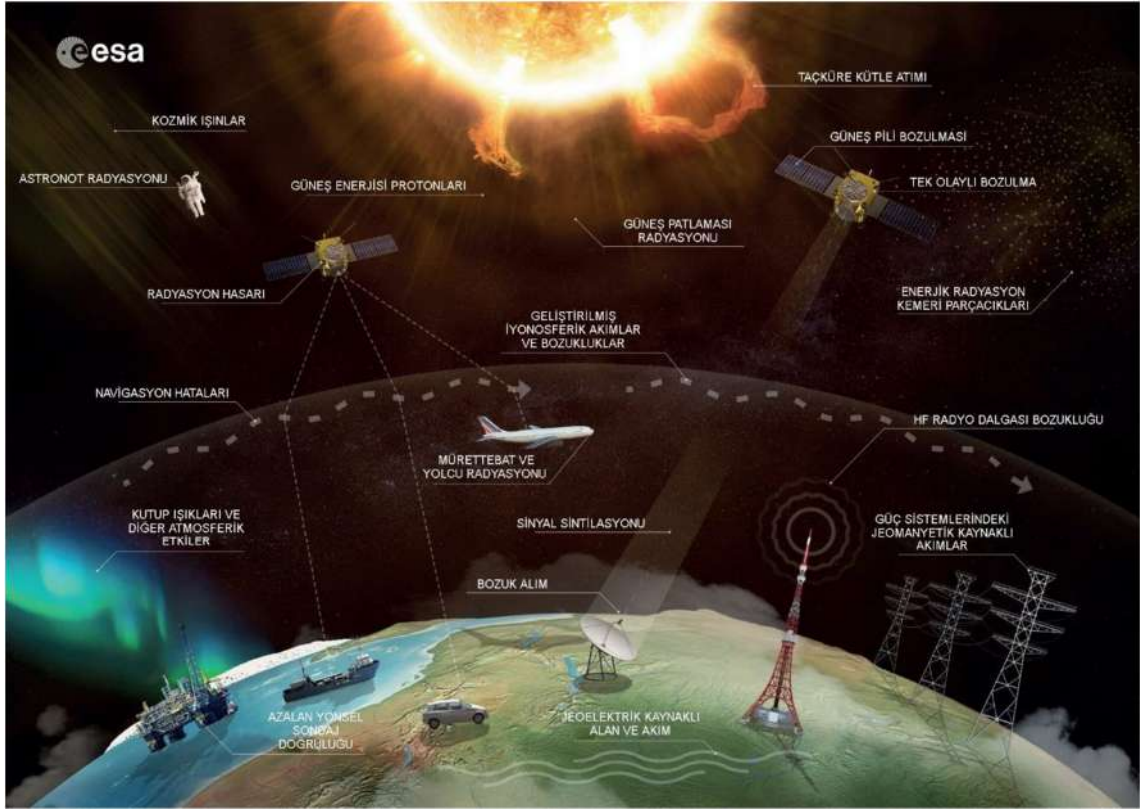
Lavlar, sıcaklığı 1250 °C olan ve volkanlardan çıkan akışkan magma içerisindeki malzemeler olarak ifade edilir. Magma içerisindeki maddelerin miktarları da hayati önem taşır. Gaz halindeki kükürt dioksit, karbondioksit ve su buharı gibi maddelerin miktarı fazla olması durumunda, magma volkan bacasından yukarı çıkarken parçalara ayrılır ve etkin maddelerle birlikte yoğun bir kül bulutu hızlı bir şekilde atmosfere doğru ilerler.

Zengin gazlarla dolu kül bulutunun sıcaklığı 200 °C ile 700 °C arasında değişebilir (Kanamori ve ark., 1994; URL-10; URL-11; URL-12; URL-13).

Kilometrelerce yükseğe çıkan kül bulutu içerisindeki gazlar ve sıcaklıkla birlikte atmosferdeki elektronlar üzerinde büyük etkiye sahip olur. Bu etkiler, yapılan GNSS tabanlı ve farklı veri kaynaklarından elde edilen çalışmaları etkiler. Bu etkileri belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Aranzulla ve ark., 2013; Cahyadi ve ark., 2020, 2021; Chen ve ark., 2025; Dautermann ve ark., 2009; Grapenthin ve ark., 2013; Harding ve ark., 2022; He ve ark., 2023; Heki, 2006; Heki ve Fujimoto, 2022; Hong ve ark., 2022; Kanamori ve ark., 1994; Ke ve ark., 2024).

2.3.2. Uzay iklim koşulları

İyonosfer tabakası, yeryüzündeki deprem ve volkan hareketleri dışında uzayda yaşanan olaylardan etkilenir. Uzayda gerçekleşen olaylar, iyonosferde düzensiz değişimler meydana getiren uzay iklim koşullarını oluşturur. Güneş kaynaklı uzay iklim koşulları; Güneş aktivitesi, Koronal Delikler, Güneş Parlamaları, Güneş Lekeleri, Güneş Aşırı Ultraviyole Işınımı, Taçküre Kütle Atımı, Güneş radyasyon fırtınası, Güneş rüzgârı, Galaktik Kozmik Işınlr ve jeomanyetik fırtınalardır. Uzay iklim koşullarının bazıları ve etkileri Şekil 2.11.' de verilmiştir (Alcay ve Gungor, 2020; Güngör, 2022; URL-14; URL-15).



Şekil 2. 11. Uzay iklim koşulları etkileri (Güngör, 2022; URL–15)

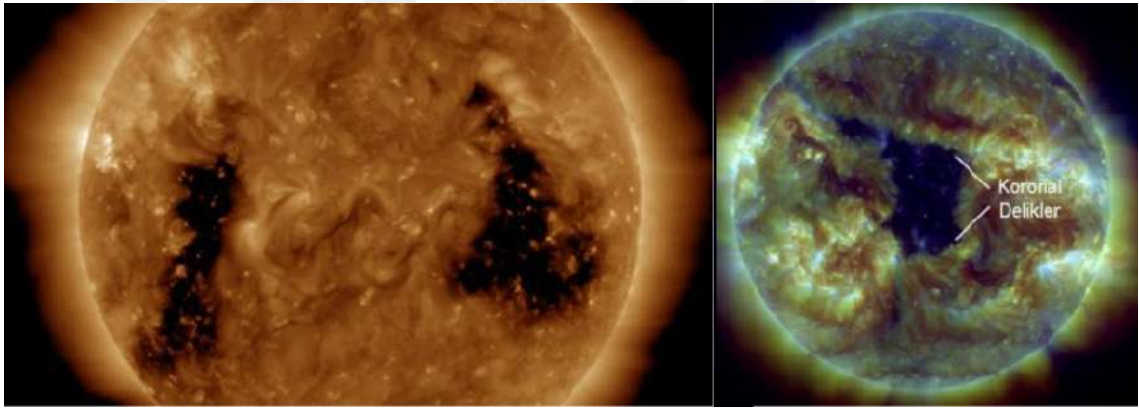
2.3.2.1 Güneş aktivitesi

11 yılda en yüksek seviyesine yükselen UV enerjisinin Güneş'te meydana gelen ışımanın açılal değişiklikleri, Dünya'nın Güneş'in etrafında dönmesiyle yaşanan mevsimsel değişimlerle meydana gelir. Güneş'in etkisi sonucu gerçekleşen UV dalgaları, iyonosferde emilmesinden dolayı oluşan iyonlaşma ile Güneş'in UV aktivitesi olan Güneş lekeleri sayıları arasında yüksek korelasyon gösterir. UV dalgaları değişimi, iyonosferde farklı alanlarda iyonlaşma meydana getirir. Bu iyonlaşma, dalga ışınımı ve parçacıklı ışınım ile ortaya çıkar (Arslan, 2004; Gopalswamy, 2004; Kornei, 2018; Langley, 2007; Öztan, 2018; Schaer, 1999; Spilker ve ark., 1996).

2.3.2.2 Koronal delikler

Aşırı EUV ve X-ışını radyasyonunda Güneş yüzeyinde ölçülen en koyu lekeler (karanlık alanlar) koronal deliklerdir (CH) (Cranmer, 2009; URL–14). CH'ler, daha düşük yoğunluktaki açık alanlardır ve enerjili parçacıkların hızlı bir şekilde Güneş'ten uzaya daha kolay çıkmasını sağlar. Meydana gelen tek kutuplu manyetik alan bölgeleri

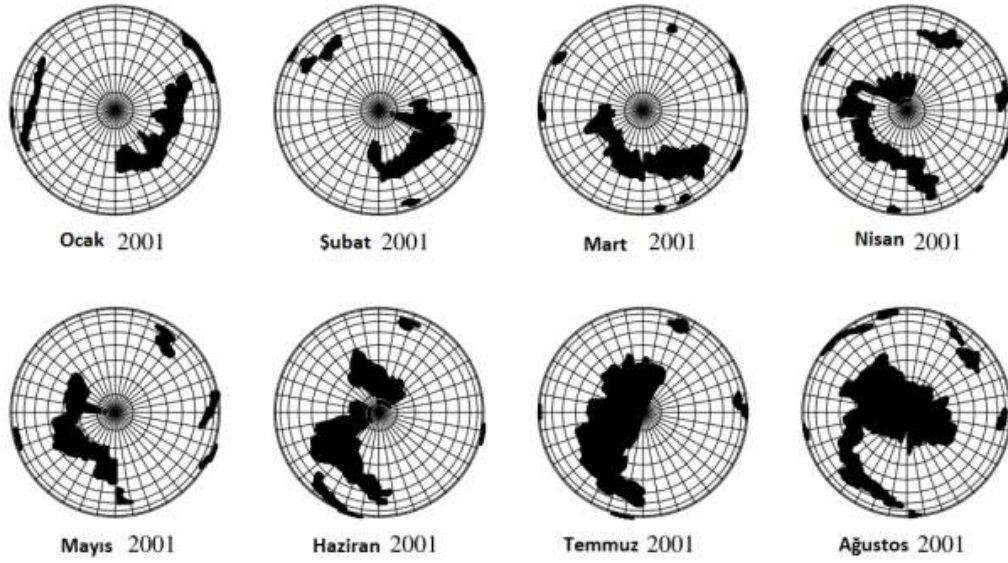
daha koyu görünür ve daha soğuktur. Solar maksimuma yakın, Güneş'in düşük enlemdaki jeomanyetik fırtınalardan sorumlu olan Güneş rüzgârları CH'lerle korelasyonludur. CH'lerin oluşturduğu jeomanyetik fırtınalar CME'lerden meydana gelen fırtınalar kadar şiddetli değildir. CH'lerin ilk gözlemleri Waldmeier (1956) tarafından yapılmıştır. Solar minimumda, 27 günlük Güneş döngülerinde herhangi bir zaman ve herhangi bir yerde Güneş'in üzerinde kalıcı CH'ler oluşabilir. Güneş'in kutuplarında sabit olarak görünen CH'ler, Güneş'in kutuplarından bağımsız meydana gelebilir. CH'ler, Güneş döngüsünün aktif dönemlerinde Güneş'in tüm enlemlerinde de meydana gelebilir. Hızlı Güneş rüzgârlarının uzun ömürlü kaynağı kalıcı CH'lerdir. Küçük CH'ler veya büyük CH'lerin sınırlarında daha düşük hızda Güneş rüzgârları meydana gelir (Cranmer, 2009; Rahman ve ark., 2019; URL-14; URL-16; URL-17; Wang ve Ko, 2019). Şekil 2.12'de iki farklı CH görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2. 12. CH görüntüleri (URL-14; URL-18)

CH'lerin, düşük radyo frekans aralığında yapılan gözlemleri daha parlak yapıda, yüksek radyo frekanslarda ise karanlık yapıdadır (Rahman ve ark., 2019).

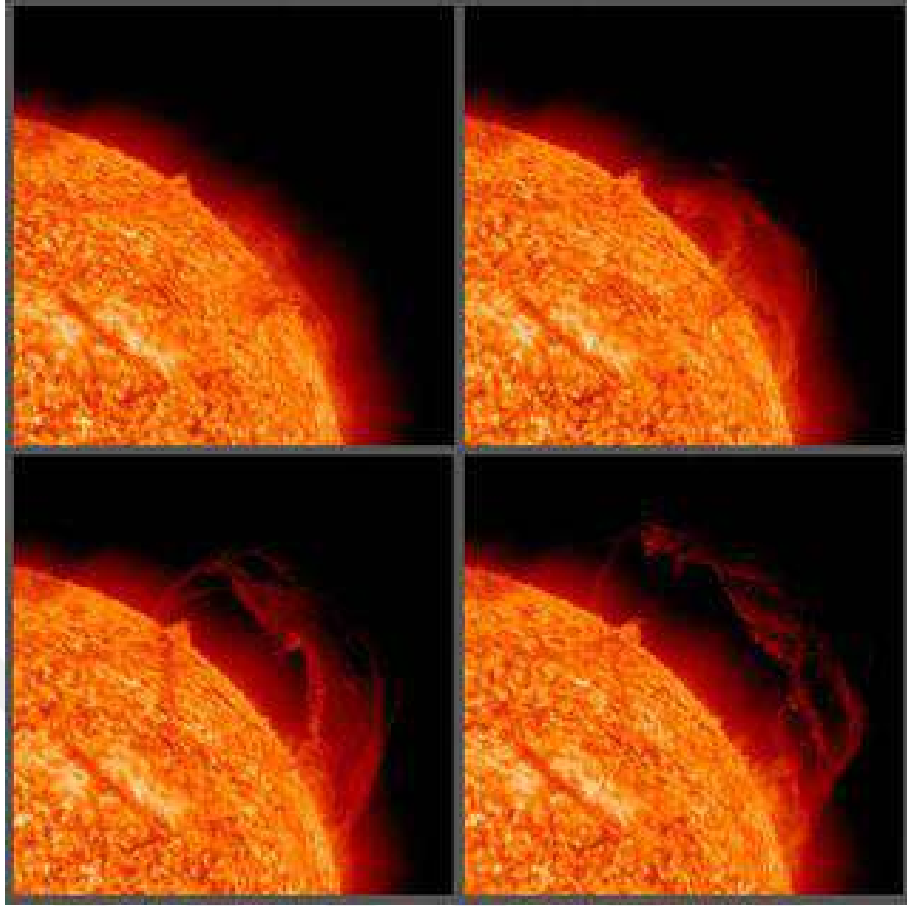
Maksimum Güneş aktivitesi göz önüne alınarak Ocak 2001 – Ağustos 2001 tarihleri arasındaki kuzey kutup noktasındaki 23'ncü Güneş döngüsündeki CH'lerin aşamaları Şekil 2.13'te verilmiştir. Solar maksimum sonrası CH'lerin büyümesinde geçen süre, bir sonraki solar maksimumun yükselme aşamasındaki kaybolma sürelerinin yaklaşık iki katı kadar sürer (Cranmer, 2009).



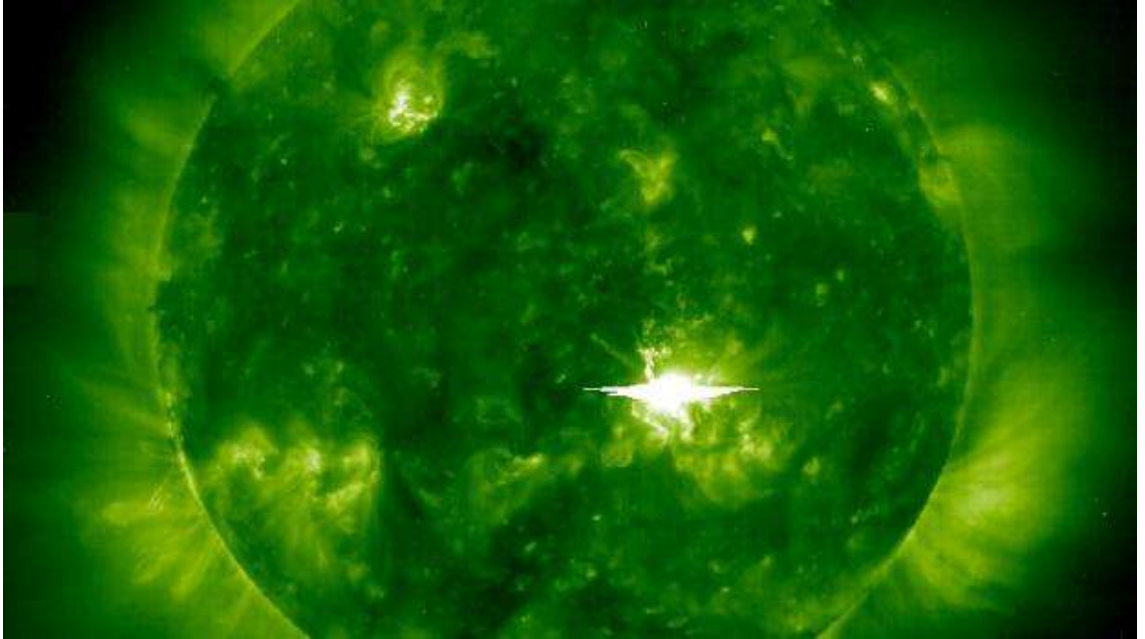
Şekil 2. 13. Ocak 2001 – Ağustos 2001 CH'lerin hareketi (Cranmer, 2009)

2.3.2.3. Güneş parlamaları

Güneş yüzeyinde ve Güneş'in dış atmosferinde biriken enerjinin anlık çıkışının sebep olduğu yoğun radyasyon, Güneş patlamasıdır. Patlamanın sıcaklığı 10-100 milyon Kelvin arasında olur ve patlama süresi birkaç saniyeden birkaç saate kadar uzun olabilir. Solar minimum ve solar maksimum dönemleriyle doğru orantılı olarak 11 yıllık periyotta gerçekleşir (Güngör, 2022; Kharayat ve Prasad, 2017; URL–19). Şekil 2.14.'te 15 Eylül 2010 tarihindeki Güneş patlaması aşamaları verilmiştir. Bu elektromanyetik radyasyon patlamaları, Güneş parlamaları olarak da ifade edilir. Güneş parlamaları, Dünya'nın Güneş'i gördüğü tarafındaki iyonosferin alt katmanlarında, X-ışını ve EUV radyasyon seviyesiyle iyonlaşmayı artırır. Güçlü bir Güneş patlaması, iyonosferin D tabakasında radyo dalgalarıyla etkileşime giren elektronların daha sık ve daha yüksek enerjilerde çarpışmasına neden olur; bunun sonucunda elektronların enerjileri düşer ve iyonlaşır (URL–14). Güneş patlamasına ait görüntü, Şekil 2.15.'te verilmiştir.



Şekil 2. 14. 15 Eylül 2010 Güneş patlaması aşamaları (URL-20)

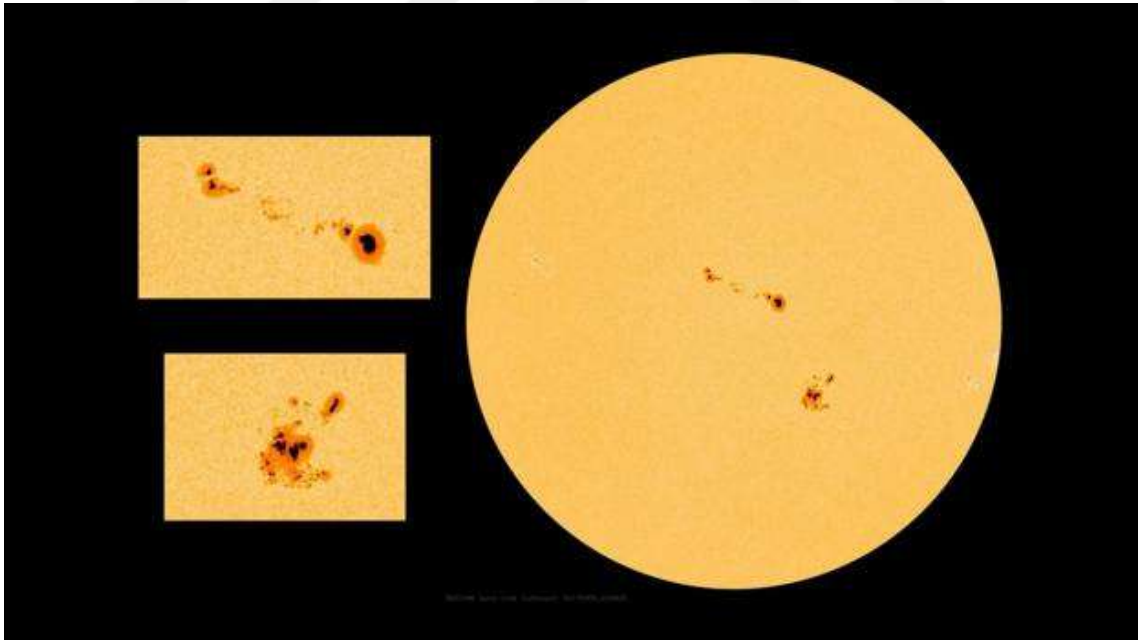


Şekil 2. 15. Güneş parlaması (URL-14)

Güneş parlamaları, Güneş lekeleriyle ilişkili olabilir. Bu patlamalarda CME'ler olur ve elektromanyetik radyasyon ile yüksek enerji oluşturur. Güneş patlamalarında uydu sürüklenmesi, ömrünün kısalması ve sinyallerinin bozulması, iletişim sistemlerinin bozulması, uzay araçlarının zarar görmesi ve GNSS ölçümlerinin hassasiyetinin bozulması gibi durumlar olabilir (Güngör, 2022; Kiruthiga ve ark., 2021; URL-21; URL-22).

2.3.2.4. Güneş lekeleri

Güneşin merkezinden dışına doğru atılan manyetik akının, Güneş yüzeyindeki ısıyı $\sim 6000^{\circ}\text{C}$ 'den $\sim 4200^{\circ}\text{C}$ 'ye düşürmesi sonucu meydana gelen siyah alanlar Güneş lekeleri olarak adlandırılır (Şekil 2.16.). Güneş yüzeyinde daha koyu görünen geçici Güneş lekelerinin patlama üretme ihtimalleri yüksektir (Arslan, 2004; Öztan, 2018). CME'ler, radyo parlamaları, radyasyon fırtınaları ve Güneş patlamalarının kaynağı anlık değişen Güneş lekeleri olabilir. Güneş lekelerinin en karanlık halleri ilk oluştuğu dönemlerde gözlemlenir ve yoğunlukları azaldıkça karanlık görünüşleri de zayıflar.

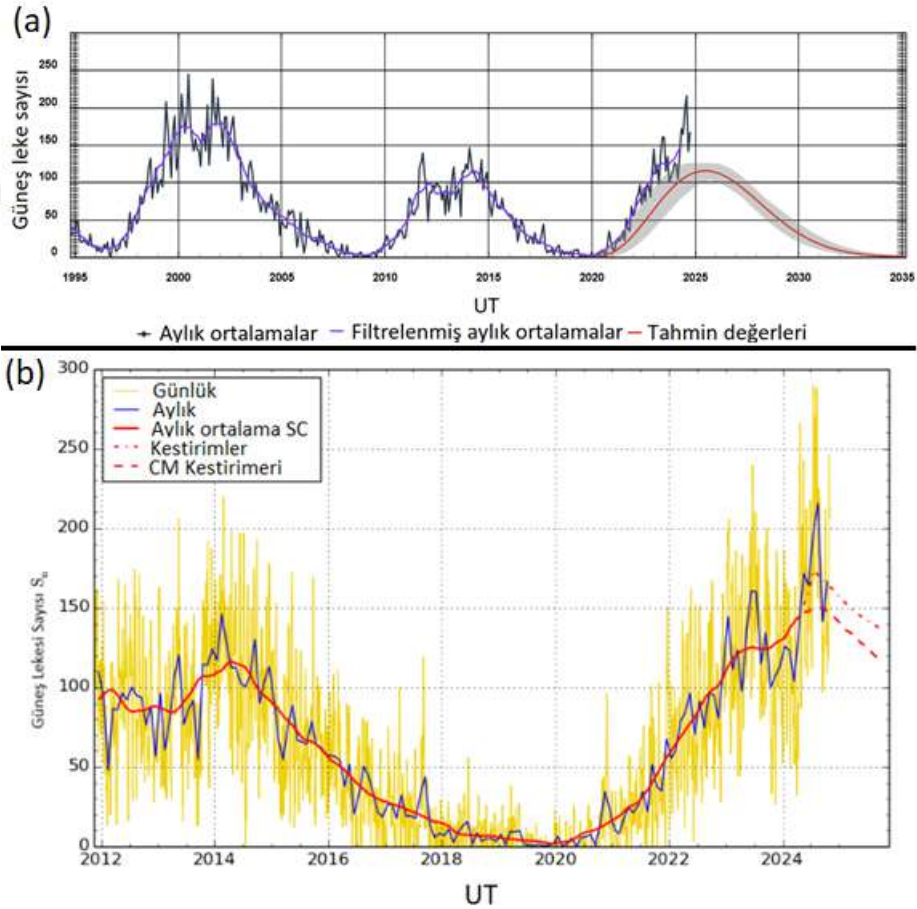


Şekil 2. 16. Güneş lekeleri (URL-14)

ISES (International Space Environment Service – Uluslararası Uzay Çevre Hizmetleri) tarafından, ROB (Royal Observatory of Belgium – Belçika Kraliyet Gözlemevi bünyesinde faaliyet gösteren SIDC'te (Solar Influences Data Analysis Center

–Güneş Etkileri Veri Analiz Merkezi) sağlanmaya başlanılan verilerle birlikte entegre olarak Ocak 1749’dan bu yana SSN’nin aylık ortalamaları ve 12 aylık tahminleri verilmektedir.

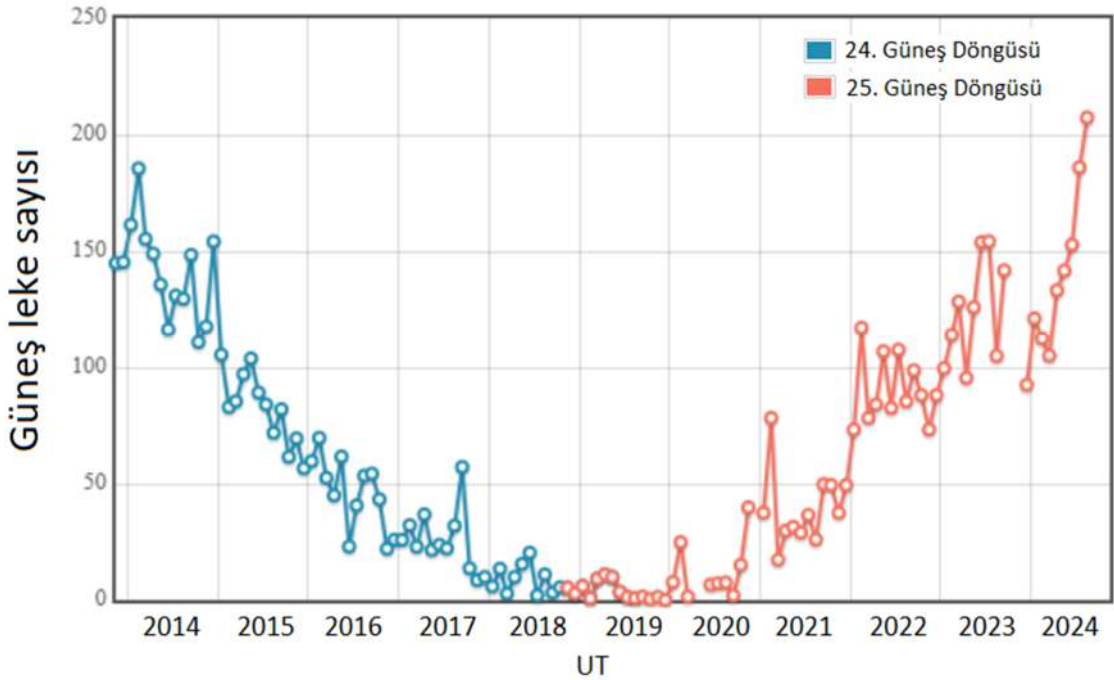
ROB’daki WDC-SILSO (World Data Center – Sunspot Index and Long-term Solar Observations /Dünya Veri Merkezi – Güneş Lekesi Endeksi ve Uzun Dönem Güneş Gözlemleri) ise günlük ve aylık Güneş lekeli sayılarını vermektedir. SSN, Güneş lekeli gruplarıyla oluşturulduğunda sıfır olarak kabul edilmemektedir (URL–14). Şekil 2.17.’de 1995 – 2035 tarihleri arasındaki ISES tarafından hazırlanan aylık ortalamalar (a), 13 yıllık SSN 2025’e kadar olan tahminleriyle SILSO tarafından aylık ve günlük ortalamalar (b) SSN grafikleri verilmiştir. Güneş lekelerinin oluşturduğu manyetik aktivitenin en yüksek solar maksimum, manyetik fırtınanın olmadığı sakin zamanlara ise solar minimumdur (URL–14).



Şekil 2. 17. (a) 1995-2035 tarihleri arasındaki ISES SSN’nin aylık ortalamaları (URL–14) (b) 2012-2025 tarihleri arasındaki SILSO SSN’nin Aylık Ve Günlük Ortalamaları (URL–23)

Şekil 2.17. incelendiğinde, SSN'nin yaklaşık 11 yıllık periyotta değiştiği görülmektedir. Solar maksimumda Güneş aktivitesi, Güneş lekesi sayılarını artırır ve azaltır. Bu durum, iyonosferik aktivitenin maksimum değerlerde olmasının bir göstergesidir (Beutler ve ark., 1996; Öztan, 2018). Ayrıca Güneş döngüsüne göre Güneş lekesi sayılarını İstanbul Üniversitesi Gözlemevi de sunmaktadır. 2014–2024 yılları arasında 24. Güneş döngüsü ve 25. Güneş döngüsü gösterilerek Şekil 2.18.'de verilmiştir (URL–24).

Güneş döngüsünün solar maksimumdan solar minimuma dönmesiyle Güneş lekesi sayıları azalır (Beutler ve ark., 2001).



Şekil 2. 18. 2014-2024 tarihleri arasındaki 24. Güneş döngüsü ve 25. Güneş döngüsü İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Güneş Leke Gözlemleri SSN (URL–24)

Güneş döngüleri, 1755 tarihinde kayıt altına alınmaya başlanmıştır. Sayısal olarak isimlendirilen Güneş döngüleri, 1. Güneş döngüsü ile başlamaktadır. İçinde bulunduğumuz 25. Güneş döngüsü ise Aralık 2019'da başlamıştır (URL–14).

2.3.2.5. Güneş aşırı ultraviyole (EUV) ışınımı

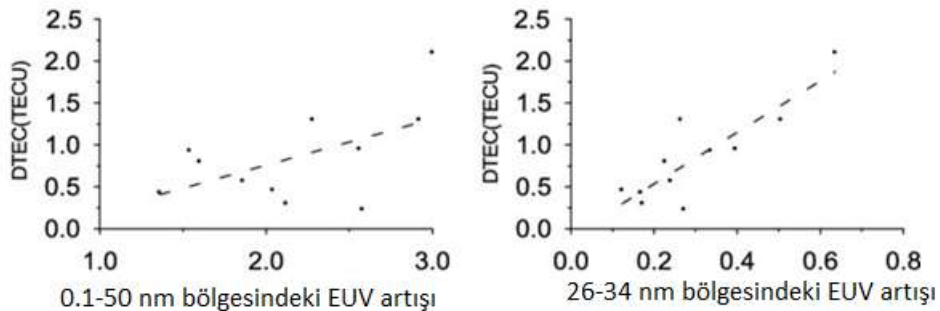
Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) Işınımı; bütün enlemlerde, jeomanyetik fırtınaların olmadığı sakin günlerde yaşanan, Dünya üst atmosferini değiştiren öncül enerji ve elektromanyetik spektrumun 10 nm-121 nm dalga boylarındaki Güneş

radasyonudur (Alcay ve Gungor, 2020; Le ve ark., 2011; Liu ve ark., 2011; Mitra, 1974; Thiemann ve ark., 2019). Aşırı enerji yükü ile EUV ışınımı hem atmosferi iyonlaştırır, bu yüzden üst atmosferde emilir, hem de termosfer ve iyonosferi birbirleriyle benzer şekilde etkileyerek üst atmosferi ısıtır (Qian ve ark., 2010). Bu nedenlerden dolayı EUV ışınımı ölçümleri yer merkezli yapılmaz, ölçümler uydular ve roketler ile gerçekleştirilir (URL–14).

Bir güneş döngüsü süresince on kat değişen Güneş EUV ışınımı; Güneş EUV ışınımı radyasyonu, Güneş EUV ışıması ve EUV fotonları üç ana iyonosferik değişim faktörü olarak karşımıza çıkar. Oksijen (O), hidrojen (H), demir (Fe), helyum (He), sodyum (Na), silikon (Si) ve magnezyum (Mg) EUV fotonlarını oluşturur. Bu fotonlar atmosferde tamamen emilir, atmosferi iyonlaştırır ve iyonosferi meydana getiren elektronları oluşturur. Güneş atmosferinin koronası ve kromosferi Güneş EUV ışınımı ile Güneş EUV ışınımı radyasyonunu meydana getirir. Güneş EUV ışınımı, dakikalardan saatlere değişen Güneş patlamalarıyla, günlerden aylara hatta yıllardan on yıllara değişen Güneş döngüsü ile oluşabilir (URL–14).

Güneş EUV ışınımına iyonosfer anında tepki oluşturabilir. Fakat iyonosferin kapsadığı termosfer tabakası bu tepkiyi 2 saat ile 4 saat arasında meydana getirebilir (Thiemann ve ark., 2019). 1996 tarihinden bu yana Güneş ve Heliosferik Gözlemevi (SOHO), Yük, Element ve İzotop Analiz Sistemi (Charge, Element, Isotope Analysis-CELIAS) ve Solar EUV Monitörü (Solar EUV Monitor-SEM) ile 26-34 nm (± 1 . derece) ve 0.1-50 nm (0. derece) bantları EUV verilerini sağlamaktadır (Alcay ve Gungor, 2020; Güngör, 2022; Judge ve ark., 1998).

Şekil 2.19.'da EUV ışınımı artışı ve TEC arasındaki ilişki verilmiştir. 26-34 nm ve 0.1-50 nm EUV bantları EUV ışınımı ile TEC arasında pozitif ilişki kurmaktadır. Güneş parıldaması yaşandığında 26-34 nm bölgesindeki akı ışınımı ile TEC korelasyonu vardır (Zhang ve ark., 2011).



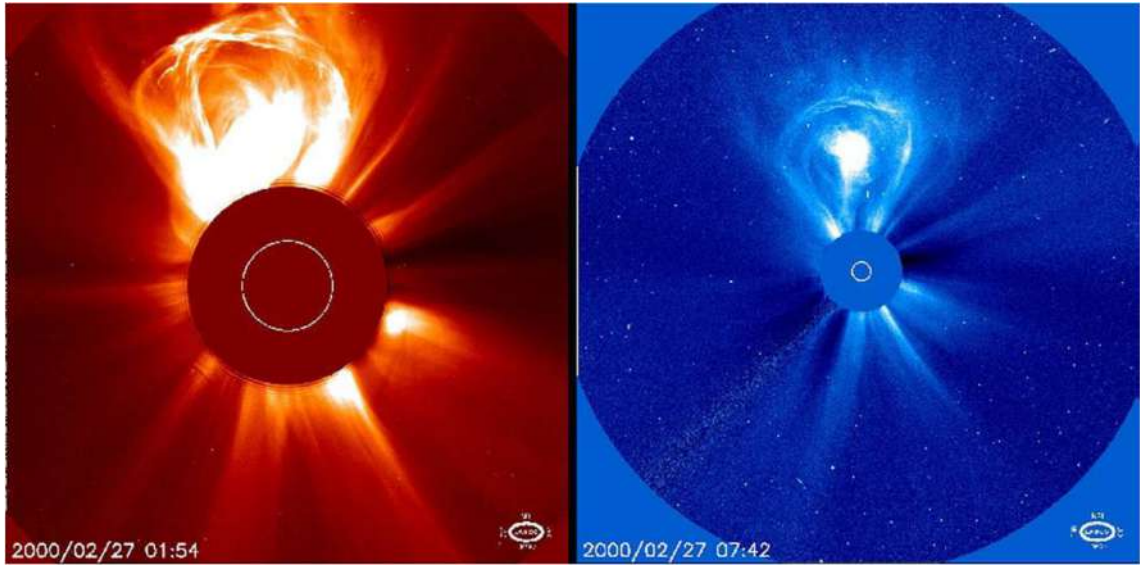
Şekil 2. 19. 0.1–50 nm ve 26–34 nm bölgesi EUV akısı artışları ve TEC ilişkisi (Zhang ve ark., 2011)

2.3.2.6. Taçküre kütle atımı

Helyosfer, Güneş rüzgârları ve Güneş'ten yayılan maddeler ile gezegenler arası ortamda oluşan alandır (Güneş rüzgârı tarafından oluşturulan, Güneş sistemi içindeki tüm gezegenleri kapsayan manyetik baloncuk). Güneş'in atmosferinden helyosfere, Güneş rüzgârlarının oluşturduğu IMF'den güçlü, milyarlarca ton koronal malzemeyi barındıran manyetik alan ve plazmanın Güneş'ten atılması Taçküre Kütle Atımı (CME) olarak adlandırılır (Jin ve ark., 2017). CME hızları uzay iklim koşulları araştırmalarında kullanılır. CME hızları düşük hızda (~ 100 km/s), hızlı (~ 483 km/s) ve daha hızlı (~ 3000 km/s) olarak sınıflandırılabilir (Kumar ve Pandeya, 2020). Jeomanyetik fırtınalara sebep olan CME'ler, 15 saat-18 saat gibi çok kısa sürede Dünya'ya ulaşabilir ve Dünya'nın manyetosferini bozabilir (Gosling, 1993). CME'ler Dünya'ya birkaç günde de ulaşabilir. CME'lerin boyutu, Güneş'ten uzaklaştıkça artar; hatta CME'ler Dünya'ya ulaştığında Dünya ile Güneş arasındaki boyutun dörtte biri kadar büyüklüğe çıkabilir (Gopalswamy, 2004; Yashiro ve ark., 2004).

CME'lerin Güneş'in alt koronasında bulunanları, daha düşük enerjiye sahip bölgelerle çarpıştığında Güneş patlamasına ve enerjinin aniden salınmasına neden olur. Daha yoğun plazma ve daha soğuk Güneş bölgelerinde CME'ler oluşabilir. Bu CME'lerdeki parçacıklar Güneş rüzgârlarının etkisiyle hızlanır ve oluşan radyasyon fırtınasının etkisiyle yoğunlukları artar. Ayrıca CME'ler, Güneş lekeleri arttığı zaman artar. Solar maksimum döneme yakın günde yaklaşık üç CME, minimum dönemde ise her beş günde bir CME Güneş'te meydana gelir. CME'lerin Dünya'yı ne kadar etkileyeceği, CME'deki parçacıkların hızı, yükü ve toplam kütlesi ile belirlenir. CME'lerin bu özellikleri koronagraf görüntülerinden elde edilir. Derin Uzay İklim Gözlemevi (Deep Space Climate Observatory-DSCOVR) uydusu, Güneş rüzgâr hızındaki ani artışlar, uzay aracındaki yoğunluk ve IMF gücü ölçümleri ile ilk kez CME tespiti yapılmıştır. Bu ölçümler CME'lerin Dünya'ya, IMF aracılığıyla var olan manyetik alandan daha hızlı ulaştığını göstermiştir. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration-NASA) CME'leri analiz etmek için, SOHO'da Geniş Açılı ve Spektrometrik Koronagraf (Large Angle Spectrometric Coronagraph-LASCO) kullanılır. Şekil 2.20.'de 27 Şubat 2000 tarihindeki SOHO-LASCO tarafından üretilen CME görüntüsü verilmektedir. CME'lerin analizi ve jeomanyetik fırtına

potansiyeli Uzay Hava Tahmin Merkezi (Space Weather Prediction Center-SWPC) tarafından 3 günlük tahminlerle birlikte beş seviyeli Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA) uzay hava ölçeği kullanılarak yayınlanır (URL-14; URL-25). CME görüntüleri Güneş Karasal İlişkiler Gözlemevi (STEREO-Solar TERrestrial RELations Observatory) STEREO-A / STEREO-B yörünge gözlemleri ve SOHO gözlemleri <https://ccmc.gsfc.nasa.gov/analysis/stereo/> arayüzünden indirilebilir (URL-26).



Şekil 2. 20. 27 Şubat 2000 tarihindeki SOHO LASCO tarafından üretilen CME görüntüsü (URL-27)

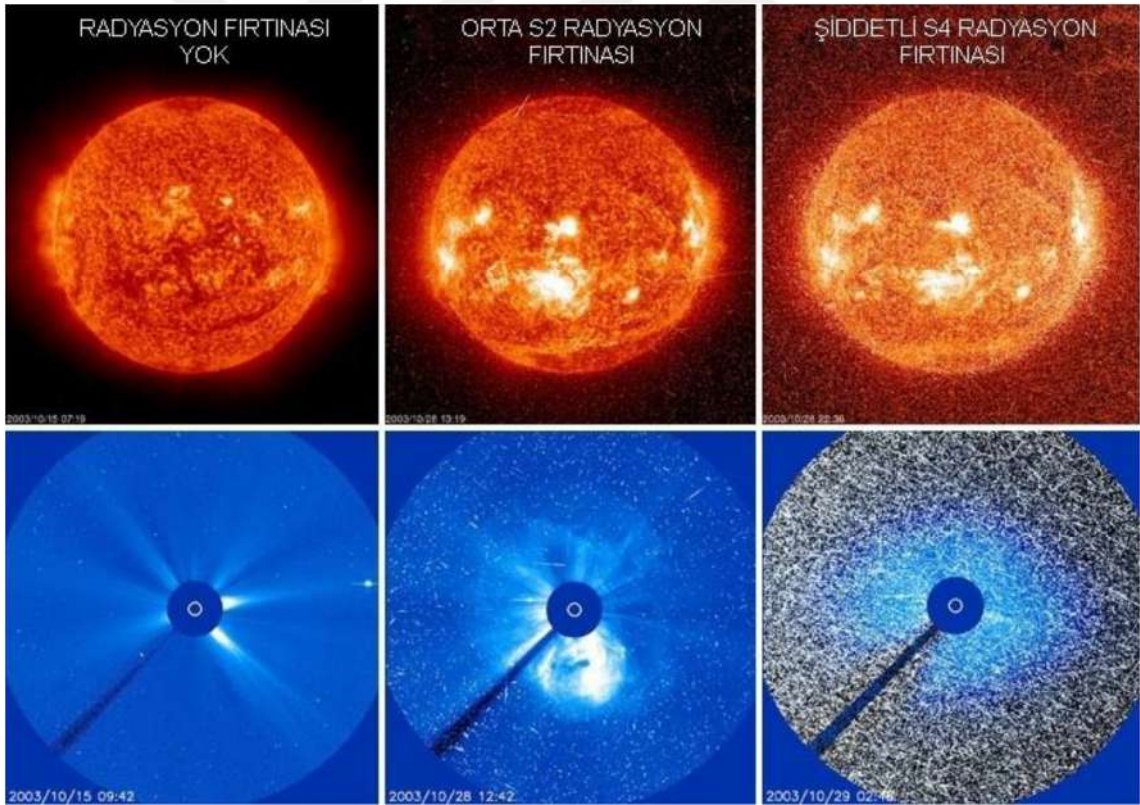
2.3.2.7. Güneş radyasyon fırtınaları

Güneş Radyasyon Fırtınaları (Solar Radiation Storms-SRS), CME sırasındaki büyük patlamalar ile yüklü parçacıkların çok yüksek hızlara çıkmasıyla oluşur. Güneş'ten Dünya'ya 10.000 km/s veya daha hızlı hareket eden protonlar meydana gelir. Protonlar Dünya'ya ulaştıklarında manyetosferden geçerek, manyetik alan çizgileri boyunca hareket eder. Birimi pfu'dur ve $\text{particle cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{ster}^{-1}$ ile ifade edilir. Logaritmik olarak artar (10 pfu – 100 pfu – 1000 pfu – 10000 pfu – 100000 pfu). SRS, protonların manyetik alandaki enerjisi 10 milyon elektron volta (MeV) eşit veya daha büyük olması durumunda ya da jeomanyetik fırtına içindeki hızı 10 proton akı birimine eşit ya da daha fazla olması durumunda meydana gelir. SRS, Güneş Enerjili Parçacık (Solar Energetic Particles-SEP) olarak da adlandırılabilir (Augusto ve ark., 2016; Güngör, 2022). SRS'ler, NOAA'ya ait GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) uydusu tarafından proton

ölçümlerine dayanan S1 (küçük) ile S5 (büyük) arasında ölçekte derecelendirilir (URL–28).

SRS'ler, patlamanın büyüklüğüne bağlı olarak saatlerle sınırlı kalabilirken günlerce de sürebilir. Dünya'ya ulaşan SRS'leri atmosfer ve manyetosfer yeryüzüne geçmesini engeller. Ancak Güneş radyasyonu fırtınaları, molekülleri ve atomları iyonlaştırarak ortaya çıkardığı serbest elektronlar ile Dünya yakınındaki uyduların ve astronotların biyolojik yapısına ve elektronik devrelerine zarar verir. Astronotlarda radyasyon zehirlenmesine ve HF'ye (Radyo Dalgaları) sahip radyo iletişimde tamamen kesilmelere yol açabilir (URL–28).

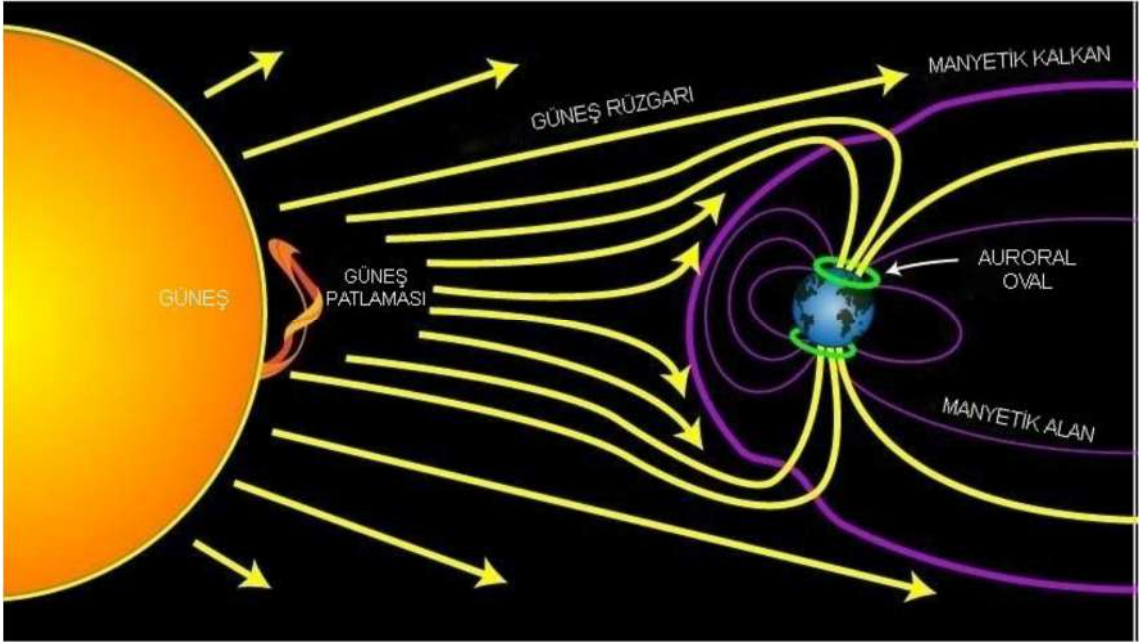
Şekil 2.21.'deki soldaki görüntülerde SRS yaşanmadığı andaki uydu görüntüsü verilmiştir. Sağdaki görüntüde ise S4 şiddetindeki radyasyon fırtınası yaşandığında kameranın sensörüne yüklü ve hızlı çok sayıda proton çarptığı için bozulmalar oluşmuş ve görüntüler kullanılamaz hale gelmiştir (URL–29).



Şekil 2. 21. SRS' nin uydu görüntüsüne etkisi (URL–29)

2.3.2.8. Güneş rüzgârı

Güneş'in farklı bölgelerindeki üst atmosferinde bulunan CH'lerden farklı yoğunluklarda proton ve elektronlardan oluşan manyetik plazma akışları Güneş rüzgârını oluşturur. Genelde 400 km/s hızdaki Güneş rüzgârları, 800 km/s'yi aşan farklı yoğunluk ve hızlarda meydana gelebilir. Güneş döngüsünün 27 günde bir gerçekleşmesi ve Güneş'in yüksek enlemlerinde ve kutuplarında kalıcı büyük CH'ler gibi olaylar, Güneş rüzgârlarını farklı noktalarda, farklı hızlarda ve yoğunluklarda karmaşık hale getirir (Gogoberidze ve Voitenko, 2020; Güngör, 2022; URL-30). Güneş rüzgâr hızı en yüksek seviyelerinde elektrik sistemlerine, ozon tabakasına ve uydulara zarar verebilir (Li ve ark., 2021; URL-31). Kutup ışıkları, jeomanyetik fırtınalar, alt fırtınalar ve göreceli elektronların hızlanması gibi uzay iklim koşullarının başlamasında Güneş rüzgârlarının rolü büyüktür (Ahluwalia, 2003; URL-30). Bu uzay iklim koşullarının kaynağı CME'ler, Güneş patlamaları ve yüksek hızlı Güneş rüzgârıdır (Kharayat ve Prasad, 2017). Şekil 2.22.'de Güneş rüzgârı manyetik alanı ile Dünya manyetosferinin etkileşimi verilmiştir (Wang, 2018).



Şekil 2. 22. Dünya manyetosferinin güneş rüzgâr plazması ile etkileşimi (Wang, 2018)

2.3.2.9. Galaktik kozmik ışınlar

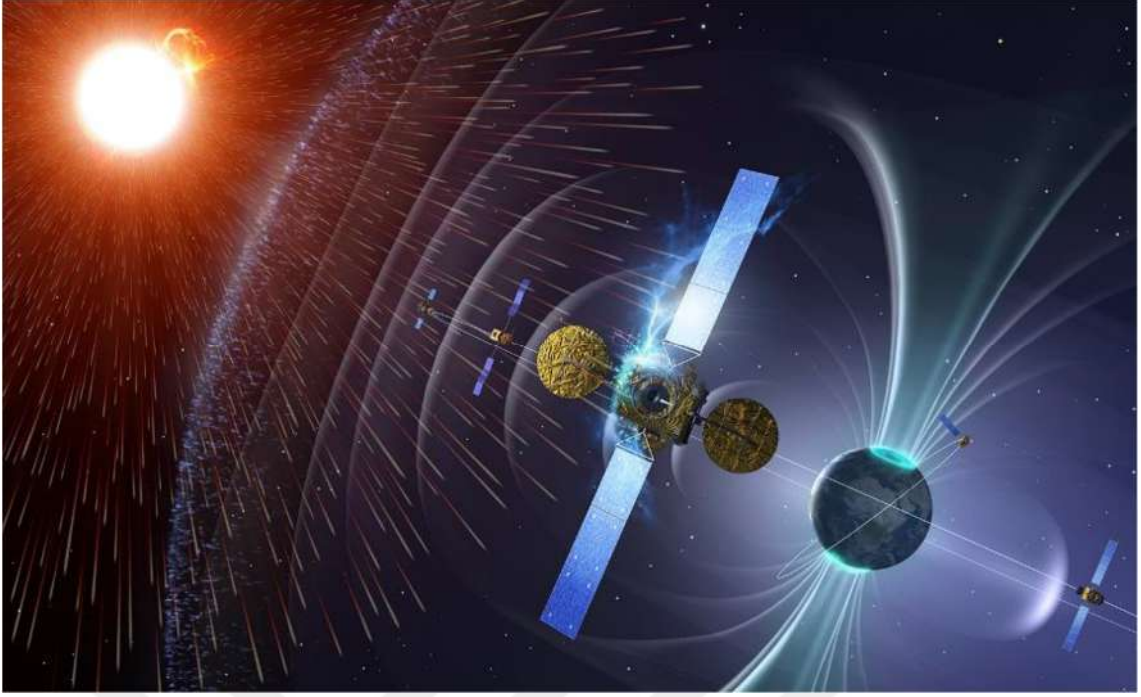
Yüksek enerjili ve yavaş değişimlere sahip parçacıklara Galaktik Kozmik Işınlar (GCR) denir. GCR'ler süpernova gibi patlamalar sonucu meydana gelir. Evrenin her yerinde bulunan GCR'ler, Dünya'nın atmosferinde bombardıman etkisi yapar. Güneşten

kaynaklanan GCR'ler olduğu gibi, çoğu Güneş sistemi dışındaki kaynaklardan oluşan GCR'ler 1912'de Hess tarafından keşfedilmiştir (Baade ve Zwicky, 1934; URL–32; URL–33).

GCR'lerin ~%89'u hidrojen, ~%10'u helyum, ~%1'i karbon, azot, oksijen, demir gibi ağır elementler ve 0.01%'den az bölümü uranyum gibi süper ağır elementler oluşturur (Simpson, 1983). Tamamen iyonlaşmış bu elementler manyetik alanlardan etkilenir. Dünyadaki GCR akısını Güneş'in güçlü manyetik alanları belirler (Blasi, 2013). Solar minimumda, GCR parçacıkları Dünya'ya daha kolay erişebilir. Solar maksimumda ise Dünya'ya erişemeyecek kadar düşük enerjili GCR parçacıklarının oluşmasını Güneş rüzgârları belirler. Yani GCR maksimum değerlerine, tıpkı Güneş döngüsünün 11 yıllık bir döngü şeklinde olması gibi, solar minimumda yaklaşır. Güneş'in güçlü manyetik alanları, Dünya'daki GCR akımını ve spektrumunu belirler (URL–34).

GCR'ler Dünya atmosferinden genellikle geçemezler. Ancak ışık hızına yakın hareket eden büyük bir enerjiye sahip yüklü parçacıklar, Dünya'ya erişen büyük ikincil parçacık yağmurları oluşturur. Bu parçacık yağmurları, yeryüzü sistemleri ve insanlar için çok az tehdit oluşturur ve hassas aletlerle ölçülebilir. Ancak yüksek enlemlerde etkili olan GCR'ler, yüksek irtifada seyreden hava araçlarında bulunan yolcu ve mürettebatın artan radyasyona maruz kalmasına neden olabileceği gibi, uzay tabanlı uydu sistemlerinden geçerek bu sistemlerin elektronik bileşenlerinde işlevsel hatalara veya kalıcı hasarlara yol açabilecek enerji seviyelerine sahiptir (URL–14). Çok yüksek enerjili bu parçacık kayıtları nötron monitörü (NM) tarafından yapılır (Saad, 2019). GCR'ler, etki alanlarından çıktıktan sonra manyetik türbülans yaşayabilir (Liu ve ark., 2020a).

Şekil 2.23.'te GCR'ye ait görüntü verilmiştir (URL–33).



Şekil 2. 23. Galaktik kozmik ışınlar (URL–33)

2.3.2.10. Jeomanyetik fırtınalar

Birbirine bağımlı ya da birbirinden bağımsız Güneş patlamaları ve CME gibi Güneş'te yaşanan aktivitelerin oluşturduğu, Güneş rüzgârlarıyla gerçekleşen yüksek konsantrasyonlarda elektrik yüklü parçacıkların Dünya manyetosferindeki enerji değişimleri jeomanyetik fırtınalardır. Şiddetli jeomanyetik fırtınalarda, Dünya'ya ulaşması 18 saat ile birkaç gün süren CME manyetik alanı ve Güneş'ten bir milyar ton kadar plazmanın taşınması gerçekleşir. Yüksek hızlı CH akımları, Güneş rüzgârı etkisiyle jeomanyetik fırtınalar oluşturur (URL–18; URL–27; URL–35).

Dst indis değerindeki değişimlere göre sınıflandırılan jeomanyetik fırtınaların etkileri, radyasyon, elektronik haberleşme sistemleri, konum belirleme sistemleri, biyolojik sistemler ve iyonosferi etkileyebilir (URL–36; URL–37; URL–38). Ayrıca, Güneş patlamalarıyla açığa çıkan parçacıkların radyasyonu ile etkilerinin araştırılmasında kullanılan Kp indisi de kendi içindeki sınıflandırmasına göre jeomanyetik fırtınaları ifade eder (Öztaş, 2018; URL–39). İndislerin detayları alt bölümlerde verilmektedir.

Radyo iletişimi jeomanyetik fırtınalara karşı hassastır. Jeomanyetik fırtınalar TEC'i artırır. Güçlü jeomanyetik fırtına, yaşanan etkileri uzun ve şiddetli hale getirebilir. Artan radyasyon seviyeleri, astronotlar ve yüksek irtifa pilotlarını etkiler ve kutup ışıklarının oluşmasında jeomanyetik fırtınaların etkisi vardır (URL–36; URL–37; URL–

38). Bu jeomanyetik fırtınaların tekrar etmesi, güneş lekesi döngüsüyle birlikte aynı yönde değişir. CME tarafından yönlendirilen jeomanyetik fırtınalar, solar maksimumda oluşur (Cander ve Mihajlovic, 1998; Gonzalez ve ark., 1994; Güngör, 2022; URL-40). Manyetosferde radyasyon kuşaklarında, termosfer ve iyonosferin ısınması gibi durumlar ve manyetik bozukluklar jeomanyetik fırtınalar tarafından oluşur.

2.3.3. İnsan kaynaklı enerji değişimleri

Dünya’da meydana gelen yüksek enerjili olayların, iyonosferdeki serbest elektron yoğunluğunda değişikliklere neden olabilen TEC dalgalanmasıyla tespit edilen ses sınırı altında akustik dalgalar ürettiği bilinmektedir. Depremler, volkanlar ve büyük miktarlardaki toprak kaymaları gibi şiddetli doğal afetlerde olduğu gibi, insanlardan kaynaklı etkilerle iyonosferdeki elektron yoğunluğunda dalgalanmalar olabilir. İnsan kaynaklı etkileri, büyük madenlerdeki yüzey çökmeleri ile patlatmalar (kiloton seviyelerinde) sonucu oluşan kitle kaymaları, nükleer patlamalar ve uydu fırlatmaları, uzay mekiği fırlatmaları, roketler ve iyonosferdeki yapısal değişimi etkileyebilecek yüksek enerji açığa çıkaran füzeler dünya atmosferinde değişimlere sebep olabilir. Atmosferdeki enerji dalgalarını, atmosferde düşey yöndeki, yatay yöndeki ya da düşeye yakın hareket eden enerji değişimleri harekete geçirir. Söz konusu enerji dalgaları iyonosfere ulaşınca nötr atmosfer ve iyonlaşan plazma arasında etkileşime sebep olur. Atmosferde bulunan gazların genliği yükseklerle çıkıldıkça azalır ve bunun etkisiyle meydana gelen enerjinin oluşturduğu dalgalanmanın genliği büyüyerek ilerler. İyonosferde bu etki çok daha fazladır. İyonosferdeki etki, mekik-roket gibi araçların hareketi için egzozlarından çıkan çok güçlü enerji ile oluşur (Bowling, 2011; Bowling ve ark., 2013; Calais ve Minster, 1996, 1998). 18 Ekim 1993 tarihinde 14:53 UTC’de Kennedy Uzay Üssü’nden fırlatılan uzay mekiği etkisiyle iyonosferde TEC değişimleri incelenmiş ve fırlatmadan on dakika sonra TEC’lerde değişimler gözlemlenmiştir (Hawarey, 2004). İyonosferdeki elektron yoğunluğundaki dalgalanmalar, mekik-roket gibi araçların yeryüzünden yükselerek ilerlemesiyle etkilediği gibi yeryüzüne çarparak yansıyan enerjiyle de yaşanır (Bowling, 2011; Bowling ve ark., 2013; Hawarey, 2004).

2.4. İyonosfer Tabakasında Meydana Gelen Değişimler

Gönderici-alıcı sinyallerinin içinden geçtiği iyonosfer, serbest elektron sayısına göre değişir. TEC kestirimleri ise gönderici-alıcı sinyallerinden yapılır. TEC'in etkilendiği elektronlar, farklı değişkenlerle izlenmelidir. Bu değişkenler, jeomanyetik şartlar, coğrafi enlem, Güneş, zaman ve iklim koşulları olarak sıralanabilir (Spilker ve ark., 1996). Sıralanan değişkenler, iyonosferde düzenli ve düzensiz değişimler meydana getirir (Arslan, 2004; Öztan, 2018).

2.4.1. Düzenli değişimler

2.4.1.1. TEC' in mevsimsel ve günlük değişimleri

Gece vakitlerinde düşük değerlere sahip olan TEC, güneşli öğle vakitlerinde ise daha yüksek değerlere sahip olur. TEC'in değeri gün içinde farklı miktarlarda değişir. Ayrıca Mart-Eylül aylarındaki ekinoks günlerinin ve kış-yaz mevsimlerinin etkileriyle TEC değeri değişir (Arslan, 2004; Breed ve ark., 1998; Salwa ve ark., 2002).

2.4.1.2. TEC' in enleme göre değişimleri

TEC değerleri ekvator bölgesi, orta enlem bölgeleri ve yüksek enlem bölgelerinde farklı miktarlarda değişir. TEC değerleri ekvator bölgesinde, EIA kaynaklı belirgin bir şekilde artış gösterir (Falayi ve ark., 2024). Orta enlem bölgelerinde, TEC değerleri genellikle ekvator bölgesine göre daha düşüktür. Ancak, bu bölgelerde de belirli dönemlerde TEC değerlerinde artışlar gözlemlenebilir (Yang ark., 2024). Yüksek enlem bölgelerinde, TEC değerleri genellikle daha düşüktür. Ancak, bu bölgelerdeki TEC değerleri, güneş aktivitesi ve mevsimsel faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Li ve ark., 2022).

2.4.1.3. Güneş' in hareketlerinden kaynaklanan TEC değişimleri

Periyodik olarak değişen SSN ile ilişkilendirilen Güneş aktivite derecesi iyonosferi etkiler. İyonosferdeki elektron hareketlerini gösteren TEC değerleri SSN ile korelasyonludur ve 11 yıllık periyotlarla en büyük değere ulaşır (Arslan, 2004).

2.4.2. Düzensiz değişimler

2.4.2.1. Gezici İyonosferik Bozucu Etki

Gezici İyonosferik Bozucu Etki (Traveling Ionospheric Disturbances-TID), jeomanyetik fırtınalar ve Güneş parçacık olaylarıyla ortaya çıkan, iyonosfer ve nötr atmosfer arasındaki iletişime denir. TID'ler iyonosferde düzensiz değişimleri meydana getirir (Arslan, 2004; Hines, 1960; Schaer, 1999; Warnant, 1998). TID'ler 100 km/s – 300 km/s hızlarda akım değişimi gibi hareket eder. TID'lerin etkilediği mesafeler 10 km ile binlerce km arasında değişir (Arslan, 2004; Warnant ve ark., 2000). Geniş Ölçekli Gezici İyonosferik Bozucu Etki (Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances-LSTID), Orta Ölçekli Gezici İyonosferik Bozucu Etki (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances Effect-MSTID) ve Küçük Ölçekli Gezici İyonosferik Bozucu Etki (Small-Scale Traveling Ionospheric Disturbances-SSTID) olarak TID'ler üçe ayrılabilir (Hunsucker, 1982).

LSTID, 30 dakika – 3 saat arasında süren ve 1000 km'de etkili düzensiz değişimlerdir (Arslan, 2004; Schaer, 1999; Zhang ve Xiao, 2002). MSTID, 50 km – 300 km arası mesafelerde etkili olan ve 10 dakika – 1 saat arasında süren düzensiz iyonosfer değişimleridir. Bu etki, iyonosferde bulunan elektron yoğunluğunun değişimi ile izlenebilir (Arslan, 2004; Cander ve Ljiljana, 2019; Rieger ve Leitinger, 2002; Wanninger, 1999). SSTID ise 10 km – 20 km arasında etkili olan, ekvator bölgesi ve kutup bölgesinde orta enlem bölgesine oranla daha yüksek gerçekleşen düzensiz iyonosfer değişimleridir. SSTID'ler anlık veya birkaç dakikalık değişimlerdir. Bu etki, parlama etkisi olarak da adlandırılır (Arslan, 2004; Warnant, 1998; Warnant ve ark., 2000).

2.5. İyonosfer Tabakasında Değişim Olduğunu Gösteren Ölçütler

Jeomanyetik fırtınaların etkisiyle iyonosfer tabakasında düzensiz değişimler meydana gelmektedir. Bu etkiler sonucunda iyonosferde düzensiz değişimler olduğunu gösteren birçok çalışma yapılmıştır (Aquino ve ark., 2004; Arslan, 2004; Basciftci ve Bulbul, 2023; He ve Zhu, 2024; Nishino ve ark., 1998; Ping ve ark., 2002; Richardson ve ark., 2002; Shubin ve Gulyaeva, 2021; Skone ve Cannon, 1999). İyonosferdeki düzensiz değişimler en çok Güneş kaynaklı faktörlerden dolayı meydana gelmektedir (Arslan, 2004).

Jeomanyetik fırtınalar Güneş aktivitesi ile meydana gelir ve jeomanyetik fırtınalar etkisiyle yüklü parçacıklar manyetik alanda bozucu etkilere uğrar. Dünya'nın manyetik alanı etkilenirken, nötr atmosfer hareketliliği değişir ve daha fazla elektron meydana getirerek elektrik alanı güçlenir. Yaşanılan bu durumlar iyonosferdeki değişimlere neden olur (Arslan, 2004; Parkinson ve Spilker, 1996). Bu süre, kutup bölgelerinde birkaç saat olduğu gibi farklı bölgelere göre değişebilir (Teunissen ve Kleusberg, 1998).

Güneş aktivite indisleri, jeomanyetik aktivite ve jeomanyetik fırtına indisleri, manyetik alan bileşenleri ve plazma yoğunluğu parametreleri iyonosfer tabakasındaki değişimlerin sınıflandırıldığı indis ve parametrelerdir. GNSS verilerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde bu indis ve parametreler büyük önem taşır (Arslan, 2004; Jakowski ve ark., 2001; Öztan, 2018; Stewart ve Langley, 2007).

2.5.1. Jeomanyetik fırtına indisleri

Yüksek frekanslı GNSS sinyalleri iyonosfer tabakasından geçerken jeomanyetik fırtınaların neden olduğu bozulmalara uğrar. Bu bozulmalar, iyonosferin modellenmesindeki hata kaynaklarını oluşturur (Ulukavak ve Yalcinkaya, 2018; Zolesi ve Cander, 2014). Bu hata kaynaklarını etkileyen değişimler, uzay ve Dünya istasyonlarından gelen ölçümlerle değerlendirilir ve indislerle sınıflandırılır. Jeomanyetik fırtına indisleri Dst ve Kp' dir. Dünya'nın manyetik alanının ve jeomanyetik değişimlerinin belirlenmesinde Kp indisi kullanılır. NOAA tarafından Kp indis değerleri, 44° ile 60° kuzey veya güney jeomanyetik enlemleri arasında bulunan 13 manyetometre istasyonundan 3 saatlik aralıklarla elde edilir. Manyetik alanın etkilerinin farklılıklarına göre Kp indisi değerleri 0-9 arasında veri formatındadır. Bu veri formatı 0o, 0+, 1-, 1o, 1+, 2-, 2o, 2+, ..., 8-, 8o 8+, 9-, 9o, 9+ ifadeleriyle tanımlanır. Bu veri formatındaki “-” ve “+” sembolleri 1/3 değerindedir. “-” işareti 1/3 değerini çıkarma, “+” işareti ise 1/3 değerini ekleme işlemi yapılarak elde edilir. Diğer bir sembol olan “o” verinin sabit kalması gerektiğini gösterir. Örneğin; 6- = 6-(1/3) = 5.67, 7+ = 7+(1/3) = 7.33, 0o = 0 şeklinde gösterilebilir (Arslan, 2004; Öztan, 2018; Ulukavak ve Yalcinkaya, 2018).

Jeomanyetik fırtınaların şiddetine göre Kp indis değerleri sınıflandırılır. Bu sınıflar, iyonosferdeki elektron yoğunluğunun doğrudan etkilendiği farklı değerlerdir. Yapılan sınıflandırma, Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2. 2. Kp indis değerlerinin manyetik fırtına şiddetine göre sınıflandırılması (Arslan, 2004)

Manyetik Fırtınanın Derecesi	Kp İndisi
G1 Küçük (Minor)	5
G2 Orta (Moderate)	6
G3 Kuvvetli (Strong)	7
G4 Ağır (Severe)	8
G5 Aşırı (Extreme)	9

Dst indisi, iyonosferdeki değişimleri ekvator bölgesindeki manyetik akı değişimlerini tanımlayan bir jeomanyetik indistir. Ölçümler, ekvator bölgelerine yerleştirilen 4 farklı gözlemevinden manyetometreler tarafından elde edilir (Zolesi ve Cander, 2014)(Şekil 2.24.).



Şekil 2. 24. Dst indislerinin elde edildiği 4 manyetik gözlemevinin konumları (URL-41)

Manyetik sarsıntının saatlik ortalaması olarak elde edilen Dst indisi ölçümleri, Japonya'daki Kyoto Üniversitesi Bilim Enstitüsü'nün Jeomanyetizma ve Uzay Manyetizması Veri Analiz Merkezi tarafından değerlendirilir ve üniversitenin "World Data Center for Geomagnetism, Kyoto" arayüzünden saatlik veriler yayınlanır (URL-42). Dst indis değerlerinin sınıflandırılması Çizelge 2.3.'te verilmiştir.

Çizelge 2. 3. Dst indis değerlerinin sınıflandırılması (Arslan, 2004; Öztan, 2018)

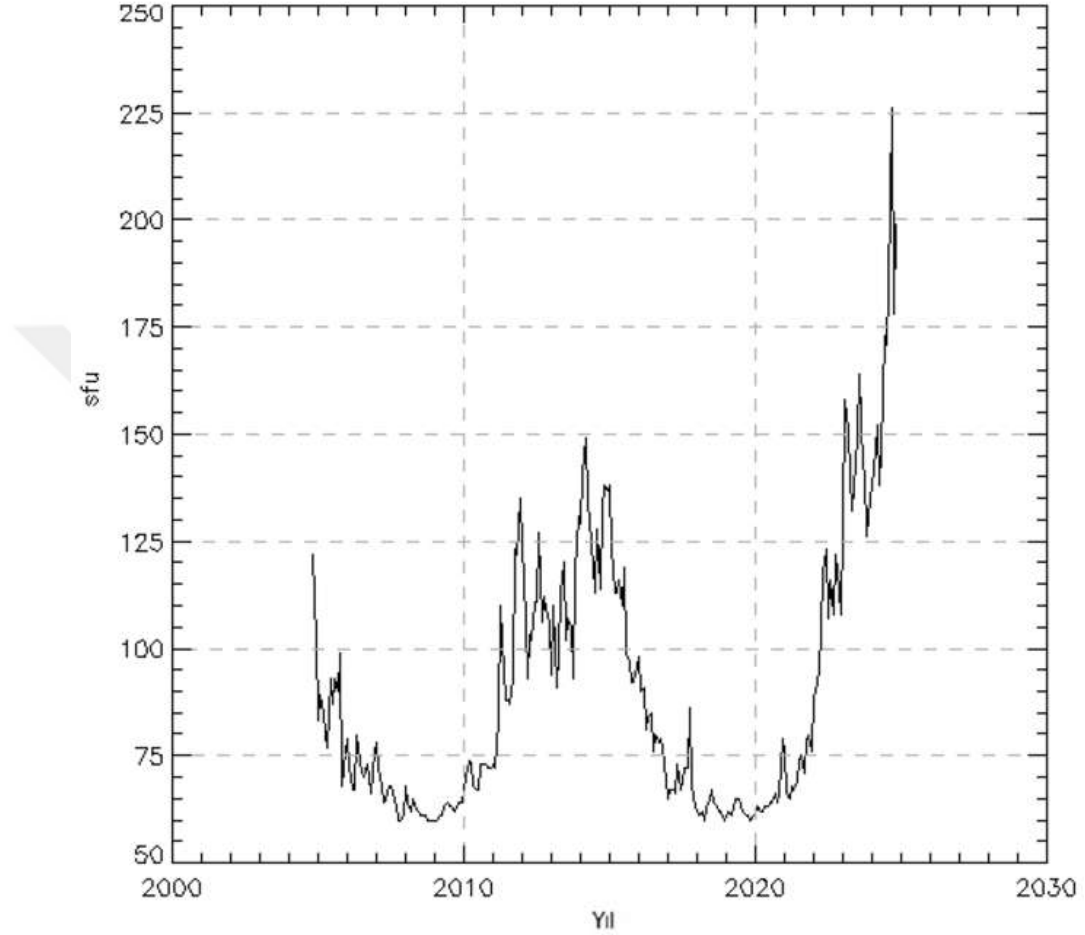
Manyetik Fırtınanın Derecesi	Dst İndisi
G1 Küçük (Minor)	Dst>-20
G2 Orta (Moderate)	-20>Dst>-50
G3 Kuvvetli (Strong)	-50>Dst>-100
G4 Ağır (Severe)	-100>Dst>-300
G5 Aşırı (Extreme)	-300>Dst

2.5.2. Güneş aktivite indisleri

Güneş rüzgarları, Güneş'te gerçekleşen aktivitelerle doğrudan ilişkilidir. Güneş'ten yayılan X ışını ve ultraviyole ışınlarının ölçümleri, bu aktivitelerin derecelendirilmesini sağlar. F10.7 indisi, Güneş aktivite ölçümlerini gerçekleştirerek iyonosferdeki değişimler hakkında bilgi verir. Ayrıca F10.7 indisi, Güneş atmosferinin önemli emisyonlarını ve Güneş'in koronasından gelen etkileri araştırmada çok önemlidir. F10.7 indisi kayıtları çok uzun süredir devam etmektedir ve uzay hava durumunun tahmin edilmesinde kullanılır. 10.7 cm dalga boyuna sahip Güneş akısı ölçümleri, Güneş lekeleriyle doğrudan korelasyonludur. Dominion Radyo Astrofizik Gözlemevi, Kanada Araştırma Birliği'nce (National Research Council Canada-CNRC) işletilir ve birimi sfu olan F10.7 indislerini kayıt altına almaktadır. 1 sfu= 10^{-22} Watt*m⁻²Hz⁻¹'dir (bir metrekairelik alana, bir Hertz'lik bant genişliğinde, saniyede 10^{-22} Watt'lık enerji gelmesi). F10.7 indisinin değeri 50 sfu – 300 sfu arasında değerler alır. 25 Güneş döngüsündeki SSN'yle F10.7 dalga boyu korelasyonludur. Ancak 18., 20. ve 23. Güneş döngüsünde F10.7 dalga boyu ile doğrusal olmayan bir korelasyon gözlemlenmiştir (Öztan, 2018; Poole, 2002; Soumya ve ark., 2019; Ulukavak ve Yalcinkaya, 2018). F10.7 indisleri, NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Tesisi'nin arayüzünden (URL-43) elde edilebilir. F10.7 radyo dalgası ölçümleri, pek çok Güneş parametresinin aksine, yer merkezli sistemlerden güvenilir olarak her koşulda ve günlük olarak yapılabilir (URL-44).

Güneş rüzgarları, plazma yoğunluğu ve manyetik alan gözlemlerinde kullanılır. Gözlemlerin yapıldığı uydu ve Dünya arasındaki Güneş merkezi yer değiştirme mesafesine göre Güneş rüzgar hızı kestirimleri yapılır. Güneş rüzgar hızı birimi km/s olarak ifade edilir (Lin ve ark., 2024; Papitashvili ve King, 2020). Güneş rüzgâr hızı, F10.7 indisi gibi (URL-43) elde edilebilir.

Ekim 2004 – Ekim 2024 tarihleri arasında, NRC tarafından (URL-44) üretilen 10.7 cm dalga boyundaki Güneş akısı ölçülerinin aylık ortalamaları Şekil 2.25.'te verilmiştir.



Şekil 2. 25. Ekim 2004 – Ekim 2024 tarihleri arasında, NRC tarafından üretilen 10.7 cm dalga boyundaki Güneş akısı ölçülerinin aylık ortalamaları (URL-44)

2.5.3. Manyetik alan bileşenleri

İki kutuplu bir mıknatısın oluşturduğu manyetik alan davranışı, tıpkı Dünya'nın oluşturduğu manyetik alan davranışıyla benzerdir. Dünya'nın manyetik alan çizgileri, Güneş rüzgarları etkisiyle Güneş yönünde toplanır ve Dünya'ya doğru Güneş rüzgarlarıyla birlikte uzanır. Oluşturduğu bu şekil, Dünya manyetosferini meydana getirir. Güneş manyetik alanı ise, Güneş koronası ve Güneş patlamalarıyla meydana gelen plazma hareketlerinden oluşur. Güneş kutuplarında yaklaşan Güneş manyetik alanı, ekvatorunda birbirinden uzaklaşır (Aschwanden, 2006; Ulukavak ve Yalcınkaya, 2018).

Güneş sistemi manyetik alanı, yörünge düzlemine paralel B_x ve B_y bileşenleri ile yörünge düzlemine dik B_z bileşeni ile derecelendirilir. Manyetik fırtınanın başlangıç aşaması güneye yöneldiğinde, B_z bileşeni kuzey tarafında sakin olarak ifade edilir (Abraha, 2014; Ulukavak ve Yalcinkaya, 2018). Elektrik alan (E) ve manyetik alan (B) sakin koşullarda batı yönünde hareket eder; $E \times B$ alanı B_y bileşeni üzerinde değişiklik gösterir. Şiddetli manyetik hareketlenmelerde, B_y negatif hareketlenmeler gösterir (Adeniye, 1986; Turunen ve Rao, 1980; Ulukavak ve Yalcinkaya, 2018). Manyetik alan bileşenleri B_x , B_y ve B_z , NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Tesisi'nin arayüzünden (URL-43) indirilebilir.

2.5.4. Plazma yoğunluğu parametresi

Dünyanın manyetik alanı ile aynı yönde hareket eden ve plazma yoğunluğundaki protonlar çarpışarak etkileşime girer. Bu etkileşim üst atmosferde bulunan güney ve kuzey kutup bölgelerindedir. Bu protonlar, radyasyon fırtınaları tarafından taşınır. Yüksek enlemlerdeki frekansı yüksek sinyal iletilişimlerini bozarlar. Plazma yoğunluğu, proton yoğunluğu parametresi ile sınıflandırılır. Proton yoğunluğunun birimi N/cm^3 olarak gösterilir ve 1 santimetreküpten geçen proton sayısı olarak ifade edilir. $15 N/cm^3$ sınırı, aktif uzay koşulu olarak değerlendirilmektedir (URL-45) Plazma yoğunluğu parametresi, proton yoğunluğuna NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Tesisi'nin arayüzünden (URL-43) erişilebilir.

Bu tez çalışmasında, jeomanyetik fırtına indisleri (K_p , Dst), Güneş aktivite indisleri ($F10.7$, Güneş rüzgâr hızı), manyetik alan bileşenleri (B_x , B_y , B_z) ve plazma yoğunluğu parametresi (proton yoğunluğu) dikkate alınmıştır.

2.6. İyonosfer Modelleme

İyonosfer tabakasından geçen uydu sinyalleri alıcılara ulaşmaya kadar, iyonosfer tabakasından yansır ya da iyonosfer tabakasındaki elektronlardan etkilenir. İyonosferin yapısı da uydu sinyallerini etkiler. Tüm bu etkiler ve iyonosferin yapısını anlamak amacıyla iyonosfer modellenmelidir. İyonosferi modellemek için GNSS tabanlı ve deneysel modeller geliştirilmiştir.

2.6.1. Deneysel modeller

Ardışık ölçümlerin yapılmadığı anlarda iyonosferin davranışlarını izlemek amacıyla herhangi bir zamanda herhangi bir yerde iyonosfer tepkilerini anlamak için Klobuchar, Chapman, Bent, NeQuick, PIM ve IRI gibi farklı deneysel modeller kullanılmaktadır. Geleneksel deneysel iyonosferik modeller, hesaplama açısından verimlidir (Zhang ve ark., 2025).

Bent modeli, iyonosonda ve uydu verilerini kullanarak, enlem, boylam, Güneş radyo emisyonu (F10.7), mevsim ve zamanın parametreleriyle iyonosferdeki elektron yoğunluğunu modeller. Ancak Bent modeli D, E ve F1 alt iyonosfer tabakalarını kapsamaz (Alcay ve ark., 2014). 1973 yılında Rodney Bent ve Sigrid Llewellyn, Bent modelini uydu haberleşmesi, uydu izlemesi ve iyonosferik gecikme düzeltmeleri için geliştirmiştir (Alcay ve ark., 2014; Llewellyn ve Bent, 1973).

PIM modeli, yüksek enlem E ve F tabaka modeli, birleşik düşük ve orta enlem kombinasyonu E tabaka modeli, orta enlem F tabaka modeli ve düşük enlem F tabaka modeli olan dört fiziksel model geliştirilmiş ve PIM oluşturulmuştur (Komjathy, 1997). PIM modeli hakkında detaylı bilgi (Campbell, 1999; Daniell ve ark., 1995; DasGupta ve ark., 2007; Li ve ark., 2023)'te verilmiştir.

NeQuick modeli, İtalya'daki Trieste'de kentinde, Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezi'nin (The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics-ICTP) Havacılık ve Radyo Yayılım Laboratuvarı'nda (şimdiki adıyla T/ICT4D Laboratuvarı) ve Avusturya Graz Üniversitesi Jeofizik, Astrofizik ve Meteoroloji Enstitüsü'nde geliştirilmiştir. Son sürümü olan NeQuick 2 modeli, TEC kestirimi için hızlı bir yol sağlayan yarı deneysel bir modeldir. NeQuick, iyonosonda parametreleri (foE, foF1, foF2 ve M(3000)F2) ile modellenen E katmanı tepe noktası, F1 tepe noktası ve F2 tepe noktası olan üç profil noktası kullanır. NeQuick modeli, iyonosferdeki konumlar için TEC'i hem alt sınır hem de üst sınırında verir. Model değerleri, güneş aktivitesine, mevsim ve zamana bağlıdır (Alcay ve ark., 2014; URL-46).

Uydudan uyduya ya da uydudan alıcıya STEC değerinin kestirimi gerçek zamanlı olarak, Galileo kullanıcıları için ESA düzeltme modelini NeQuick vermektedir (Radicella ve Leitinger, 2001). Bu modelle ilgili detaylı bilgi Nava ve ark. (2008)'de verilmiştir.

Arayüzü Şekil 2.26.'da verilen NeQuick 2 modeli verileri <https://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model> web adresinden indirilebilir (URL-46).

Home | About I/ICT4D | Models | People | News | Projects | Bibliography Search

ICTP The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics

log in

site_map | accessibility | contact

You Are Here: Home / NeQuick 2 / NeQuick 2 Web Model

Search Site

NeQuick 2 Web Model

Computation and plotting of slant electron density profile and total electron content

Endpoints Coordinates

Map Lower endpoint: Latitude °N Longitude °E Height km

Higher endpoint: Latitude °N Longitude °E Height km

Satellite data: Azimuth °N Elevation ° Height km

Date and Time

Year(YYYY) Month Day(DD) Time Universal

Solar Activity

R12 (source: NOAA-NGDC)

Daily Solar Radio Flux (source: NOAA-NGDC)

User Input Solar index type Value *

ITU-R compliant *

*For R12: [0 to 150]; for F10.7: [63 to 193] F.U.
Warning! Not respecting the limits could lead to undefined electron density values! (ITU-R P.1239 recommendation)

©2012 | Questions to yenca@ictp.it | [Terms of Use](#)

The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) | © 2012 | Strada Costiera, 11 - 34151 Trieste Italy (+39) 040 2240 111

Şekil 2. 26. NeQuick 2 model arayüzü (URL-46)

Uzay Araştırmaları Komitesi (Committee on Space Research-COSPAR) tarafından oluşturulan ve Uluslararası Radyo Bilimleri Birliği (International Union of RadioScience-URSI)'nin destekleriyle geliştirilen IRI, küresel bir projedir. Deneysel standart bir model için “Work Group” kurularak, bu kuruluşlar tarafından iyonosfer modeli oluşturulmuştur. Eski veri kümeleri modelin geliştirilmesi için yetersiz kaldığında, yeni verilerle modelin yeni sürümleri çıkmıştır. Bu sürümler; IRI-75, IRI-78, IRI-81, IRI-86, IRI-90 ve IRI-95'tir. 1999 yılında IRI'nin uluslararası standart olarak kabul edilmesiyle IRI-2001, IRI-2007, IRI-2012 ve IRI-2016 gibi yeni sürümleri yayınlanmıştır (Bilitza ve ark., 2014, 2022; Galkin ve ark., 2022). Ayrıca, Fortran kaynak kodu 20/03/2025 tarihinde yayınlanan IRI-2020 güncel ve en son sürümüdür (URL-47). IRI sürümleri daha önceleri ayrı arayüzler üzerinde kullanılırken, güncel olarak Topluluk Koordineli Modelleme Merkezi'nde (Community Coordinated Modeling Center-

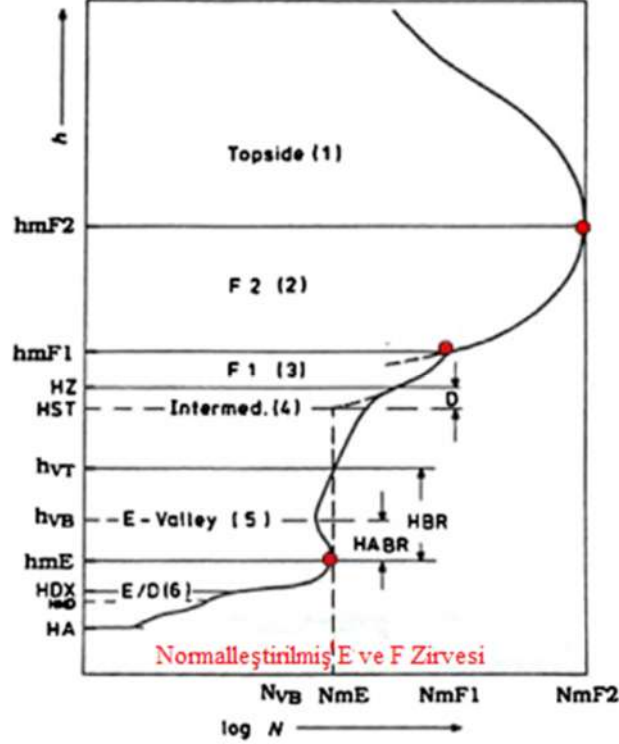
CCMC) tek bir arayüzde birleştirilmiştir. Şekil 2.27.'de verilen bu güncel sürüme <https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/instantrun/iri/> web adresinden ulaşılabilir (URL-48).

Şekil 2. 27. CCMC IRI arayüzü (URL-48)

Bu arayüz, IRI-2007, IRI-2012, IRI-2016 ve IRI-2020 versiyonlarında verilen yükseklik, coğrafi veya jeomanyetik enlem – boylam, yıl, ay, ayın günü, yılın günü ve günün evrensel saat veya yerel saatine göre değişen IRI parametrelerinin (hmF2, NmF2 ve TEC gibi) hesaplanmasına ve çizilmesine olanak tanır (URL-47).

İyonosferik TEC profili en yüksek yoğunluk NmF2, F2 tabakasındaki zirve yüksekliği hmF2'dir. Bu noktada TEC profili içinde alt sınır ve üst sınır kısımlarını ayırır. F2 zirve profil yapısının altındaki bölge daha karmaşık olduğundan F1 ya da E zirvesi için normalleştirilmiştir. IRI TEC profilindeki artış Şekil 2.28.'de verilmiştir. IRI modelleri hakkında ayrıntılı bilgi Bilitza ve ark. (2011), (2012), (2014), Bilitza (2018),

Froń ve ark. (2020), Galkin ve ark. (2012), Moses ve ark. (2021), Nsumei ve ark. (2010), Richards ve ark. (2010) ve Zhang ve ark. (2010)'da verilmiştir.



Şekil 2. 28. IRI elektron yoğunluğu artışı (Bilitza ve ark., 2014)

IRI-PLAS modeli, IRI modelinin plazmasferik yüksekliklere (20.200 km'ye kadar) genişletilmesiyle ortaya çıkmış bir modeldir. IRI modeli plazmasferik yüksekliklere genişletmek için; Küresel Çekirdek Plazma modeli (Global Core Plasma Model-GCPM)(Gallagher ve ark., 2000), Radyo Plazma Görüntüleyici Plazmasfer Modeli (Radio Plasma İmager (RPI) on the IMAGE Satellite-IMAGE/RPI)(Reinisch ve ark., 2000), Küresel Plazma İyonosfer Yoğunluk Modeli (Global Plasma Ionospheric Density Model-GPID)(Webb ve Essex, 2000, 2004), Akebono Elektron Sıcaklık Modeli (Akebone)(Kutiev ve ark., 2002) ve Karasal Manyetizma, İyonosfer ve Radyo Dalgası Enstitüsü (Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences-IZMIRAN) plazmasfer modeli (Gulyaeva ve ark., 2002) gibi farklı modeller ortaya çıkmıştır (Alcay ve Oztan, 2019).

İyonosfer Araştırma Laboratuvarı (Ionosphere Research Laboratory-IONOLAB) grubunun sunduğu IZMIRAN plazmasfer modeli ile ilişkili IRI-PLAS çevrimiçi arayüzüne IONOLAB kullanıcı adı ve şifre ile

<https://www.ionolab.org/iriplasonline/index.php?locale=tr>

adresinden

ulaşılabilmektedir. Ayrıca arayüzü Şekil 2.29’da verilen “IRI-PLAS 2017 Online” güncel ve en son sürümüdür (URL–49). Modele ilişkin detaylar Sezen ve ark. (2018a) ve (2018b)’de verilmiştir.

IRI-Plas 2017 Online

U. Sezen, T. L. Guayave ve F. Arkan, "Online computation of International Reference Ionosphere (Extended to Plasmasphere) (IRI-Plas) model for space weather", *Geodesy and Geodynamics*, 6(5), st. 247-257, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2018.06.004>

U. Sezen, T. L. Guayave ve F. Arkan, "Performance of solar proxy options of IRI-Plas model for equinox seasons," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123(2), st. 1441-1456, 2018, <https://doi.org/10.1002/2017JA024894>

IRI-Plas (1.1. Günyava verilerine) yazılımına ve kaynak koduna <https://www.ionolab.com/ionosphere/venetia/ig65PIM-acknowledgment> adresinden ulaşabilirsiniz. Bu ürün sürümü 2021-11-15 saat 00:00:00-10:00 saatleri arasında kullanılabilir.

IRI-Plas Online servisine ait yapmak için lütfen [KAYNAKLAR](https://www.ionolab.com) listesini kullanınız.

English Çıkış Giriş

Gerekli Girişler

Tarih (YYYY-AA-GG) Kp

Saat (SS:DD) UTC Yerel Zaman

Koordinat (Enlem, Boylam) K D Jeosantrik Jeomanyetik

İsteğe Bağlı Girişler

F2-tepe Plazma Frekanisi (foF2) MHz [2 MHz - 15 MHz]

Yayılm Bilgisi F2-tepe Yüksekliği (h'pF2) km [100 km - 999 km]
 Yayılm Faktörü (M3000F2) [1.5 - 4.0]

Toplam Elektron İçeriği (TEC) TECU [0 - 300 TECU] **GİM TEC** (1998-06-01'den itibaren)

Güneş Aktivitesi Güneş Lekesi Sayısı (Rz12) [0 - 400]
 F10.7 Güneş Akısı (F10.7D) sfu [0 - 400 sfu]

F-tepesi Modeli CCIR URSI

foF2 Firtına Modeli Açık Kapalı

Güneşsel Vekil İndisi SSN1 SSN2 F107 GEC TEC IG MGII Lyman- α GEC_RZ

İsteğe Bağlı Çıktılar

Ni(h) ve fh(h) profillerini oluşturun Açık Kapalı

Şu an liste boş.

Çıktıların Açıklaması Ekle Boyut Çıkış

Şekil 2. 29. IRI-PLAS 2017 arayüzü (URL–49)

2.6.2. GNSS tabanlı modelleme

GNSS uyduları ve gözlem istasyonlarında yaşanan gelişmeler iyonosfer hakkındaki detaylı bilgilere erişimi kolaylaştırmaktadır. Bu bilgilerden elde edilen TEC verileri yardımıyla bölgesel iyonosfer veya küresel iyonosfer hakkında çalışmalar yapılmaktadır (Başçıftçi, 2017; Davies ve Hartmann, 1997; Fedrizzi ve ark., 2001). Bu çalışmalarda kullanılan küresel iyonosferik TEC ve Diferansiyel Kod Sapmaları (DCB) hassas bir şekilde tahmin edilmektedir (He ve ark., 2025).

Alıcı ve uydusu saatlerinin senkronize olmamasından kaynaklanan hatadan dolayı, alıcı ile uydusu arasındaki uzaklık olması gerekenden farklı çıkar. Bu farka da sözde menzil (pseudorange) adı verilir (Süzer ve Oktal, 2019). GNSS temel pseudorange ve taşıyıcı faz gözlemleri için (2.1) ve (2.2) denklemleri kullanılmaktadır (He ve ark., 2025).

$$P_{i,k}^j = \rho_{i,k}^j + c \cdot (dt_i - dt^j) + d_{orb}^j + T_i^j + I_{i,k}^j + c \cdot B_{i,k} + c \cdot B_k^j + \varepsilon_p \quad (2.1)$$

$$\varphi_{i,k}^j = \rho_{i,k}^j + c.(dt_i - dt^j) + d_{orb}^j + T_i^j + I_{i,k}^j + c.b_{i,k} + c.b_k^j + \lambda_k N_{i,k}^j + \varepsilon_p \quad (2.2)$$

$P_{i,k}^j$ ve $\varphi_{i,k}^j$ sırasıyla, k'inci frekansta j uydusunu gözlemleyen alıcı i'den elde edilen pseudorange ve faz gözlemlerini, $\rho_{i,k}^j$, alıcı i'den uydu j'ye olan geometrik mesafeyi, dt_i ve dt^j sırasıyla alıcı i ve uydu j'nin saat hatalarını, d_{orb}^j uydu j' nin yörünge hatasını, T_i^j , alıcı i' den uydu j'ye kadar olan gözlem yolundaki troposferik gecikmeyi, $I_{i,k}^j$, alıcı i'den uydu j'ye k'inci frekansta gözlem yolundaki iyonosferik gecikmeyi, $B_{i,k}$ ve B_k^j , sırasıyla alıcı ve uydu üzerindeki k'inci frekanstaki pseudorange donanım gecikmesini, $b_{i,k}$ ve b_k^j alıcı ve uydu üzerindeki k-inci frekanstaki faz sapmalarını ve ε_p gürültüyü ifade etmektedir.

(2.1) ve (2.2) denklemlerinden geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon elde edilerek iyonosferik gözlemlerin çözümlenmesi (2.3) – (2.8)'deki gibi sunulabilir.

$$P_{4i}^j = P_{i,1}^j - P_{i,2}^j = I_{i,1}^j - I_{i,2}^j + c.DCB_i + c.DCB^j \quad (2.3)$$

$$\varphi_{4i}^j = \varphi_{i,1}^j - \varphi_{i,2}^j = -(I_{i,1}^j - I_{i,2}^j) + \lambda_k N_{i,k}^j + \lambda_1 N_{i,1}^j - \lambda_2 N_{i,2}^j - c.DPB_i - c.DPB^j \quad (2.4)$$

$$DCB_i = B_{i,1} - B_{i,2} \quad (2.5)$$

$$DCB^j = B_1^j - B_2^j \quad (2.6)$$

$$DPB_i = b_{i,1} - b_{i,2} \quad (2.7)$$

$$DPB^j = b_1^j - b_2^j \quad (2.8)$$

Burada, P_{4i}^j geometriden bağımsız pseudorange ve φ_{4i}^j geometriden bağımsız faz doğrudan toplanarak, faz belirsizliği $N\alpha$ elde edilebilir;

$$N\alpha = \lambda_1 N_{i,1}^j - \lambda_2 N_{i,2}^j - (c.DPB_i + c.DPB^j) = P_{4i}^j + \varphi_{4i}^j - (c.DCB_i + c.DCB^j) \quad (2.9)$$

$N\alpha$, tamsayı belirsizliği ve faz sapmalarının birleşik terimini temsil eder.

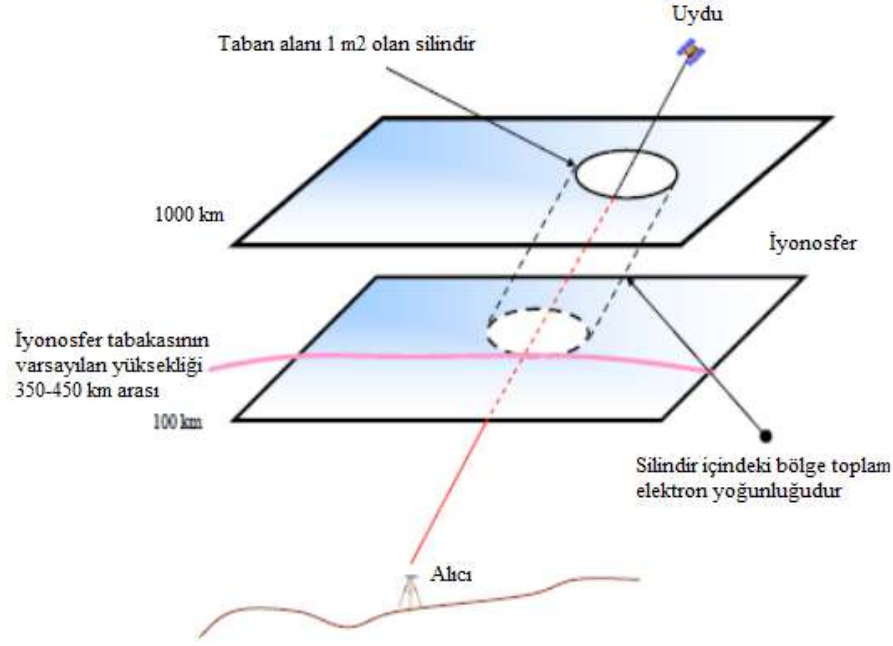
(2.9) tek bir dönemde hesaplandığında pseudorange gözlemlerindeki gürültüden etkilenir ve önemli belirsizlik hataları ortaya çıkar. Ancak sürekli bir gözlemede, $N\alpha$ 'yı hesaplamak için gözlem süresinde ortalamasını almak pseudorange gürültüsünün etkisini azaltabilir (He ve ark., 2025).

2.6.2.2. TEC parametresinin elde edilmesi

İyonosferdeki elektron yoğunluğu değişimlerini modellemede kullanılan parametre TEC (Total Electron Content – Toplam Elektron Yoğunluğu) olarak adlandırılır. Birimi TECU olan birim parametre, iyonosferdeki 1 m² kesitli silindir boyunca serbest haldeki toplam elektron miktarıdır (2.10).

$$1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el. /m}^2 \quad (2.10)$$

TEC, küresel ve bölgesel TEC modelleri kullanılarak elde edilir. İyonosfer gibi dinamik bir yapıya sahip tabakanın modellenmesi için GNSS ölçüleriyle TEC elde edilmesi hem hızlı hem de ekonomik bir yöntemdir. Alıcı ile uydu arasındaki hat üzerinde hesaplanan TEC ve alıcıya göre dik doğrultuda hesaplanan TEC olarak ikiye ayrılır ve sırasıyla eğik toplam serbest elektron yoğunluğu (STEC) ve düşey toplam serbest elektron yoğunluğu (VTEC) olarak adlandırılır. VTEC, karşılaştırmalı sonuçlar için daha doğru bir yöntemdir. Uydu ya da alıcıdan kaynaklanan hatalar yaşanmadıkça TEC değeri artı işaretlidir. Toplam elektron yoğunluğunun elde edilmesi Şekil 2.30.'da verilmektedir (Arslan, 2004; Başçiftçi, 2017; Chakraborty ve ark., 2014; Alexander ve ark., 2012; Öztan, 2018; Schaer, 1999; Ya'acov ve ark., 2010; Zou, 2010).



Şekil 2. 30. Toplam elektron yoğunluğunun elde edilmesi (Langley, 2002)

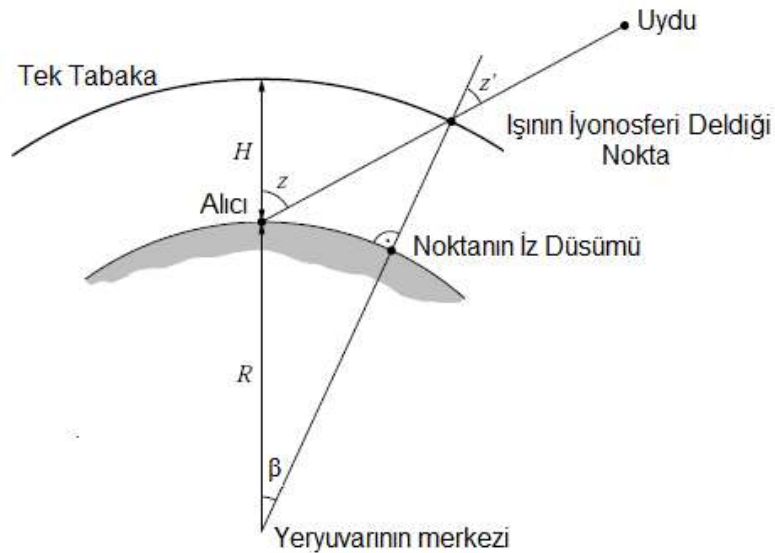
GNSS tabanlı iyonosfer çalışmaları, veri paylaşımları internet sayesinde anlık, hızlı ve ekonomik olmasından dolayı geniş çaplı veri sağlayan GNSS ağı sayesinde hız kazanmıştır (Alcay ve ark., 2014). Çift frekanslı GNSS alıcıları, f_1 ve f_2 taşıyıcı frekansları, L_1 ve L_2 için kod gözlemlerini ve taşıyıcı faz ölçülerini sağlar. Bu yüzden STEC hesaplanmasında, uydular ve alıcılar arasındaki sinyal yolu boyunca çift frekanslı GNSS gözlemleri kullanılır. (2.11)'de toplam elektron yoğunluğuna bağlı olarak sinyal frekansı ve uydu – alıcı sinyal yolu boyunca iyonosferik gecikme verilmektedir (Alcay ve ark., 2014; Liu ve Gao, 2004; Nohutcu ve ark., 2010).

$$I = \pm \alpha \frac{STEC}{f^2} \quad (2.11)$$

Burada: α $40.3 \times 10^{16} \text{ ms}^{-2} \text{ TECU}^{-1}$ olup, I ise f frekansında iyonosferik gecikmedir. α sabiti TECU'dan uzunluk birimlerine dönüştürülen bir değerdir. (2.11) eşitliği birinci derecedeki gecikme olup, yüksek derecelerdeki etkiler ihmal edilir. İyonosferik gecikme taşıyıcı faz ölçüleri için negatif, pseudorange ölçüleri için pozitifdir (Alcay ve ark., 2014).

2.6.2.2.1. Tek tabaka modeli

GNSS sinyalleri, farklı uydulardaki farklı eğim açılarıyla iyonosferin farklı konumlarından toplanır. Bu durumda karıştırmalar yapabilmek için, STEC değeri ortalama bir yükseklikte VTEC'e dönüştürülmektedir. GNSS alıcılarından elde edilen TEC'in iki boyutlu haritalanması için Tek Tabaka Modeli (Single Layer Model – SLM) kullanılır (Şekil 2.31.). Uydu-alıcı arası yataydaki elektron miktarı değişimi göz ardı edilen SLM modeli, iyonosferi modelleme için sıklıkla kullanılmaktadır. Yazılımlarda genel olarak iyonosferin yüksekliği 450 km olarak kullanılmaktadır. Bu yükseklikte TEC maksimum yoğunluğa sahip kabul edilmektedir. Bu model, maksimum yoğunluğa sahip serbest elektronların sonsuz incelikte bir alan içerisine sıkıştırıldığını varsaymaktadır (Başçiftçi, 2017; Dach ve Walser, 2015; Komjathy ve ark., 1996; Öztan, 2018).



Şekil 2. 31. Tek Tabaka Modeli (Dach ve Walser, 2015).

Burada; H tek tabakanın yeryuvarından yüksekliği, z ve z' sırasıyla istasyondaki ve tek tabakadaki zenit açıları, R yeryuvarının yarıçapı, β ise zenit açıları farkıdır (Dach ve Walser, 2015).

Şekil 2.31.'den

$$\sin z' = \frac{R}{R+H} \sin z \quad (2.13)$$

$$E_v = E \cos z' \quad (2.14)$$

eşitlikleri çıkarılabilir. (2.14) eşitliğindeki TECU birimindeki TEC ölçüleri E' dir, E_v de düşey TEC (VTEC) değerlerini ifade eder. SLM iz düşüm fonksiyonunu da " $F_1(z)$ ";

$$F_1(z) = 1/\cos z' \quad (2.15)$$

eşitliğiyle elde edilir. Noktanın iz düşümü, iyonosferik bilginin dönüştürüldüğü yer VTEC olarak ifade edilir (Dach ve Walser, 2015).

İyonosferik modeller, GNSS tabanlı veri üretimini bölgesel ve küresel olarak iki farklı metotla yapmaktadır. Bölgesel GNSS ağındaki çok sayıda istasyon, bölgesel TEC modellerinin daha iyi bir haritalama doğruluğuna sahip olmasını sağlar (Dach ve Walser, 2015).

2.6.2.2.2. Bölgesel TEC modeli

Bölgesel TEC modeli iki boyutlu Taylor seri açılımı ile elde edilir. $E_v(\beta, s)$ düşey toplam elektron yoğunluğunu temsil ederse;

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^{m_{max}} E_{nm} (\beta - \beta_0)^n (s - s_0)^m \quad (2.16)$$

eşitliği çıkarılabilir. (2.16) eşitliğindeki; (β, s) iyonosfer geçiş noktasının coğrafi – güneş koordinatı, (β_0, s_0) Taylor açılım merkezi koordinatları, n_{max} ve m_{max} enlem ve boylamdaki iki boyutlu Taylor serisi en yüksek derecesi, E_{nm} Taylor serisinin bilinmeyenleri olarak ifade edilir. E00 ise referans istasyonu üzerindeki TEC'in sıfırıncı derece TEC parametresinin seriye açılımıdır. Her alıcı ve uydu bilinmeyen parametreleri en küçük kareler yöntemi ile hesaplanır. İyonosferin hareketleri Taylor dizisinin derecesini belirler. İyonosfer parametrelerinin güvenilirliği düşük derecedeki Taylor dizisi ile artar (Başçiftçi, 2017; Wild, 1994).

2.6.2.2.3. Küresel TEC modeli

Küresel TEC kestirimleri için Taylor seri açılımı yetersiz kalır. CODE, ESA, CAS ve WHU gibi merkezler GIM'leri modellemek için birincil yöntem olarak küresel harmonik

açılımını kullanır (Wang ve ark., 2018) ve küresel harmonik açılım (2.17) eşitliğindeki küresel TEC modeli içindir.

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^{m_{max}} P_{nm}(\sin\beta)(C_{nm} \cos(ms) + S_{nm} \sin(ms)) \quad (2.17)$$

(2.17) eşitliğindeki; β enlem, s güneş sabit boylam, $E_v(\beta, s)$ düşey toplam elektron miktarı, $P_{nm}(\sin\beta)$ Legendre Fonksiyonu, C_{nm} ve S_{nm} bilinmeyen katsayıları, n_{max} ve m_{max} küresel harmonik açılımın en yüksek derecesi olarak ifade edilir. Küresel harmonik açılımın en yüksek derecesi konuma göre değişebilir. Dünya geneli haritalandırmalarda en yüksek derece on ve üzerinde uygun olabilir (Başçiftçi, 2017).

Küresel harmonik açılımı kullanmadan küresel TEC kestirimleri yapan merkezler de vardır. Bu merkezler grid tabanlı modeller (JPL-GIM)(Martire ve ark., 2024) ve karma (hybrid) modeller (UPC-GIM)(Universitat Politècnica de Catalunya)(Liu, 2022) kullanmaktadır.

3. FARKLI VERİ KAYNAKLARINDAN VTEC DEĞERİNİN ELDE EDİLMESİ

İyonosferdeki değişimler, elektron yoğunluğundaki değişimlerle izlenebilir. Bu bölümde, tez kapsamında kullanılan VTEC veri kaynakları açıklanmıştır.

3.1. GIM

İyonosfer'deki elektron yoğunluğu, bölgesel ya da küresel boyutta yapılan çalışmalarda çift frekanslı GNSS verileri kullanılarak elde edilmektedir. İyonosfer Çalışma Grubu (Ionosphere Working Group-IWG) Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service-IGS) istasyon ağını ve altyapısını kullanarak VTEC-GIM'i Haziran 1998'den bugüne kesintisiz olarak sağlanmaktadır. IAAC'ler ise GIM'leri gelişmiş çözünürlük, doğruluk ve gecikme verileriyle yayınlamaktadır (Chen ve ark., 2024; Hernández-Pajares ve ark., 2009). Çift frekanslı GNSS ölçümlerine dayalı oluşturulan iki ve üç boyutlu iyonosferik modeller ile özellikle son zamanlarda geliştirilen yüksek kaliteli iyonosferik modeller, küresel iyonosferin zamansal ve mekânsal değişimlerinin incelenmesine katkıda bulunur (Li ve ark., 2020).

Farklı analiz merkezlerinin ürettiği veriler arasında dönüşümler ve karşılaştırmalar yapmak amacıyla IONEX dosya formatı kullanılmaktadır (Schaer ve ark., 1998). IAAC merkezleri IONEX dosyalarını üç farklı formatta (tahmini, hızlı ve son ürün) yayınlamaktadır. Hızlı IONEX formatındaki dosyalar yirmi dört saat sonra yayınlanır ancak son ürün IONEX dosyalarının yayınlanması bir iki hafta sürebilir. Katalunya Teknik Üniversitesi (U2PG), Avrupa Uzay Ajansı/Avrupa Uzay Operasyon Merkezi (E1PG ve E2PG), Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi (C1PG ve C2PG) 2018 yılından itibaren tahmini IONEX dosyalarını bir ve iki günlük tahminlerle yayınlamaktadır. Gerçek zamanlı uygulamalarda ve tek frekanslı alıcı kullanılan uygulamalarda, yayınlanan tahmin verileri iyonosferden kaynaklanan hataların minimum olması açısından önemlidir (Li ve ark., 2018; Şentürk, 2021).

<https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/ionex/> web sitesi üzerinden IONEX dosyaları ücretsiz olarak indirilebilmektedir. YYYY/DDD/AAAgDDD#.YYi.Z şeklindeki dosya dizini VTEC haritalarına aittir. .Z sıkıştırılmış dosya, YY ilgili yılın son 2 hanesini, # ilgili gündeki dosya numarasını, DDD yılın gününü, AAA analiz merkezinin adını ve YYYY dosyası yılını tanımlamaktadır (Arslan, 2004; Perez, 2005; URL-50). 26

Kasım 2022 tarihinden itibaren IGS yeni dosya adı kuralına geçiş yapmıştır. Eski ve yeni dosya isimleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir (Dach ve Bockmann, 2024).

Çizelge 3. 1. Kullanılan dosyaların eski ve yeni isimleri

Dosya tipi	Eski kısa isim	Yeni uzun isim
Son ürün IONEX	igsgddd0.yyi.Z	IGS0OPSFIN_yyyyddd0000_01D_02H_GIM.INX.gz
Hızlı IONEX	igrddd0.yyi.Z	IGS0OPSRAP_yyyyddd0000_01D_02H_GIM.INX.gz
ROTI (Kuzey yarım küre)	rotidd0.yyf.Z	IGS0OPSFIN_yyyyddd0000_01D_01D_ROT.INX.gz

Üretilen VTEC haritaları, farklı yaklaşım ve hesaplama teknikleriyle kullanılacak enlem ve boylamlardaki farklı zaman dilimleri (1 saat, 2 saat, 15 dakika vb.) için küresel modellerle üretilir ve gridlenir (Hernández-Pajares ve ark., 2009). Üretilen veriler, merkezlerin kullandığı farklı hesaplama teknikleri ve yaklaşımlardan dolayı haritalar arasındaki doğruluk farkına sebep olabilir. Tüm veri merkezlerinin ürettiği GIM ortalaması, 1998 tarihinden itibaren 2 TECU – 8 TECU doğruluğunda IGS tarafından yayınlanmaktadır. IGS, GIM ortalamalarını yayınlarken son ürün IONEX (IGSG) dosyası kullanmaktadır (Şentürk, 2021). Analiz merkezleri tarafından üretilen GIM kodları, ürün kodu, merkez ve yöntem Çizelge 3.2.'de verilmiştir (Zhao ve ark., 2021).

Çizelge 3. 2. GIM' lerin kodu, üreten analiz merkezleri, türü ve üretim aşamasında kullanılan hesaplama teknikleri (Zhao ve ark., 2021)

Kodu	Türü	Analiz Merkezi	Yöntem
CODG	Son ürün	Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi (Bern, İsviçre)	Küresel Harmonikler, MSLM
CORG	Hızlı		
ESAG	Son ürün	Avrupa Uzay Ajansı/Avrupa Uzay Operasyon Merkezi (Paris, Fransa)	Küresel Harmonikler, MSLM
EHRG ESRG	Hızlı		
IGSG	Son ürün	Uluslararası GNSS Servisi (Kaliforniya, ABD)	Ağırlıklı Ortalama
IGRG	Hızlı		
JPLG	Son ürün	Jet İtke Laboratuvarı (Kaliforniya, ABD)	Üç Kabuk Modeli
JPRG	Hızlı		
UPCG	Son ürün	Katalonya Teknik Üniversitesi (Barselona, İspanya)	Spline İle Tomografik
UQRG UHRG UPRG	Hızlı		
WHUG	Son ürün		
WHRG	Hızlı	Wuhan Üniversitesi (Wuhan, Çin)	Küresel Harmonik ve Değişken Kısıtlı En Küçük Kareler, MSLM
CASG	Son ürün		
CARG	Hızlı	Çin Bilim Akademisi (Beijing, Çin)	Küresel Harmonik ve Genelleştirilmiş Trigonometrik Seriler, SLM

EMRG	Son ürün	NRCan Kanada Doğal Kaynaklar (Ottawa, Kanada)	Küresel Harmonikler, MSLM
------	----------	---	---------------------------

IONEX formatındaki TEC verileri, küresel olarak tüm Dünya'yı kapsayacak şekildedir. İstenilen konumdaki TEC verisi ise belirli sistemdeki bu dosyadan elde edilir. İstenilen noktanın enlem ve boylamı yardımıyla TEC verisi, noktayı içeren alanın en yakın 4 TEC değeri iki değişkenli enterpolasyon uygulanarak elde edilir (3.1)(Schaer ve ark., 1998). Dosya içerisindeki verilerden TECU biriminde değer elde edebilmek için verilerin onda biri alınmalıdır. TEC değeri,

$$E_{int}(\lambda_0 + p\Delta\lambda, \beta_0 + q\Delta\beta) = (1-p)(1-q)E_{0.0} + p(1-q)E_{1.0} + q(1-p)E_{0.1} + pqE_{1.1} \quad (3.1)$$

(3.1) eşitliği ile hesaplanır. Formüldeki; E_{int} aranan TEC değeri, λ_0 ve β_0 başlangıç enlem ve boylam, $\Delta\lambda$ ve $\Delta\beta$ enlem farkları grid genişlikleri, $E_{0.0}$, $E_{1.0}$, $E_{0.1}$, $E_{1.1}$ en yakın noktadaki TEC değerleri ve p , q ise 0 – 1 arasında değer almaktadır.

GIM üreten birçok IAAC bulunmaktadır. CAS-Çin Bilimler Akademisi (Chinese Academy of Sciences), CODE-Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi (Center for Orbit Determination in Europe), ESA/ESOC-Avrupa Uzay Ajansı/Avrupa Uzay Operasyonları Merkezi (European Space Agency/European Space Operations Centre), JPL-Jet İtli Laboratuvarı (Jet Propulsion Laboratory), NRCan-Kanada Doğal Kaynakları (Natural Resources Canada), OPTIMAP (Operational Tool for Ionospheric Mapping And Prediction)/DGFI-TUM-İyonosferik Haritalama ve Tahmin için Operasyonel Araç / Alman Jeodezi Araştırma Enstitüsü - Münih Teknik Üniversitesi (Operational Tool for Ionospheric Mapping And Prediction/Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut-Technische Universität München), UPC-Katalonya Politeknik Üniversitesi (Universitat Politècnica de Catalunya) ve WHU-Wuhan Üniversitesi (Wuhan University) GIM üreten aktif merkezlerdir (Dach ve Bockmann, 2024).

Bu tez kapsamında <https://cdis.nasa.gov/archive/gnss/products/ionex/> web adresinden elde edilen CODE veri merkezine ait IONEX formatındaki dosyalar kullanılmıştır. CODE GIM, IGS ve diğer kurumların yaklaşık 150 GPS istasyon verilerini kullanarak TEC değerlerini üretmektedir (Todorova ve ark., 2003). TEC haritaları Ekim 2014 tarihinden önce 2 saatlik sonrasında ise 1 saatlik zaman çözünürlüğünde yayınlanmaktadır. TEC verilerinin kestirimi için Dünya yarıçapı 6371

km kabul edilir. CODE GIM haritaları 2.5° (enlem) / 5° (boylam) konumsal çözünürlüğe sahiptir (Alçay ve Öztan, 2016; Arslan, 2004; Liu ve ark., 2005; Öztan, 2018; Schaer ve ark., 1998; Şentürk, 2018; URL–50; URL–51).

3.2. COSMIC RO

GNSS uydularından yeryüzüne gelen sinyaller kullanılarak yapılan sondajlama işlemine Radyo Okültasyonu (Radio Occultation-RO) görevi adı verilmiştir. RO görevi, bütün uzay hava koşullarında yüksek hassasiyet, yüksek doğruluk ve düşük çözünürlük elde etmek amacıyla GNSS uydularına nispeten daha ucuz bir görev olarak hayata geçmiştir (Anthes ve ark., 2008; Jin ve ark., 2019; Schreiner ve ark., 2007; Xu ve ark., 2021; Zhao ve ark., 2011). Alçak Dünya Yörüngesi (Low Earth Orbit Satellite-LEO) boyunca hareket eden ve üzerine çift frekanslı GPS alıcısı monte edilmiş uydular, atmosfer boyunca geçen GPS sinyallerinden iyonosferik EDP üretmek için kullanılmaktadır (Vishnu Vardhan ve ark., 2020). İyonosferik anomalilerin izlenilmesi amacıyla kullanılan RO, aynı zamanda uzay iklim araştırması, iletişim ve ulusal savunma alanları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. EDP gözlemleri, gerçek zamanlı olarak iyonosferin izlenebilmesi için büyük önem taşır. Bu gözlemlerde kullanılan EDP profilleri, Atmosferik Araştırmalar için Üniversite İşbirliği (University Corporation for Atmospheric Research-UCAR) COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate) Veri Analizi ve Arşiv Merkezi (COSMIC Data Analysis and Archive Center-CDAAC) GPS'in L1 ve L2 faz gözlemleri kullanılarak Abel inversiyon yöntemiyle elde edilir (Bilitza ve ark., 2011; Lei ve ark., 2007; Pedatella ve ark., 2015; Xu ve ark., 2021; Yue ve ark., 2014). LEO uydularından 80 km yüksekliğe kadar iyonosferik RO verileri elde edilirken, yeryüzünden 80 km yüksekliğe kadar nötr atmosferik RO verileri elde edilmektedir (Pedatella ve ark., 2015; Schreiner ve ark., 1999; Xu ve ark., 2021).

OrbView-1/MicroLab uydu sistemi, Dünya atmosferini incelemek için ilk defa Küresel Konumlandırma Sistemi/Meteoroloji (Global Positioning System/Meteorology-GPS/MET) uydularıyla GPS sinyali kullanan RO görevidir (Hajj ve Romans, 1998; Kursinski ve ark., 1997; Lin ve ark., 2020). UCAR GPS/MET görevi deneyini Dünya atmosferi için 1995 ve 1997 yılları arasında RO'yu kullanmıştır (URL–52). Dünya genelindeki uzay hava merkezlerine gerçek zamanlı olarak RO verilerini GPS/MET görevi aktarmıştır (Anthes, 2011; Anthes ve ark., 2000; Liu ve ark., 2020b).

GPS/MET deneyi başarılı bir şekilde geliştirilmiştir. Yapılan geliştirmeler, iyonosfer incelemelerini daha fazla detaylandırılmasını sağlamıştır. GPS/MET deneyi sonuçlandırılmasından sonra üzerlerine GNSS alıcıları monte edilmiş ve NmF₂, hmF₂ ile TEC gibi parametreler üretebilen çok sayıda LEO uydusuna sahip Meteoroloji İyonosfer ve İklim için Takımyıldız Gözlem Sistemi (COSMIC) ve Feng-Yun 3C (FY3C) gibi uydu görevleri ortaya çıkmıştır (Anthes ve ark., 2008; Bai ve ark., 2019; Xu ve ark., 2021).

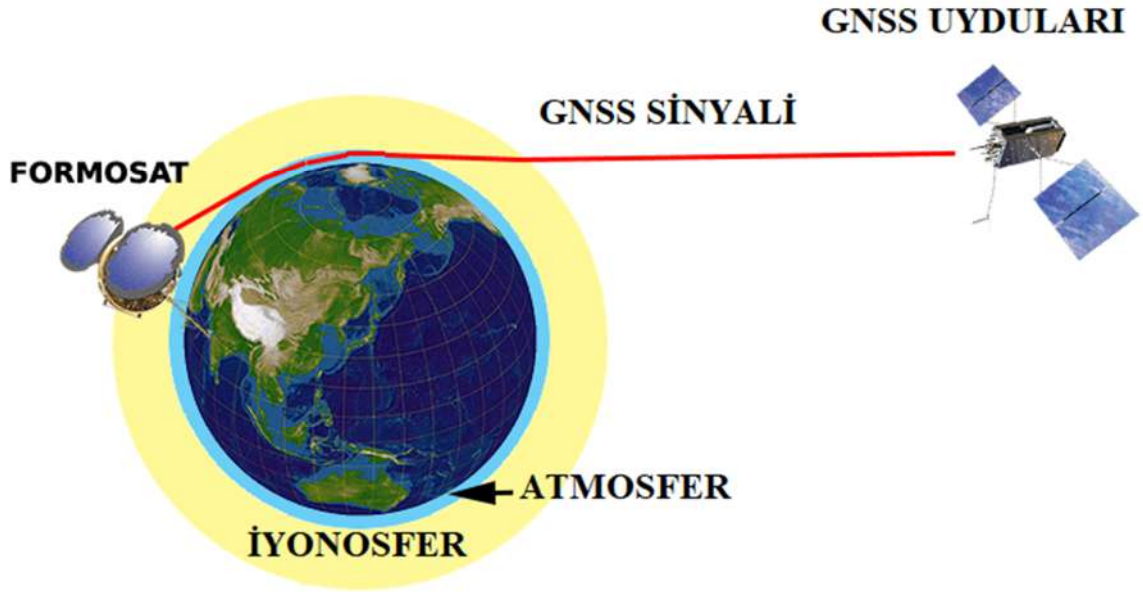
RO sondajı yapan FORMOSAT-3/COSMIC-1 (F3/C1) uydu görevi, çok sayıda atmosferik ve iyonosferik parametreleri üreten altı adet LEO uydusuyla 2006 yılında farklı yörüngelerde ve 72° eğimli olarak ilk görev olarak başlamıştır (Cheng ve ark., 2006; Fong ve ark., 2008a; Lin ve ark., 2020; Lin ve ark., 2007; Schreiner ve ark., 2007; Vishnu Vardhan ve ark., 2020). F3/C1 görevinin üretmiş olduğu parametreler, su buharı, sıcaklık, nötr atmosferdeki kırılma ve basınç gibi RO profilleri ve TEC ile iyonosferdeki elektron yoğunluğunu (Ne) olarak sıralanabilir (Fong ve ark., 2008b).

F3/C1 görevi başarılı olmuştur. Bu görev, yapılan yeni çalışmalarla geliştirilerek FORMOSAT-7/COSMIC-2 (F7/C2) görevi olarak 25 Haziran 2019 yılında başlatılmıştır. F7/C2 görevi, 550 km yükseklikte 24° eğimle farklı yörünge düzlemlerindeki altı adet yeni LEO uydusundan oluşmaktadır (Oztan ve ark., 2024).

F7/C2 uyduları, atmosferi ve iyonosferi yatay olarak tarayarak yapılan RO sondajı ile düşey bilgilerin gözlemlerini F3/C1 uydularından günlük iki veya daha fazla yapabilecek şekilde tasarlanmıştır (Hajj ve Romans, 1998; Kelley ve ark., 2009; Lin ve ark., 2009; Lin ve ark., 2020; Schreiner ve ark., 1999).

Çevrimiçi kayıt yaptırılarak ABD CDAAC veri merkezinden <https://cdaacwww.COSMIC.ucar.edu/cdaac/index.html> ya da Tayvan COSMIC Analiz Merkezi'nden <http://tacc.cwb.gov.tw> COSMIC RO gözlemleri sonucunda oluşturulan iki arayüzlü depolama formatına sahip Ağ Ortak Veri Formatı (NetCDF) dosyaları ücretsiz olarak indirilebilir (URL-52; URL-53; Xu ve ark., 2021). Veri merkezlerinde bulunan level2 arayüzü üzerinden IonPrf dosyasına ulaşılabilir. Dosya içeriğinde yüksekliğe bağlı olarak değişen TEC_cal verileri, iyonosferik yoğunluğun hesaplandığı TEC0 verileri ve plazmasferik yoğunluğun hesaplandığı TEC1 verileri elde edilebilir. COSMIC RO VTEC, iyonosferik ve plazmasferik yoğunluklar yardımıyla hesaplanır ve yapılan karşılaştırmalar için daha doğru sonuçlar verir. IonPrf profil dosyaları, günlük olarak 2000 ile 4000 adet üretilebilmektedir (Vishnu Vardhan ve ark., 2020).

FORMOSAT/COSMIC uyduları ile GNSS uyduları arasındaki ilişki Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Atmosferik sondaj kullanılarak FORMOSAT/COSMIC tarafından sinyal gecikmesinin RO analizi (Anthes ve ark., 2008)

3.3. FY3C RO

FY-3C uydusu 23 Eylül 2013 tarihinde, 98.75° yörünge eğiminde ve 836 km yükseklikte görevine başlamıştır. FY-3C uydusunun GNSS RO alıcısı (Global Navigation Satellite System Occultation Sounder-GNOS), kızılötesi spektrometre, uzay ortam dedektörü, mikrodalga radyometre/termometre ve Dünya/Güneş radyasyon dedektörü gibi donanımlara sahiptir. Bu uyu, ikinci nesil, kutupsal yörüngeli ve Çin'e ait meteorolojik bir uydudur. İklim değişikliği, troposfer ve iyonosfer hakkında birçok veri sağlayan FY-3C uyduları, günde yaklaşık 500 kez GPS okültasyon verileri ve 200 kez BeiDou (Navigation Satellite System-BDS) verileri sağlayabilir (Bai ve ark., 2014, 2019; Bi ve ark., 2012; Jin ve ark., 2019; Li ve ark., 2017). Bu sağladığı verilerle FY-3C RO görevi, BeiDou navigasyon ve küresel konumlandırma sistemi ile gözlem yapabilen ilk görev olmuştur (Xu ve ark., 2021). İyonosferin dinamik yapısından dolayı elektron yoğunluğu sürekli değişken olduğundan, elektron yoğunluk profillerinde düşey yönde belirgin değişimler meydana gelir (Guo ve ark., 2011; Kuo-Feng ve ark., 2009; Xu ve ark., 2021).

Çin Ulusal Uydu Meteoroloji Merkezine (National Satellite Meteorological Center-NSMC) <http://satellite.nsmc.org.cn> adresinden çevrimiçi kayıt yaptırılarak iki arayüzlü depolama formatına sahip NetCDF dosyaları ücretsiz olarak indirilebilir. (URL–55).

VTEC verileri, FY-3C veri formatındaki 80 km ve LEO uyduları arasındaki elektron yoğunluğu kullanılarak (3.2) elde edilir (Schreiner ve ark., 1999; Xu ve ark., 2021). TEC değeri,

$$TEC = \int Ne ds \quad (3.2)$$

(3.2) eşitliği ile hesaplanır. Formüldeki; s, 80 km ve LEO uyduları arası yüksekliği ve Ne, elektron yoğunluk profili olarak ifade edilir (Guo ve ark., 2011; Kuo-Feng ve ark., 2009; Oztan ve ark., 2024; Xu ve ark., 2021).

3.4. SWARM

Dünya atmosferindeki elektron yoğunluğu, Dünya'nın manyetik alanı, elektron sıcaklığını, Ne ve TEC gibi parametreleri sağlamak amacıyla 22 Kasım 2013 tarihinde LEO yörüngesindeki Alpha (A), Bravo (B) ve Charlie (C) isimli üç özdeş uydudan oluşan SWARM görevi başlamıştır. SWARM uyduları, bu parametreleri sağlamak için Langmuir Probe (LP) adı verilen donanımlara sahiptir (Spogli ve ark., 2021). SWARM A ve SWARM C uydularının uydu yükseklikleri 462 km, SWARM B uydusu ise 511 km yükseklikte aynı yörüngede hareket etmektedir (Friis-Christensen ve ark., 2006, 2008; Olsen ve ark., 2013; Spogli ve ark., 2021; URL–56; Vishnu Vardhan ve ark., 2020). Maksimum 10 sn zaman farkıyla aynı boylamlar boyunca hareket eden SWARM A ve SWARM C uyduları, 87.35° eğiminde birbirine yakın TEC bilgilerini toplar. SWARM B uydusu ise 87.75° eğiminde hareket etmesine rağmen SWARM A ve SWARM C uydularından farklı boylamlarda hareket ettiğinden farklı TEC bilgilerini toplamaktadır (Friis-Christensen ve ark., 2008; Piersanti ve ark., 2021; Spogli ve ark., 2021).

SWARM verileri çevrimiçi olarak, sanal bir web tabanlı grafik kullanıcı arabirimi olan VirES (<https://vires.services/>) tarafından işlenerek ücretsiz olarak indirilebilir (URL–57; Vishnu Vardhan ve ark., 2020). VTEC verileri ise v3.18 versiyonunda VirES tarafından sağlanan günlük level2d arayüzünden TECxTMS_2F dosyası olarak elde

edilmektedir. TECxTMS_2F dosyasının uzantısı .cdf (Cumulative Distribution Function) olarak kullanılmaktadır (URL–56).

3.5. JASON

Fransız uzay ajansı (National d'Etudes Spatiales-CNES) ve NASA tarafından geliştirilen TOPOgraphy EXperiment (TOPEX) /POSEIDON, okyanus ve deniz yüzeylerini araştırmalar yapan ilk oşinografik radar altimetre uydusudur (URL–58). Okyanus gelgitleri, okyanus sirkülasyon dinamikleri, jeodezi ve jeodinamiği, deniz yüzeyi ölçümleri, okyanus yüzey rüzgarları, deniz yüzeyi dalgaları ve deniz yüzeyinin hassas yüksekliği gibi parametreler altimetre uyduları tarafından sağlanmaktadır. 2. Seviye altimetre verileri, 10 Ağustos 1992'de fırlatılan T/P tarafından üretilir. Fiziksel Oşinografi Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi (The Physical Oceanography Distributed Active Archive Center-PO.DAAC) ve Aviso+ gibi merkezler, altimetre verilerinde jeofiziksel düzenlemeler yapar. CNES ve NASA, ham veriler, jeofizik veri kayıtları ve sensör veri kayıtları gibi verileri arşivlerde saklar ve bilimsel çalışmalarda kullanılır (Oztan ve Alcay, 2022; URL–59).

7 Aralık 2001'de fırlatılan T/P görevinin devamı JASON-1, yalnızca doğrulanmış (Geophysical Data Records (GDR)) verileri sunmaktadır. 21 Haziran 2013'te JASON-1 uydu görevi sona ermiştir (Oztan ve Alcay, 2022; URL–60).

JASON-1 görevinin sona ermesiyle, 20 Haziran 2008 tarihinde çift frekanslı bir radar altimetre uydusu JASON-2, 66° eğim açısıyla ve 1336 km uydu yüksekliğinde Avrupa Meteorolojik Uydular İşletme Teşkilatı (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites-EUMETSAT) ve NOAA araştırma merkezlerinin dahil olmasıyla görevine başladı. OSTM/Jason-2 görevi daha kapsamlı altimetre donanımına sahiptir. POSEIDON-3 uydu donanımına sahip ve 10 Ekim 2019 tarihinde sona eren JASON-2, C bandında 5,3 GHz ve Ku bandında 13,575 GHz bant genişliğinde kayıt yapar (Astafyeva ve ark., 2015; Biancamaria ve ark., 2018; Imel, 1994; Oztan ve Alcay, 2022; URL–61).

Dünya çevresindeki bir tam turunu (taramasını) 9,9156 günlük bir periyotta tamamlar. JASON-2 ile ilgili bilgiler <https://www.aviso.altimetry.fr/en/missions/past-missions/jason-2.html> adresinden elde edilebilir (URL–61).

OSTM/JASON-2 görevinin sona ermesiyle EUMETSAT ve NOAA tarafından COPERNICUS programı geliştirildi. Bu program sayesinde, 80 sn zaman farkıyla 17

Ocak 2016 tarihinde JASON-2 ile aynı yörüngeye sahip olan JASON-3, POSEIDON-3B donanımı ile altimetre verileri için kullanılmaya başlamıştır. JASON-3, altı aydan fazla bir süre JASON-2 ile birlikte aynı yörüngede kaldıktan sonra, 13 Ekim 2016 tarihinde iki uydu arasına uydu yüksekliği ve eğim açısı değiştirilmeden bir yörünge eklenmiştir. Bu durum, sadece ekvator boylamında yer-iz aralığının yarı yarıya kaymasına sebep olmuştur (Astafyeva ve ark., 2015; Biancamaria ve ark., 2018; Desjonquères ve ark., 2010; Imel, 1994; Oztan ve Alcay, 2022; URL-58; URL-61).

Level2 arayüzünden erişilebilen NetCDF formatındaki dosyalarda, önemli dalga yükseklik bilgileri, okyanus yüzey rüzgâr hızı, iyonosfer, troposfer, deniz/okyanus yüzey yüksekliği gibi veriler için düzeltme verileri bulunmaktadır. Dosyalardaki düzeltme verilerinin JASON-3 el kitabında da belirtildiği gibi ham halde filtrelemeler yapılması gerekmektedir. Örneğin, iyonosferik düzeltme verileri -400 milimetre ile 40 milimetre arasında filtrelenmelidir (Oztan ve Alcay, 2022; URL-58).

Yüksek enlem bölgeleri hariç hemen hemen tüm okyanus bölgelerini kapsayan JASON-2 ve JASON-3 uyduları, yaklaşık 65° Güney ve 65° Kuzey enlemleri arasında hareket eder. JASON uydularından elde edilen çift frekanslı altimetre verileri, VTEC belirlenmesini sağladığı için, GNSS tabanlı VTEC iyonosferik modellerini değerlendirmek için kullanılabilir. Çünkü JASON VTEC verilerini hiçbir haritalama işlevine ihtiyaç duymadan doğrudan sağlar (Hernández-Pajares ve ark., 2017; Jee ve ark., 2010; Milanowska ve ark., 2021). Yüksek çözünürlüklü okyanus bölgeleri için günlük JASON altimetre VTEC haritaları sunulmaktadır (Ozdemir ve ark., 2024). Altimetre verilerinden türetilen VTEC, GIM değerlendirmesi adına referans olarak hizmet edebilmesi için yüksek frekanslı gürültüler medyan filtresi gibi bir filtre ile ortadan kaldırılmalıdır (Milanowska ve ark., 2021).

JASON-2 ve JASON-3 uydularının Ku-band frekansında elde edilen elektron/m² cinsinden VTEC verileri, düşey faz iyonosferik gecikmeden türetilmiştir. dR, metre cinsinden Ku-band iyonosferik aralık düzeltmesidir ve fKu, GHz cinsinden Ku-band frekansı olarak düşünülürse VTEC değeri (3.3) eşitliği ile elde edilir (Ren ve ark., 2019).

$$VTEC = - \frac{dR * f_{Ku}^2}{40.3} \quad (3.3)$$

4. UYGULAMA

Bu tez kapsamında GIM VTEC değerleri ile COSMIC RO, FY3C RO, SWARM ve JASON veri kaynaklarından elde edilen VTEC değerleri karşılaştırmalı bir yaklaşımla ele alınmıştır. Bu amaçla tüm veri kaynaklarında ortak zaman dilimini seçebilmek için veri sundukları tarih aralıkları incelenmiştir (Çizelge 4.1.). Ayrıca bu veri kaynaklarına ilişkin yükseklik, yörünge eğim açısı vb. detaylar ise Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelge 4.2' de verilen "Ölçülen/Hesaplanan Değer" sütunundaki TEC0 iyonosferik içerik, TEC1 plazmasferik içerik ve TEC_cal yüksekliğe bağlı olarak değişen TEC değerleri olarak sınıflandırılmaktadır.

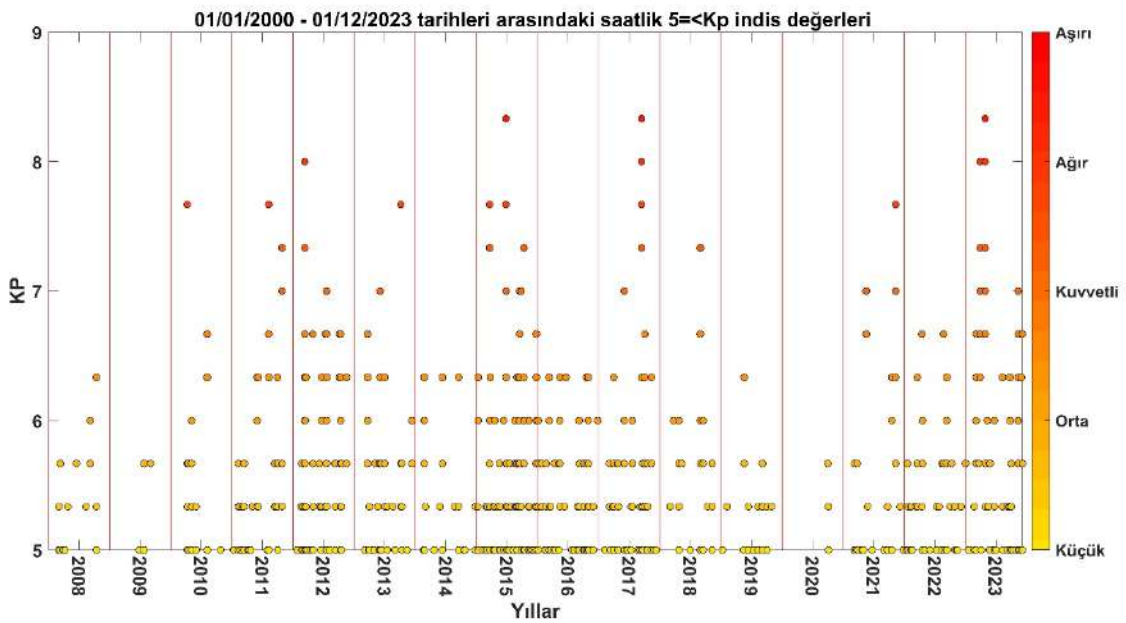
Çizelge 4. 1. Veri Kaynaklarının VTEC verilerinin indirilebilir tarih aralığı (URL-55; URL-62; URL-63; URL-64)

Veri Kaynağı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi
COSMIC RO	01/05/2014	Devam ediyor
FY3C RO	05/06/2014	03/02/2020
JASON	04/07/2008	Devam ediyor
SWARM	25/11/2013	Devam ediyor

Çizelge 4. 2. Uygulamada kullanılan farklı veri kaynakları ve özellikleri

Veri Kaynağı	Yüksekliği Km	Yörünge Eğim Açısı	Ölçülen/Hesaplanan Değer	Ölçülen/Hesaplanan Değer Aralığı	Açıklama
Yer tabanlı GPS (GIM)	-	Küresel Ağ	VTEC	0-20200	
FORMOSAT-3/ COSMIC-1 (F3/C1)	800	72°	TEC_cal	0-800	LEO yörüngesinin altında kalibre edilmiş okültasyon TEC
			TEC0	0-800	
			TEC1	800-20200	
FORMOSAT-3/ COSMIC-2 (F7/C2)	550	24°	TEC_cal	0-550	LEO yörüngesinin altında kalibre edilmiş okültasyon TEC
			TEC0	0-550	
			TEC1	550-20200	
FY3C RO	836	98.75°	TEC0	0-836	
JASON-2	1336	66°	VTEC	0-1336	
JASON-3	1336	66°	VTEC	0-1336	
SWARM A/C	462	87.35°	VTEC	462-20200	
SWARM B	511	87.75°	VTEC	511-20200	

Farklı veri kaynaklarından elde edilen VTEC değerleri kısa dönem ve uzun dönem olarak incelenmiştir. Kısa dönem incelemesinde farklı seviyelerde jeomanyetik fırtınanın olduğu 8 gün (17-18/03/2015, 22/06/2015, 21/12/2015, 01/01/2016, 07-08/09/2017 ve 26/08/2018) dikkate alınmıştır. Uzun dönem incelemesinde ise mevsimsel ve yıllık sonuçlar dikkate alınmıştır. Bu amaçla aktif ($K_p > 5$) günlerin fazla ve tüm veri kaynaklarının verilerinin olduğu, 2015-2016-2017-2018-2019 yılları ele alınmıştır. Seçilen yıllardaki jeomanyetik aktivite seviyesini göstermek amacıyla hazırlanan K_p indis değerleri Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4. 1. 01/01/2008 – 01/12/2023 tarihleri arasındaki K_p indis değerleri

GIM VTEC değerleri ile COSMIC RO, FY3C RO, SWARM ve JASON'dan elde edilen VTEC değerleri arasında mekânsal ve zamansal uyumun sağlanması için, bilineer enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Farklı veri kaynakları ile yapılan işlemlere ilişkin akış diyagramı Şekil 4.2.'de verilmiştir. GIM VTEC ile COSMIC RO, FY3C RO, SWARM ve JASON VTEC arasındaki farkları temsil eden hata (v) değeri, eşitlik (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$v_i = TEC_i^G - TEC_i^{C/F/S/J} \quad (4.1)$$

eşitlikteki v_i , i 'inci ölçümler arasındaki mutlak hatayı, TEC_i^G GIM'den türetilen VTEC verisini ve $TEC_i^{C/F/S/J}$ ise sırasıyla COSMIC RO (C), FY3C RO (F), SWARM

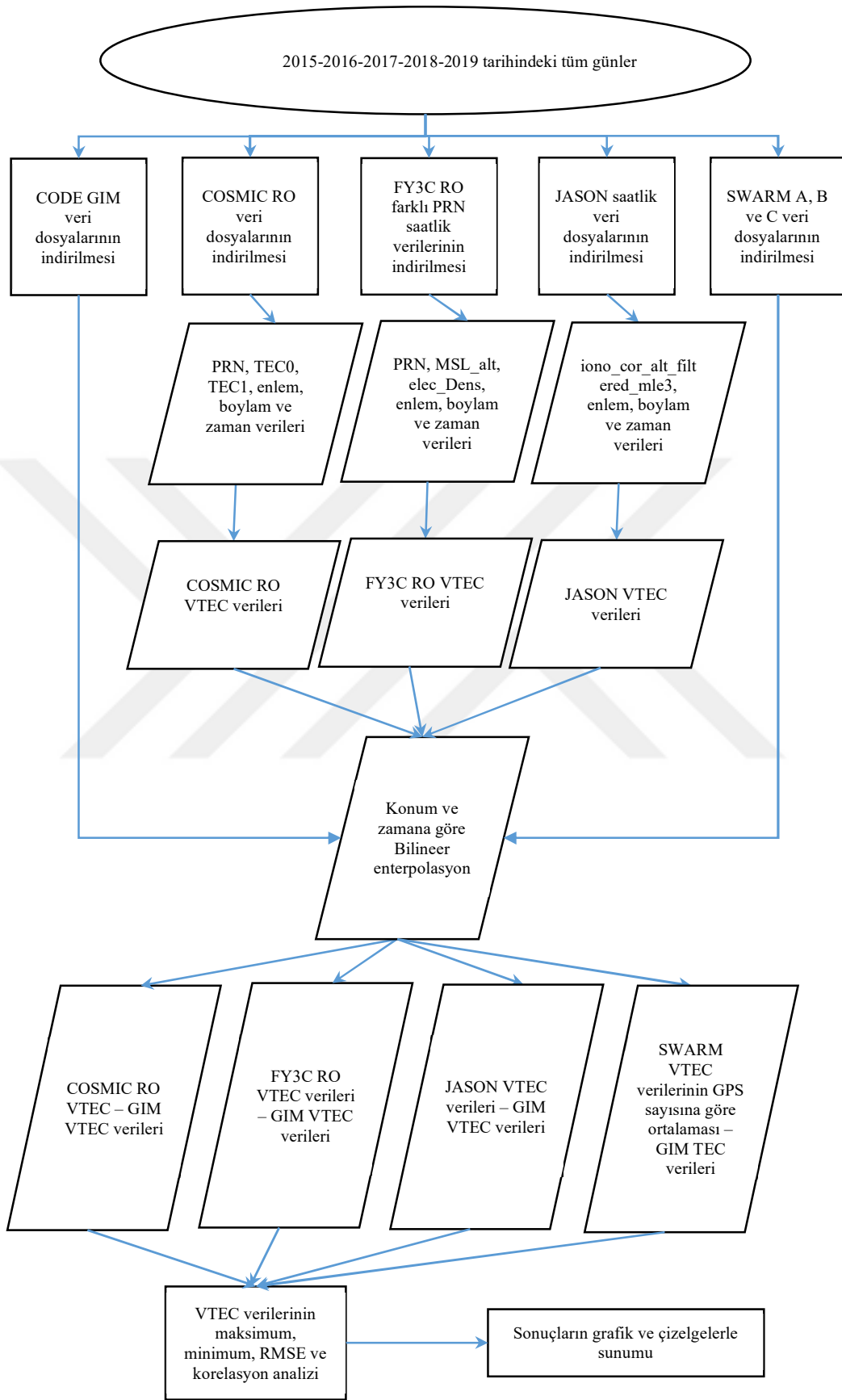
(S) ve JASON (J) VTEC verisini temsil etmektedir. Veri kümeleri arasındaki RMSE değerleri ise 4.2 eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i)^2} \quad (4.2)$$

burada n, veri sayısını temsil etmektedir.

Kısa ve uzun dönem için elde edilen sonuçlar alt bölümlerde detaylı olarak verilmiştir.

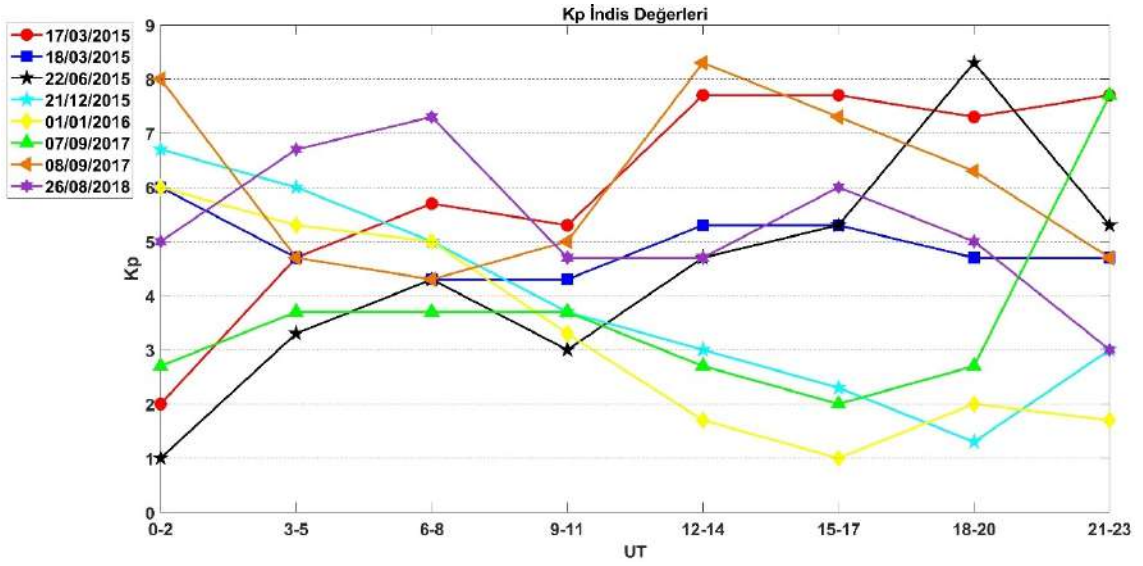




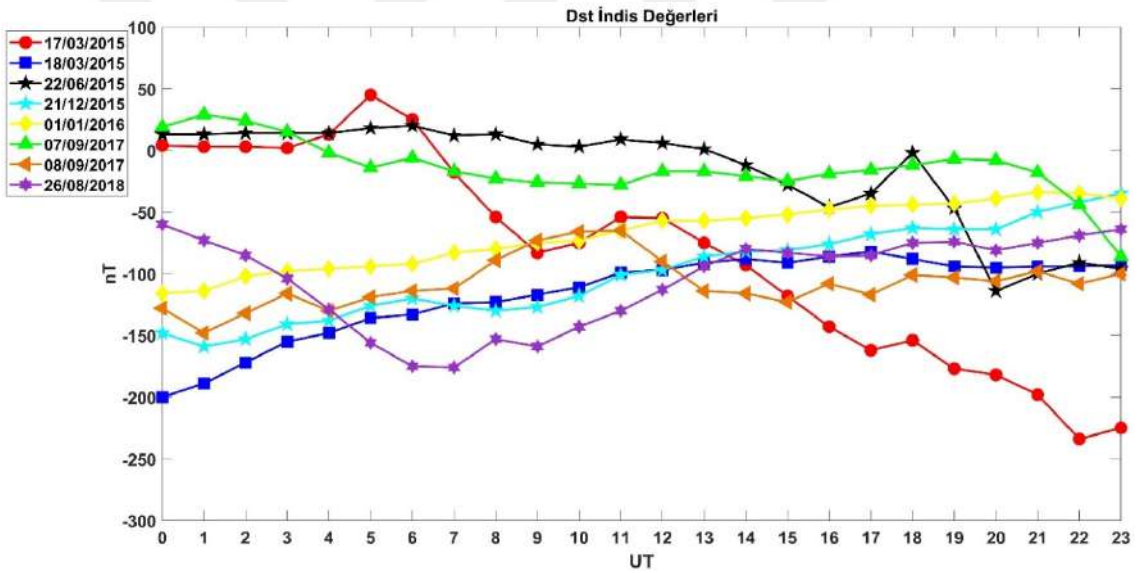
Şekil 4. 2. Uygulama akış diyagramı

4.1. Kısa Dönem VTEC Değerlerinin Analizi

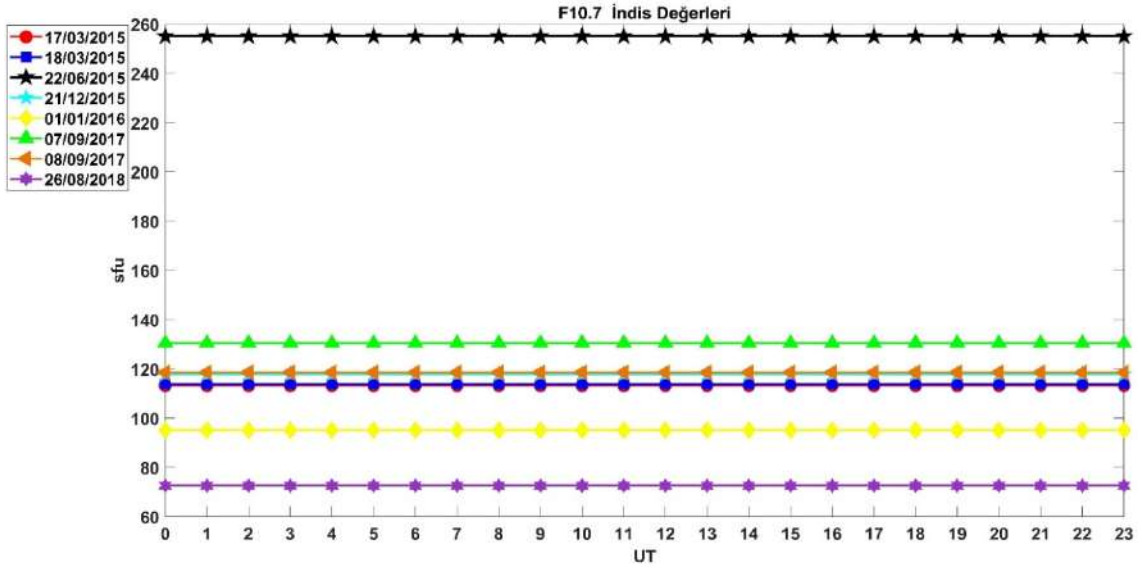
Farklı veri kaynaklarından elde edilen VTEC değerlerinin günlük bazda incelenmesi amacıyla Kp indis değeri dikkate alınarak farklı seviyelerdeki jeomanyetik fırtınalı günler seçilmiştir. Bu amaçla; G2 seviye orta jeomanyetik fırtınalı ($6 \geq Kp > 5$) günler (18/03/2015 ve 01/01/2016), G3 seviye kuvvetli jeomanyetik fırtınalı ($7 \geq Kp > 6$) günler (21/12/2015 ve 26/08/2018), G4 seviye ağır jeomanyetik fırtınalı ($8 \geq Kp > 7$) günler (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli jeomanyetik fırtınalı ($9 > Kp > 8$) günler (22/06/2015 ve 08/09/2017) dikkate alınmıştır. Seçilen günlerde jeomanyetik fırtına indislerinin (Kp, Dst) yanı sıra solar aktivite seviyesini de görebilmek için F10.7 indisi ve ayrıca Bx, By, Bz, proton yoğunluğu ve Güneş rüzgâr hızı parametreleri de incelenmiştir (Şekil 4.3-4.10). İndisler ve parametreler incelendiğinde, şiddetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 22.06.2015 tarihinde 19 UT'de (Universal Time) proton yoğunluğunda belirgin bir artış ile birlikte, 20 UT'de Bx-By ile 19 UT'de Bz parametrelerinde sıçramalar görülmektedir. Güneş rüzgâr hızı parametresi de saat 19 UT'de belirgin şekilde yükselmiştir (Şekil 4.10). Ayrıca F10.7 indisinin 255 sfu olduğu görülmekte olup (Şekil 4.5), ilgili günün solar aktif bir gün olduğunu da göstermektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde 22.06.2015 dışında seçilen diğer günlerin solar aktif gün kabul edilebilmesi için gereken 140 sfu sınırının altında olduğu görülmektedir. Ağır jeomanyetik fırtınanın olduğu günlerde tüm indislerde ve parametrelerde düzensiz davranış görülmektedir. Özellikle Dst indisi 17.03.2015 tarihinde -230 nT'ye kadar ulaşmıştır. Kuvvetli jeomanyetik fırtınanın olduğu günlerde ise Dst indisi -180 nT'ye kadar ulaşmış ve proton yoğunluğu parametresi ise değişken bir trend izlemiştir (Şekil 4.9).



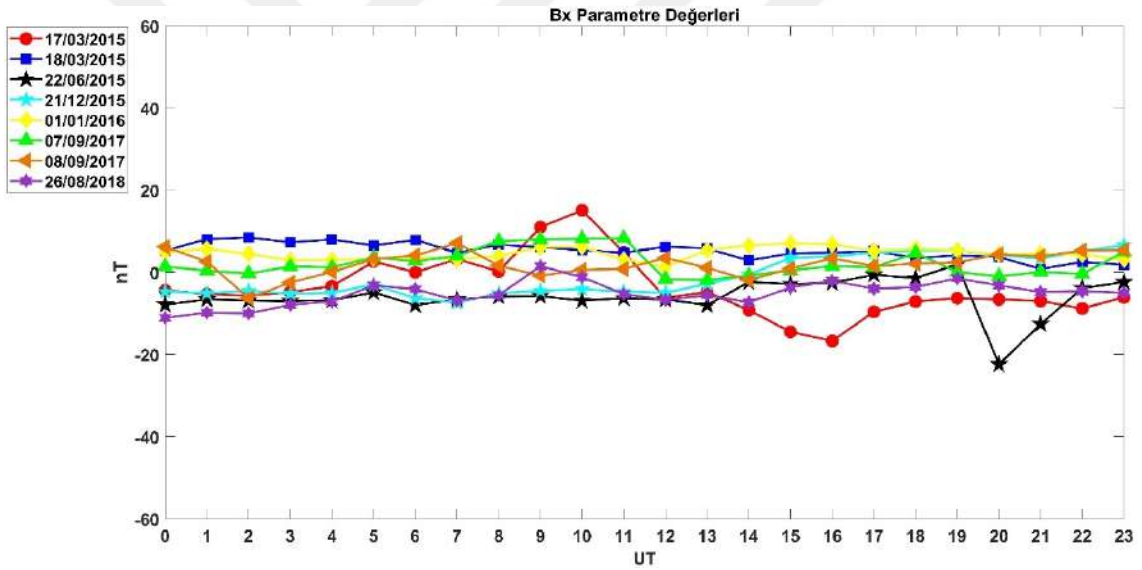
Şekil 4. 3. Kp indis değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



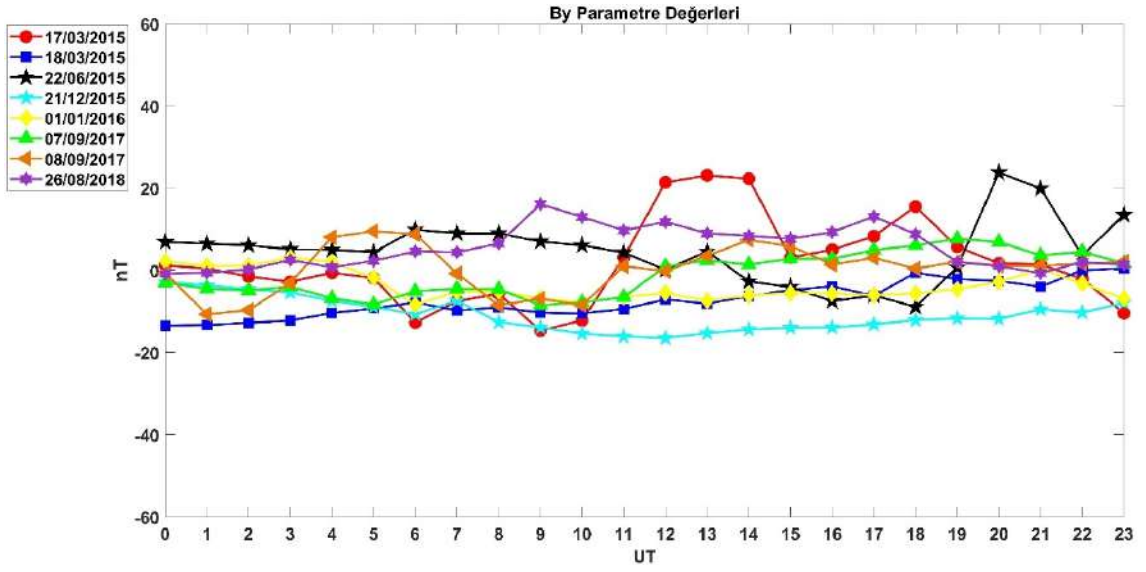
Şekil 4. 4. Dst indis değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



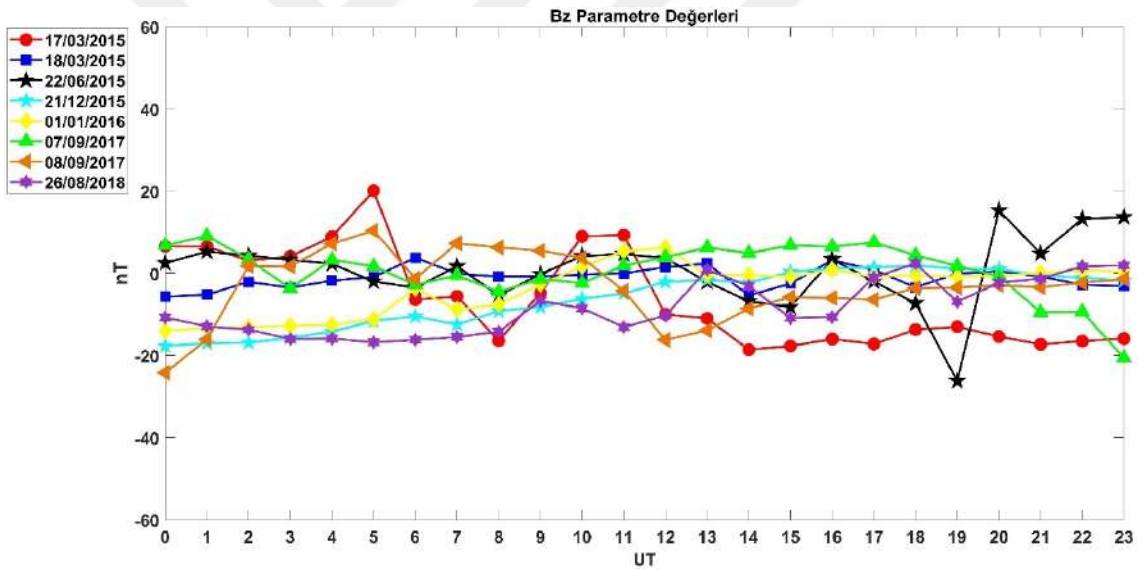
Şekil 4. 5. F10.7 indis değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



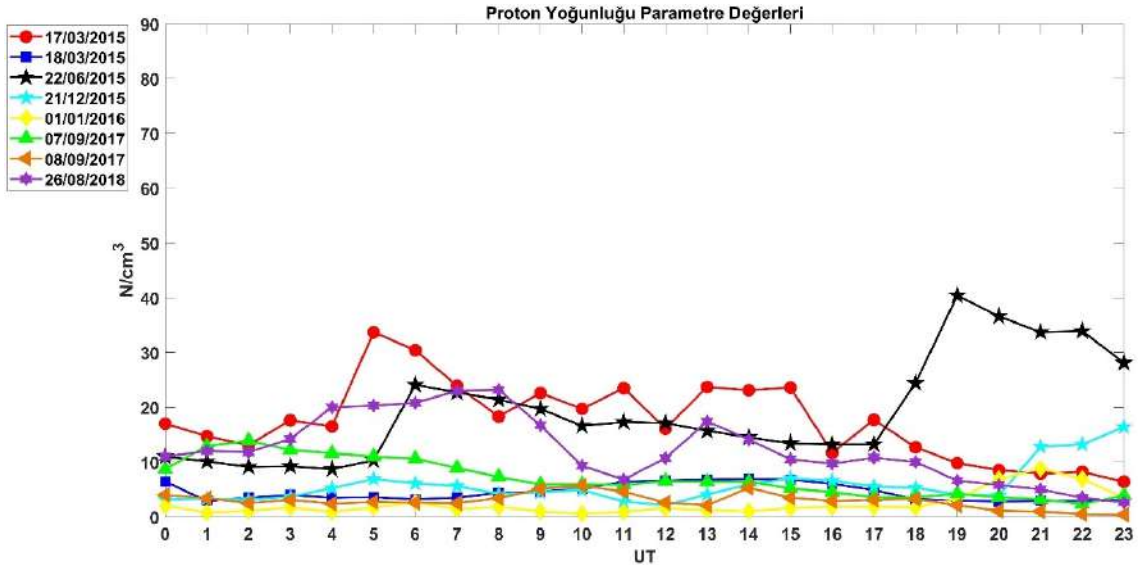
Şekil 4. 6. Bx parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



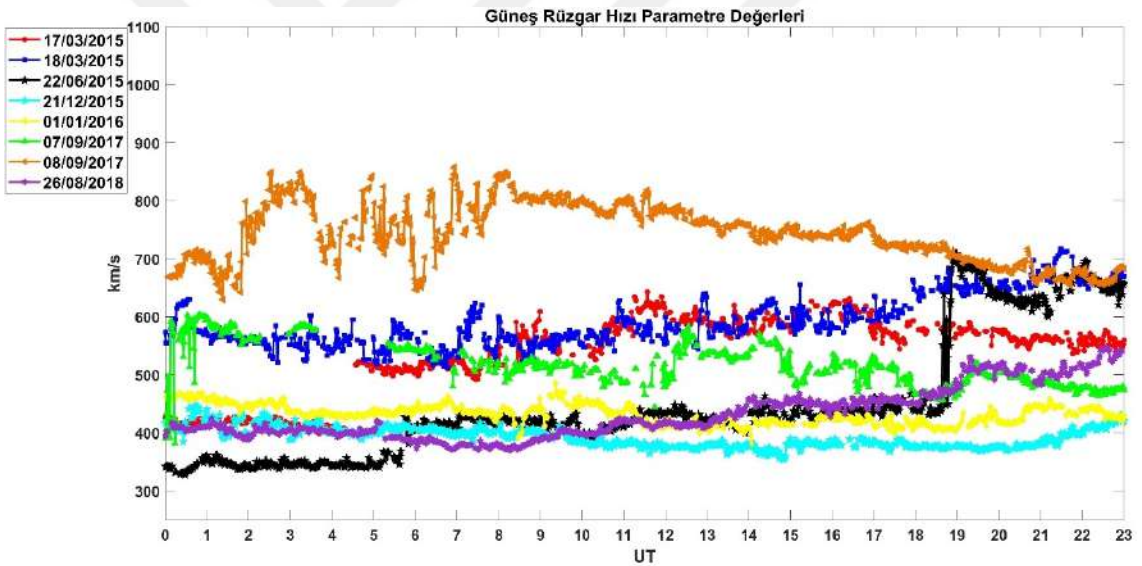
Şekil 4. 7. By parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



Şekil 4. 8. Bz parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



Şekil 4. 9. Proton yoğunluğu parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



Şekil 4. 10. Güneş rüzgâr hızı parametre değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler

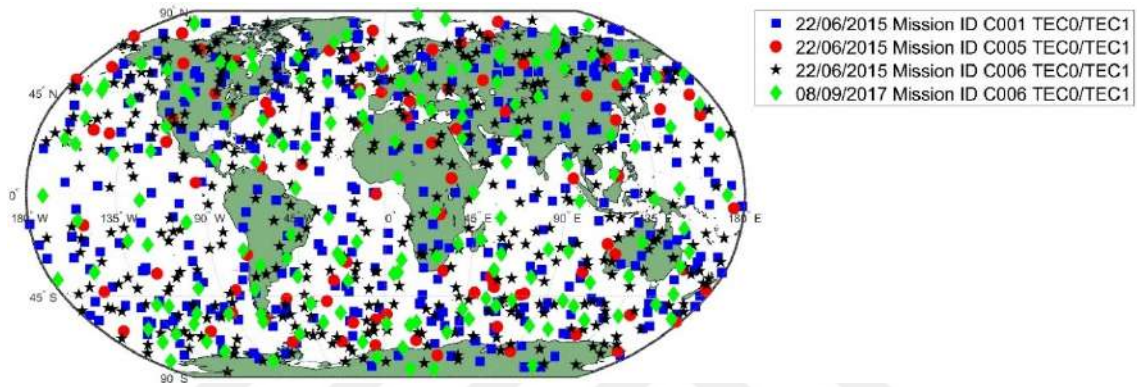
Kısa dönem günlük COSMIC RO, FY3C RO, JASON ve SWARM VTEC analizleri ayrı alt başlıklarda incelenmiştir.

4.1.1. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verilerinin karşılaştırılması

Şiddetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 22/06/2015 ve 08/09/2017 tarihlerinde toplam 1014 saatlik veri kullanılmıştır. Kullanılan veriler Dünya üzerinde homojen bir

dağılım göstermiştir (Şekil 4.11.). 22 Haziran 2015 tarihinde COSMIC RO verileri üç farklı alçak yörünge uydusundan üretilirken, veri merkezinde veri olmadığından dolayı 08 Eylül 2017 tarihinde tek bir alçak yörünge uydusundan üretilmiştir.

Ağır jeomanyetik fırtınanın olduğu 17/03/2015 ve 07/09/2017 tarihlerinde toplam 432 saatlik veri, kuvvetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 21/12/2015 ve 26/08/2018 tarihlerinde toplam 152 saatlik veri ve orta jeomanyetik fırtınanın olduğu 18/03/2015 ve 01/01/2016 tarihlerinde toplam 488 saatlik veri kullanılmıştır. Kullanılan verilerin Dünya üzerindeki hangi konumdan elde edildikleri EK-13'te verilmiştir.



Şekil 4. 11. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan COSMIC RO VTEC konumları

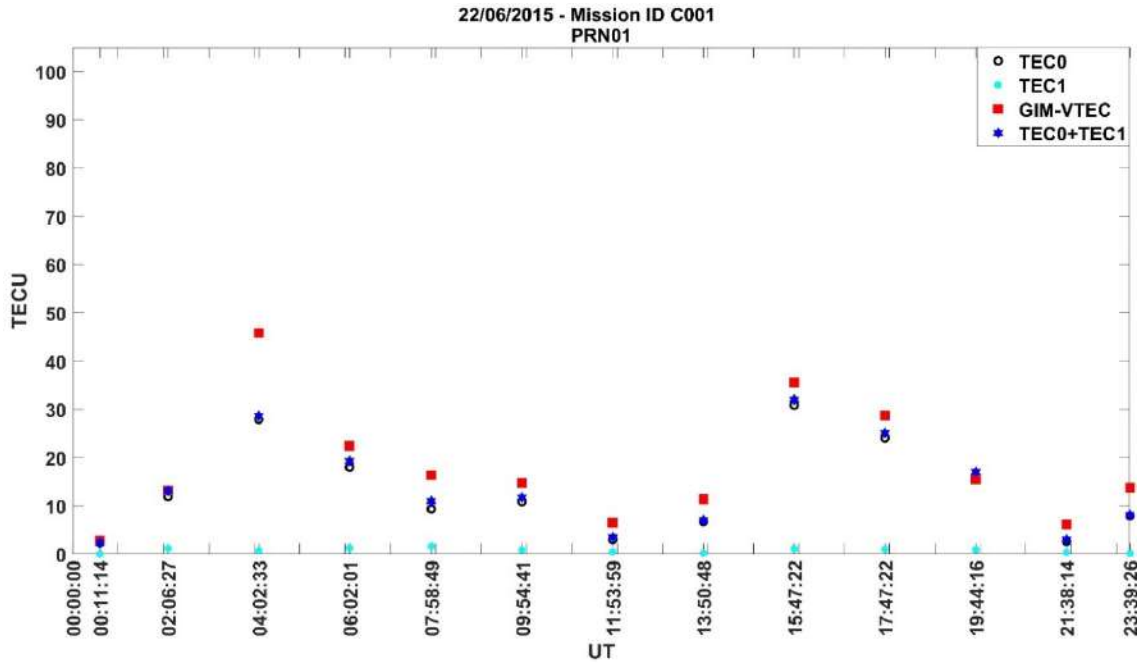
Şekil 4.12.'de şiddetli jeomanyetik fırtınalı günlerden 22/06/2015 tarihindeki Mission ID C001 – PRN01 GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verileri verilmiştir. 22/06/2015 tarihindeki tüm COSMIC RO' ya ait sonuçlar (EK-1 (Şekil Ek 1.1. – Şekil Ek 1.15.)) incelendiğinde, GIM VTEC verileri ile TEC0+TEC1 verilerinin benzer trend gösterdiği ve GIM VTEC değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer şiddetli jeomanyetik fırtınalı güne (08/09/2017) ait sonuçlar (EK-1 (Şekil Ek 1.16. – Şekil Ek 1.23.)) incelendiğinde ise 22/06/2015 tarihindeki verilere göre COSMIC RO VTEC ile GIM VTEC verilerinin birbirlerine daha yakın olduğu görülmektedir.

Ağır jeomanyetik fırtınalı günde (17/03/2015) iki farklı alçak yörünge uydusu kullanılırken, 7 Eylül 2017 tarihinde tek alçak yörünge uydusu kullanılmıştır. 17/03/2015 tarihindeki tüm COSMIC RO sonuçları ((EK-1 (Şekil Ek 1.24. – Şekil Ek 1.38.)) incelendiğinde, COSMIC RO VTEC verileri ile GIM VTEC verilerinin aynı yönde eğilim gösterdiği ancak Mission ID C001'deki 0-12 UT saatleri arasında verilerin ~%25'inde ve Mission ID C006'deki verilerin ~%30'unda COSMIC RO VTEC değerlerinin GIM VTEC değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir. 07/09/2017 tarihindeki şekillerde (EK-1 (Şekil Ek 1.39. – Şekil Ek 1.46.)) ise GIM VTEC verileri ile daha yakın değerler

görülmektedir. Bu durum 07/09/2017 tarihine göre 17/03/2015 tarihindeki Kp indis değerlerinin 12-23 UT saatleri arasında 7-8 arasında, Dst indis değerlerinin 8-23 UT saatleri arasında -50 ile -250 nT arasında, ayrıca diğer parametrelerde günün farklı zaman dilimlerinde yüksek değerlere ulaşmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Kuvvetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 26 Ağustos 2018 tarihinde COSMIC RO veri üretmemiştir. 21/12/2015 tarihindeki COSMIC RO VTEC sonuçları (EK-1 (Şekil Ek 1.47. – Şekil Ek 1.61.)) incelendiğinde GIM VTEC verileri ile COSMIC RO VTEC verileri aynı yönde eğilim gösterdiği söylenebilir. COSMIC RO C001 alçak yörünge uydu verilerine göre 07 UT, 09-13 UT ve 17 UT saatleri arasında ve C005 alçak yörünge verilerine göre 04-09 UT saatleri arasında bazı PRN'lerde GIM VTEC verilerinden daha yüksek seviyededir.

Orta jeomanyetik fırtınalı günde (18/03/2015) iki farklı alçak yörünge uydusu kullanılmıştır. COSMIC RO'ya ait sonuçlar (EK-1 (Şekil Ek 1.62. – Şekil Ek 1.76.)) incelendiğinde, GIM VTEC verileri ile COSMIC RO VTEC verilerinin benzer trend gösterdiği görülmektedir. Ancak veriler birbirine her ne kadar yakın olsa da 7-17 UT saatleri arasında, C001'de verilerin ~%66'sında, C006'da verilerin ~%82'sinde, GIM VTEC verileri daha yüksek değerlere sahiptir. 18-23 UT saatleri arasında da tüm verilerin ~%66'sında GIM VTEC verileri daha yüksektir.



Şekil 4. 12. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı 22/06/2015 tarihindeki Mission ID C001 – PRN01 GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verileri

GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verileri arasındaki farklara ilişkin şiddetli, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günlere göre temel istatistiki değerler hesaplanmış ve Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Çizelgedeki “-” ifadesi COSMIC RO verisi olmadığından gerekli hesaplamaların yapılamadığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.3. GIM VTEC- COSMIC RO VTEC farklarına ilişkin farklı jeomanyetik koşullardaki günlük temel istatistiki değerleri

GIM VTEC – COSMIC RO VTEC		Maksimum	Minimum	Ortalama	RMSE	Toplam Veri Sayısı	
Şiddetli Jeomanyetik Fırtınalı Günler	22/06/2015	C001	24.70	0.02	4.31	5.90	338
		C005	21.96	0.01	4.30	5.83	90
		C006	24.19	0.00	3.51	4.55	422
	08/09/2017	C001	-	-	-	-	-
		C005	-	-	-	-	-
		C006	17.20	0.00	3.34	4.78	164
Ağır Jeomanyetik Fırtınalı Günler	17/03/2015	C001	20.89	0.25	4.97	6.40	77
		C005	-	-	-	-	-
		C006	25.48	0.22	5.68	7.82	192
	07/09/2017	C001	-	-	-	-	-
		C005	-	-	-	-	-
		C006	19.01	0.02	3.32	4.54	163
Kuvvetli Jeomanyetik Fırtınalı Günler	21/12/2015	C001	15.08	0.15	3.44	4.52	71
		C005	16.66	0.15	3.99	5.28	81
		C006	-	-	-	-	-
	26/08/2018	C001	-	-	-	-	-
		C005	-	-	-	-	-
		C006	-	-	-	-	-
Orta Jeomanyetik Fırtınalı Günler	18/03/2015	C001	12.47	0.20	3.60	4.69	72
		C005	-	-	-	-	-
		C006	22.05	0.07	4.30	5.77	243
	01/01/2016	C001	13.27	0.12	3.66	4.67	89
		C005	19.94	0.09	4.40	5.98	84
		C006	-	-	-	-	-

Çizelge 4.3. incelendiğinde, kullanılan veri sayılarının en fazla şiddetli jeomanyetik aktif günlere, en az ise kuvvetli jeomanyetik aktif günlere ait olduğu görülmektedir. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verileri arasındaki mutlak farklar ortalaması 3.32 – 5.68 TECU arasındadır.

COSMIC RO VTEC verileri ile GIM VTEC verileri arasındaki farklar, şiddetli jeomanyetik fırtınalı günde (22/06/2015) maksimum 24.70 TECU seviyesine ulaşmıştır. 8 Eylül 2017 tarihinde ise maksimum fark 17.20 TECU'dur. Ağır jeomanyetik fırtınalı günlerde (17/03/2015-07/09/2017) maksimum farklar ~19-25 TECU seviyesindedir. 21 Aralık 2015 tarihinde ise GIM VTEC ile COSMIC RO VTEC arasındaki farklar, şiddetli ve ağır jeomanyetik fırtınalı günlere göre daha düşük olup maksimum fark 16.66

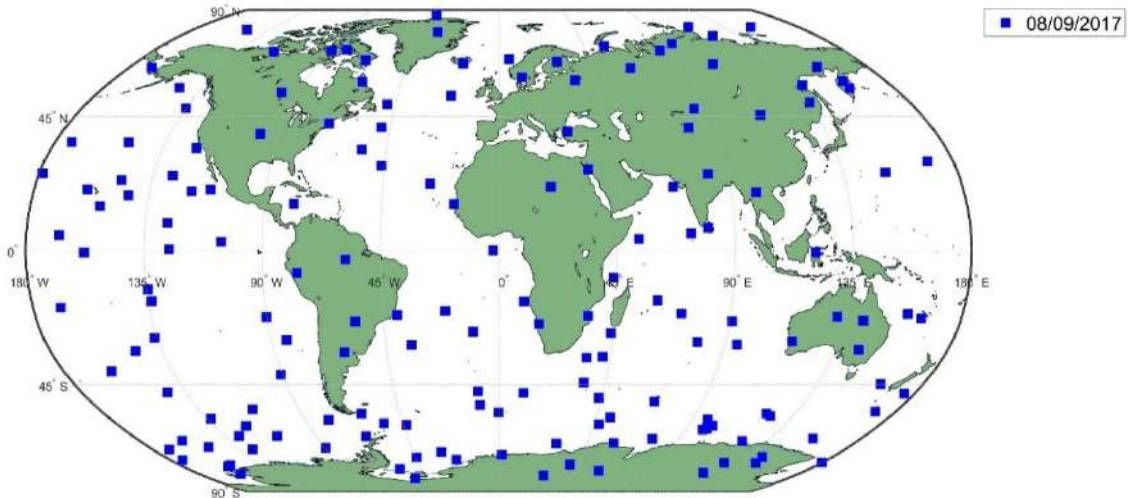
TECU'dur. Orta jeomanyetik fırtınalı günlerde ise farklar 12-13 TECU seviyesine kadar düşmüştür.

18 Mart 2015 tarihinde C006 alçak yörünge uydusundan elde edilen maksimum fark, ortalama ve RMSE değeri C001 alçak yörünge uydusuna göre daha yüksektir; 1 Ocak 2016 tarihinde iki alçak yörünge uydusu C001 ve C005 için de benzer durum geçerlidir. 18/03/2015 tarihinde Kp indis değeri 12-14 UT saatlerinde yükselmiştir. C006 alçak yörünge uydusu ise verilerinin çoğunu bu saatler arasında üretmiştir. 01/01/2016 tarihinde Kp indis değeri 0-8 UT saatleri arasında yüksektir. C005 alçak yörünge uydusu ise verilerinin ~%50'sini 0-12 UT saatleri arasında, C001 alçak yörünge uydusu ise verilerinin ~%64'ünü 12-23 UT saatleri arasında üretmiştir. Dolayısıyla bu durumun sebebinin jeomanyetik fırtınanın olduğu söylenebilir.

4.1.2. GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verilerinin karşılaştırılması

FY3C RO tarafından şiddetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 08/09/2017 tarihlerinde 170 saatlik veri üretilmiş olup, Dünya üzerinde veri elde edilen konumların dağılımı Şekil 4.13.'te verilmiştir. 22/06/2015 tarihlerinde ise sistem veri üretmemiştir.

Ağır jeomanyetik fırtınanın olduğu 17/03/2015 ve 07/09/2017 tarihlerinde toplam 249 saatlik veri, kuvvetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 21/12/2015 ve 26/08/2018 tarihlerinde toplam 358 saatlik veri, orta jeomanyetik fırtınanın olduğu 18/03/2015 ve 01/01/2016 tarihlerinde toplam 195 saatlik veri kullanılmıştır. Kullanılan verilerin elde edildikleri konumlarının Dünya üzerindeki dağılımı EK- 14'te verilmiştir.



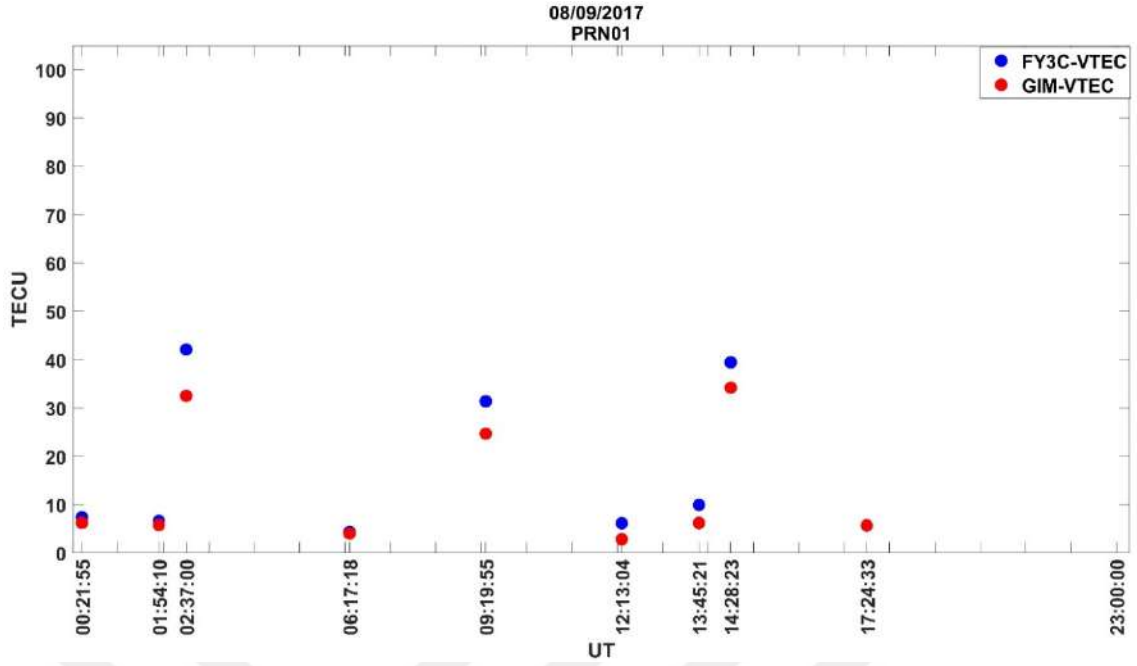
Şekil 4. 13. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan FY3C RO VTEC konumları

Şiddetli jeomanyetik aktif günlerden 08/09/2017’de PRN01 için GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verileri Şekil 4.14.’te, diğer aktif günlerde elde edilen VTEC verileri ise EK-2 (Şekil Ek 2.1. – Şekil Ek 2.53)’ de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, FY3C RO VTEC verileri ile GIM VTEC verilerinin benzer trend gösterdiği ve FY3C RO VTEC değerleri çoğunlukla GIM VTEC değerlerinden daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. PRN bazında şekiller değerlendirildiğinde, şiddetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 08/09/2017 tarihinde yoğun veri üretilen PRN sayısı diğer aktif günlerdeki yoğun veri üretilen PRN sayısından fazladır ve veri üretilen saatler homojen dağılım göstermektedir (EK-2 (Şekil Ek 2.1. – Şekil Ek 2.8.)).

Ağır jeomanyetik fırtınanın olduğu 17/03/2015 (EK-2 (Şekil Ek 2.9. – Şekil Ek 2.15.)) ve 07/09/2017 (EK-2 (Şekil Ek 2.16. – Şekil Ek 2.23.)) tarihlerinde veri yoğunluğu 08/09/2017 tarihine göre azalmış ve 17/03/2015 tarihinde 0-12 UT saatlerinde, 07/09/2017 tarihinde 12-23 UT saatlerinde veri yoğunluğu artmıştır.

Kuvvetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 21/12/2015 (EK-2 (Şekil Ek 2.24. – Şekil Ek 2.31.)) ve 26/08/2018 (EK-2 (Şekil Ek 2.32. – Şekil Ek 2.39.)) tarihlerinde yoğun veri üretilen PRN sayısı artmaktadır ve veri üretilen saatler rasgele dağılım göstermektedir.

Orta jeomanyetik fırtınalı 18/03/2015 (EK-2 (Şekil Ek 2.40. – Şekil Ek 2.46.)) tarihinde veri yoğunluğu 0-13 UT saatlerinde fazladır. 01/01/2016 tarihi ise diğer aktif günlere göre en az yoğun veri üretilen PRN sayısına sahiptir (EK-2 (Şekil Ek 2.47. – Şekil Ek 2.51.)).



Şekil 4. 14. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı 08/09/2017 tarihindeki PRN01 GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verileri

GIM VTEC ve FY3C RO VTEC değerlerinin dağılımlarının gösterildiği şekillere ek olarak, veriler arasındaki farkların nasıl değiştiğini araştırabilmek adına mutlak maksimum, mutlak minimum, ortalama ve RMSE gibi temel istatistiksel değerler hesaplanmış ve Çizelge 4.4.'te verilmiştir. Çizelgedeki “-” ifadesi FY3C RO verisi olmadığından gerekli hesaplamaların yapılamadığı anlamına gelmektedir. Çizelge 4.4.'te verilen farklara ilişkin temel istatistiksel değerler incelendiğinde mutlak farklar ortalamasının 3.04 – 5.81 TECU, RMSE değerlerinin ise 3.95- 7.69 TECU arasında değiştiği görülmektedir.

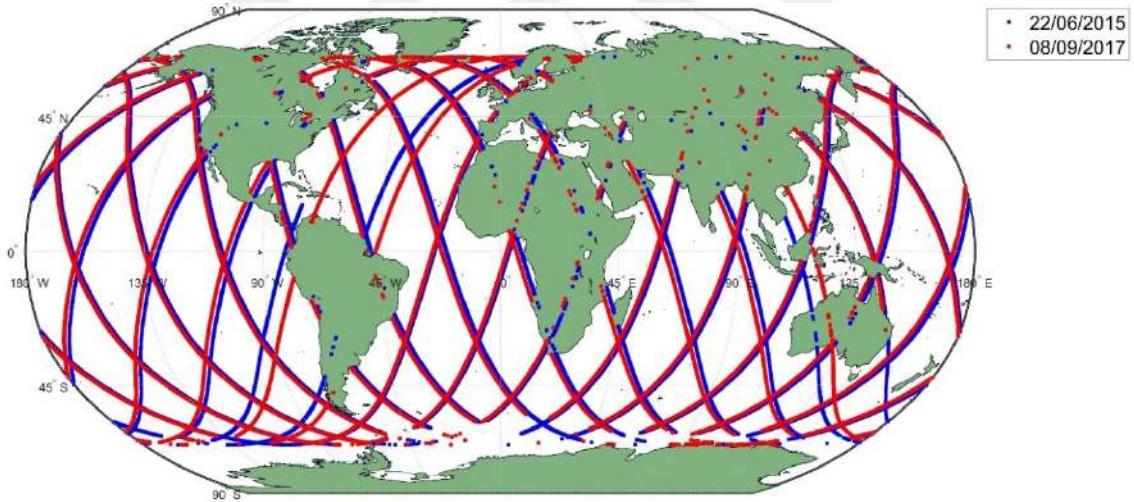
Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günde (8 Eylül 2017) maksimum fark 16.40 TECU'dur. Ağır jeomanyetik fırtınalı günlerde 17/03/2015-07/09/2017 maksimum farklar sırasıyla 26-18 TECU seviyesindedir. Kuvvetli jeomanyetik fırtınalı günlerden 21 Aralık 2015 tarihinde ise GIM VTEC ile FY3C RO VTEC arasındaki farklar, şiddetli ve ağır jeomanyetik fırtınalı günlere göre daha yüksek olup maksimum fark 34 TECU seviyesindedir. Kuvvetli jeomanyetik fırtınalı diğer gün olan 26 Ağustos 2018 tarihinde farkların maksimum değeri 11.76 TECU'dur. Orta jeomanyetik fırtınalı günlerde ise farklar 15-29 TECU seviyesindedir.

Çizelge 4. 4. GIM VTEC ve FY3C RO VTEC farklarının şiddetli, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günlerdeki temel istatistiksel değerleri

GIM VTEC – FY3C RO VTEC		Maksimum	Minimum	Ortalama	RMSE	Toplam Veri Sayısı
Şiddetli Jeomanyetik Fırtınalı Günler	22/06/2015	-	-	-	-	-
	08/09/2017	16.40	0.00	3.81	5.24	170
Ağır Jeomanyetik Fırtınalı Günler	17/03/2015	26.03	0.03	5.81	7.69	126
	07/09/2017	18.25	0.02	4.04	5.46	123
Kuvvetli Jeomanyetik Fırtınalı Günler	21/12/2015	33.55	0.00	4.11	6.19	194
	26/08/2018	11.76	0.02	3.04	3.95	164
Orta Jeomanyetik Fırtınalı Günler	18/03/2015	29.40	0.04	4.60	6.76	111
	01/01/2016	15.17	0.08	4.38	5.80	84

4.1.3. GIM VTEC ve JASON VTEC verilerinin karşılaştırılması

GIM VTEC ve JASON VTEC verilerini karşılaştırmak amacıyla şiddetli jeomanyetik fırtınalı günler için toplam 102164, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için ise sırasıyla 104433, 99727 ve 105671 JASON verisi kullanılmıştır. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günlerde (22.06.2015 ve 08.09.2017) Dünya genelinde elde edilen JASON verilerinin konumları Şekil 4.15'te, diğer aktif günlere ait konumlar ise EK- 15'te verilmiştir.



Şekil 4. 15. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günlerde JASON VTEC verilerinin elde edildikleri konumlar

Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günlerden 22/06/2015 tarihinde JASON VTEC ve karşılık gelen GIM VTEC verileri Şekil 4.16.'da ve tüm aktif günlere ilişkin elde edilen sonuçlar ise EK- 3'te (Şekil Ek 3.1. – Şekil Ek 3.2.) verilmiştir. Tüm şekiller incelendiğinde GIM VTEC verilerinin JASON VTEC verileri ile benzer trend gösterdiği ancak GIM VTEC verilerinin çoğunlukla daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

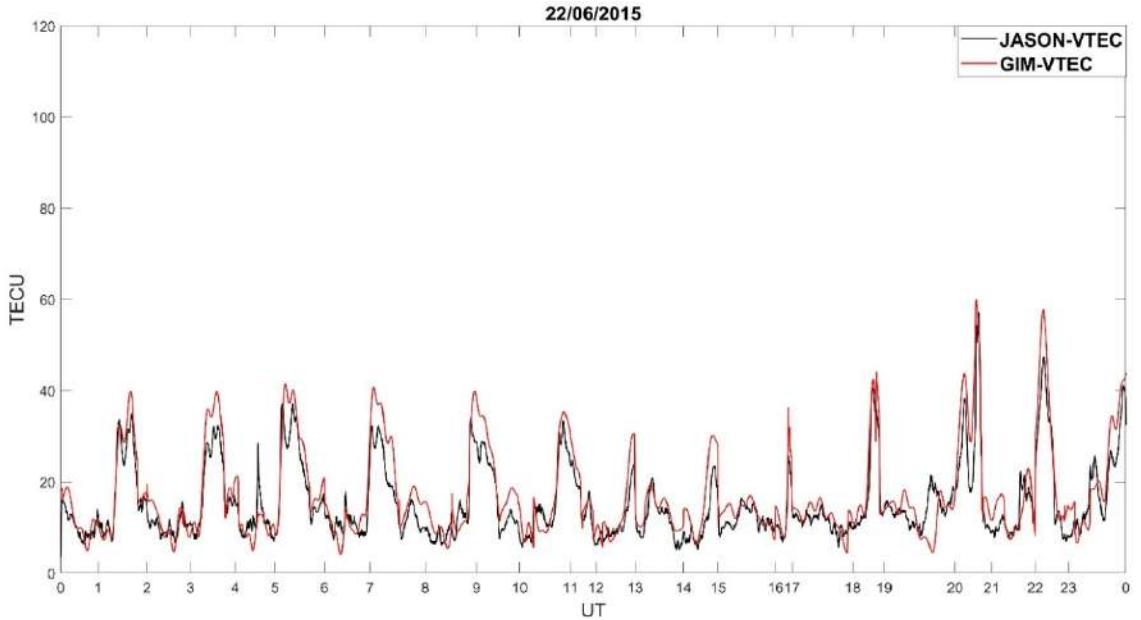
Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günde (22/06/2015) GIM VTEC ve JASON VTEC verileri 18-23 UT saatleri arasında 40 TECU sınırını aşmaktadır (Şekil 4.16.). Diğer

şiddetli jeomanyetik fırtınalı günde (08/09/2017) de benzer durum geçerli olup, GIM VTEC verilerinin daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir (EK- 3 (Şekil Ek 3.2.)).

Ağır jeomanyetik fırtınalı günde (17 Mart 2015) GIM VTEC ve JASON VTEC verileri yaklaşık 95 TECU seviyesine ulaşmaktadır. TEC değerlerinin yüksek artışlar göstermesi 17 Mart 2015 tarihinde Kp indis değerinin 8'e ve Dst indis değerinin -250 nT'ye yaklaşmasıyla ilişkili olduğu söylenebilir. Ağır jeomanyetik fırtınalı günlerden 07 Eylül 2017' de ise GIM VTEC ve JASON VTEC verileri yaklaşık 40 TECU seviyesine ulaşmaktadır.

Kuvvetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 26/08/2018 tarihinde GIM VTEC ve JASON VTEC verileri yaklaşık 20 TECU seviyesine ulaşırken, 21/12/2015 tarihinde 0-1 UT saatleri arasında GIM VTEC ve JASON VTEC verileri yaklaşık 80 TECU seviyesine ulaşmaktadır. Verilerin 0-1 UT saatleri arasındaki bu yüksek değerleri yine aynı saatlerdeki Kp indis değerinin 6.67 ve Dst indis değerinin -150 nT olmasıyla açıklanabilir.

Orta jeomanyetik fırtınalı günlerden (18/03/2015 – 01/01/2016) GIM VTEC ve JASON VTEC verileri yaklaşık 100 TECU seviyesine ulaşmaktadır. 18/03/2015 (0:00 UT) tarihinde Kp indis değeri 6 ve Dst indis değeri -200 nT'dir. 01/01/2016 (0:00 UT) tarihinde de Kp indis değeri 6 olarak başlaması orta jeomanyetik fırtınalı günlerdeki yüksek VTEC verilerini açıklayabilir.



Şekil 4. 16. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı 22/06/2015 tarihindeki GIM VTEC ve JASON VTEC verileri

GIM VTEC ve JASON VTEC verilerinin yanı sıra, farkların boyutlarını incelemek amacıyla mutlak maksimum, mutlak minimum, ortalama ve RMSE gibi temel istatistiksel değerler hesaplanmış ve Çizelge 4.5'te verilmiştir. JASON VTEC verilerinin saniyelik olarak üretildiği durumlarda, art arda elde edilen verilerde zaman zaman ani sıçramaların yaşandığı görülmüştür. Örneğin, 01/01/2016 tarihinde saat 00:12:05'te üretilen VTEC 108.47 TECU iken, 00:12:06'da üretilen VTEC 3.02 TECU'dur. Tüm veriler incelendiğinde JASON VTEC ile GIM VTEC verileri arasındaki farkların yaklaşık 116 TECU'ya kadar çıktığı görülmüştür. Kullanılan veri sayıları ortalama 103000 olup, farkları 30 TECU'dan büyük olanlar ise yaklaşık 950'dir (yaklaşık 1/100'ü). Verilerdeki gürültüyü azaltmak için medyan filtresi uygulanmıştır. Filtre sonucunda farkları 30 TECU'dan büyük olanların sayısı yaklaşık 23'e (yaklaşık 1/10000'i) düşmüştür.

Farklara ilişkin maksimum değerler incelendiğinde en yüksek farkın ağır jeomanyetik aktif günde 64.25 TECU olarak elde edildiği görülmektedir. Bu yüksek farkların filtre uygulanmasına rağmen mevcut kalan sıçramadan kaynaklanmaktadır. Minimum farklar incelendiğinde ise tüm aktif günlerde GIM ve JASON'un aynı VTEC değerini verdiği zamanların olduğunu göstermektedir. Mutlak farklara ilişkin ortalamalar 2.36 TECU ile 5.02 TECU aralığında olup, RMSE değeri maksimum 7.02 TECU'dur.

Çizelge 4. 5. GIM VTEC ve JASON VTEC farklarının şiddetli, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günlerdeki temel istatistiksel değerleri

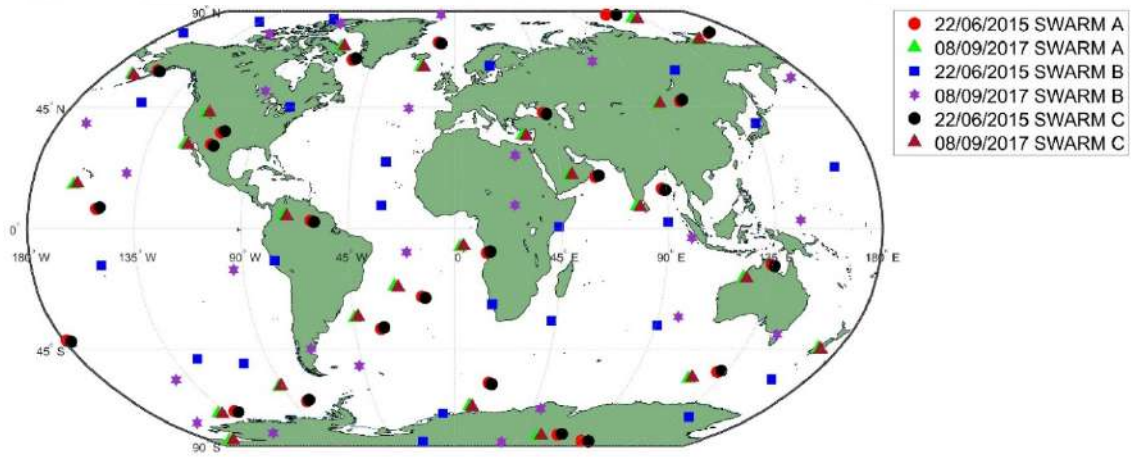
GIM VTEC – JASON VTEC		Maksimum	Minimum	Ortalama	RMSE	Toplam Veri Sayısı
Şiddetli Jeomanyetik Fırtınalı Günler	22/06/2015	20.62	0.00	3.53	4.58	52021
	08/09/2017	36.00	0.00	3.50	4.96	50143
Ağır Jeomanyetik Fırtınalı Günler	17/03/2015	64.25	0.00	5.02	7.02	54369
	07/09/2017	29.80	0.00	3.14	3.96	50064
Kuvvetli Jeomanyetik Fırtınalı Günler	21/12/2015	28.78	0.00	3.26	4.59	52211
	26/08/2018	15.63	0.00	2.36	3.03	47516
Orta Jeomanyetik Fırtınalı Günler	18/03/2015	40.80	0.00	4.58	6.22	53078
	01/01/2016	26.90	0.00	3.60	5.27	52593

4.1.4. GIM VTEC ve SWARM VTEC verilerinin karşılaştırılması

SWARM VTEC verilerinin GIM VTEC verileri ile karşılaştırmaları için her saat başı ortalamaları farklı GPS uydularından (PRN 1-32) elde edilen ortalamalar kullanılarak hesaplanmıştır. Bazı GPS uydularından elde edilen VTEC değerlerinin negatif (–) gelerek ortalamayı etkilememesi için filtrelenmesi gerekmektedir. Bu örnek 18/03/2015 tarihindeki SWARM C VTEC 1 UT saatindeki verilerde meydana gelmiştir.

SWARM VTEC verileri PRN 1-4-7-17-23'den sırasıyla 74.034-72.013-(-326.518)-72.818-71.223 TECU olarak elde edilmiş ve PRN7' den elde edilen -326.518 verisi filtrelenmiştir. Filtreleme ile 08/09/2017 SWARM C 23 UT, 21/12/2015 SWARM B 7 UT, 26/08/2018 SWARM C 0 UT ve 14 UT saatlerinde de negatif veriler veri setinden çıkarılmıştır.

Şiddetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 22/06/2015 ve 08/09/2017 tarihlerinde kullanılan SWARM A, B ve C verilerinin Dünya üzerindeki dağılımı Şekil 4.17.'de verilmiştir. Ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018) ve orta (18/03/2015 ve 01/01/2016) jeomanyetik fırtınanın olduğu günlerde kullanılan SWARM A, B ve C verilerinin hangi konumdan elde edildikleri ise EK-16'da verilmiştir.



Şekil 4. 17. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan SWARM VTEC konumları

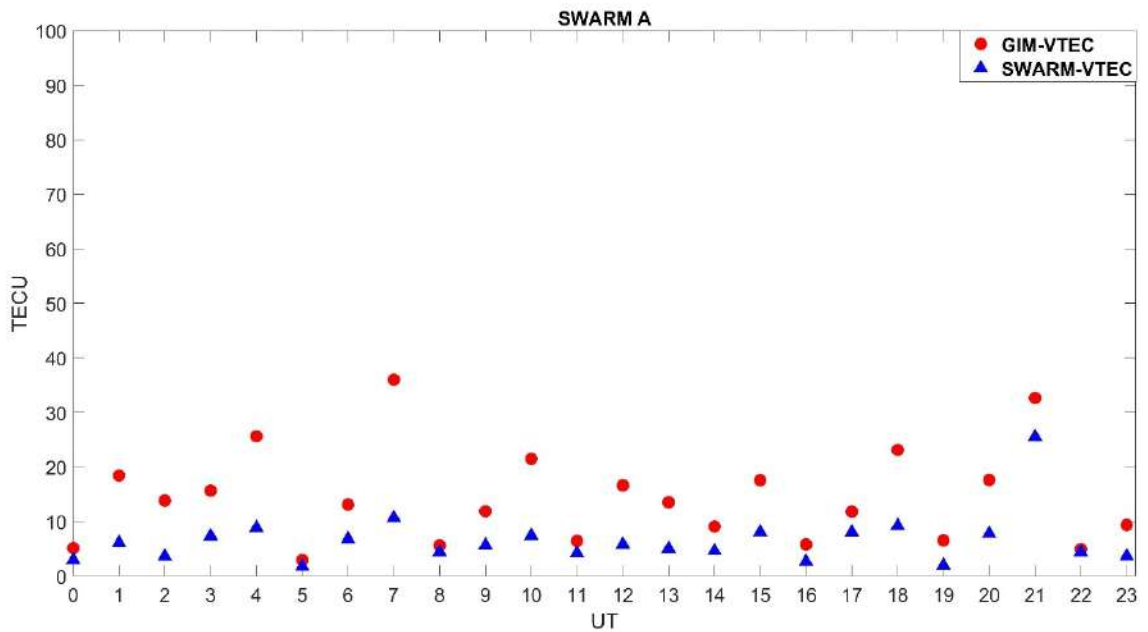
Şekil 4.18.'de şiddetli jeomanyetik fırtınalı günlerden 22/06/2015 tarihindeki GIM VTEC ve SWARM A VTEC verileri verilmiştir. 22/06/2015 tarihindeki tüm SWARM'a ait sonuçlar ise EK-4 (Şekil Ek 4.3.)' de verilmiştir. Şekil 4.18 ve Şekil Ek 4.3. (Şekil Ek 4.3.) incelendiğinde, GIM VTEC verilerinin SWARM VTEC verilerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer şiddetli jeomanyetik fırtınalı günde (08/09/2017) de benzer durumun olduğu söylenebilir (EK-4 (Şekil Ek 4.7.)).

Diğer tüm aktif günlerdeki şekiller (EK-4 (Şekil Ek 4.1. – Şekil Ek 4.2. – Şekil Ek 4.4. – Şekil Ek 4.5. – Şekil Ek 4.6. – Şekil Ek 4.8.)) incelendiğinde, ağır jeomanyetik fırtınalı 17/03/2015 tarihindeki tüm SWARM sonuçları (EK-4 (Şekil Ek 4.1.)) incelendiğinde, GIM VTEC verileri ile SWARM VTEC verileri arasındaki farklar SWARM B veya SWARM C'de SWARM A'ya göre tüm saatlerde daha yüksek olduğu görülmektedir. 07/09/2017 tarihinde GIM VTEC verileri ile SWARM VTEC verileri

arasındaki farklar en yüksek SWARM A’da ~26 TECU (20 UT), SWARM B’de ~34 TECU (19 UT) ve SWARM C’de ~26 TECU (20 UT) seviyesindedir (EK-4 (Şekil Ek 4.6.)).

Kuvvetli jeomanyetik fırtınanın olduğu 26/08/2018 tarihinde GIM VTEC verileri ile SWARM VTEC verileri birbirine yakın ve veriler arasındaki farklar (SWARM A, SWARM B ve SWARM C ortalama ~4 TECU) düşüktür (EK-4 (Şekil Ek 4.8.)). 21/12/2015 tarihindeki şekilde (EK-4 (Şekil Ek 4.4.)) ise GIM VTEC verileri ile SWARM VTEC verileri arasındaki farkların 26/08/2018 tarihine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 21/12/2015 tarihindeki maksimum farklar saat 4 UT’ de SWARM A ve SWARM B’de elde edilmiştir (~34 TECU – ~35 TECU).

Orta jeomanyetik fırtınalı günde (18/03/2015) SWARM VTEC verileri ile GIM VTEC verileri arasında tutarsızlıklar çok fazladır. SWARM VTEC verileri ile GIM VTEC verileri arasındaki farklar; SWARM A’da 4-8-12-19-22 UT saatlerinde sırasıyla yaklaşık 24-26-26-26-21 TECU seviyesinde, SWARM B’de 0-3-4-7-8-12-15-18-19-23 UT saatlerinde sırasıyla yaklaşık 56-32-36-36-28-30-25-29-21-31-34 TECU seviyesinde ve SWARM C’de 4-8-12-19-22 UT saatlerinde sırasıyla yaklaşık 25-26-24-27-23 TECU seviyesinde olup veriler arasındaki tutarsızlığı göstermektedir (EK-4 (Şekil Ek 4.2.)). 01/01/2016 tarihinde ise SWARM VTEC verileri ile GIM VTEC verileri birbirine daha yakın olup, benzer trend gösterdiği görülmektedir (EK-4 (Şekil Ek 4.5.)).



Şekil 4. 18. Şiddetli jeomanyetik fırtınalı 22/06/2015 tarihindeki GIM VTEC ve SWARM A VTEC verileri

GIM VTEC ve SWARM VTEC verileri arasındaki farklara ilişkin şiddetli, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günlere göre temel istatistiksel değerler hesaplanmış ve Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Çizelge 4.6. incelendiğinde, GIM VTEC ve SWARM VTEC verileri arasındaki mutlak farklar ortalaması 4.13 – 17.39 TECU arasında olduğu görülmektedir.

SWARM VTEC verileri ile GIM VTEC verileri arasındaki farklar, şiddetli jeomanyetik fırtınalı günde (22/06/2015) maksimum SWARM B'de 38.28 TECU seviyesine ulaşmıştır. 8/09/2017 tarihinde ise GIM VTEC ve SWARM VTEC verileri arasındaki maksimum fark yine SWARM B'de 45.70 TECU'dur. Ağır jeomanyetik fırtınalı günlerde (17/03/2015-07/09/2017) GIM VTEC ve SWARM VTEC verileri arasındaki maksimum farklar ~26-34 TECU seviyesindedir. Kuvvetli jeomanyetik fırtınalı günde (26/08/2018) diğer aktif günlerin tamamına göre GIM VTEC ve SWARM VTEC verileri arasındaki en düşük maksimum farka SWARM B (14.80 TECU) sahiptir. Orta jeomanyetik fırtınalı günde (18/03/2015) ise diğer aktif günlerin tümüne göre GIM VTEC ve SWARM VTEC verileri arasındaki maksimum fark (56.61 TECU) ve en yüksek RMSE değeri (22.62 TECU) olarak SWARM B' ye aittir.

Çizelge 4. 6. GIM VTEC ve SWARM VTEC farklarının şiddetli, ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günlerdeki temel istatistiksel değerleri

GIM VTEC – SWARM VTEC	Günler	Uydu No	Maksimum	Minimum	Ortalama	RMSE
SWARM Şiddetli Jeomanyetik Fırtınalı Günler	22/06/2015	A	25.31	0.56	7.85	9.70
		B	38.28	0.04	12.48	15.73
		C	24.41	0.47	8.23	10.05
	08/09/2017	A	22.40	0.14	6.09	8.84
		B	45.70	0.05	7.73	13.30
		C	23.39	0.13	6.15	8.86
SWARM Ağır Jeomanyetik Fırtınalı Günler	17/03/2015	A	28.75	0.36	7.19	10.25
		B	32.50	3.48	13.15	16.32
		C	34.75	1.42	13.96	16.42
	07/09/2017	A	26.69	0.42	7.37	9.89
		B	34.82	0.17	9.70	15.08
		C	26.88	0.93	7.76	10.20
SWARM Kuvvetli Jeomanyetik Fırtınalı Günler	21/12/2015	A	34.62	0.13	8.58	11.32
		B	29.67	1.62	10.78	13.40
		C	35.08	0.12	8.30	11.21
	26/08/2018	A	22.70	0.18	4.13	7.09
		B	14.80	0.19	4.60	6.15
		C	23.22	0.19	4.38	7.13

SWARM Orta Jeomanyetik Fırtınalı Günler	18/03/2015	A	26.69	1.17	11.52	14.37
		B	56.61	2.32	17.39	22.62
		C	27.21	1.56	11.57	14.23
	01/01/2016	A	27.51	0.66	7.18	9.75
		B	20.38	0.84	9.23	10.72
		C	25.85	0.16	7.29	9.61

4.3. Uzun Dönem VTEC Değerlerinin Analizi

Farklı veri kaynaklarından elde edilen VTEC değerlerinin uzun periyotta incelenmesi amacıyla jeomanyetik aktivitenin etkili ($K_p > 5$) olduğu ve tüm veri kaynaklarının verilerinin olduğu tarihler (2015-2016-2017-2018-2019) mevsimsel dönem ve yıllık dönem olarak analiz edilmiştir. Seçilen dönemde jeomanyetik fırtına indislerinin (K_p , Dst) yanı sıra solar aktivite seviyesini de görebilmek için F10.7 indisi ve ayrıca Bx, By, Bz, proton yoğunluğu ve güneş rüzgâr hızı parametreleri de incelenmiştir (Şekil 4.19.). Şekil 4.19.'da ayrıca indisler ve parametreler için K_p indisi 5, Dst indisi -50 nT, F10.7 indisi 140 sfu, güneş rüzgâr hızı parametresi 500 km/s ve proton yoğunluğu parametresi 15 N/cm^3 olacak şekilde eşik değeri belirtilmiştir.

İndisler incelendiğinde, K_p indis değerlerinin seçilen tüm yıllarda eşik değerini geçtiği günlerin olduğu, Dst indisinin ise 2015 yılında -230 nT'yi, 2016 yılında -100 nT'yi, 2017 yılında -125 nT'yi, 2018 tarihinde -175 nT'yi ve 2019 tarihinde -65 nT değerlerini geçtiği görülmektedir.

F10.7 indisinin ise 2015 yılında 255 sfu'ya ve 2017 yılında 185.5 sfu'ya ulaştığı görülmektedir. Ayrıca F10.7 indisinin solar aktif gün kabul edilebilmesi için gereken 140 sfu sınırını, 2015 yılının Haziran ayına kadar birçok kez geçtiği görülmektedir. F10.7 indisi diğer yıllarda ise (2017 yılında 185.5 sfu olduğu gün hariç) 140 sfu sınırının altında kalmaktadır (Şekil 4.19.).

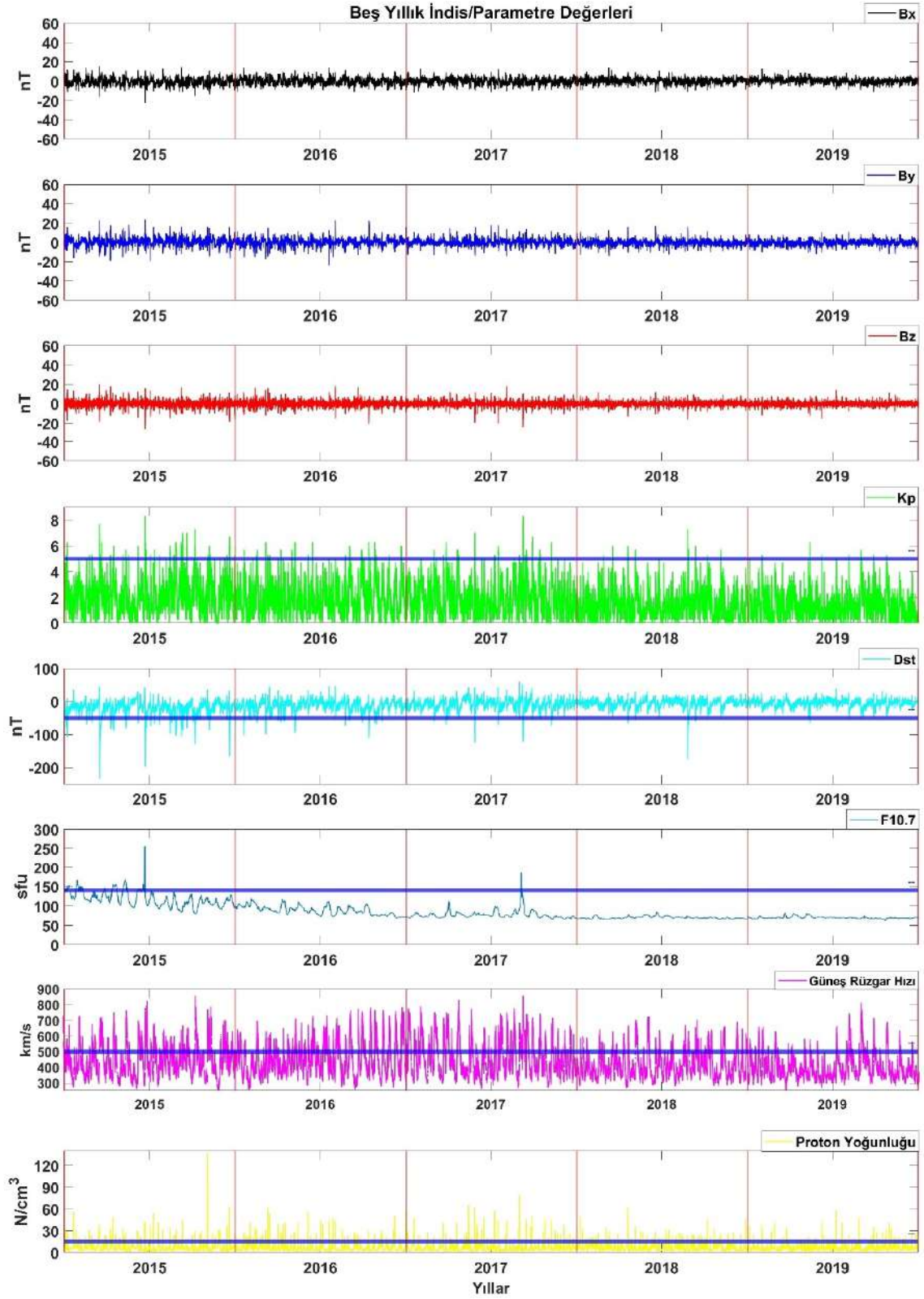
Bx, By ve Bz parametreleri ± 20 nT arasında değişmektedir. Ancak Bx parametresinin 2015 yılında -22.4 nT, Bz parametresinin 2015 yılında -26.5 nT ve 2017 yılında -24.2 nT'ye ulaştığı görülmektedir. By parametresi ise 2015 tarihinde $+20$ nT'yi iki kez geçerek 23.1 ve 23.8 nT değerleri olduğu, 2017 tarihinde de ± 20 nT'yi aşarak sırasıyla -24.1 , 23.1 ve 22.8 nT'ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.19.).

Güneş rüzgâr hızı parametresi eşik değerini (500 km/s) ilgili yıllarda birçok defa geçmiştir. Bununla birlikte güneş rüzgâr hızı parametresinin 2015 (825.1 km/s ve 842.9

km/s), 2017 (832.1 km/s ve 845.1 km/s) ve 2019 (811.6 km/s) yıllarında belirli günlerde 800 km/s aştığı görülmektedir (Şekil 4.19.).

Proton yoğunluğu parametresi ise eşik değerini (15 N/cm^3) birçok defa geçtiği, özellikle 2015 (56 N/cm^3 , 54.3 N/cm^3 , 137.2 N/cm^3 ve 62.7 N/cm^3), 2016 (61.6 N/cm^3 ve 56.4 N/cm^3), 2017 (62.2 N/cm^3 62.1 N/cm^3 , 57.3 N/cm^3 ve 78.8 N/cm^3), 2018 (61.6 N/cm^3) ve 2019 (58.1 N/cm^3) yıllarının belirli günlerinde 50 N/cm^3 ' ü aştığı görülmektedir (Şekil 4.19.).





Şekil 4. 19. 2015-2016-2017-2018 ve 2019 yılı Kp, Dst, F10.7 indisleri ve Bx, By, Bz, Güneş Rüzgâr Hızı ve Proton Yoğunluğu parametreleri

Uzun dönem analizleri mevsimsel ve yıllık dönem analizi olarak iki ayrı alt başlıkta incelenmiştir.

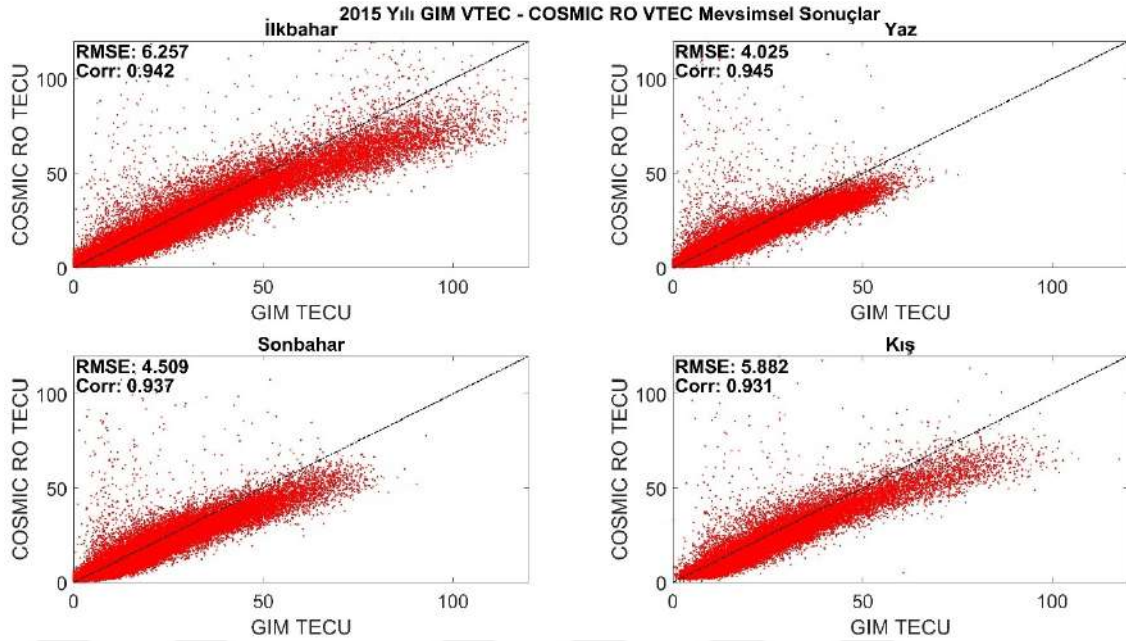
4.3.1. Mevsimsel dönemlerin analizi

Mevsimsel analizde her yıl için; ilkbahar dönemi (Mart-Nisan-Mayıs), yaz dönemi (Haziran-Temmuz-Ağustos), sonbahar dönemi (Eylül-Ekim-Kasım) ve kış dönemi (Aralık-Ocak-Şubat) ve seçilmiştir.

4.3.1.1. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.20.'de 2015 yılına ait COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel dağılım grafikleri verilmiştir. Şekil 4.20. incelendiğinde COSMIC RO VTEC – GIM VTEC arasındaki korelasyon katsayısının tüm mevsimsel dönemlerde 0.930'ün üzerinde olduğu, farklarına ilişkin RMSE değeri ise 4.025 – 6.257 arasında değiştiği görülmektedir. Seçilen diğer yıllara ilişkin sonuçlar ise EK-5 (Şekil Ek 5.1. – Şekil Ek 5.2.)'de verilmiştir. EK-5 (Şekil Ek 5.1. – Şekil Ek 5.2.) incelendiğinde, korelasyon katsayısının çoğunlukla 0.900'un üzerinde olduğu, en düşük korelasyon katsayısının 0.874 olarak 2019 yılı yaz döneminde elde edildiği görülmektedir. Veriler arasındaki korelasyon katsayısı 2016 yılında 0.928 – 0.938, 2017 yılında 0.915 – 0.928'dir (EK-5 (Şekil Ek 5.1.)). 2018 yılında mevsimsel dönemlerde elde edilen korelasyon katsayıları birbirlerine oldukça yakın olup 0.912 – 0.921 arasında değişmektedir (EK-5 (Şekil Ek 5.2.)). 2019 yılı ilkbahar ve yaz aylarında korelasyon katsayısı diğer yıllara nazaran bir miktar düşük olsa da (0.888 – 0.874) veri kaynakları arasındaki uyumun yüksek olduğu söylenebilir (EK-5 (Şekil Ek 5.2.)). 2016, 2017, 2018, ve 2019 yıllarında tüm mevsimsel dönemlere ilişkin RMSE değerleri incelendiğinde çoğunlukla 3 TECU'nun altında olduğu, maksimum 4.381 TECU olarak 2016 yılı kış döneminde elde edildiği görülmektedir (EK-5 (Şekil Ek 5.1. – Şekil Ek 5.2.)).

Seçilen yıllara ilişkin mevsimsel dönemlerde elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırıldığında dikkate değer bir farkın olmadığı söylenebilir.

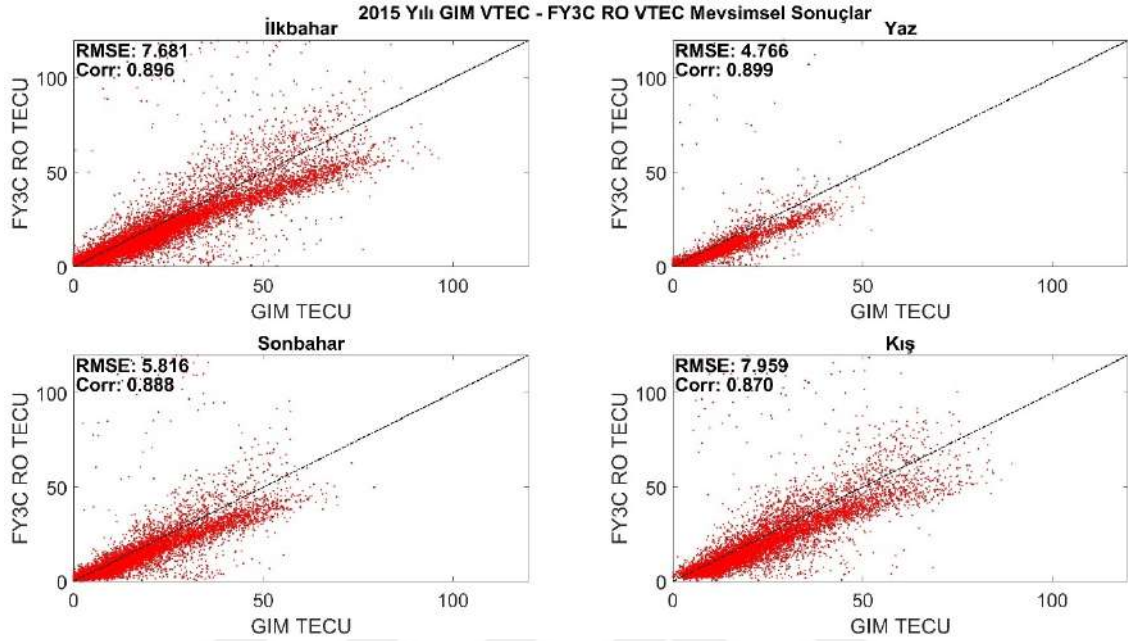


Şekil 4. 20. 2015 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

4.3.1.2. GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verilerinin karşılaştırılması

FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2015 yılı mevsimsel dağılım grafikleri Şekil 4.21.'de verilmiştir. Şekil 4.21. incelendiğinde FY3C RO VTEC – GIM VTEC arasındaki en düşük korelasyon katsayısının kış döneminde 0.870, en yüksek korelasyon katsayısının yaz döneminde 0.899 olarak elde edildiği görülmektedir. FY3C RO VTEC – GIM VTEC farklarına ilişkin RMSE değeri ise maksimum olarak kış döneminde 7.959 TECU ve minimum olarak yaz döneminde 4.766 TECU olarak elde edilmiştir. Seçilen diğer yıllara ilişkin sonuçlar (EK- 6 (Şekil Ek 6.1. – Şekil Ek 6.2.)) incelendiğinde, en yüksek korelasyon katsayısının 0.910 olarak 2016 yılı yaz döneminde elde edildiği görülmektedir. Mevsimsel dönemlerde elde edilen korelasyon katsayıları 2016 (0.886 – 0.910) ve 2017 (0.883 – 0.895) yılında birbirlerine oldukça yakındır (EK-6 (Şekil Ek 6.1.)). Diğer yıllara göre en düşük korelasyon katsayıları 2019 yılı sonbahar (0.801) ve kış (0.814) aylarındadır. 2016, 2017, 2018, ve 2019 yıllarında tüm mevsimsel dönemlere ilişkin RMSE değerleri incelendiğinde, maksimum 2016 yılı kış döneminde 5.512 olarak elde edildiği ve 2017, 2018, ve 2019 yıllarında 3.013 – 3.782 TECU arasında değiştiği görülmektedir (EK- 6 (Şekil Ek 6.1. – Şekil Ek 6.2.)).

İncelenen yıllara ilişkin mevsimsel dönemlerde elde edilen RMSE değerleri ve korelasyon katsayıları incelendiğinde, 2015 yılı hariç mevsimsel dönemler arasında önemli bir farkın olmadığı görülmektedir.



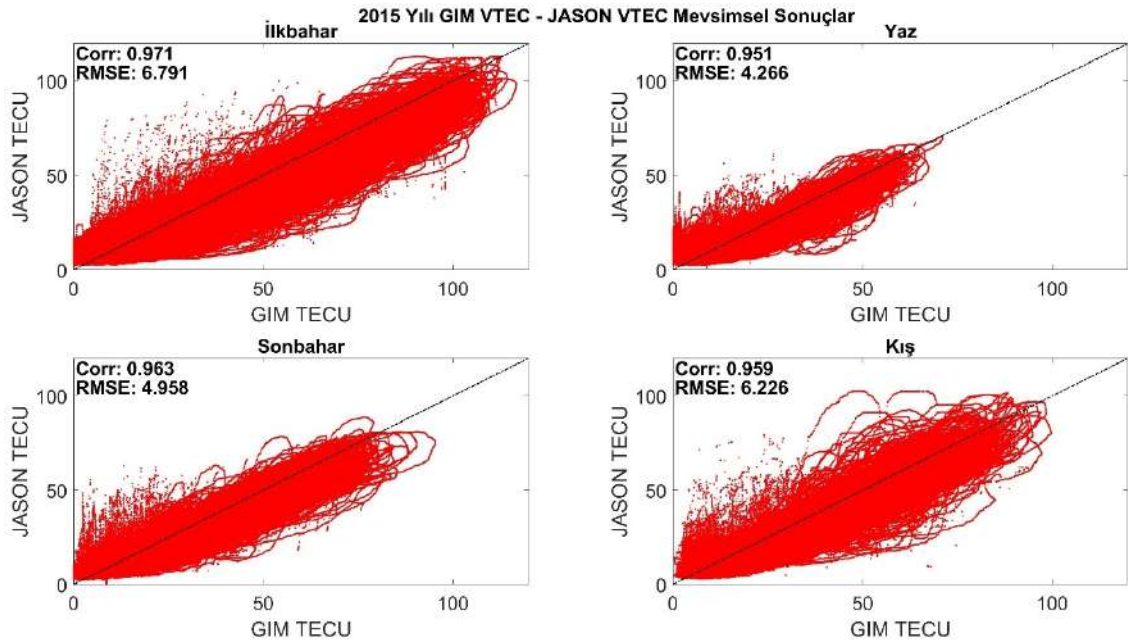
Şekil 4. 21. 2015 yılı FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

4.3.1.3. GIM VTEC ve JASON VTEC verilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.22.'de 2015 yılına ait JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel dağılım grafikleri verilmiştir. Şekil 4.22. incelendiğinde JASON VTEC – GIM VTEC arasındaki korelasyon katsayısının tüm mevsimsel dönemlerde 0.950'nin üzerinde olduğu görülmektedir. JASON VTEC – GIM VTEC farklarına ilişkin RMSE değerleri ise ilkbahar ve kış aylarında 6.791 – 6.266 TECU, sonbahar ve yaz aylarında 4.958 – 4.266 TECU olduğu görülmektedir. Diğer yıllara ilişkin sonuçlar ise EK-7 (Şekil Ek 7.1. – Şekil Ek 7.2.)'de verilmiştir. EK-7 (Şekil Ek 7.1. – Şekil Ek 7.2.) incelendiğinde korelasyon katsayısının 2019 yılı yaz aylarında en düşük seviyede 0.885 olduğu ve diğer yılların mevsimsel dönemlerinde 0.900'ün üzerinde olduğu görülmektedir. JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2015, 2016, 2017, 2018, ve 2019 yıllarında tüm mevsimsel dönemlere yüksek korelasyonlu olduğu ifade edilebilir. Tüm mevsimsel dönemlere ilişkin RMSE değerleri incelendiğinde 2016 yılında 3.445 – 4.462 TECU ve 2017 yılında 2.904 – 3.467 TECU'dur (EK-7 (Şekil Ek 7.1.)). 2018 ve 2019 yıllarında

tüm mevsimsel dönemlere ilişkin RMSE değerleri ise 3 TECU'nun altında olup maksimum 2.991 TECU olarak 2018 yılı sonbahar aylarında elde edildiği görülmektedir (EK-7 (Şekil Ek 7.2.)).

İncelenen yıllara ait mevsimsel verilere ilişkin RMSE dikkate alındığında, 2016, 2017, 2018, ve 2019 yıllarında mevsimsel dönemler arasında dikkate değer bir farkın olmadığı, 2015 yılı ilkbahar/kış ile sonbahar/yaz dönemleri arasında bir miktar farkın olduğu görülmektedir.

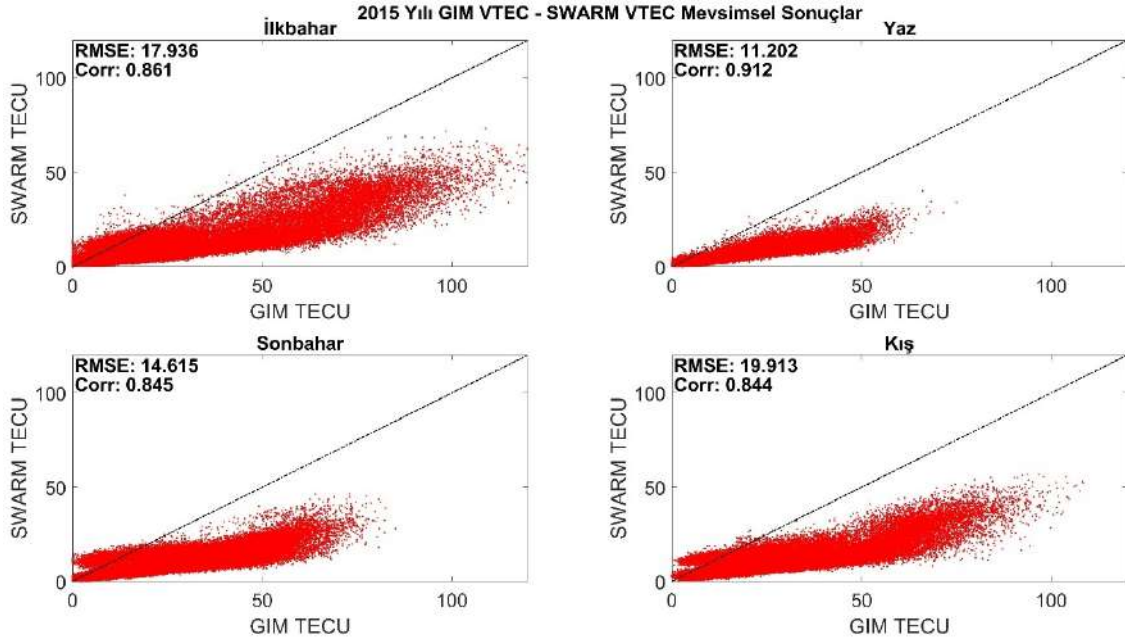


Şekil 4. 22. 2015 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

4.3.1.4. GIM VTEC ve SWARM VTEC verilerinin karşılaştırılması

2015 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel dağılım grafikleri Şekil 4.23.'te verilmiştir. Şekil 4.23. incelendiğinde SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin farklarına ilişkin RMSE ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış aylarında sırasıyla 17.936, 11.202, 14.615 ve 19.913 TECU'dur. SWARM VTEC – GIM VTEC arasındaki en yüksek korelasyon katsayısı yaz döneminde 0.912 olarak elde edildiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı ilkbahar, sonbahar ve kış dönemlerinde ise 0.844 ve 0.861 arasında değişmektedir. Seçilen diğer yıllara ilişkin sonuçlar ise EK-8'de (Şekil Ek 8.1. – Şekil Ek 8.2.)'de verilmiştir. EK-8'de (Şekil Ek 8.1. – Şekil Ek 8.2.) incelendiğinde; 2016, 2017, 2018 ve 2019 yıllarında tüm mevsimsel dönemlere ilişkin RMSE değerleri

birbirinden oldukça farklı (3.661 – 12.782 TECU) olduğu görülmektedir. 2016 yılında SWARM VTEC – GIM VTEC arasındaki korelasyon katsayıları yaz aylarında 0.893'tür ve ilkbahar, sonbahar ve kış aylarında birbirlerine oldukça yakın olup 0.904 – 0.909 arasında değişmektedir. Veriler arasındaki korelasyon katsayısı 2017 yılında 0.870 – 0.891'dir (EK-8 (Şekil Ek 8.1.)). 2018 ve 2019 yılında mevsimsel dönemlerde elde edilen korelasyon katsayıları ise 0.829 – 0.871 arasında değişmektedir (EK-8 (Şekil Ek 8.2.)).



Şekil 4. 23. 2015 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

4.3.3. Yıllık dönemlerin analizi

Mevsimsel dönem analizlerinin yanı sıra yıllık dönemde elde edilen sonuçlar da değerlendirilmiştir. Bu amaçla yıllık dönemlerde jeomanyetik aktif ve sakin günler ayrı ayrı ele alınmıştır. Jeomanyetik aktif gün olarak K_p indisinin ≥ 5 'ten Dst indisinin < -50 nT olduğu günler ele alınmıştır. Seçilen aktif gün kriterine uygun 2015 yılında 71 gün, 2016 yılında 45 gün, 2017 yılında 30 gün, 2018 ve 2019 yıllarında ise sırasıyla 11 gün ve 9 gün belirlenmiştir. İlgili yıllardaki diğer günler ise sakin gün olarak değerlendirilmiştir.

Tüm veri kaynaklarında yıllık dönemde 2015 – 2016 – 2017 – 2018 – 2019 yıllarında aktif gün ve sakin günlerdeki veri sayıları Şekil 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 7. Tüm veri kaynaklarında yıllık dönemde 2015 – 2016 – 2017 – 2018 – 2019 yıllarında aktif gün ve sakin günlerdeki veri sayıları

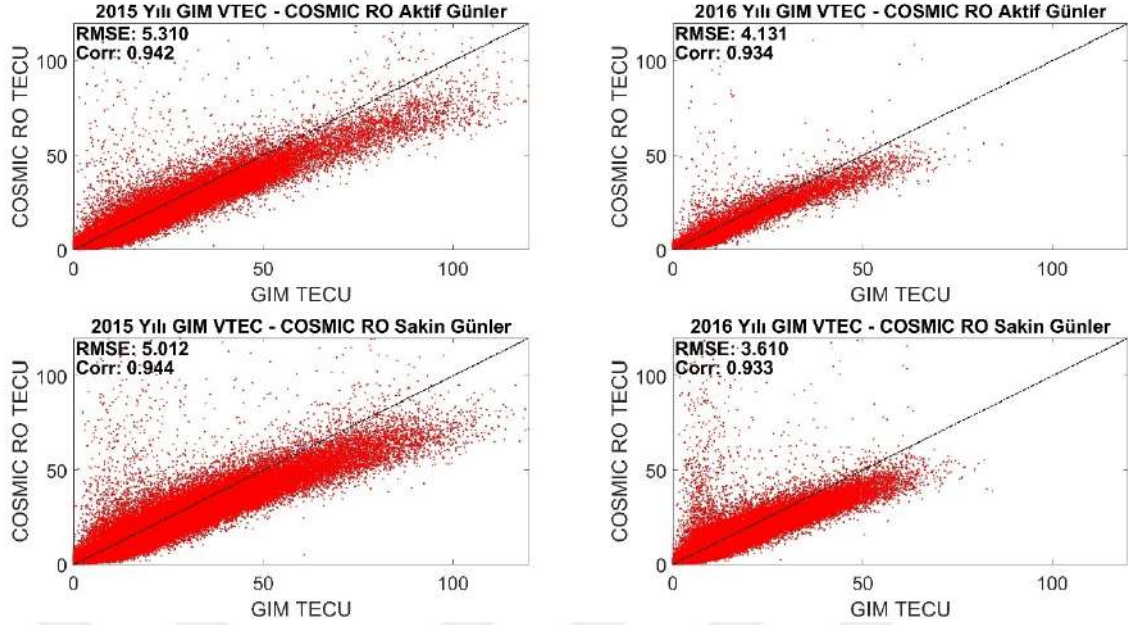
Veri Kaynağı/Yıl		2015	2016	2017	2018	2019
COSMIC RO	Aktif	82349	20240	8995	2823	1283
	Sakin	165146	145413	97285	76060	34101
FY3C RO	Aktif	13538	6654	4574	1639	1238
	Sakin	24599	46038	51131	51481	50147
JASON	Aktif	6348749	2244715	932156	487386	208906
	Sakin	12824638	15405012	12228332	15673471	7699381
SWARM	Aktif	148267	56121	43200	15840	12960
	Sakin	302234	411543	482398	507768	512595

Yıllık dönemlerdeki COSMIC RO, FY3C RO, JASON ve SWARM VTEC sonuçları GIM VTEC sonuçları ile karşılaştırmalı bir yaklaşımla alt başlıklarda ele alınmıştır.

4.3.3.1. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC verilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.27.' de 2015 ve 2016 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin yıllık dağılım grafikleri verilmiştir. Şekil 4.27. incelendiğinde COSMIC RO VTEC – GIM VTEC arasındaki korelasyon katsayısının 2015 yılında aktif ve sakın günlerde 0.940'ın üzerinde olduğu ve 2016 yılında aktif ve sakın günlerde 0.930'un üzerinde olduğu görülmektedir. COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin farklarına ilişkin RMSE değeri ise 2015 yılında aktif günlerde 5.310 TECU, sakın günlerde 5.012 TECU, 2016 yılında aktif günlerde 4.131 TECU ve sakın günlerde 3.610 TECU olarak elde edildiği görülmektedir. Seçilen diğer yıllara ilişkin sonuçlar ise EK-9 (Şekil Ek 9.1.)'de verilmiştir. EK-9 (Şekil Ek 9.1.) incelendiğinde, tüm yıllarda korelasyon katsayısının 0.900'ün üzerinde olduğu görülmektedir. Veriler arasındaki korelasyon katsayısı 2017 yılında aktif ve sakın günlerde birbirlerine oldukça yakın olup sırasıyla 0.926 – 0.927'dir. Aktif ve sakın günler için 2018 ve 2019 yıllarında ise sırasıyla 0.902 – 0.912 ve 0.920 – 0.908,'dir. 2017, 2018 ve 2019 yıllarında elde edilen RMSE değerleri incelendiğinde maksimum değer 2017 yılı aktif günlere ait olduğu (3.157 TECU), diğer tüm dönemlerde ise 2.506 – 2.919 TECU arasında değiştiği görülmektedir (EK-9 (Şekil Ek 9.1.)).

Seçilen tüm yıllara ilişkin aktif ve sakın günlerde elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırıldığında, sakın günlerde elde edilen RMSE değerlerinin aktif günlere göre daha düşük olduğu görülmektedir.

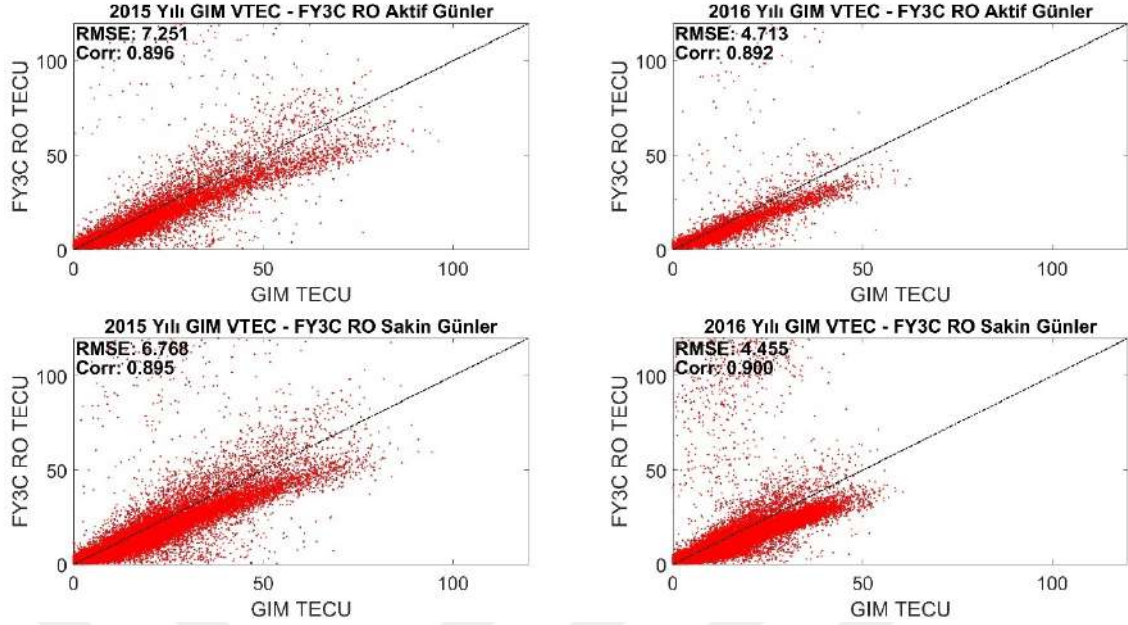


Şekil 4. 24. 2015 – 2016 yılları COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri

4.3.3.2. GIM VTEC ve FY3C RO VTEC verilerinin karşılaştırılması

FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2015 ve 2016 tarihlerindeki yıllık dağılım grafikleri Şekil 4.28.'de verilmiştir. Şekil 4.28. incelendiğinde FY3C RO VTEC – GIM VTEC arasındaki korelasyon katsayısının aktif ve sakin günlerde birbirlerine oldukça yakın olup, 0.892 – 0.900 arasında değiştiği görülmektedir. FY3C RO VTEC – GIM VTEC farklarına ilişkin RMSE değeri 2015 yılında 2016 'ya göre yüksek olup aktif dönem için 7.251 TECU, sakin dönem için ise 6.768 TECU dur. 2016 yılında ise aktif ve sakin dönemler için sırasıyla 4.713 TECU ve 4.555 TECU' dur. Seçilen diğer yıllara ilişkin sonuçlar (EK- 10 (Şekil Ek 10.1.)) incelendiğinde, en düşük korelasyon katsayısının 0.839 olarak 2019 yılı sakin günlerde elde edildiği görülmektedir. Yıllık dönemlerde elde edilen korelasyon katsayıları 2017 yılında aktif ve sakin dönemde (0.890 – 0.891) birbirlerine oldukça yakındır. 2017, 2018 ve 2019 yıllarında aktif ve sakin günlere ilişkin RMSE değerleri incelendiğinde 3.133 – 3.906 TECU arasında değiştiği görülmektedir (EK- 10 (Şekil Ek 10.1.)).

İncelenen yıllara ilişkin aktif ve sakin günlerde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 2015 yılı hariç diğer yıllardaki her iki dönemde elde edilen RMSE değerleri arasında önemli bir farkın olmadığı söylenebilir.



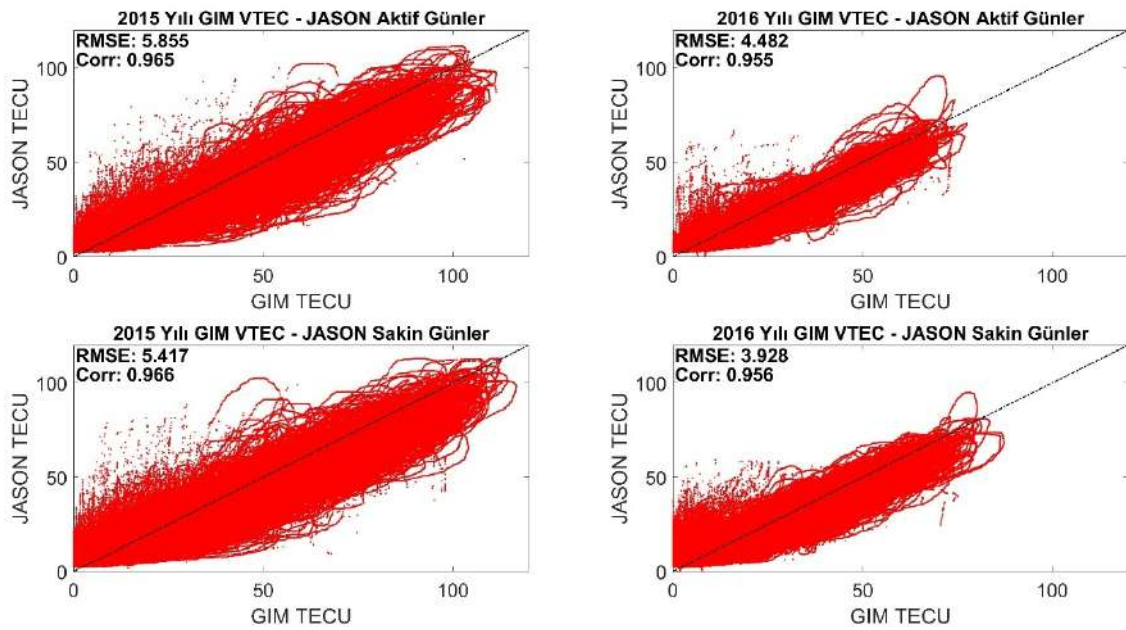
Şekil 4. 25. 2015 – 2016 yılları FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri

4.3.3.3. GIM VTEC ve JASON VTEC verilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.29.'da 2015 ve 2016 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin yıllık dağılım grafikleri verilmiştir. Şekil 4.29. incelendiğinde JASON VTEC – GIM VTEC arasındaki korelasyon katsayısının tüm mevsimsel dönemlerde 0.955'in üzerinde olduğu görülmektedir. JASON VTEC – GIM VTEC değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 2015 yılı aktif (0.965) ve sakin (0.966) günler ile 2016 yılı aktif (0.955) ve sakin (0.956) günlerde birbirine oldukça yakındır. JASON VTEC – GIM VTEC farklarına ilişkin RMSE değerleri ise 2015 yılı aktif ve sakin günlerde 5.855 TECU – 5.417 TECU, 2016 yılı aktif ve sakin günlerde ise sırasıyla 4.482 TECU ve 3.928 TECU olduğu görülmektedir. Diğer yıllara ilişkin sonuçlar ise EK-11 (Şekil Ek 11.1.)'de verilmiştir. EK-11 (Şekil Ek 11.1.) incelendiğinde korelasyon katsayısının 2018 yılı aktif dönemde en düşük seviyede 0.896 olduğu ve diğer yılların aktif ve sakin günlerinde ise 0.916'ın üzerinde olduğu görülmektedir. 2017 ve 2019 yıllarında aktif ve sakin dönemlerde JASON VTEC – GIM VTEC değerleri arasındaki korelasyon katsayılarının birbirlerine oldukça yakındır (Aktif-Sakin ,2017 (0.943-0.945), 2019 (0.917-0.916)). JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin seçilen tüm yıllarda birbirleri ile yüksek korelasyonlu olduğu ifade edilebilir. 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ilişkin aktif ve sakin günlerdeki RMSE değerleri incelendiğinde, maksimum 4.482 TECU olarak 2016 yılı aktif günler, minimum

2.539 TECU olarak 2019 yılı sakin günler için elde edilmiştir. 2018 ve 2019 yıllarında ise aktif ve sakin günlerdeki RMSE değerleri 2.865 TECU – 3.716 TECU arasında değişmektedir (EK-11 (Şekil Ek 11.1.)).

Seçilen yıllara ilişkin aktif ve sakin günlere ait RMSE değerleri incelendiğinde, 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarında aktif ve sakin günler arasında dikkate değer bir farkın olmadığı, 2019 yılında ise sakin günlere ait RMSE değerinin çok daha düşük seviyede olduğu görülmektedir (Aktif (4.482) – Sakin (2,539)).



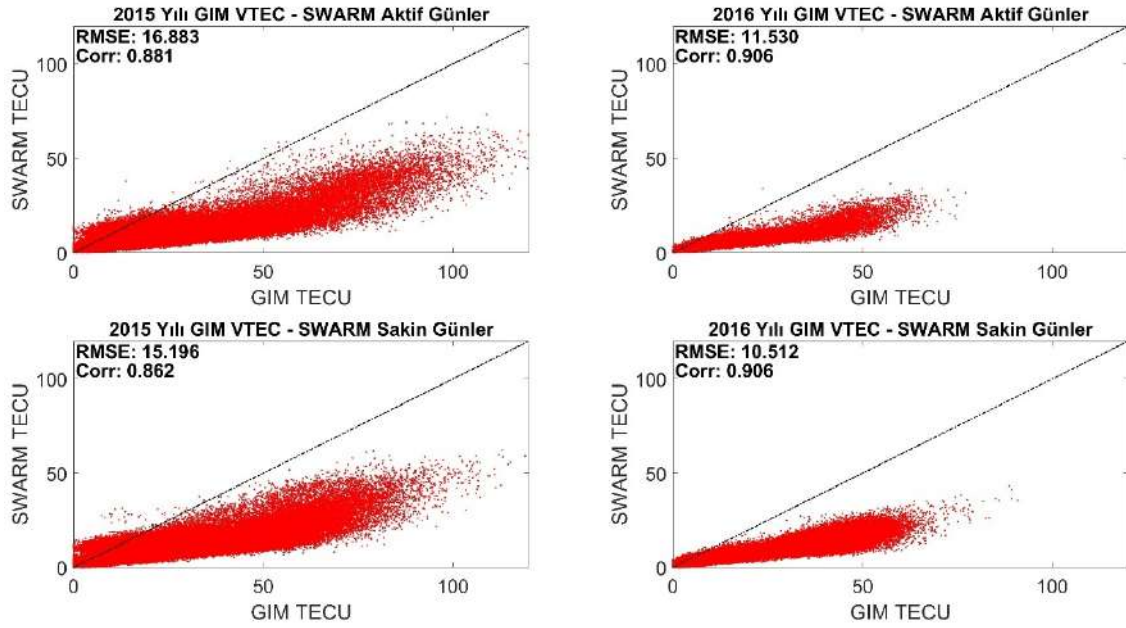
Şekil 4. 26. 2015 – 2016 yılları JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri

4.3.3.4. GIM VTEC ve SWARM VTEC verilerinin karşılaştırılması

2015 ve 2016 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin yıllık dağılım grafikleri Şekil 4.30.'da verilmiştir. Şekil 4.30. incelendiğinde SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin farklarına ilişkin RMSE değerinin 2015 yılı aktif ve sakin günlerde sırasıyla 16.883 TECU ve 15.196 TECU, 2016 yılı aktif ve sakin günlerde 11.530 TECU ve 10.512 TECU'dur. SWARM VTEC – GIM VTEC verileri arasındaki korelasyon katsayısı 2015 yılı aktif günlerde 0.881, sakin günlerde ise 0.862 dir. 2016 yılında ise her iki dönemde 0.906'dır. Seçilen diğer yıllara ilişkin sonuçlar ise EK-12'de (Şekil Ek 12.1.)'de verilmiştir. EK-12'de (Şekil Ek 12.1.) incelendiğinde; RMSE değerleri 2017, 2018 ve 2019 yıllarında aktif ve sakin günlerde sırasıyla 8.737-7.377 TECU, 6.933–5.806

TECU ve 6.137–5.272 TECU olduğu görülmektedir. 2017, 2018 ve 2019 yıllarındaki aktif ve sakin günler SWARM VTEC – GIM VTEC verileri arasındaki korelasyon katsayıları ise 0.837 ile 0.887 arasında değişmektedir (EK-12'de (Şekil Ek 12.1.)).

Seçilen tüm yıllarda elde edilen RMSE değerleri aktif ve sakin günler anlamında yıl bazında incelendiğinde sakin günlerde bir miktar düşük olsa da birbirlerine yakın olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 27. 2015 – 2016 yılları SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, farklı veri kaynaklarından küresel ölçekte elde edilen VTEC değerleri uzun ve kısa dönem ile farklı jeomanyetik koşullar dikkate alınarak karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelenmiştir. Kısa dönemde, farklı veri kaynaklarından elde edilen VTEC değerlerinin günlük bazda incelenmesi amacıyla K_p indis değeri dikkate alınarak farklı seviyelerdeki jeomanyetik fırtınalı günler (şiddetli jeomanyetik fırtınalı ($9 > K_p > 8$) günler (22/06/2015 ve 08/09/2017), ağır jeomanyetik fırtınalı ($8 \geq K_p > 7$) günler (17/03/2015 ve 07/09/2017), kuvvetli jeomanyetik fırtınalı ($7 \geq K_p > 6$) günler (21/12/2015 ve 26/08/2018) ve orta jeomanyetik fırtınalı ($6 \geq K_p > 5$) günler (18/03/2015 ve 01/01/2016)) seçilmiştir. Söz konusu günler için GIM VTEC değerleri ile COSMIC RO VTEC, FY3C RO VTEC, SWARM VTEC ve JASON VTEC değerleri karşılaştırmalı bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Uzun dönem anlamında ise 2015 – 2016 – 2017 – 2018 – 2019 yıllarına ait mevsimsel dönemler ve yıllık bazda jeomanyetik aktif ve sakin günler dikkate alınarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Kısa ve uzun (mevsimsel ve yıllık) dönemler için elde edilen sonuçlara ilişkin önemli çıkarımlar şöyledir:

Kısa dönem sonuçlarına göre;

- Jeomanyetik fırtınanın olduğu günlerde farkların değişken olduğu belirlenmiştir. GIM VTEC ile diğer veri kaynakları arasındaki farkların mutlak ortalaması incelendiğinde; COSMIC RO ile 3.32 – 5.68 TECU, FY3C RO ile 3.04 – 5.81 TECU, JASON ile 2.36 – 5.02 TECU ve SWARM ile 4.13 – 17.39 TECU arasında değiştiği görülmüştür. Bu durum genel anlamda GIM VTEC ile JASON VTEC değerlerinin daha uyumlu olduğunu göstermiştir. Bunun temel nedeni, JASON'un düşey yöndeki kapsama alanı olduğu söylenebilir (0-1336 km). Ayrıca GIM VTEC değerlerine göre COSMIC RO ve FY3C RO VTEC farklarının birbirlerine yakın olduğu en büyük farkın ise SWARM VTEC değerleriyle olduğu belirlenmiştir.
- Jeomanyetik fırtınanın seviyesi arttıkça (orta-kuvvetli-ağır-şiddetli) GIM VTEC değerleri ile veri kaynaklarından elde edilen VTEC değerleri arasındaki mutlak farklar ortalaması ve RMSE değerlerinde dikkate değer farklar gözlenmemiştir. Ancak günlük değerlendirmede jeomanyetik fırtınanın seviyesi sadece K_p indis kriterine göre belirlendiğinden, orta jeomanyetik fırtınalı günlerde (18/03/2015 –

01/01/2016), Dst indisi günün ilk saatinde oldukça yüksek seviyede olması nedeniyle (18/03/2015 -200 nT– 01/01/2016 -116 nT), mutlak farklar ortalamasının ve RMSE değerlerinin diğer aktif günlerden yüksek olduğu (JASON RMSE 5.27 – 6.22, COSMIC RO RMSE 5.77 – 5.99) görülmüştür.

- Seçilen günlerde solar aktif olan günde (22/06/2015 – F10.7 255 sfu) elde edilen sonuçlar ile diğer günlerde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında dikkate değer bir farkın olmadığı belirlenmiştir.
- GIM dışındaki diğer veri kaynaklarında, bir gün öncesine (sakin gün) göre değişim yüzdeleri ilgili konuma ait verilerin olmaması (ör. JASON'un aynı konumdan ~10 gün sonra geçmesi) nedeniyle dikkate alınamamıştır.

Mevsimsel dönem sonuçlarına göre;

- Mevsimsel sonuçlarını incelemek amacıyla kış (Aralık-Ocak-Şubat), ilkbahar (Mart-Nisan-Mayıs), yaz (Haziran-Temmuz-Ağustos) ve sonbahar (Eylül- Ekim-Kasım) dönemleri dikkate alınmıştır.
- GIM VTEC verileri ile diğer veri kaynakları arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde 0.800'ün üzerinde olduğu, en yüksek korelasyon katsayılarının 2018 yılı yaz dönemi (0.914 COSMIC RO VTEC) hariç seçilen tüm yıl ve mevsimsel dönemlerde JASON VTEC verileri ile, en düşük ise çoğunlukla SWARM VTEC verileri ile olduğu belirlenmiştir.
- GIM VTEC ile diğer veri kaynakları arasındaki farklara ilişkin RMSE değerleri incelendiğinde ilkbahar ve kış dönemlerinde daha yüksek, yaz dönemlerinde ise daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- GIM VTEC – SWARM VTEC değerleri arasındaki farklara ilişkin RMSE değerlerinin diğer veri kaynaklarına göre tüm yıllardaki ilkbahar (5.464 – 17.936 TECU), sonbahar (5.751 – 14.615 TECU), yaz (3.661 – 11.202 TECU) ve kış (5.688 – 19.913 TECU) dönemlerinde daha büyük olduğu görülmüştür.

Yıllık Sonuçlara göre;

- Yıllık değerlendirmeler aktif ve sakın günler dikkate alınarak yapılmıştır.
- Seçilen tüm yıllara ait sakın günlerde GIM VTEC ile COSMIC RO VTEC ve JASON VTEC değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.900'ün üzerinde olup, FY3C RO VTEC ve SWARM VTEC değerleri ile arasındaki korelasyon katsayısı 0.837 – 0.906 TECU arasında değişmektedir.

- Aktif günlerde ise GIM VTEC verileri ile en iyi korelasyon 2015, 2016 ve 2017 yıllarında JASON VTEC (0.940 – 0.960) verileri arasında, 2018 ve 2019 yıllarında ise COSMIC RO VTEC (0.900 – 0.920) verileri arasındadır.
- En düşük RMSE değerleri GIM VTEC ile JASON VTEC ve COSMIC RO VTEC farklarına ait olduğu belirlenmiştir. En yüksek RMSE değerleri ise GIM VTEC ile SWARM VTEC farklarına ait olup, aktif ve sakin günler için sırasıyla 6.137 TECU – 16.883 TECU, 5.272 TECU – 15.196 TECU arasında değişmektedir.
- Jeomanyetik aktivitenin diğer yıllara göre daha yüksek olduğu 2015 ve 2016 yıllarında GIM VTEC ile SWARM VTEC farklarının çok daha yüksek seviyelere ulaştığı görülmüştür.

Sonuç olarak,

Farklı veri kaynaklarından iyonosferik bilginin elde edildiği düşey profillerinin sonuçlar üzerinde dikkate değer etkisinin olduğu söylenebilir. COSMIC RO iyonosfer ve plazmasfer tabakalarını içerirken, FY3C RO üst iyonosfer ve plazmasferi içermez. JASON iyonosferin tamamı ile plazmasferin bir bölümünü içermekte olup, SWARM ise iyonosferin önemli bir bölümüne ait veri sunamamaktadır. Ayrıca COSMIC RO, FY3C RO, JASON ve SWARM verilerinde çok sayıda gürültü olduğundan uygun filtreleme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Normal veriler dikkate alınarak yapılan kısa ve uzun döneme ait sonuçların incelenmesi neticesinde GIM VTEC verileri ile JASON VTEC ve COSMIC RO VTEC verilerinin daha uyumlu olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdelaziz, A., Zhang, X., Ren, X., Rabah, M. ve Sedeek, A., 2025, Impact of temporal resolution in global ionospheric models on satellite positioning during low and high solar activity years of solar cycle 24, *Journal of Applied Geodesy*, 19(2), 265-280. <https://doi.org/10.1515/jag-2024-0056>
- Abraha, G., 2014, Total Electron Content (Tec) Variability of Low Latitude Ionosphere and Role of Dynamical Coupling: Quiet and Storm-Time Characteristics, Doktora Tezi, *Addis Ababa University*, Ethiopia.
- Adeniyi, J. O., 1986, Magnetic storm effects on the morphology of the equatorial F2-layer, *Journal of atmospheric and terrestrial physics*, 48(8), 695-702.
- Ahluwalia, H. S., 2003, Solar wind modulation of galactic cosmic rays, *Geophysical Research Letters*, 30(3). <https://doi.org/10.1029/2002GL016017>
- Ahmed, J., Shah, M., Awais, M., Jin, S., Ali Zafar, W., Ahmad, N., Amin, A., Shah, M.A., Ali, I., 2022, Seismo-ionospheric anomalies before the 2019 Mirpur earthquake from ionosonde measurements, *Advances in Space Research*, 69(1), 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.07.030>
- Alcay, S. ve Gungor, M., 2020, Investigation of ionospheric TEC anomalies caused by space weather conditions, *Astrophysics and Space Science*, 365(9), 150. <https://doi.org/10.1007/s10509-020-03862-x>
- Alcay, S., Ogutcu, S., Oztan, G. ve Ozdemir, B. N., 2022, Evaluation of the TEC prediction performance of NeQuick2 model, *5th Intercontinental Geoinformation Days-IGD 14-15 December 2022*, New Delhi, India, 74–77.
- Alcay, S., Ogutcu, S. ve Oztan, G., 2024, Analysis Of TEC Prediction Performance Of The Latest Version Of The IRI Model (IRI-2020) Over A Turkish Station, *International Studies In Engineering*, Ankara, 1–13.
- Alcay, S. ve Oztan, G., 2016, Comparison of GPS-TEC Measurements with IRIPLAS and IRI-2012 Models Over a Mid-Latitude Station, MADR, Spain, *International Conference on Engineering and Natural Sciences-ICENS 24-28 May. 2016*, Sarajevo, 30–33.
- Alcay, S. ve Oztan, G., 2019, Analysis of global TEC prediction performance of IRI-PLAS model, *Advances in Space Research*, 63(10), 3200–3212. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.02.002>
- Alcay, S., Yiğit, C. Ö., Seemala, G. ve Ceylan, A., 2014, GPS-Based ionosphere modeling: a brief review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(3A), 815–824.

- Alçay, S. ve Öztan, G., 2016, Manyetik fırtınalı ve fırtınasız günlerde IRI-PLAS ve IRI-2012 modellerinin TEC kestirim performanslarının incelenmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 131-140.
- Alexander, A. N., Oleg, V. Z., Mikhail, I. K. ve Yulia, V. R., 2012, Manifestations of the earthquake preparations in the ionosphere total electron content variations, *Natural Science*, 04(11), 848–855. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.411113>
- Angling, M. J. ve Cannon, P. S., 2004, Assimilation of radio occultation measurements into background ionospheric models, *Radio Science*, 39(1), 279–287. <https://doi.org/10.1029/2002rs002819>
- Anthes, R. A., 2011, Exploring Earth's atmosphere with radio occultation: contributions to weather, climate and space weather, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(6), 1077–1103. <https://doi.org/10.5194/amt-4-1077-2011>
- Anthes, R. A., Bernhardt, P. A., Chen, Y., Cucurull, L., Dymond, K. F., Ector, D., Healy, S. B., Ho, S., Hunt, D. C., Kuo, Y., Liu, H., Manning, K., McCormick, C., Meehan, T. K., Randel, W. J., Rocken, C., Schreiner, W. S., Sokolovskiy, S. V., Syndergaard, S., Thompson, D. C., Trenberth, K. E., Wee, T., Yen, N. L. ve Zeng, Z., 2008, The COSMIC/FORMOSAT-3 Mission: Early Results, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(3), 313–334. <https://doi.org/10.1175/BAMS-89-3-313>
- Anthes, R. A., Rocken, C. ve Ying-Hwa, K., 2000, Applications of COSMIC to meteorology and climate, *Terrestrial Atmospheric And Oceanic Sciences*, 11(1), 115–156.
- Aquino, M. H., Waugh, S., Dodson, A., Moore, T. ve Skone, S., 2004, GPS Based Ionospheric Scintillation Monitoring, *In Proceedings of the Space Weather Workshop: Looking towards a European Space Weather Programme December 2004, ES-TEC*, Noordwijk, The Netherlands, (29).
- Aranzulla, M., Cannavò, F., Scollo, S., Puglisi, G. ve Immè, G., 2013, Volcanic ash detection by GPS signal, *GPS Solutions*, 17(4), 485–497. <https://doi.org/10.1007/S10291-012-0294-4>
- Arslan, N., 2004, GPS İle İyonosfer Toplam Elektron Yoğunluğu Değişimlerinin Koordinatlara Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aschwanden, M. J., 2006, Physics of the solar corona: an introduction with problems and solutions, *Springer Science ve Business Media*.
- Astafyeva, E., Zakharenkova, I. ve Förster, M., 2015, Ionospheric response to the 2015 St. Patrick's Day storm: A global multi-instrumental overview, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 120(10), 9023–9037. <https://doi.org/10.1002/2015JA021629>

- Atabati, A., Alizadeh, M., Schuh, H. ve Tsai, L. C., 2021, Ionospheric Scintillation Prediction on S4 and ROTI Parameters Using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm, *Remote Sensing* 2021, 13(11), 2092. <https://doi.org/10.3390/rs13112092>
- Augusto, C., Navia, C., De Oliveira, M. N., Fauth, A. ve Nepomuceno, A., 2016, Signals at ground level of relativistic solar particles associated with a radiation storm on 2014 April 18, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 68(1). <https://doi.org/10.1093/PASJ/PSV111>
- Baade, W. ve Zwicky, F., 1934, Cosmic Rays from Super-Novae, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 20(5), 259–263. <https://doi.org/10.1073/PNAS.20.5.259>
- Bai, W. H., Sun, Y. Q., Du, Q. F., Yang, G. L., Yang, Z. D., Zhang, P., Bi, Y. M., Wang, X. Y., Cheng, C. ve Han, Y., 2014, An introduction to the FY3 GNOS instrument and mountain-top tests, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(6), 1817–1823. <https://doi.org/10.5194/AMT-7-1817-2014>
- Bai, W., Tan, G., Sun, Y., Xia, J., Cheng, C., Du, Q., Wang, X., Yang, G., Liao, M., Liu, Y., Meng, X., Zhao, D., Liu, C., Cai, Y., Wang, D., Wang, Y., Yin, C., Hu, P. ve Liu, Z., 2019, Comparison and Validation of the Ionospheric Climatological Morphology of FY3C/GNOS with COSMIC during the Recent Low Solar Activity Period, *Remote Sensing*, 11(22), 2686. <https://doi.org/10.3390/rs11222686>
- Basciftci, F. ve Bulbul, S., 2023, Statistical analysis of the regional and global ionosphere model on intense geomagnetic storm, *Indian Journal of Physics*, 97(12), 3395–3409. <https://doi.org/10.1007/s12648-023-02700-4>
- Başçiftçi, F., 2017, GNSS Verileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması Ve Global Modellerle Karşılaştırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Bekker, S., Milligan, R. O. ve Ryakhovsky, I. A., 2024, The Influence of Different Phases of a Solar Flare on Changes in the Total Electron Content in the Earth's Ionosphere, *The Astrophysical Journal*, 971(2), 188. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ad631d>
- Beutler, G., Bock, H., Brockmann, E., Dach, R., Fridez, P., Gurtner, W., Hugentobler, U., Ineichen, D., Johnson, J., Meindl, M., Mervart, L., Rothacher, M., Schaer, S., Springer, T. ve Weber, R., 2001, Bernese GPS Software Version 4.2, *Astronomical Institute University Of Berne*.
- Beutler, G., Brockmann, E., Fankhauser, S., Gurtner, W., Johnson, J., Mervart, L., Rothacher, M., Schaer, S., Springer, T. ve Weber, R., 1996, Bernese GPS Software Version 4.0, *Astronomical Institute University Of Berne*.
- Bi, Y. M., Yang, Z. D., Zhang, P., Sun, Y. Q., Bai, W. H., Du, Q. F., Yang, G. L., Chen, J. ve Liao, M., 2012, An introduction to China FY3 radio occultation mission and its measurement simulation, *Advances in Space Research*, 49(7), 1191–1197. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2012.01.014>

- Biancamaria, S., Schaedele, T., Blumstein, D., Frappart, F., Boy, F., Desjonquères, J. D., Pottier, C., Blarel, F. ve Niño, F., 2018, Validation of Jason-3 tracking modes over French rivers, *Remote Sensing of Environment*, 209, 77–89. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.02.037>
- Bilitza, D., 2018, IRI the International Standard for the Ionosphere, *Advances in Radio Science*, 16, 1–11. <https://doi.org/10.5194/ars-16-1-2018>
- Bilitza, D., Altadill, D., Zhang, Y., Mertens, C., Truhlik, V., Richards, P., McKinnell, L. A. ve Reinisch, B., 2014, The International Reference Ionosphere 2012 - A model of international collaboration, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 4, A07. <https://doi.org/10.1051/swsc/2014004>
- Bilitza, D., Brown, S. A., Wang, M. Y., Souza, J. R. ve Roddy, P. A., 2012, Measurements and IRI model predictions during the recent solar minimum, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 86, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2012.06.010>
- Bilitza, D., McKinnell, L.-A., Reinisch, B. ve Fuller-Rowell, T., 2011, The international reference ionosphere today and in the future, *Journal of Geodesy*, 85(12), 909–920. <https://doi.org/10.1007/s00190-010-0427-x>
- Bilitza, D., Pezzopane, M., Truhlik, V., Altadill, D., Reinisch, B. W. ve Pignalberi, A., 2022, The International Reference Ionosphere Model: A Review and Description of an Ionospheric Benchmark, *Reviews of Geophysics*, 60(4). <https://doi.org/10.1029/2022RG000792>
- Blasi, P., 2013, The origin of galactic cosmic rays, *Astronomy and Astrophysics Review*, 21(1), 70. <https://doi.org/10.1007/S00159-013-0070-7>
- Bowling, T. J., 2011, Detecting and modeling the space shuttle ascent using GPS-TEC and a physical source model, Master's thesis, *Purdue University*, West Lafayette, Indiana, United States.
- Bowling, T., Calais, E. ve Haase, J. S., 2013, Detection and modelling of the ionospheric perturbation caused by a Space Shuttle launch using a network of ground-based Global Positioning System stations, *Geophysical Journal International*, 192(3), 1324–1331. <https://doi.org/10.1093/GJI/GGS101>
- Breed, A. M., Goodwin, G. L. ve Silby, J. H., 1998, Total electron content measurements in the southern hemisphere using GPS satellites, 1991 to 1995, *Radio Science*, 33(6), 1705–1726. <https://doi.org/10.1029/98RS01856>
- Bülbül, S., 2020, TUSAGA-Aktif Noktaları Kullanılarak Bölgesel TEC Değerinin Belirlenmesi, *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 20(2), 250–266. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.646324>

- Cahyadi, M. N., Handoko, E. Y., Rahayu, R. W. ve Heki, K., 2021, Comparison of volcanic explosions in Japan using impulsive ionospheric disturbances, *Earth, Planets and Space*, 73(1). <https://doi.org/10.1186/S40623-021-01539-5>
- Cahyadi, M. N., Rahayu, R. W., Heki, K. ve Nakashima, Y., 2020, Harmonic ionospheric oscillation by the 2010 eruption of the Merapi volcano, Indonesia, and the relevance of its amplitude to the mass eruption rate, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 405, 107047. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107047>
- Calabia, A., Imtiaz, N., Altadill, D., Yasyukevich, Y., Segarra, A., Prol, F. S., Adhikari, B., del Peral, L., Frias, M. D. R. Ve Molina, I., 2024, Uncovering the Drivers of Responsive Ionospheric Dynamics to Severe Space Weather Conditions: A Coordinated Multi-Instrumental Approach, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 129(3), e2023JA031862. <https://doi.org/10.1029/2023JA031862>
- Calais, E. ve Minster, J. B., 1996, GPS detection of ionospheric perturbations following a space shuttle ascent, *Geophysical Research Letters*, 23(15), 1897–1900. <https://doi.org/10.1029/96GL01256>
- Calais, E. ve Minster, J. B., 1998, GPS, earthquakes, the ionosphere, and the Space Shuttle, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105(3–4), 167–181. [https://doi.org/10.1016/S0031-9201\(97\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9201(97)00089-7)
- Campbell, R. M., 1999, Ionospheric corrections via PIM and real-time data, *New Astronomy Reviews*, 43(8–10), 617–621. [https://doi.org/10.1016/S1387-6473\(99\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S1387-6473(99)00065-2)
- Cander, L. R., 2019, Ionospheric Space Weather, *Springer Geophysics, Cham: Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99331-7>
- Cander, L. R. ve Mihajlovic, S. J., 1998, Forecasting ionospheric structure during the great geomagnetic storms, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 103(A1), 391–398. <https://doi.org/10.1029/97JA02418>
- Chakraborty, M., Kumar, S., De, B. K. ve Guha, A., 2014, Latitudinal characteristics of GPS derived ionospheric TEC: A comparative study with IRI 2012 model, *Annals of Geophysics*, 57(5), 1–13. <https://doi.org/10.4401/ag-6438>
- Chen, P., Wang, R., Yao, Y., Xiong, M., Zhang, Y. ve Yang, X., 2024, A new method for global ionospheric real-time modeling integrating ionospheric VTEC short-term forecast results, *Journal of Geodesy*, 98(11), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s00190-024-01911-9>
- Chen, X., Zhang, R., Kong, X., Liang, Z., Su, L. ve Wang, C., 2025, Impact of Tonga volcanic eruption on the ionosphere based on ground-based GNSS and COSMIC occultation data, *Advances in Space Research*, 75(1), 1066–1076. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2024.10.061>

- Cheng, C. F., Kuo, Y., Anthes, R. A. ve Wu, L., 2006, Satellite constellation monitors global and space weather, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 87(17), 166–166. <https://doi.org/10.1029/2006EO170003>
- Cranmer, S. R., 2009, Coronal Holes, *Living Reviews in Solar Physics*, 6(1), 3. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2009-3>
- Cullen, L., Smith, A. W., Galib, A. H., Varshney, D., Brown, E. J. E., Chi, P. J., Chu, X. ve Svoboda, F., 2024, A Global Analysis of Pre-Earthquake Ionospheric Anomalies, *Space Physics*, arXiv preprint arXiv:2401.01773. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.01773>
- Dach, R. ve Bockmann, E. (Editörler), 2024, International GNSS Service Technical Report 2023 (IGS Annual Report), *IGS Central Bureau and University of Bern*, Bern Open Publishing. <https://doi.org/10.48350/191991>
- Dach, R. ve Walser, P., 2015, Bernese GNSS Software Version 5.2, *Astronomical Institute, University of Bern*. <https://doi.org/10.7892/boris.72297>
- Daniell, R. E., Brown, L. D., Anderson, D. N., Fox, M. W., Doherty, P. H., Decker, D. T., Sojka, J. J. ve Schunk, R. W., 1995, Parameterized ionospheric model: A global ionospheric parameterization based on first principles models, *Radio Science*, 30(5), 1499–1510. <https://doi.org/10.1029/95RS01826>
- Danilov, A. D. ve Lastovicka, J., 2001, Effects of geomagnetic storms on the ionosphere and atmosphere, *International Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, 2(3), 209–224.
- DasGupta, A., Paul, A. ve Das, A., 2007, Ionospheric total electron content (TEC) studies with GPS in the equatorial region, *Indian Journal of Radio and Space Physics*, 36(4), 278-292.
- Dautermann, T., Calais, E. ve Mattioli, G. S., 2009, Global positioning system detection and energy estimation of the ionospheric wave caused by the 13 July 2003 explosion of the soufriere hills volcano, montserrat, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B02202), B02202-1. <https://doi.org/10.1029/2008JB005722>
- Davies, K. ve Hartmann, G. K., 1997, Studying the ionosphere with the Global Positioning System, *Radio Science*, 32(4), 1695–1703. <https://doi.org/10.1029/97RS00451>
- Defant, M. J., 1998, A voyage of discovery from the big bang to the Ice Age, *Mancorp Pub*, 1-314.
- Desjonquères, J. D., Carayon, G., Steunou, N., & Lambin, J., 2010, Poseidon-3 Radar Altimeter: New Modes and In-Flight Performances, *Marine Geodesy*, 33(sup1), 53–79. <https://doi.org/10.1080/01490419.2010.488970>

- El Gizawy, M. L., 2003, Development of an Ionosphere Monitoring Technique Using GPS Measurements for High Latitude GPS Users, Master's thesis, *University Of Calgary*, Italy.
- Eroglu, E. ve Basciftci, F., 2024a, Association of the Mw 7.5, second Southeastern Turkey earthquake with the ionosphere across the TEC cross section, *Natural Hazards*, 120(6), 5895–5917. <https://doi.org/10.1007/S11069-024-06455-X>
- Eroglu, E. ve Basciftci, F., 2024b, Mathematical modeling of the Southeastern Turkey earthquake (Pazarcık, Mw 7.8) using TEC data, *Acta Astronautica*, 215, 234–244. <https://doi.org/10.1016/J.ACTAASTRO.2023.12.011>
- Essien, P., Figueiredo, C. A. O. B., Takahashi, H., Wrasse, C. M., Barros, D., Klutse, N. A. B., Lomotey, S. O., Ayorinde, T. T., Gobbi, D. ve Bilibio, A. V., 2021, Long-term study on medium-scale traveling ionospheric disturbances observed over the south american equatorial region, *Atmosphere*, 12(11), 1409. <https://doi.org/10.3390/ATMOS12111409/S1>
- Etchells, T., Aplin, K. L., Berthoud, L., Kalavana, A. ve Larkins, A., 2024, Extreme Space Weather Impacts on GNSS Timing Signals for Electricity Grid Management, *Space Weather*, 22(10), e2023SW003770. <https://doi.org/10.1029/2023SW003770>
- Falayi, E. O., Amaechi, P. O. ve Oluwafemi, J. A., 2024, Analysis of total electron content over the African low-latitude region during the maximum phase of solar cycle 24 (2012–2014), *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 258, 106235. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106235>
- Faruna, S. O., Wijaya, D. D., Setyadji, B., Meilano, I., Utama, A. K. ve Okoh, D., 2024, Analyzing high temporal-resolution of GNSS-based ionospheric VTEC over Nigeria, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 27(2), 317–328. <https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2024.03.006>
- Fedrizzi, M., Langley, R. B., Komjathy, A., Santos, M. C., de Paula, E. R. ve Kantor, I. J., 2001, The Low-latitude Ionosphere: Monitoring its Behaviour with GPS, *Proceedings of the 14th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2001)*, Salt Lake City, UT, September 2001, 2468-2475.
- Feng, J., Yuan, Y., Zhang, T., Zhang, Z. ve Meng, D., 2023, Analysis of Ionospheric Anomalies before the Tonga Volcanic Eruption on 15 January 2022, *Remote Sensing*, 15(19), 4879. <https://doi.org/10.3390/rs15194879>
- Fong, C. J., Shiau, W.T., Lin, C.T., Kuo, T.C., Chu, C.H., Yang, S.K., Yen, N. L., Chen, S. S., Kuo, Y. H. Liou, Y. A. ve Chi, S., 2008a, Constellation Deployment for the FORMOSAT-3/COSMIC Mission, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(11), 3367–3379. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2005202>
- Fong, C. J., Yang, S. K., Chu, C. H., Huang, C. Y., Yeh, J. J., Lin, C. T., Kuo, T. C., Liu, T. Y., Yen, N. L., Chen, S. S., Kuo, Y. H. ve Chi, S., 2008b, FORMOSAT-3/COSMIC Constellation Spacecraft System Performance: After One Year in Orbit,

- IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(11), 3380–3394.
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2005203>
- Friis-Christensen, E., Lühr, H. ve Hulot, G., 2006, Swarm: A constellation to study the Earth's magnetic field, *Earth, Planets and Space*, 58(4), 351–358.
<https://doi.org/10.1186/BF03351933>
- Friis-Christensen, E., Lühr, H., Knudsen, D. ve Haagmans, R., 2008, Swarm – An Earth Observation Mission investigating Geospace, *Advances in Space Research*, 41(1), 210–216. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2006.10.008>
- Froń, A., Galkin, I., Krankowski, A., Bilitza, D., Hernández-Pajares, M., Reinisch, B., Li, Z., Kotulak, K., Zakharenkova, I., Cherniak, I., Roma Dollase, D., Wang, N., Flisek, P. ve García-Rigo, A., 2020, Towards Cooperative Global Mapping of the Ionosphere: Fusion Feasibility for IGS and IRI with Global Climate VTEC Maps, *Remote Sensing*, 12(21), 3531. <https://doi.org/10.3390/rs12213531>
- Galkin, I. A., Reinisch, B. W., Huang, X. ve Bilitza, D., 2012, Assimilation of GIRO data into a real-time IRI, *Radio Science*, 47(2), 1–10.
<https://doi.org/10.1029/2011RS004952>
- Galkin, I., Froń, A., Reinisch, B., Hernández-Pajares, M., Krankowski, A., Nava, B., Bilitza, D., Kotulak, K., Flisek, P., Li, Z., Wang, N., Dollase, D. R., García-Rigo, A. ve Batista, I., 2022, Global Monitoring of Ionospheric Weather by GIRO and GNSS Data Fusion, *Atmosphere*, 13(3), 371.
<https://doi.org/10.3390/atmos13030371>
- Gallagher, D. L., Craven, P. D. ve Comfort, R. H., 2000, Global core plasma model, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 105(A8), 18819–18833.
<https://doi.org/10.1029/1999JA000241>
- Ghafar, M. M., Dleer, S., Mukhtar, S., Mohammed, D. H. K. ve Salh, H. M., 2024, Investigating the Potential of Vertical-TEC as an Earthquake Precursor: Haiti Major (ML 7) Earthquake Case Study, *Passer Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(1), 214–221. <https://doi.org/10.24271/PSR.2024.425626.1421>
- Giese, P., 2005, Moho discontinuity, in: *Encyclopedia of Geology*, Elsevier Academic Press, Oxford, 3, 645–659. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369396-9/00468-8>
- Gogoberidze, G. ve Voitenko, Y. M., 2020, Spectrum of imbalanced Alfvénic turbulence at ion-kinetic scales in the solar wind *Astrophysics and Space Science*, 365(9), 149.
<https://doi.org/10.1007/S10509-020-03865-8>
- Gonzalez, W. D., Joselyn, J. A., Kamide, Y., Kroehl, H. W., Rostoker, G., Tsurutani, B. T. ve Vasyliunas, V. M., 1994, What is a geomagnetic storm?, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 99(A4), 5771–5792.
<https://doi.org/10.1029/93JA02867>

- Gopalswamy, N., 2004, A Global Picture of CMEs in the Inner Heliosphere, *In The sun and the heliosphere as an integrated system*, Dordrecht: Springer Netherlands, 201–251. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2831-1_8
- Gosling, J. T., 1993, The solar flare myth, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 98(A11), 18937–18949. <https://doi.org/10.1029/93JA01896>
- Grapenthin, R., Freymueller, J. T. ve Kaufman, A. M., 2013, Geodetic observations during the 2009 eruption of Redoubt Volcano, Alaska, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 259, 115–132. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.04.021>
- Gulyaeva, Tamara L., Huang, X. ve Reinisch, B. W., 2002, Plasmaspheric extension of topside electron density profiles, *Advances in Space Research*, 29(6), 825–831. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(02\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)00038-8)
- Gulyaeva, T.L., 2024, Interaction of global electron content with the Sun and solar wind during intense geomagnetic storms, *Planetary and Space Science*, 240, 105830. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2023.105830>
- Guo, P., Xu, X. ve Zhang, G. X., 2011, Analysis of the ionospheric equivalent slab thickness based on ground-based GPS/TEC and GPS/COSMIC RO measurements, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 73(7–8), 839–846. <https://doi.org/10.1016/J.JASTP.2011.02.002>
- Güngör, M., 2022, Uzay İklim Koşullarının Toplam Elektron Yoğunluğu (TEC) Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Hajj, G. A. ve Romans, L. J., 1998, Ionospheric electron density profiles obtained with the Global Positioning System: Results from the GPS/MET experiment, *Radio Science*, 33(1), 175–190. <https://doi.org/10.1029/97RS03183>
- Harding, B. J., Wu, Y. J. J., Alken, P., Yamazaki, Y., Triplett, C. C., Immel, T. J., Gasque, L. C., Mende, S. B. ve Xiong, C., 2022, Impacts of the January 2022 Tonga Volcanic Eruption on the Ionospheric Dynamo: ICON-MIGHTI and Swarm Observations of Extreme Neutral Winds and Currents, *Geophysical Research Letters*, 49(9), e2022GL098577. <https://doi.org/10.1029/2022GL098577>
- Hawarey, M., 2004, Enerjiden Kaynaklanan İyonosfer Değişimlerinin GPS İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- He, J., Astafyeva, E., Yue, X., Ding, F. ve Maletckii, B., 2023, The Giant Ionospheric Depletion on 15 January 2022 Around the Hunga Tonga-Hunga Ha’apai Volcanic Eruption, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128(1), e2022JA030984. <https://doi.org/10.1029/2022JA030984>

- He, L., Zhang, Y., Qu, Z. ve Wu, L., 2025, An Accurate Method for the Global Ionospheric TEC Estimation Using Multi-GNSS Observations, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.3523396>
- He, M. ve Zhu, H., 2024, Predicting Geomagnetic Indices for Space Weather Applications in Solar Cycle 25, *Annales Geophysicae Discussions*, 1-9. <https://doi.org/10.5194/ANGEO-2024-20>
- Heki, K., 2006, Explosion energy of the 2004 eruption of the Asama Volcano, central Japan, inferred from ionospheric disturbances, *Geophysical Research Letters*, 33(14). <https://doi.org/10.1029/2006GL026249>
- Heki, K. ve Fujimoto, T., 2022, Atmospheric modes excited by the 2021 August eruption of the Fukutoku-Okanoba volcano, Izu–Bonin Arc, observed as harmonic TEC oscillations by QZSS, *Earth, Planets and Space*, 74(1), 27. <https://doi.org/10.1186/S40623-022-01587-5>
- Hernández-Pajares, M., Juan, J. M., Sanz, J., Orus, R., Garcia-Rigo, A., Feltens, J., Komjathy, A., Schaer, S. C. ve Krankowski, A., 2009, The IGS VTEC maps: a reliable source of ionospheric information since 1998, *Journal of Geodesy*, 83(3–4), 263–275. <https://doi.org/10.1007/s00190-008-0266-1>
- Hernández-Pajares, M., Roma-Dollase, D., Krankowski, A., García-Rigo, A. ve Orús-Pérez, R., 2017, Methodology and consistency of slant and vertical assessments for ionospheric electron content models, *Journal of Geodesy*, 91(12), 1405–1414. <https://doi.org/10.1007/S00190-017-1032-Z>
- Hines, C. O., 1960, Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights, *Canadian Journal of Physics*, 38(11), 1441–1481. <https://doi.org/10.1139/p60-150>
- Hong, J., Kil, H., Lee, W. K., Kwak, Y. S., Choi, B. K. ve Paxton, L. J., 2022, Detection of Different Properties of Ionospheric Perturbations in the Vicinity of the Korean Peninsula After the Hunga-Tonga Volcanic Eruption on 15 January 2022, *Geophysical Research Letters*, 49(14), e2022GL099163. <https://doi.org/10.1029/2022GL099163>
- Huang, H., Moses, M., Volk, A. E., Elezz, O. A., Kassamba, A. A. ve Bilitza, D., 2021, Assessment of IRI-2016 hmF2 model options with digisonde, COSMIC and ISR observations for low and high solar flux conditions, *Advances in Space Research*, 68(5), 2093-2103. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.033>
- Hunsucker, R. D., 1982, Atmospheric gravity waves generated in the high-latitude ionosphere: A review, *Reviews of Geophysics*, 20(2), 293–315. <https://doi.org/10.1029/RG020i002p00293>
- Imel, D. A., 1994, Evaluation of the TOPEX/POSEIDON dual-frequency ionosphere correction, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C12), 24895–24906. <https://doi.org/10.1029/94JC01869>

- Ishii, M., Berdermann, J., Forte, B., Hapgood, M., Bisi, M. M. ve Romano, V., 2024, Space weather impact on radio communication and navigation, *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2024.01.043>
- Jakowski, N., Heise, S., Stankov, S. M. ve Tsybulya, K., 2006, Remote sensing of the ionosphere by space-based GNSS observations, *Advances in Space Research*, 38(11), 2337–2343. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.07.015>
- Jakowski, N., Wehrenpfennig, A., Heise, S. ve Noack, T., 2001, Space Weather Effects in the Ionosphere and Their Impact on Positioning, *In ESA workshop paper*, December 2001, 1-7.
- Janssen, V., 2024, Understanding the RINEX format, *In Proceedings of Association of Public Authority Surveyors Conference*, APAS2024, 3-18.
- Jee, G., Lee, H. B., Kim, Y. H., Chung, J. K. ve Cho, J., 2010, Assessment of GPS global ionosphere maps (GIM) by comparison between CODE GIM and TOPEX/Jason TEC data: Ionospheric perspective, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 115(A10), 10319. <https://doi.org/10.1029/2010JA015432>
- Jia, X., Liu, J. ve Zhang, X., 2024, The Analysis of Ionospheric TEC Anomalies Prior to the Jiuzhaigou Ms7.0 Earthquake Based on BeiDou GEO Satellite Data, *Remote Sensing 2024*, Vol. 16, Page 660, 16(4), 660. <https://doi.org/10.3390/RS16040660>
- Jin, M., Manchester, W. B., Holst, B. van der, Sokolov, I., Tóth, G., Vourlidis, A., de Koning, C. A. ve Gombosi, T. I., 2017, Chromosphere To 1 Au Simulation Of The 2011 March 7th Event: A Comprehensive Study Of Coronal Mass Ejection Propagation, *The Astrophysical Journal*, 834(2), 172. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/834/2/172>
- Jin, S., Gao, C. ve Li, J., 2019, Atmospheric Sounding from Fengyun-3C GPS Radio Occultation Observations: First Results and Validation, *Advances in Meteorology*, 2019(1), 4780143. <https://doi.org/10.1155/2019/4780143>
- Judge, D. L., McMullin, D. R., Ogawa, H. S., Hovestadt, D., Klecker, B., Hilchenbach, M., Möbius, E., Canfield, L. R., Vest, R. E., Watts, R., Tarrío, C., Kühne M. ve Wurz, P., 1998, First solar EUV irradiances obtained from SOHO by the CELIAS/SEM, *In Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22: Proceedings of the SOLERS22 Workshop held at the National Solar Observatory*, Sacramento Peak, Sunspot, New Mexico, USA, 17–21 June 1996, 161-173, Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1023/A:1004929011427>
- Kanamori, H., Mori, J. ve Harkrider, D. G., 1994, Excitation of atmospheric oscillations by volcanic eruptions, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B11), 21947-21961. <https://doi.org/10.1029/94JB01475>
- Ke, F., Cui, W., Ming, L. ve Hu, X., 2024, Ionospheric response and the impact on GPS positioning accuracy during the Tonga volcano eruption on 15 January 2022, *Advances in Space Research*, 73(3), 1831–1842. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2023.10.042>

- Kelley, M. C., Wong, V. K., Aponte, N., Coker, C., Mannucci, A. J. ve Komjathy, A., 2009, Comparison of COSMIC occultation-based electron density profiles and TIP observations with Arecibo incoherent scatter radar data, *Radio Science*, 44(4) 44(04), 1-13. <https://doi.org/10.1029/2008RS004087>
- Kharayat, H. ve Prasad, L., 2017, Study of cosmic ray intensity and geomagnetic storms with solar wind parameters during the period 1998–2005, *Astrophysics and Space Science*, 362(1), 20. <https://doi.org/10.1007/S10509-016-2996-5>
- Kiruthiga, S., Mythili, S., Mukesh, R., Vijay, M. ve Venkata Ratnam, D., 2021, Analysis of TEC values predicted by OKSM amongst low, mid and high latitude GPS stations during X 9.3 solar flare, *Astrophysics and Space Science*, 366(8), 80. <https://doi.org/10.1007/S10509-021-03986-8>
- Komjathy, A., 1997, Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System, technical report, *Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick*, September 1997, Technical Report No. 217
- Komjathy, A. ve Langley, R., 1996, Assessment of predicted and measured ionospheric total electron content using a regional GPS network, *In Proceedings of the National Technical Meeting, Institute of Navigation*, January 1996, 615-624.
- Kornei, K., 2018, *There's a new aurora in subpolar skies. Its name is Steve* [online], Science, <https://www.science.org/content/article/there-s-new-aurora-subpolar-skies-its-name-steve> [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2024].
- Kumar, P. ve Pandeya, A., 2020, Effect Of Coronal Mass Ejection On The Earth's Magnetic Field During The Ascending And Descending Phase Of Solar Cycles-24, *International Journal Of Scientific Research*, 9(1), 52–54.
- Kuo-Feng, Y., Chu, Y.H., Su, C.L., Ko, H.T. ve Wang, C.Y., 2009, An Examination of FORMOSAT-3/COSMIC Ionospheric Electron Density Profile: Data Quality Criteria and Comparisons with the IRI Model, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 20(1), 193. [https://doi.org/10.3319/TAO.2007.10.05.01\(F3C\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2007.10.05.01(F3C))
- Kursinski, E. R., Hajj, G. A., Schofield, J. T., Linfield, R. P. ve Hardy, K. R., 1997, Observing Earth's atmosphere with radio occultation measurements using the Global Positioning System, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D19), 23429–23465. <https://doi.org/10.1029/97JD01569>
- Kutiev, I., Oyama, K. ve Abe, T., 2002, Analytical representation of the plasmasphere electron temperature distribution based on Akebono data *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 107(A12), SMP-24. <https://doi.org/10.1029/2002JA009494>
- Langley, R.B., 2002, Monitoring the ionosphere and neutral atmosphere with GPS *In Viewgraphs of invited presentation to the Canadian Association of Physicists Division of Atmospheric and Space Physics Workshop*.

- Langley, R. B., 2007, Propagation of the GPS Signals, *GPS for Geodesy*, 103–140, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-72011-6_3
- Le, H., Liu, L., He, H. ve Wan, W., 2011, Statistical analysis of solar EUV and X-ray flux enhancements induced by solar flares and its implication to upper atmosphere, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 116(A11). <https://doi.org/10.1029/2011JA016704>
- Lei, J., Syndergaard, S., Burns, A. G., Solomon, S. C., Wang, W., Zeng, Z., Roble, R. G. R., Wu, Q., Kuo, Y. H., Holt, J. M., Zhang, S. R., Hysell, D. L., Fabiano S. Rodrigues, F. S. ve Lin, C. H., 2007, Comparison of COSMIC ionospheric measurements with ground-based observations and model predictions: Preliminary results, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 112(A7). <https://doi.org/10.1029/2006JA012240>
- Li, J., Wang, S., Li, S., Xu, Z. ve Yang, J., 2021, Analysis of ionosphere response during high-speed solar wind stream in early August 2020, *Astrophysics and Space Science*, 366, 1–15. <https://doi.org/10.1007/S10509-021-03969-9>
- Li, M., Li, W., Shi, C., Jiang, K., Guo, X., Dai, X., Meng, X., Yang, Z., Yang, G. ve Liao, M., 2017, Precise orbit determination of the Fengyun-3C satellite using onboard GPS and BDS observations, *Journal of Geodesy*, 91, 1313–1327. <https://doi.org/10.1007/S00190-017-1027-9>
- Li, M., Yuan, Y., Wang, N., Li, Z. ve Huo, X., 2018, Performance of various predicted GNSS global ionospheric maps relative to GPS and JASON TEC data, *GPS Solutions*, 22, 1–11. <https://doi.org/10.1007/S10291-018-0721-2>
- Li, X., Barriot, J. P., Lou, Y., Zhang, W., Li, P. ve Shi, C., 2023, Towards Millimeter-Level Accuracy in GNSS-Based Space Geodesy: A Review of Error Budget for GNSS Precise Point Positioning, *Surveys in Geophysics*, 44(6), 1691–1780. <https://doi.org/10.1007/s10712-023-09785-w>
- Li, X., Zhang, B., Hu, Z., Hu, H., Liu, R., Yang, H. ve He, F., 2022, A comparative study of ionospheric TEC diurnal variations at two stations near cusp latitudes in the Southern Hemisphere, *Advances in Space Research*, 69(10), 3668–3676. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.03.008>
- Li, Z., Wang, N., Hernández-Pajares, M., Yuan, Y., Krankowski, A., Liu, A., Zha, J., García-Rigo, A., Roma-Dollase, D., Yang, H., Laurichesse, D. ve Blot, A., 2020, IGS real-time service for global ionospheric total electron content modeling, *Journal of Geodesy*, 94, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01360-0>
- Lin, C. H., Liu, J. Y., Fang, T. W., Chang, P. Y., Tsai, H. F., Chen, C. H. ve Hsiao, C. C., 2007, Motions of the equatorial ionization anomaly crests imaged by FORMOSAT-

- 3/COSMIC, *Geophysical Research Letters*, 34(19).
<https://doi.org/10.1029/2007GL030741>
- Lin, C., Lin, C. C., Liu, J., Rajesh, P. K., Matsuo, T., Chou, M., ... Yeh, W., 2020, The Early Results and Validation of FORMOSAT-7/COSMIC-2 Space Weather Products: Global Ionospheric Specification and Ne-Aided Abel Electron Density Profile *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125(10), 1–12.
<https://doi.org/10.1029/2020JA028028>
- Lin, C. H., Liu, J. Y., Hsiao, C. C., Liu, C. H., Cheng, C. Z., Chang, P. Y., Tsai, H. F., Fang, T. W., Chen, C. H. ve Hsu, M. L., 2009, Global Ionospheric Structure Imaged by FORMOSAT-3/COSMIC: Early Results, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 20(1), 171. [https://doi.org/10.3319/TAO.2008.01.18.01\(F3C\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2008.01.18.01(F3C))
- Lin, R., Luo, Z., He, J., Xie, L., Hou, C. ve Chen, S., 2024, Prediction of Solar Wind Speed Through Machine Learning From Extrapolated Solar Coronal Magnetic Field, *Space Weather*, 22(6), e2023SW003561.
<https://doi.org/10.1029/2023SW003561>
- Liu, J. Y., Chang, F. Y., Chen, Y. I., Chang, L. C., Wen, Y. C., Wu, T. Y. ve Chao, C. K., 2024, Pre-earthquake Ionospheric Anomalies and Ionospheric Storms Observed by FORMOSAT-5/AIP and GIM TEC, *Surveys in Geophysics*, 45(2), 577–602.
<https://doi.org/10.1007/s10712-023-09807-7>
- Liu, J. Y., Chuo, Y. J., Shan, S. J., Tsai, Y. B., Chen, Y. I., Pulinets, S. A. ve Yu, S. B., 2004, Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements, *In Annales geophysicae*, Göttingen, Germany: Copernicus Publications, 22(5), 1585-1593. <https://doi.org/10.5194/ANGE0-22-1585-2004>
- Liu, L. B., Wan, W. X., Chen, Y. D. ve Le, H. J., 2011, Solar activity effects of the ionosphere: A brief review, *Chinese Science Bulletin*, 56(12), 1202–1211.
<https://doi.org/10.1007/S11434-010-4226-9>
- Liu, Q., 2022, GNSS-based global ionospheric maps: real-time combination, time resolution and applications on space weather monitoring, Doktora Tezi, *Universitat Politècnica de Catalunya Departament de Física*, Barcelona,
<https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-367336>
- Liu, T., Zhang, B., Yuan, Y. ve Zhang, X., 2020b, On the application of the raw-observation-based PPP to global ionosphere VTEC modeling: an advantage demonstration in the multi-frequency and multi-GNSS context, *Journal of Geodesy*, 94(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01332-z>
- Liu, W., Lin, S., Hu, H., Guo, Y. ve Li, A., 2020a, Two Numerical Methods for the 3D Anisotropic Propagation of Galactic Cosmic Rays, *The Astrophysical Journal*, 892(1), 6. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab765a>
- Liu, Z. ve Gao, Y., 2004, Ionospheric TEC predictions over a local area GPS reference network, *GPS Solutions*, 8(1), 23–29. <https://doi.org/10.1007/s10291-004-0082-x>

- Liu, Z., Skone, S., Gao, Y. ve Komjathy, A., 2005, Ionospheric modeling using GPS data, *GPS Solutions*, 9(1), 63–66. <https://doi.org/10.1007/s10291-004-0129-z>
- Llewellyn, S. K. ve Bent, R. B., 1973, Documentation and Description of the Bent Ionospheric Model, *Defense Technical Information Center*. <https://doi.org/10.21236/AD0772733>
- López-Urias, C., Vazquez-Becerra, G. E., Nayak, K. ve López-Montes, R., 2023, Analysis of Ionospheric Disturbances during X-Class Solar Flares (2021–2022) Using GNSS Data and Wavelet Analysis, *Remote Sensing*, 15(18), 4626. <https://doi.org/10.3390/rs15184626>
- Marchetti, D., De Santis, A., Shen, X., Campuzano, S. A., Perrone, L., Piscini, A., Di Giovambattista, R., Jin, S., Ippolito, A., Cianchini, G., Cesaroni, C., Sabbagh, D., Spogli, L., Zhima, Z. ve Huang, J., 2020, Possible Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling effects prior to the 2018 Mw = 7.5 Indonesia earthquake from seismic, atmospheric and ionospheric data, *Journal of Asian Earth Sciences*, 188, 104097. <https://doi.org/10.1016/J.JSEAES.2019.104097>
- Martire, L., Runge, T. F., Meng, X., Krishnamoorthy, S., Vergados, P., Mannucci, A. J., Verkhoglyadova, O. P., Komjathy, A., Moore, A. W., Meyer, R. F., Ijima, B. A. ve Green, D. W., 2024, The JPL-GIM algorithm and products: multi-GNSS high-rate global mapping of total electron content, *Journal of Geodesy*, 98(5), 44. <https://doi.org/10.1007/s00190-024-01860-3>
- Meza, A. M., Brunini, C. A., Bosch, W. ve VanZele, M. A., 2002, Comparing vertical total electron content from GPS, Bent and IRI models with TOPEX-Poseidon, *Advances in Space Research*, 30(2), 401–406. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(02\)00314-9](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)00314-9)
- Milanowska, B., Wielgosz, P., Krypiak-Gregorczyk, A. ve Jarmołowski, W., 2021, Accuracy of Global Ionosphere Maps in Relation to Their Time Interval, *Remote Sensing*, 13(18), 3552. <https://doi.org/10.3390/rs13183552>
- Mishra, R. K., Mishra, D. ve Agarwal, R., 2024, Cosmic Rays and Space Weather Predictions : Exploring the Dynamic Universe, *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 10(4), 1642–1672.
- Mitra, A. P., 1974, Ionospheric Effects of Solar Flares , *Astrophysics and Space Science Library*, Springer Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 46. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-2231-6>
- Mooney, W. D., 2003, Continental Crust, *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 635–647. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00136-8>
- Moores, E. M. ve Twiss, R. J., 2014, Tectonics, Kaliforniya Üniversitesi, Davis, 130.
- Moses, M., Bilitza, D., Panda, S. K. ve Ochonugor, B. J., 2021, Assessment of IRI-2016 hmF2 model predictions with COSMIC observations over the African region,

- Advances in Space Research*, 68(5), 2115–2123.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.10.029>
- Nayak, K., López-Urías, C., Romero-Andrade, R., Sharma, G., Guzmán-Acevedo, G. M. ve Trejo-Soto, M. E., 2023a, Ionospheric Total Electron Content (TEC) Anomalies as Earthquake Precursors: Unveiling the Geophysical Connection Leading to the 2023 Moroccan 6.8 Mw Earthquake, *Geosciences*, 13(11), 319.
<https://doi.org/10.3390/geosciences13110319>
- Nayak, K., Romero-Andrade, R., Sharma, G., Zavala, J. L. C., Urias, C. L., Trejo Soto, M. E. ve Aggarwal, S. P., 2023b, A combined approach using b-value and ionospheric GPS-TEC for large earthquake precursor detection: a case study for the Colima earthquake of 7.7 Mw, Mexico, *Acta Geodaetica et Geophysica*, 58(4), 515–538. <https://doi.org/10.1007/s40328-023-00430-x>
- Nava, B., Coisson, P., ve Radicella, S.M., 2008, A new version of the NeQuick ionosphere electron density model, Aeronomy and Radiopropagation Laboratory, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Strada Costiera 11, 34014 Trieste, Italy, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70(15), 1856-1862.
- Nishino, M., Nozawa, S. ve Holtet, J. A., 1998, Daytime ionospheric absorption features in the polar cap associated with poleward drifting F-region plasma patches, *Earth, Planets and Space*, 50(2), 107–117. <https://doi.org/10.1186/BF03352092>
- Nohutcu, M., Karslioglu, M. O. ve Schmidt, M., 2010, B-spline modeling of VTEC over Turkey using GPS observations, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 72(7–8), 617–624. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2010.02.022>
- Nsume, P. A., Reinisch, B. W., Huang, X. ve Bilitza, D., 2010, Comparing topside and bottomside-measured characteristics of the F2 layer peak, *Advances in Space Research*, 46(8), 974–983. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.06.027>
- Odjik, D., 2002, Fast precise GPS positioning in the presence of ionospheric delays, *Mathematical Geodesy and Positioning Faculty of Civil Engineering and Geosciences*, Delft University of Technology, Netherlands.
- Okoh, D., Obafaye, A., Rabi, B., Seemala, G., Kashcheyev, A. ve Nava, B., 2021, New results of ionospheric total electron content measurements from a low-cost global navigation satellite system receiver and comparisons with other data sources, *Advances in Space Research*, 68(9), 3835–3845.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.07.018>
- Oljira, A., 2023, A study of Solar Flares and Geomagnetic Storms Impact on Total Electron Content Over High-Latitude Region During July- November 2021: The Case of Tromsø Station, *Advances in Space Research*, 72(9), 3868–3881.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.06.051>
- Olsen, N., Friis-Christensen, E., Floberghagen, R., Alken, P., Beggan, C. D., Chulliat, A., Doornbos, E., da Encarnação, J. T., Hamilton, B., Hulot, G., van den IJssel, J.,

- Kuvshinov, A., Lesur, V., Lühr, H., Macmillan, S., Maus, S., Noja, M., Olsen, P. E. H., Park, J., Plank, G., Püthe, C., Rauberg, J., Ritter, P., Rother, M., Sabaka, T. J., Schachtschneider, R., Sirol, O., Stolle, C., Thébault, E., Thomson, A. W. P., Tøffner-Clausen, L., Velínský, J., Pierre Vigneron, P. Ve Visser, P. N., 2013, The Swarm satellite constellation application and research facility (SCARF) and Swarm data products, *Earth, Planets and Space*, 65(11), 1189–1200. <https://doi.org/10.5047/EPS.2013.07.001>
- Olson, P., 2003, Mantle Convection and Plumes, *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 77–94. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00401-4>
- Ozdemir, B. N., Alcaay, S., Ogutcu, S., Pekgor, A., Seemala, G. K. ve Oztan, G., 2024, GRIMS: global and regional ionosphere monitoring system *GPS Solutions*, 28(4), 1–24, 154. <https://doi.org/10.1007/S10291-024-01702-x>
- Oztan, G ve Alcaay, S., 2022, Comparison Of JASON-3 TEC With Global Ionosphere Map (GIM), *Innovations And Technologies In Engineering*, 1, 247–257.
- Oztan, G., Duman, H., Alcaay, S., Ogutcu, S. ve Ozdemir, B. N., 2024, Analysis of Ionospheric VTEC Retrieved from Multi-Instrument Observations, *Atmosphere*, 15(6), 697. <https://doi.org/10.3390/ATMOS15060697>
- Öztan, G., 2018, GPS-TEC değerleri ile IRI-2012 ve IRI-PLAS modellerinin TEC kestirimlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1–142.
- Panda, S. K., Haralambous, H., Moses, M., Dabbakuti, J. R. K. K. ve Tariku, Y. A., 2021, Ionospheric and plasmaspheric electron contents from space-time collocated digisonde, COSMIC, and GPS observations and model assessments, *Acta Astronautica*, 179, 619–635. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.12.005>
- Papitashvili, N. E. ve King, J. H., 2020, OMNI Hourly Data Set [Data set] *NASA Space Physics Data Facility*. <https://doi.org/10.48322/1shr-ht18>
- Parkinson, B. W. ve Spilker, J. J. (Editörler), 1996, Progress in astronautics and aeronautics: Global positioning system: Theory and applications, *Stanford University*, 164(II), Aiaa.
- Parmentier, E. M., 2007, 7.07 - The Dynamics and Convective Evolution of the Upper Mantle, *Treatise on Geophysics*, 1–10, 305–323. <https://doi.org/10.1016/B978-044452748-6.00121-8>
- Pedatella, N. M., Yue, X. ve Schreiner, W. S., 2015, An improved inversion for FORMOSAT-3/COSMIC ionosphere electron density profiles, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 120(10), 8942–8953. <https://doi.org/10.1002/2015JA021704>
- Perez, R. O., 2005, Contributions on the improvement, assessment and application of the Global Ionospheric VTEC Maps computed with GPS data, Doktora Tezi, *Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*, Barselona, İspanya.

- Pieri, D. C. ve Dziewonski, A. M., 2007, Earth as a Planet: Surface and Interior, *Encyclopedia of the Solar System*, 445-478. <https://doi.org/10.1016/B978-012088589-3/50014-1>
- Piersanti, M., Pezzopane, M., Zhima, Z., Diego, P., Xiong, C., Tozzi, R., Pignalberi, A., D'Angelo, G., Battiston, R., Huang, J., Picozza, P., Rui, Y., Shen, X., Sparvoli, R., Ubertini, P., Yang, Y. ve Zoffoli, S., 2021, Can an impulsive variation of the solar wind plasma pressure trigger a plasma bubble? A case study based on CSES, Swarm and THEMIS data, *Advances in Space Research*, 67(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.07.046>
- Ping, J., Kono, Y., Matsumoto, K., Otsuka, Y., Saito, A., Shum, C., Heki, K. ve Kawano, N., 2002, Regional ionosphere map over Japanese Islands, *Earth, Planets and Space*, 54(12), e13–e16. <https://doi.org/10.1186/BF03352450>
- Polatoğlu, A., 2024, Kozmik Işınlr: Temelleri ve Uygulamaları, *Anatolia Science and Technology Journal*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13760412>
- Poole, I., 2002, Understanding solar indices, *QST-NEWINGTON*, 86(9), 38-40.
- Purucker, M. E. ve Whaler, K. A., 2007, Crustal Magnetism, *Treatise on Geophysics*, 5, 195–237. <https://doi.org/10.1016/B978-044452748-6.00091-2>
- Qian, L., Burns, A. G., Chamberlin, P. C. ve Solomon, S. C., 2010, Flare location on the solar disk: Modeling the thermosphere and ionosphere response, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 115(A9). <https://doi.org/10.1029/2009JA015225>
- Radicella, S. M. ve Leitinger, R., 2001, The evolution of the DGR approach to model electron density profiles, *Advances in Space Research*, 27(1), 35–40. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(00\)00138-1](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(00)00138-1)
- Rahman, M. M., McCauley, P. I. ve Cairns, I. H., 2019, On the Relative Brightness of Coronal Holes at Low Frequencies, *Solar Physics*, 294(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1396-8>
- Reinisch, B. W., Haines, D. M., Bibl, K., Cheney, G., Galkin, I. A., Huang, X., Myers, S. H., Sales, G. S., Benson, R. F., Fung, S. F., Green, J. L., Boardsen, S., Taylor, W. W. L., Bougeret, J.L., Manning, R., Meyer-Vernet, N., Moncuquet, M., Carpenter, D. L., Gallagher, D. L. ve Reiff, P., 2000, The radio plasma imager investigation on the image spacecraft, *the IMAGE Mission*, 91(1–2), 319–359. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4233-5_11
- Ren, X., Chen, J., Li, X., Zhang, X. ve Freeshah, M., 2019, Performance evaluation of real-time global ionospheric maps provided by different IGS analysis centers, *GPS Solutions*, 23(4), 1–17. <https://doi.org/10.1007/S10291-019-0904-5>

- Richards, P. G., Bilitza, D. ve Voglozin, D., 2010, Ion density calculator (IDC): A new efficient model of ionospheric ion densities, *Radio Science*, 45(5), 1-11. <https://doi.org/10.1029/2009RS004332>
- Richardson, I. G., Cane, H. V. ve Cliver, E. W., 2002, Sources of geomagnetic activity during nearly three solar cycles (1972–2000), *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 107(A8), SSH 8-13. <https://doi.org/10.1029/2001JA000504>
- Rieger, M. ve Leitinger, R., 2002, The effect of Travelling Ionospheric Disturbances (TIDs) on GNSS User System, *Proc. 27th General Assembly of URSI*, Maastricht, The Netherlands.
- Rishbeth, H., 2006, F-region links with the lower atmosphere?, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 68(3–5), 469–478. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2005.03.017>
- Rishbeth, H., Mendillo, M., Wroten, J. ve Roble, R. G., 2009, Day-by-day modelling of the ionospheric F2-layer for year 2002, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 71(8–9), 848–856. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.03.022>
- Roy, A. E. ve Clarke, D., 1982, Astronomy: structure of the universe, *Adam Hilger*, Bristol, 297.
- Saad Farid, A. I., 2019, High frequency spectral features of galactic cosmic rays at different rigidities during the ascending and maximum phases of the solar cycle 24, *Astrophysics and Space Science*, 364(4), 1–6. <https://doi.org/10.1007/S10509-019-3544-x>
- Salwa Wan Hassan, W., Faizal MohdZain, A., Ghaffar Ramli, A., Yih Hwa, H. ve Abdullah, M., 2002, Studies on Equatorial Total Electron Content Near Solar Maximum Activity from 1998-2000 XXVII. *General Assembly of the International Union of Radio Science*.
- Schaer, S., 1999, Mapping and predicting the Earth's ionosphere using the Global Positioning System, *Doktora Tezi, University of Berne*, Berne, 228.
- Schaer, S., Gurtner, W. ve Feltens, J., 1998, IONEX: The ionosphere map exchange format version 1.1, 25 February 1998.
- Schreiner, W., Rocken, C., Sokolovskiy, S., Syndergaard, S. ve Hunt, D., 2007, Estimates of the precision of GPS radio occultations from the COSMIC/FORMOSAT-3 mission, *Geophysical Research Letters*, 34(4). <https://doi.org/10.1029/2006GL027557>
- Schreiner, W. S., Sokolovskiy, S. V., Rocken, C. ve Hunt, D. C., 1999, Analysis and validation of GPS/MET radio occultation data in the ionosphere, *Radio Science*, 34(4), 949–966. <https://doi.org/10.1029/1999RS900034>
- Segall, P., 2010, Earthquake and Volcano Deformation, *Princeton: University Press*. <https://doi.org/10.1515/9781400833856>

- Sezen, U., Gulyaeva, T. L. ve Arikan, F., 2018a, Online computation of International Reference Ionosphere Extended to Plasmasphere (IRI-Plas) model for space weather, *Geodesy and Geodynamics*, 9(5), 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2018.06.004>
- Sezen, U., Gulyaeva, T. L. ve Arikan, F., 2018b, Performance of Solar Proxy Options of IRI-Plas Model for Equinox Seasons, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123(2), 1441–1456. <https://doi.org/10.1002/2017JA024994>
- Shah, M. ve Jin, S., 2015, Statistical characteristics of seismo-ionospheric GPS TEC disturbances prior to global $M_w \geq 5.0$ earthquakes (1998–2014), *Journal of Geodynamics*, 92, 42–49. <https://doi.org/10.1016/J.JOG.2015.10.002>
- Shah, M. ve Jin, S., 2018, Pre-seismic ionospheric anomalies of the 2013 $M_w = 7.7$ Pakistan earthquake from GPS and COSMIC observations, *Geodesy and Geodynamics*, 9(5), 378–387. <https://doi.org/10.1016/J.GEOG.2017.11.008>
- Shah, M., Ahmed, A., Ehsan, M., Khan, M., Tariq, M. A., Calabria, A. ve Rahman, Z. ur, 2020a, Total electron content anomalies associated with earthquakes occurred during 1998–2019, *Acta Astronautica*, 175, 268–276. <https://doi.org/10.1016/J.ACTAASTRO.2020.06.005>
- Shah, M., Aibar, A. C., Tariq, M. A., Ahmed, J. ve Ahmed, A., 2020b, Possible ionosphere and atmosphere precursory analysis related to $M_w > 6.0$ earthquakes in Japan, *Remote Sensing of Environment*, 239, 111620. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2019.111620>
- Shah, M., Inyurt, S., Ehsan, M., Ahmed, A., Shakir, M., Ullah, S. ve Iqbal, M. S., 2020c, Seismo ionospheric anomalies in Turkey associated with $M_w \geq 6.0$ earthquakes detected by GPS stations and GIM TEC, *Advances in Space Research*, 65(11), 2540–2550. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2020.03.005>
- Shah, M., Shahzad, R., Jamjareegulgarn, P., Ghaffar, B., Oliveira-Júnior, J. F. de, Hassan, A. M. ve Ghamry, N. A., 2023, Machine-learning-based lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling associated with $M_w > 6$ earthquakes in America, *Atmosphere*, 14(8), 1236. <https://doi.org/10.3390/atmos14081236>
- Shah, M., Tariq, M. A., Ahmad, J., Naqvi, N. A. ve Jin, S., 2019a, Seismo ionospheric anomalies before the 2007 $M7.7$ Chile earthquake from GPS TEC and DEMETER, *Journal of Geodynamics*, 127, 42–51. <https://doi.org/10.1016/J.JOG.2019.05.004>
- Shah, M., Tariq, M. A. ve Naqvi, N. A., 2019b, Atmospheric anomalies associated with $M_w > 6.0$ earthquakes in Pakistan and Iran during 2010–2017, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 191, 105056. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.06.003>
- Sharma, G., Nayak, K., Romero-Andrade, R., Aslam, M. A. M., Sarma, K. K. ve Aggarwal, S. P., 2024, Low Ionosphere Density Above the Earthquake Epicentre Region of $M_w 7.2$, El Mayor–Cucapah Earthquake Evident from Dense CORS

- Data, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 52(3), 543–555. <https://doi.org/10.1007/S12524-024-01837-X>
- Shubin, V. N. ve Gulyaeva, T. L., 2021, Solar forcing on the ionosphere: Global model of the F2 layer peak parameters driven by re-calibrated sunspot numbers, *Acta Astronautica*, 179, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.10.029>
- Simpson, J. A., 1983, Elemental and Isotopic Composition of the Galactic Cosmic Rays, *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 33, 323–382.
- Singh, A. K., Haralambous, H., Oikonomou, C. ve Leontiou, T., 2021, A topside investigation over a mid-latitude digisonde station in Cyprus, *Advances in Space Research*, 67(2), 739–748. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.10.009>
- Skone, S. ve Cannon, M. E., 1999, Ionospheric effects on differential GPS applications during auroral substorm activity, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(4), 279–288. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00017-9)
- Soumya Roy, Prasad, A., Panja, S. C., Ghosh, K. ve Patra, S. N., 2019, A Search for Periodicities in F10.7 Solar Radio Flux Data, *Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы*, 53(3), 240–240. <https://doi.org/10.1134/S0320930X1903006X>
- Spilker Jr., J. J., Axelrad, P., Parkinson, B. W. ve Enge, P. (Ed.), 1996, Global Positioning System: Theory and Applications, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, (I), Washington DC. <https://doi.org/10.2514/4.866388>
- Spogli, L., Sabbagh, D., Regi, M., Cesaroni, C., Perrone, L., Alfonsi, L., Di Mauro, D., Lepidi, S., Campuzano, S. A., Marchetti, D., De Santis, A., Malagnini, A., Scotto, C., Cianchini, G., Shen, X. H., Piscini, A. ve Ippolito, A., 2021, Ionospheric Response Over Brazil to the August 2018 Geomagnetic Storm as Probed by CSES-01 and Swarm Satellites and by Local Ground-Based Observations, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126(2), 1–21, e2020JA028368. <https://doi.org/10.1029/2020JA028368>
- Srivastava, P., Yadav, S. ve Singh, A. K., 2024, Appraising the impact of space radiation on the terrestrial environment, *Indian Journal of Physics*, 98(12), 3837–3851. <https://doi.org/10.1007/s12648-024-03150-2>
- Stein, S. ve Stein, C. A., 2004, Lithosphere, Energy Flows in, *Encyclopedia of Energy*, 663–669. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00052-8>
- Stewart, P. J. ve Langley, R. B., 1998, Ionospheric Modeling for WADGPS at Northern Latitudes, *Proceedings of the 11th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1998)*, Nashville, TN, September 1998, 757–765.
- Süzer, A. E. ve Oktal, H., 2019, GPS L1 Sinyal Simülasyonu ve Arayüz Tasarımı, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(2), 359–371. <https://doi.org/10.29109/gujsc.517749>

- Şentürk, E., 2018, Türkiye'deki depremlerin sismik-iyonosferik öncüllerinin GPS/GNSS ölçüleriyle zamansal, mekansal, spektral ve istatistiksel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 136.
- Şentürk, E., 2021, Küresel İyonsfer Haritalarının Türkiye'deki Performansının GNSS Verileriyle İstatistiksel Olarak İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 247–255. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236721>
- Şentürk, E. ve Çepni, M. S., 2019, Performance of different weighting and surface fitting techniques on station-wise TEC calculation and modified sine weighting supported by the sun effect, *Journal of Spatial Science*, 64(2), 209–220. <https://doi.org/10.1080/14498596.2017.1417169>
- Şentürk, E., Arçim Adil, M. ve Saqib, M., 2021, Ionospheric total electron content response to annular solar eclipse on June 21, 2020, *Advances in Space Research*, 67(6), 1937–1947. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.12.024>
- Teunissen, P. J. G. ve Kleusberg, A. (Editörler), 1998, GPS for Geodesy, *Springer Berlin Heidelberg*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72011-6>
- Thiemann, E. M. B., Eparvier, F. G., Woodraska, D., Chamberlin, P. C., Machol, J., Eden, T., Jones, A. R., Meisner, R., Mueller, S., Snow, M., Viereck, R. ve Woods, T. N., 2019, The GOES-R EUVS model for EUV irradiance variability, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 9, A43. <https://doi.org/10.1051/SWSC/2019041>
- Todorova, S., Hobiger, T., Weber, R. ve Schuh, H., 2003, Regional ionosphere modelling with GPS and comparison with other techniques, *In proceeding of: Proceedings of the Symposium "Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World"*, November 2003, 06-07.
- Turcotte, D. L., 2003, Solid Earth Geophysics, *Tectonophysics*, 499–511, Cornell University, Ithaca, New York.
- Turunen, T. ve Rao, M. M., 1980, Examples of the influence of strong magnetic storms on the equatorial F-layer, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 42(4), 323–330. [https://doi.org/10.1016/0021-9169\(80\)90041-0](https://doi.org/10.1016/0021-9169(80)90041-0)
- Uga, C. I., Gautam, S. P. ve Seba, E. B., 2024, TEC disturbances caused by CME-triggered geomagnetic storm of September 6–9, 2017, *Heliyon*, 10(10), e30725. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30725>
- Ugonabo, O. J., Ugwu, E. B. I., Okpala, K. C. ve Amanekwe, G. C., 2024, Geomagnetic Storm Variation of Vertical Total Electron Content (VTEC) Over Some Euro-African Stations, *Physical Science International Journal*, 28(1), 23–34. <https://doi.org/10.9734/psij/2024/v28i1818>
- Ulukavak, M. ve Yalcinkaya, M., 2018, Analysis of Ionospheric Anomalies due to Space Weather Conditions by using GPS-TEC Variations, *26th FIG Congress*, İstanbul.

- URL-1: The *Atmosphere* [online], National Oceanic and Atmospheric Administration, <https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere> [Ziyaret Tarihi: 12 Kasım 2024].
- URL-2: *Güneş Sistemini Tanıyalım: Dünya* [online], TÜBİTAK Bilim Genç, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/gunes-sistemini-taniyalim-dunya> [Ziyaret Tarihi: 8 Ocak 2025].
- URL-3: *Atmosfer ve Hava Olayları* [online], Coğrafyacı, <https://www.cografyaci.gen.tr/atmosfer-ve-hava-olaylari/> [Ziyaret Tarihi: 8 Ocak 2025].
- URL-4: *IONOLAB* [online], İyonosfer Araştırma Laboratuvarı, <https://www.ionolab.org/index.php?page=ionosphere&language=tr> [Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2024].
- URL-5: *Anasofiapaixao* [online], File:Earth-cutaway-schematic-english.svg, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=47934010> [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2024].
- URL-6: *File:Plates tect2 en.svg* [online], http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plates_tect2_en.svg [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2024].
- URL-7: *Litosfer ve astenosferin yapısı* [online], <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49035989> [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2024].
- URL-8: *Deprem Nedir?* [online], <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/bilgi/depremnedir/index.htm#KONU9> [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2024].
- URL-9: *Okyanus ortası sırtı - Vikipedi* [online], https://tr.wikipedia.org/wiki/Okyanus_ortasi_sirti [Ziyaret Tarihi: 9 Ocak 2025].
- URL-10: *Volkan nedir? Volkanlar Nasıl Oluşur? Volkanlar Nereelerde Oluşur?* [online], TÜBİTAK Bilim Genç, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/volkanlar-hakkinda-hersey> [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2024].
- URL-11: *Let's learn about volcanoes* [online], <https://www.snexplores.org/article/lets-learn-about-volcanoes> [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2024].
- URL-12: *10 Interesting Facts About Volcanoes* [online], Universe Today, <https://www.universetoday.com/32185/10-interesting-facts-about-volcanoes/> [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2024].
- URL-13: *Volcano* [online], Definition, Types, & Facts, Britannica, <https://www.britannica.com/science/volcano> [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2024].
- URL-14: *Space Weather Phenomena* [online], NOAA / NWS Space Weather Prediction Center, <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena> [Ziyaret Tarihi: 3 Kasım 2024].
- URL-15: *What is Space Weather ?* [online], Space Weather, <https://swe.ssa.esa.int/what-is-space-weather> [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2024].
- URL-16: *Space Weather* [online], Australian Bureau of Meteorology, <https://www.sws.bom.gov.au/> [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2024].
- URL-17: *Space Weather Research Explorer: Space Weather and You* [online], <https://annex.exploratorium.edu/spaceweather/holes.html> [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2024].
- URL-18: *What is a coronal hole?* [online], <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/what-is-a-coronal-hole.html> [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2024].
- URL-19: *Solar Flares* [online], <https://hesperia.gsfc.nasa.gov/sfttheory/flare.htm> [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2024].

- URL-20: *What is a Solar Flare?* [online], NASA Science, <https://science.nasa.gov/science-research/heliophysics/space-weather/solar-flares/what-is-a-solar-flare#q3> [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2024].
- URL-21: *Sunspots and Solar Flares* [online], NASA Space Place, <https://spaceplace.nasa.gov/solar-activity/en/> [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2024].
- URL-22: *Space Weather* [online], <https://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/spaceweather.htm> [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2024].
- URL-23: *SILSO* [online], SIDC, <https://www.sidc.be/SILSO/home> [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2024].
- URL-24: *Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü* [online], <https://astronomi.istanbul.edu.tr/gunesgozlemaylik.php> [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2024].
- URL-25: *CME (Koronal Kütle Atımı)* [online], Güneş Fiziği, <https://www.gunesfizigi.com/cme-koronal-kutle-atimi/> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-26: *StereoCat* [online], <https://ccmc.gsfc.nasa.gov/analysis/stereo/> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-27: *What is a coronal mass ejection or CME?* [online], NASA, <https://www.nasa.gov/image-article/what-coronal-mass-ejection-or-cme/> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-28: *Solar Radiation Storm* [online], NOAA / NWS Space Weather Prediction Center, <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-radiation-storm> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-29: *What is a solar radiation storm?* [online], <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/what-is-a-solar-radiation-storm.html> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-30: *Solar Wind* [online], NOAA / NWS Space Weather Prediction Center, <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-wind> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-31: *Solar wind: What is it and how does it affect Earth?* [online], Space, <https://www.space.com/22215-solar-wind.html> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-32: *Cosmic Rays* [online], https://pages.uoregon.edu/jschombe/glossary/cosmic_rays.html [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-33: *ESA - ESA missions team up to map cosmic rays across Solar System* [online], https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/ESA_missions_team_up_to_map_cosmic_rays_across_Solar_System [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-34: *Galactic Cosmic Rays* [online], NOAA / NWS Space Weather Prediction Center, <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/galactic-cosmic-rays> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-35: *Ionospheric scintillation monitoring (IONO+)* [online], <https://www.septentrio.com/en/learn-more/Advanced-positioning-technology/gnss-technology/ionospheric-scintillation-monitoring> [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2024].
- URL-36: *What Are Geomagnetic Storms? Space Weather Analysis and Impacts* [online], <https://www.treehugger.com/what-is-a-geomagnetic-storm-5191064> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].

- URL-37: *GEOMAGNETIC STORM destroyed 40 STARLINK SATELLITES* [online], UPSC Colorfull notes, <https://upscolorfullnotes.com/geomagnetic-storm/> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-38: *What are the hazards of magnetic storms?* [online], U.S. Geological Survey, <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-hazards-magnetic-storms> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-39: *Kp Index* [online], <https://kp.gfz-potsdam.de/en/> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- URL-40: *Jeomanyetik Fırtınalar* [online], <https://www.kuark.org/2012/07/jeomanyetik-firtinalar/> [Ziyaret Tarihi: 2 Kasım 2024].
- URL-41: *METHOD OF DERIVATION OF THE Dst INDEX* [online], <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst2/onDstindex.html> [Ziyaret Tarihi: 23 Ekim 2024].
- URL-42: *Geomagnetic Equatorial Dst index Home Page* [online], <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/> [Ziyaret Tarihi: 23 Ekim 2024].
- URL-43: *OMNIWeb Data Explorer* [online], <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> [Ziyaret Tarihi: 4 Ağustos 2021].
- URL-44: *Solar radio flux - plot of monthly averages* [online], <https://www.spaceweather.gc.ca/forecast-prevision/solar-solaire/solarflux/sx-6-mavg-en.php> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-45: *Carnicom Institute – Research for the Benefit of Humanity* [online], <https://carnicominstitute.org/> [Ziyaret Tarihi: 23 Ekim 2024].
- URL-46: *NeQuick model — T/ICT4D* [online], <https://t-ict4d.ictp.it/nequick2> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-47: *International Reference Ionosphere* [online], <https://irimodel.org/> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-48: *IRI* [online], Instant Run, CCMC, <https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/instantrun/iri/> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-49: *IRI-Plas 2017 Online* [online], <https://www.ionolab.org/iriplasonline/index.php?locale=tr> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-50: *CDDIS* [online], archive, gnss, products, <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/ionex/> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-51: *Index of /CODE/* [online], <http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-52: *GPS/MET* [online], Constellation Observing System for Meteorology Ionosphere and Climate, <https://www.cosmic.ucar.edu/what-we-do/gps-met> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-53: *CDAAC: COSMIC Data Analysis and Archive Center* [online], <https://cdaac-www.cosmic.ucar.edu/cdaac/index.html> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-54: *TACC-Taiwan Data Process Center* [online], <https://tacc.cwa.gov.tw/v2/en/index.html> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-55: *FENGYUN Satellite Data Center* [online], <https://satellite.nsmc.org.cn/portalsite/default.aspx> [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2024].
- URL-56: *Swarm Level 2 daily - Earth Online* [online], <https://earth.esa.int/eogateway/catalog/swarm-level-2-daily> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-57: *VirES for Swarm* [online], <https://vires.services/#Data> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].

- URL-58: *Jason-3 Products Handbook* [online], https://www.ospo.noaa.gov/Products/documents/hdbk_j3.pdf [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-59: *CLS and CNES, AVISO USER HANDBOOK MERGED TOPEX/POSEIDON* [online], https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=CLS.+and+CNES.%2C+AVISO+USER+HANDBOOK+MERGED+TOPEX%2FPOSEIDON+PRODUCTS+%28GDR-Ms%29.+Jul.+1996.&btnG=#d=gs_cit&t=1732644609296&u=%252Fscholar%253Fq%253Dinfo%253AopxxFvZdBoEJ%253Ascholar.google.com%252F%2526output%25 [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-60: *Jason-1 Products Handbook* [online], https://www.aviso.altimetry.fr/fileadmin/documents/data/tools/hdbk_j1_gdr.pdf [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-61: *Jason-2: Aviso+* [online], <https://www.aviso.altimetry.fr/en/missions/past-missions/jason-2.html> [Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2024].
- URL-62: *Index of /gnss-ro/* [online], <https://data.cosmic.ucar.edu/gnss-ro/> [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2024].
- URL-63: *Index of /data* [online], <https://www.ncei.noaa.gov/data/> [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2024].
- URL-64: *Swarm Data Access* [online], https://swarm-diss.eo.esa.int/#swarm/Level2daily/Latest_baselines [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2024].
- Ünal, İ., Aksaç, K. ve Timoçin, E., 2017, Kuzey Yarımküredeki Yüksek Enlem foF2 Değerlerindeki Değişimlerin Jeomanyetik Aktiviteye Bağlılığı, *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi - B Teorik Bilimler*, 5(2), 138–147. <https://doi.org/10.20290/aubtdb.304375>
- Vishnu Vardhan, A., Babu Sree Harsha, P., Venkata Ratnam, D. ve Upadhayaya, A. K., 2020, Low latitude ionospheric response to March 2015 geomagnetic storm using multi-instrument TEC observations over India, *Astrophysics and Space Science*, 365(12). <https://doi.org/10.1007/s10509-020-03900-8>
- Waldmeier, M., 1956, Synoptische Karten der Sonnenkorona. Mit 16 Textabbildungen, *Zeitschrift für Astrophysik*, 38, 219.
- Wang, C., Shi, C., Fan, L. ve Zhang, H., 2018, Improved Modeling of Global Ionospheric Total Electron Content Using Prior Information, *Remote Sensing*, 10(1), 63. <https://doi.org/10.3390/rs10010063>
- Wang, N., 2018, Lagrangian Coherent Structures in Ionospheric-Thermospheric Flows, Doktora Tezi, *Illinois Institute of Technology*
- Wang, Y.-M. ve Ko, Y.-K., 2019, Observations of Slow Solar Wind from Equatorial Coronal Holes, *The Astrophysical Journal*, 880(2), 146. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab2add>
- Wanninger, L., 1999, The performance of virtual reference station in active geodetic GPS-Networks under solar maximum conditions, *In Proceedings of the 12th*

International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1999), September 1999, 1419-1428.

- Warnant, R., 1998, Detection of irregularities in the total electron content using GPS measurements - Application to a mid-latitude station, *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 33(1), 121–128. <https://doi.org/10.1007/BF03325529>
- Warnant, René ve Pottiaux, E., 2000, The increase of the ionospheric activity as measured by GPS, *Earth, Planets and Space*, 52(11), 1055–1060. <https://doi.org/10.1186/BF03352330>
- Webb, P. A. ve Essex, E. A., 2000, An ionosphere-plasmasphere global electron density model, *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science*, 25(4), 301–306. [https://doi.org/10.1016/S1464-1917\(00\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S1464-1917(00)00021-0)
- Webb, P. A. ve Essex, E. A., 2004, A dynamic global model of the plasmasphere, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 66(12), 1057–1073. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2004.04.001>
- Wild, U., 1994, Ionosphere and geodetic satellite systems : permanent GPS tracking data for modelling and monitoring, *Geod.-Geophys. Arb. Schweiz*, 48.
- Xu, J., Wang, Q., Ke, F., Zhang, B., Yan, C. ve Zhang, H., 2021, Analysis of ionospheric parameters retrieved from Feng-Yun 3C and COSMIC radio occultation, *Advances in Space Research*, 68(1), 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.03.005>
- Ya'acob, N., Abdullah, M., Ismail, M., 2010, GPS Total Electron Content (TEC) Prediction at Ionosphere Layer over the Equatorial Region, *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/8474>
- Yang, Y., Liu, L., Zhao, X., Han, T., Arslan Tariq, M., Chen, Y., Zhang, H., Le, H., Zhang, R., Li, W., Sun, W. ve Li, G., 2024, A quantitative analysis of latitudinal variation of ionospheric total electron content and comparison with IRI-2020 over China, *Advances in Space Research*, 73(7), 3808–3817. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.05.040>
- Yashiro, S., Gopalswamy, N., Michalek, G., St. Cyr, O. C., Plunkett, S. P., Rich, N. B. ve Howard, R. A., 2004, A catalog of white light coronal mass ejections observed by the SOHO spacecraft, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 109(A7). <https://doi.org/10.1029/2003JA010282>
- Younas, W., Khan, M., Amory-Mazaudier, C. ve Amaechi, P. O., 2022, Ionospheric Response to the Coronal Hole Activity of August 2020: A Global Multi-Instrumental Overview, *Space Weather*, 20(12), e2022SW003176. <https://doi.org/10.1029/2022SW003176>
- Yue, X., Schreiner, W. S., Pedatella, N., Anthes, R. A., Mannucci, A. J., Straus, P. R. ve Liu, J.-Y., 2014, Space Weather Observations by GNSS Radio Occultation: From FORMOSAT-3/COSMIC to FORMOSAT-7/COSMIC-2, *Space Weather*, 12(11), 616–621. <https://doi.org/10.1002/2014SW001133>

- Zhang, D. ve Xiao, Z., 2002, Correlative ionospheric disturbances in the sunlit hemisphere during the flare on July 14 *Chinese Science Bulletin*, (47). <https://doi.org/10.1007/BF02907563>
- Zhang, D. H., Mo, X. H., Cai, L., Zhang, W., Feng, M., Hao, Y. Q. ve Xiao, Z., 2011, Impact factor for the ionospheric total electron content response to solar flare irradiation, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 116(A4). <https://doi.org/10.1029/2010JA016089>
- Zhang, R., Le, H., Li, W., Ma, H., Yang, Y., Huang, H., Li, Q., Zhao, X., Xie, H., Sun, W., Li, G., Chen, Y., Zhang, H. ve Liu, L., 2020, Multiple Technique Observations of the Ionospheric Responses to the 21 June 2020 Solar Eclipse, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125(12), 1–15, e2020JA028450. <https://doi.org/10.1029/2020JA028450>
- Zhang, R., Li, H., Shen, Y., Yang, J., Li, W., Zhao, D. ve Hu, A., 2025, Deep Learning Applications in Ionospheric Modeling: Progress, Challenges, and Opportunities, *Remote Sensing*, 17(1), 124. <https://doi.org/10.3390/rs17010124>
- Zhang, S., Nishimura, Y., Erickson, P. J., Aa, E., Kil, H., Deng, Y., Thomas, E. G., Rideout, W., Coster, A. J., Kerr, R. ve Vierinen, J., 2022, Traveling Ionospheric Disturbances in the Vicinity of Storm-Enhanced Density at Midlatitudes, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127(8), e2022JA030429. <https://doi.org/10.1029/2022JA030429>
- Zhang, Y., Paxton, L. J., Bilitza, D. ve Doe, R., 2010, Near real-time assimilation in IRI of auroral peak E-region density and equatorward boundary, *Advances in Space Research*, 46(8), 1055–1063. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.06.029>
- Zhao, B., Wan, W., Yue, X., Liu, L., Ren, Z., He, M. ve Liu, J., 2011, Global characteristics of occurrence of an additional layer in the ionosphere observed by COSMIC/FORMOSAT-3, *Geophysical Research Letters*, 38(2). <https://doi.org/10.1029/2010GL045744>
- Zhao, J., Hernández-Pajares, M., Li, Z., Wang, N. ve Yuan, H., 2021, Integrity investigation of global ionospheric TEC maps for high-precision positioning, *Journal of Geodesy*, 95(3), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01487-8>
- Zolesi, B. ve Cander, L. R., 2014, Ionospheric prediction and forecasting, *Ionospheric Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg*, 1–240. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38430-1/COVER>
- Zou, Y., 2010, Ionospheric anomalies detected by GPS TEC measurements during two strong earthquakes in Indonesia, *In 2010 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology-ESIAT*, 2, 199–202. <https://doi.org/10.1109/ESIAT.2010.5567309>

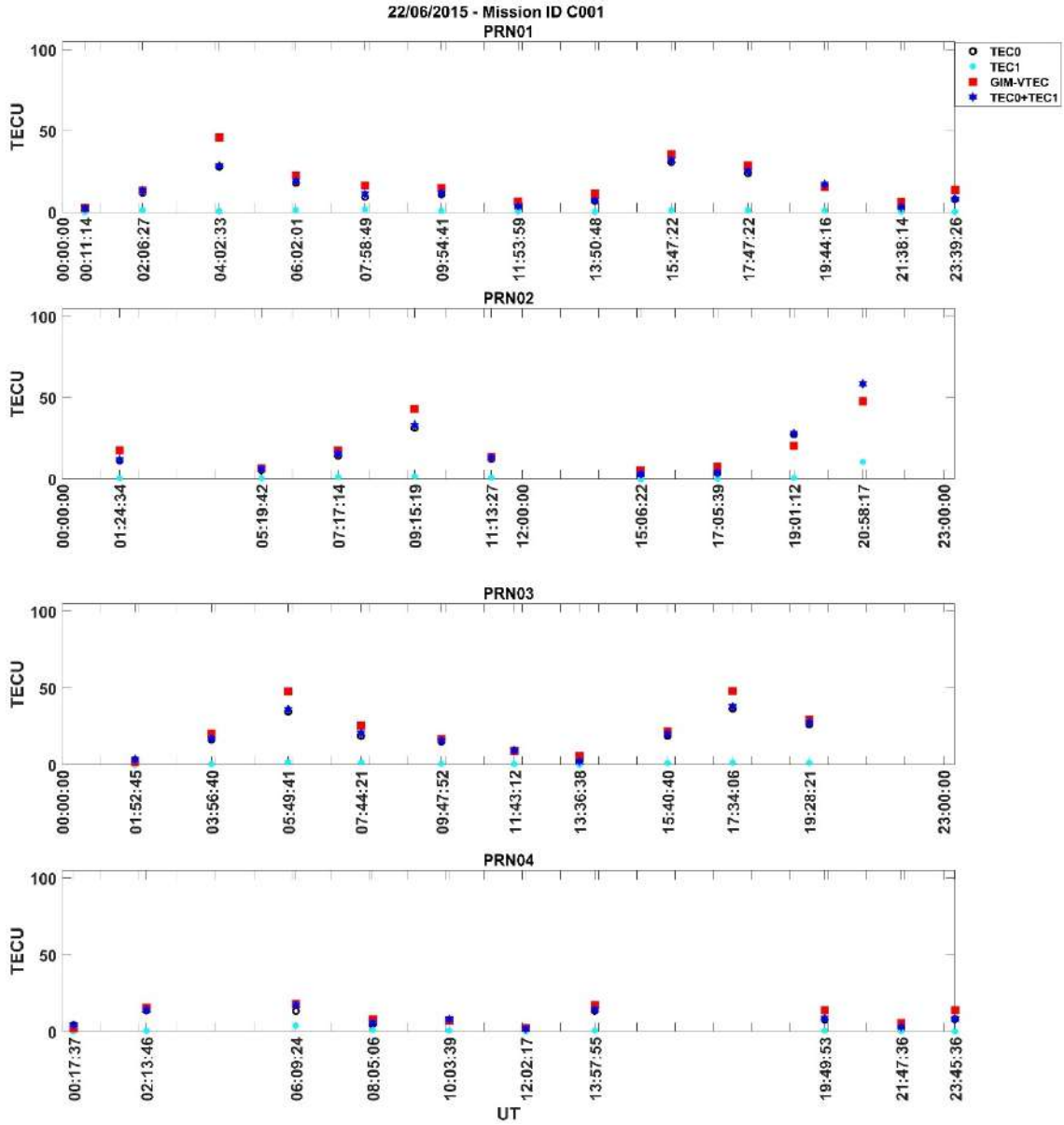
EKLER

EK- 1 COSMIC RO VTEC değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	139
EK- 2 FY3C RO VTEC değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	230
EK- 3 JASON VTEC değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	283
EK- 4 SWARM VTEC değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	285
EK- 5 COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2016, 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	293
EK- 6 FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2016, 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	295
EK- 7 JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2016, 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	297
EK- 8 SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2016, 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri.....	299
EK- 9 COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki yıllık (aktif günler ve sakin günler) dağılım grafikleri.....	301
EK- 10 FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki yıllık (aktif günler ve sakin günler) dağılım grafikleri.....	302
EK- 11 JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki yıllık (aktif günler ve sakin günler) dağılım grafikleri.....	303
EK- 12 SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki yıllık (aktif günler ve sakin günler) dağılım grafikleri.....	304
EK- 13 COSMIC RO VTEC değerleri konumları; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015) ve ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler	305

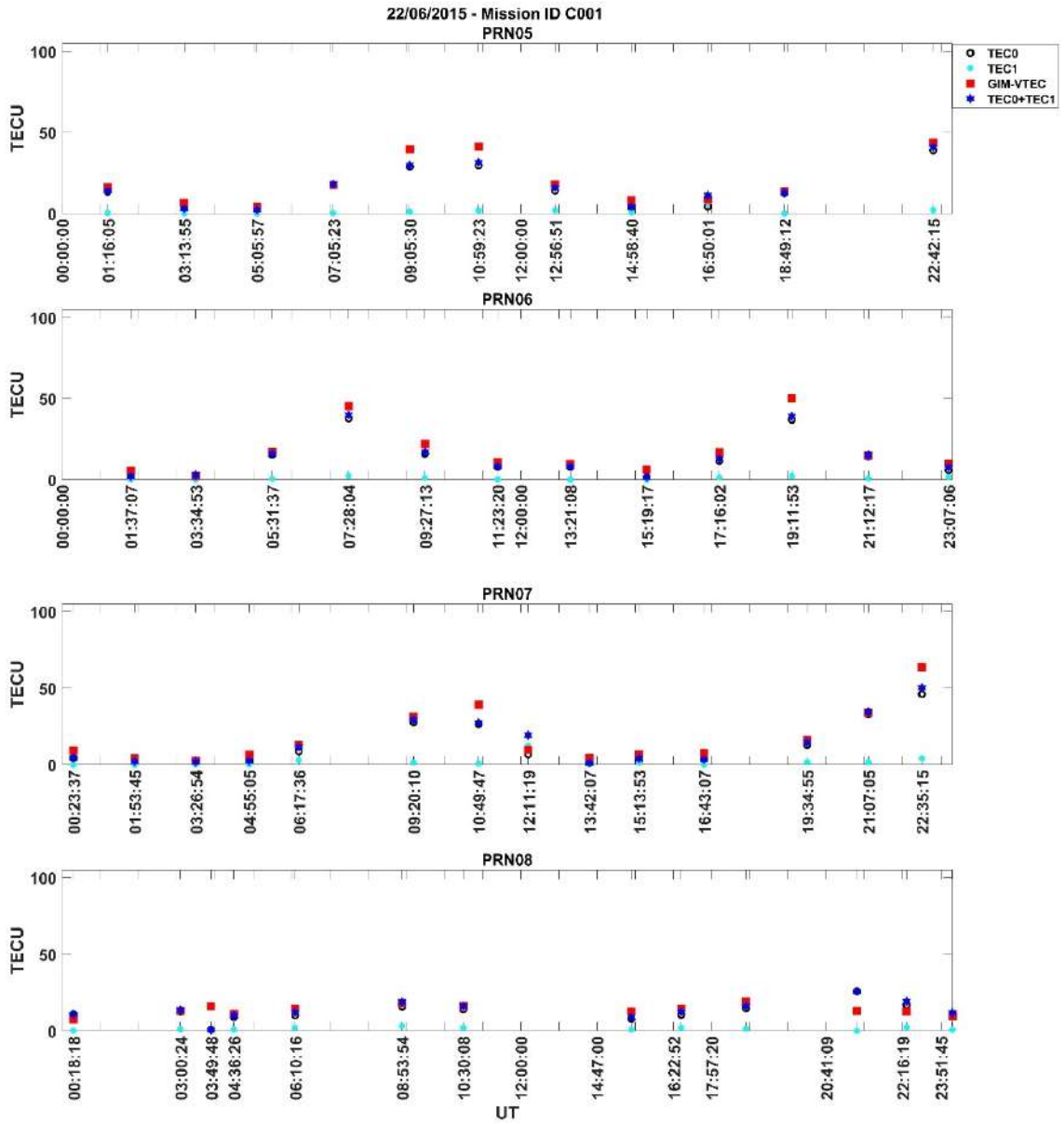
EK- 14 FY3C RO VTEC değerleri konumları; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018) ve ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler.....	306
EK- 15 JASON VTEC değerleri konumları; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018) ve ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler.....	307
EK- 16 SWARM VTEC değerleri konumları; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018) ve ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler.....	308



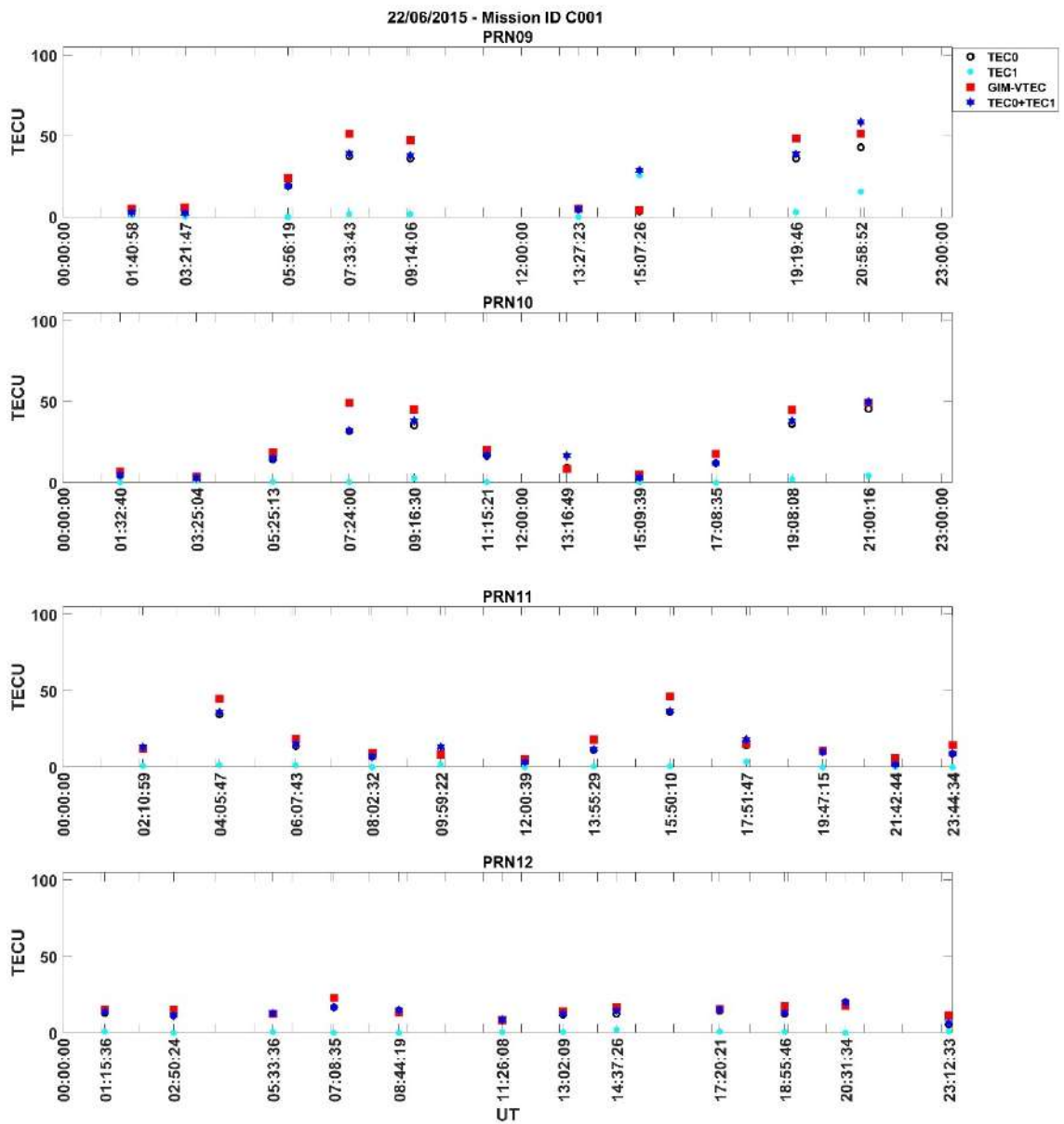
EK- 1 COSMIC RO VTEC değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



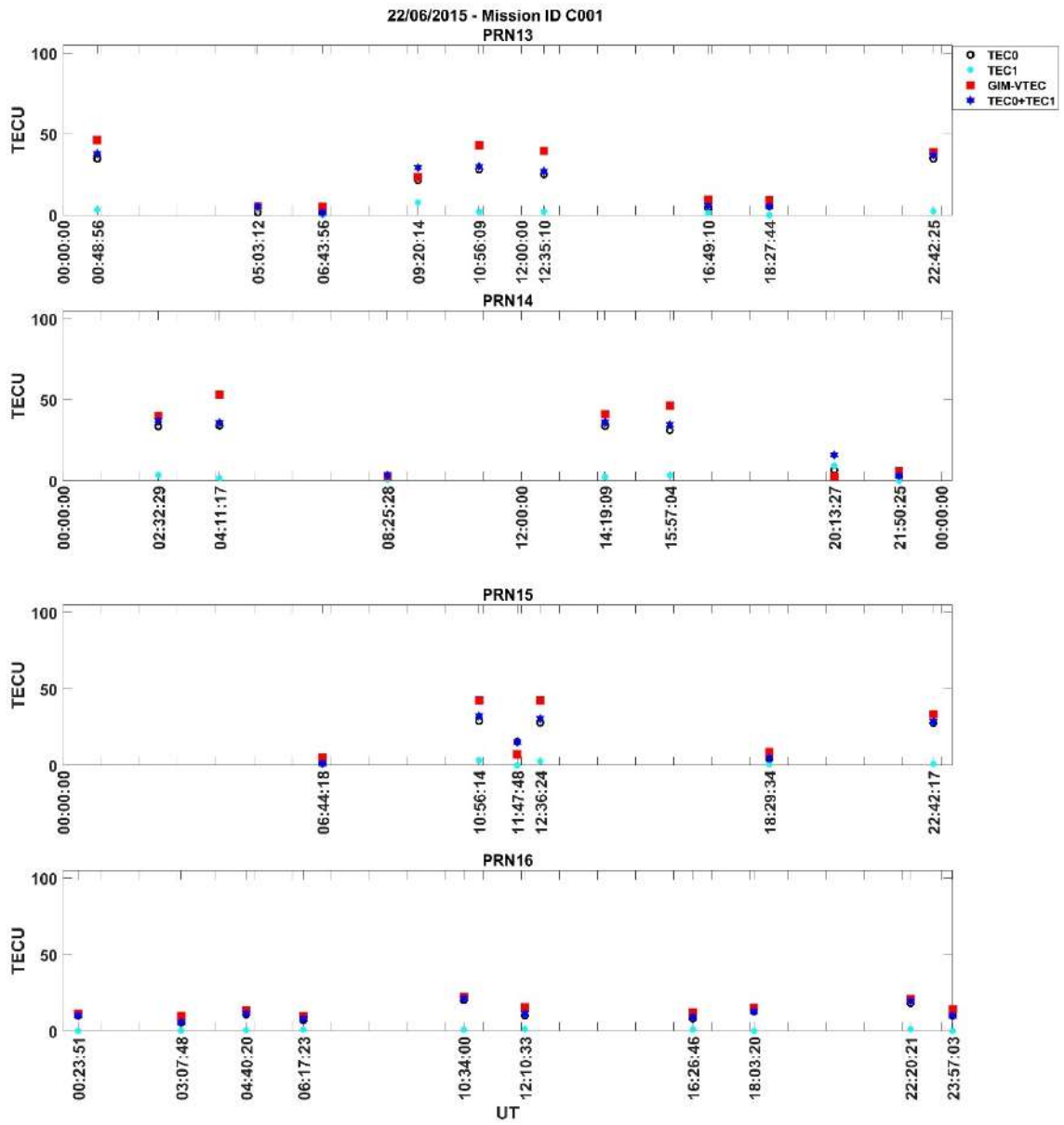
Şekil Ek 1. 1. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



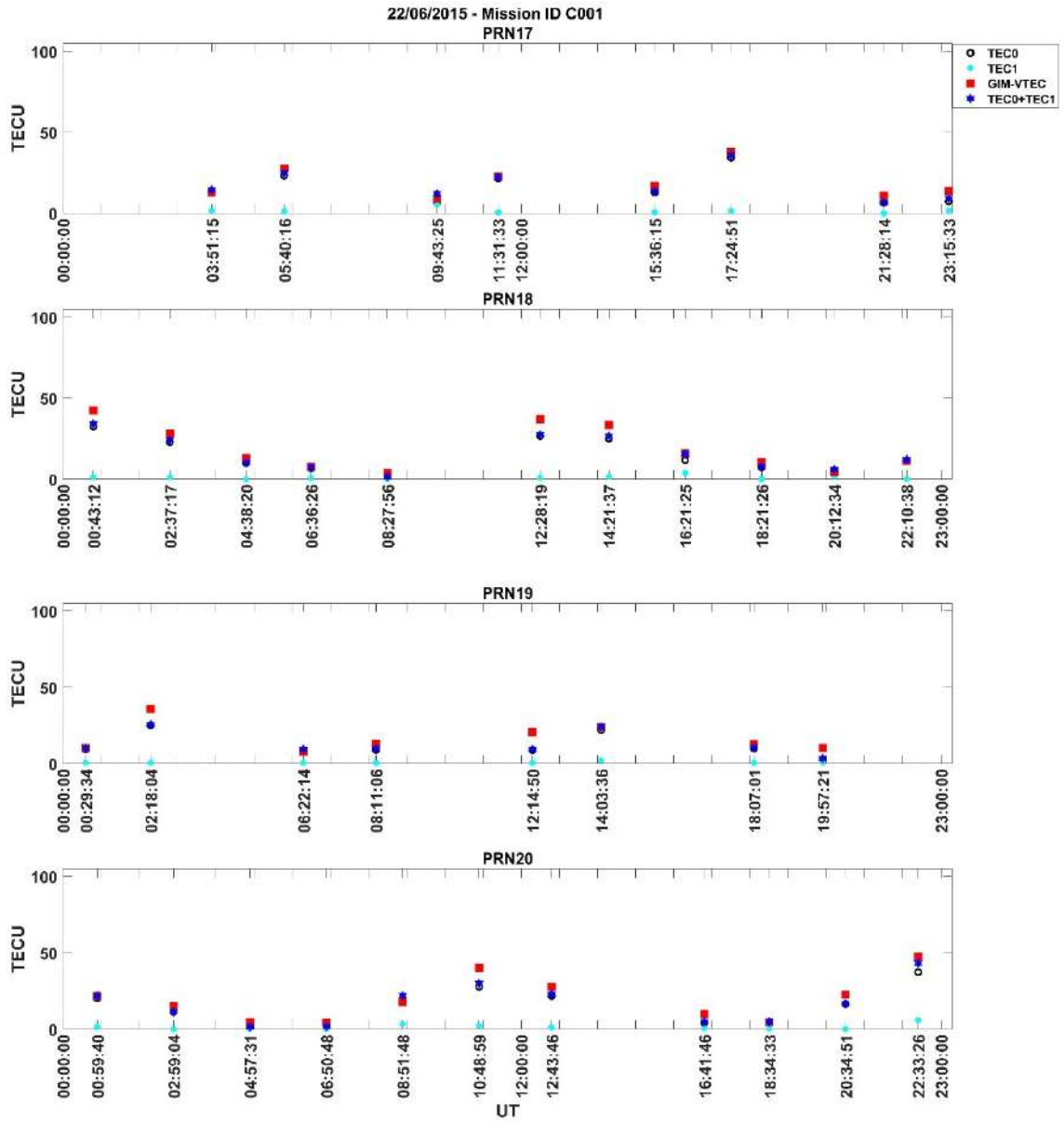
Şekil Ek 1. 2. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08



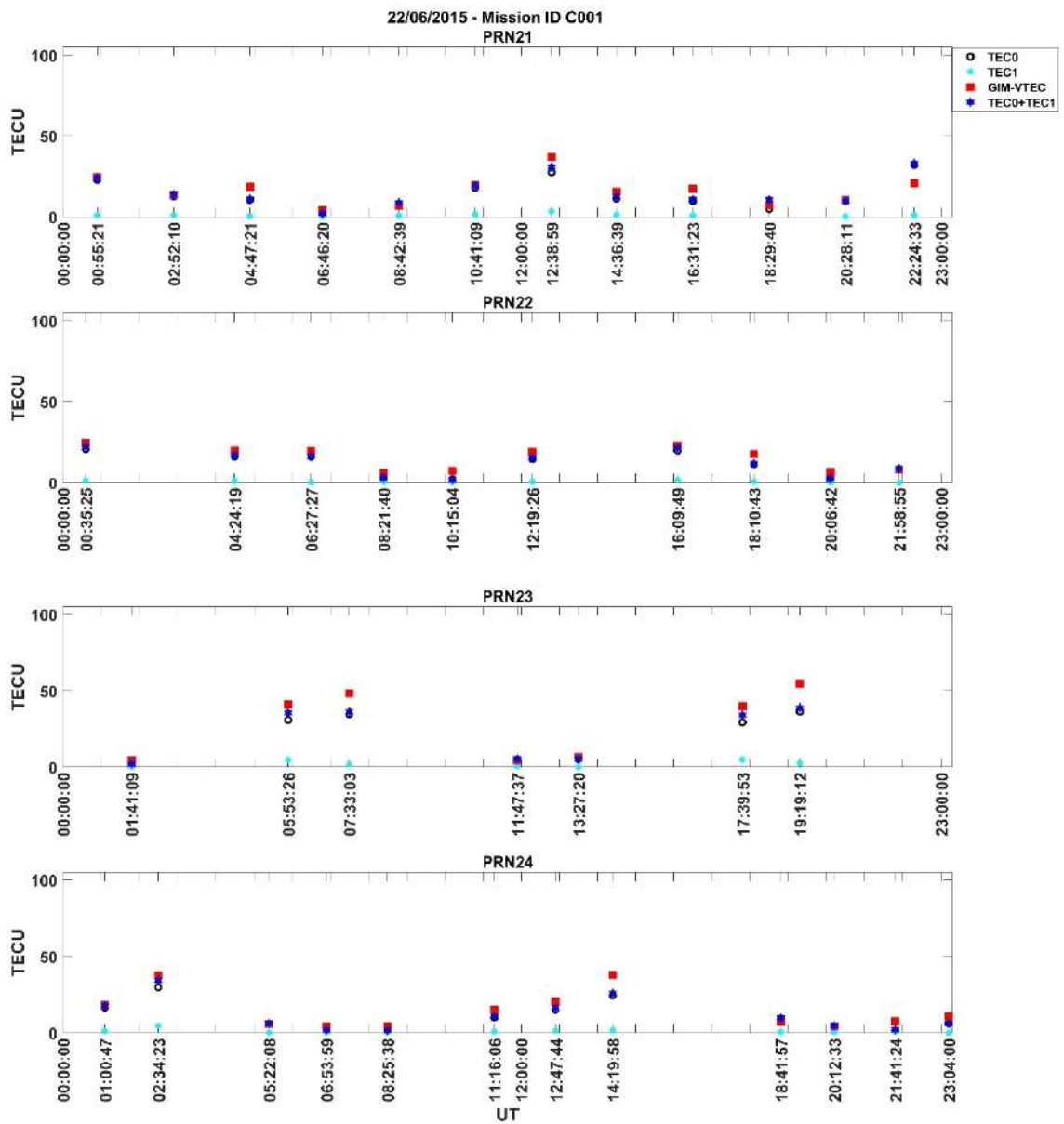
Şekil Ek 1. 3. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN09 / PRN10 / PRN11 / PRN12



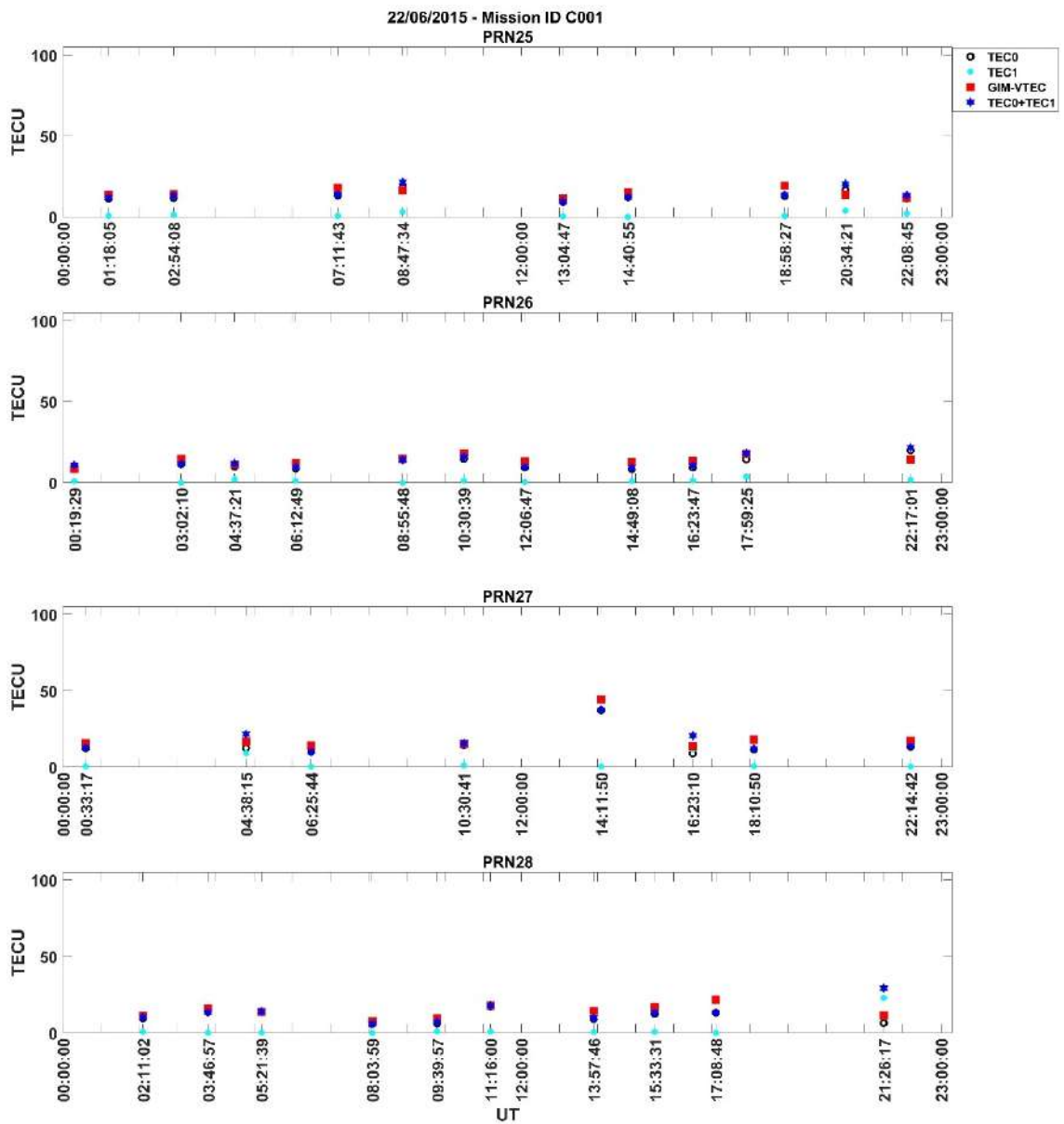
Şekil Ek 1. 4. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN13 / PRN14 / PRN15 / PRN16



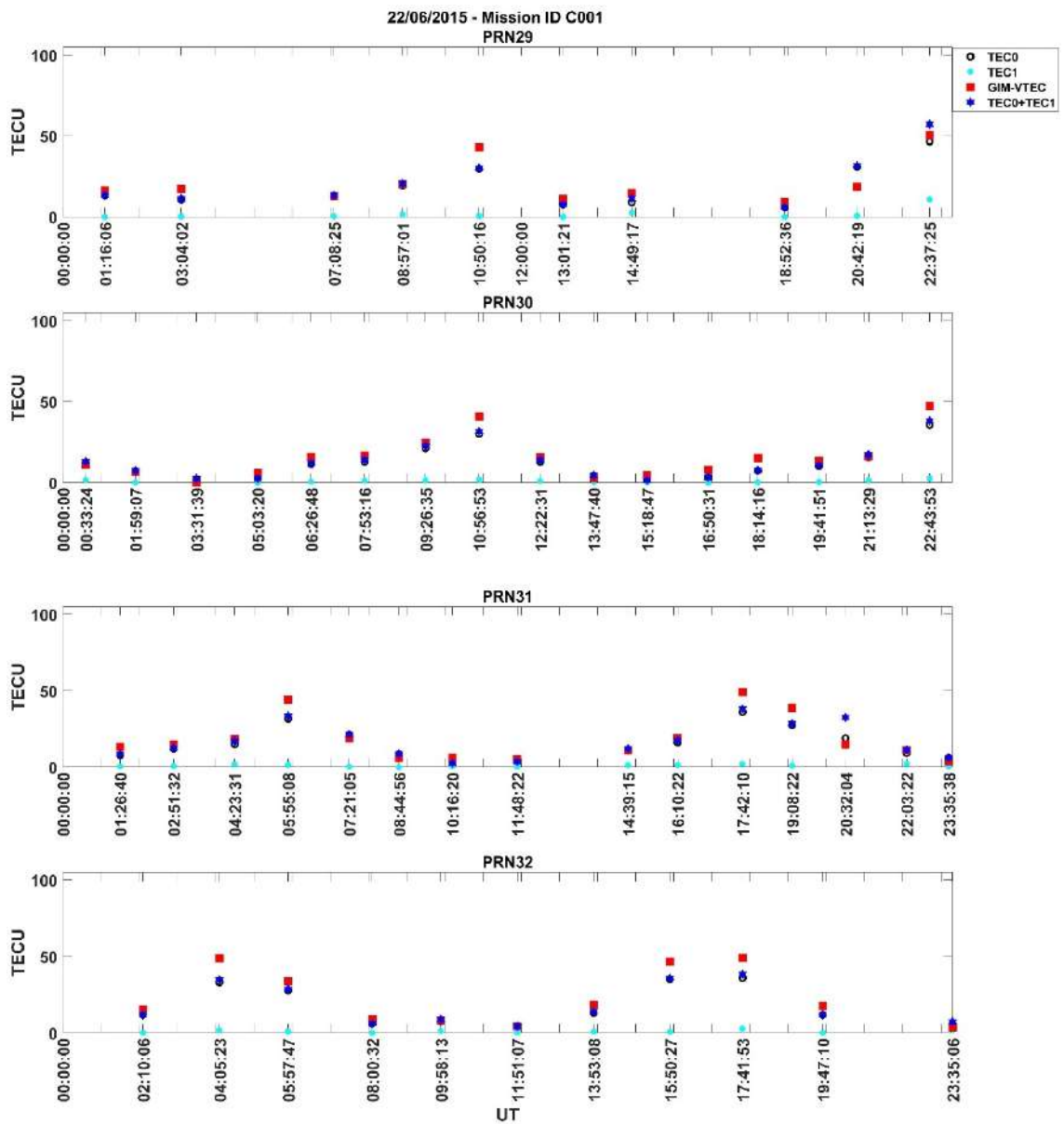
Şekil Ek 1. 5. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN17 / PRN18 / PRN19 / PRN20



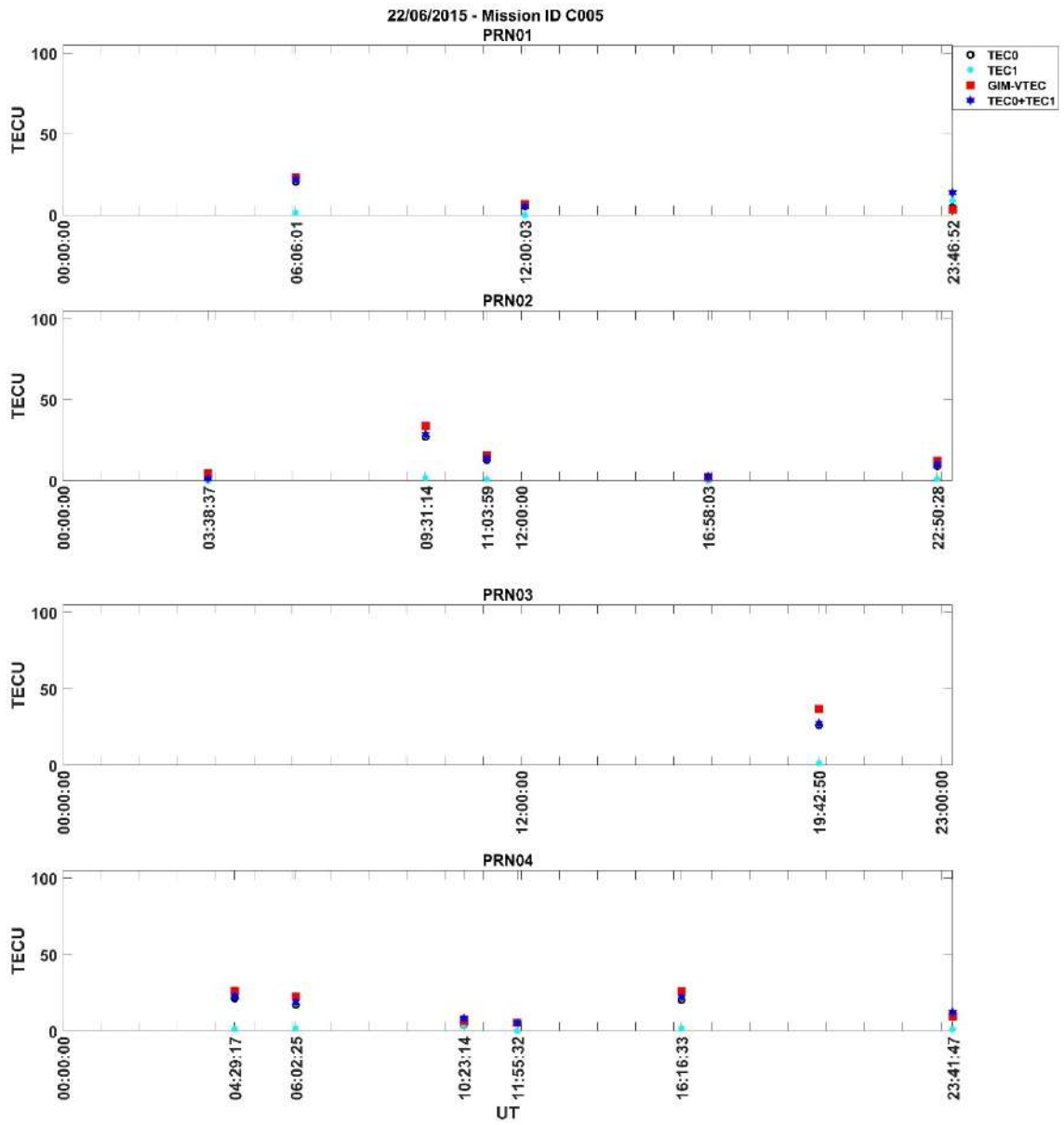
Şekil Ek 1. 6. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24



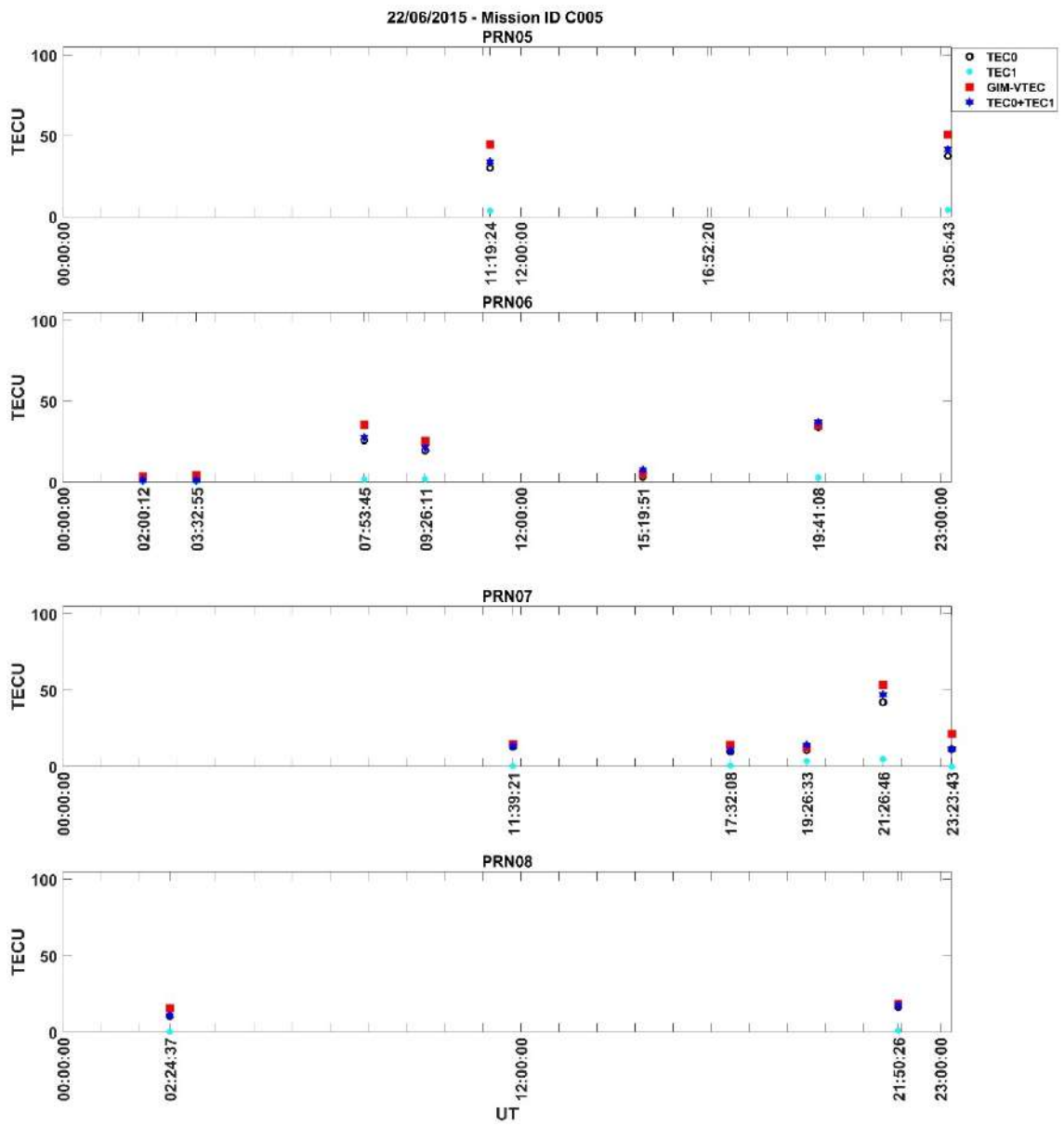
Şekil Ek 1. 7. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN25 / PRN26 / PRN27 / PRN28



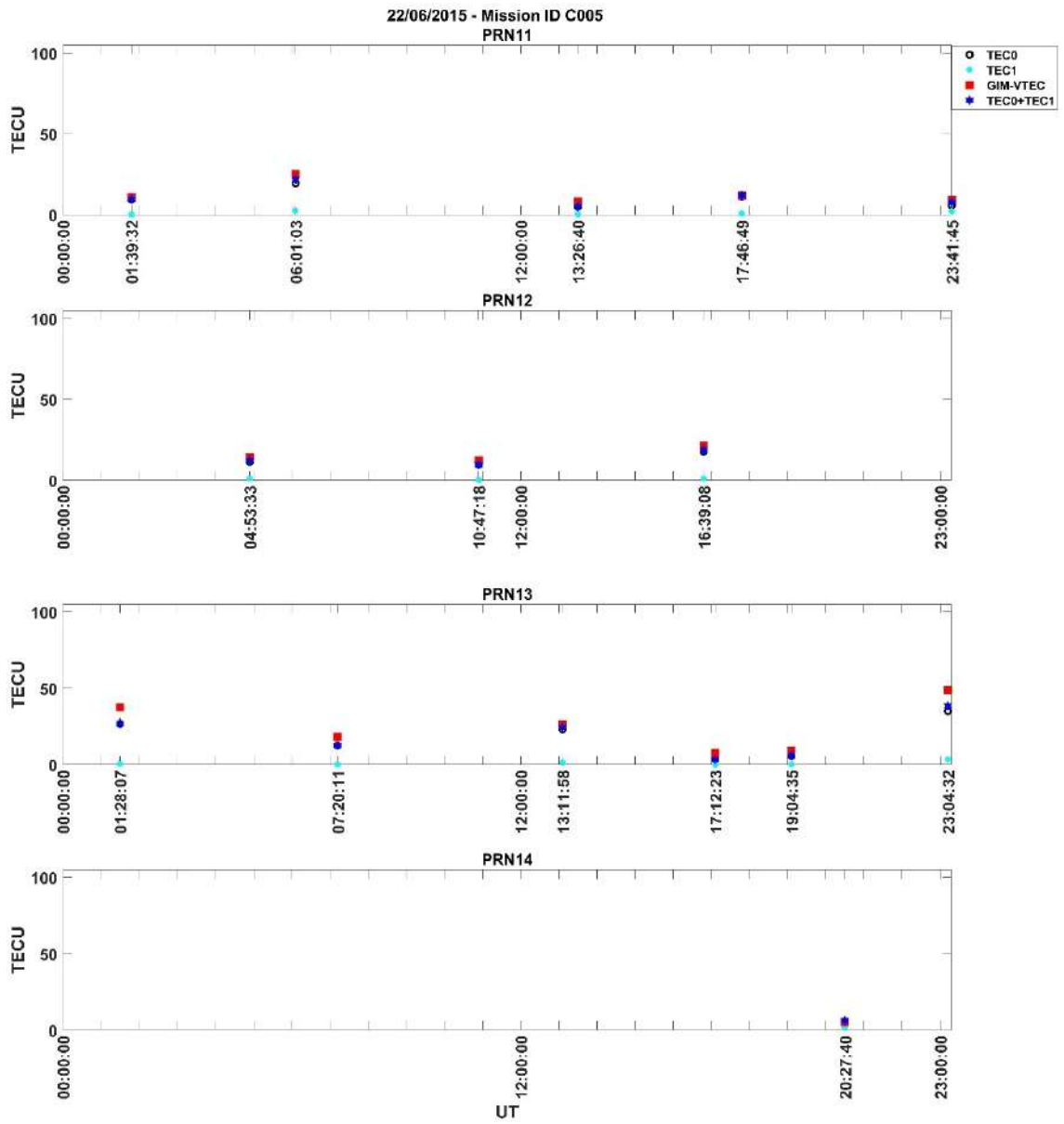
Şekil Ek 1. 8. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C001 – PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32



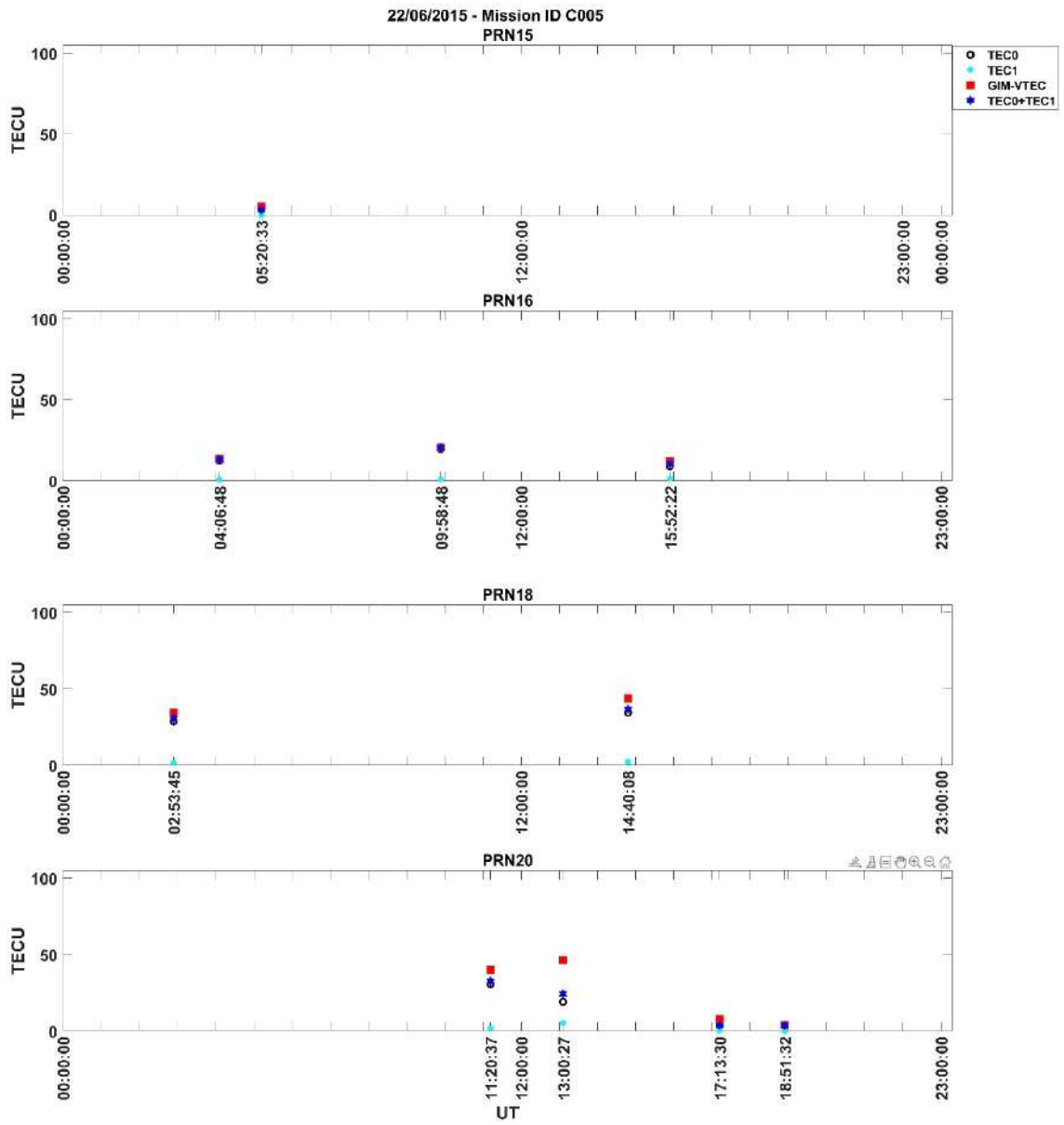
Şekil Ek 1. 9. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



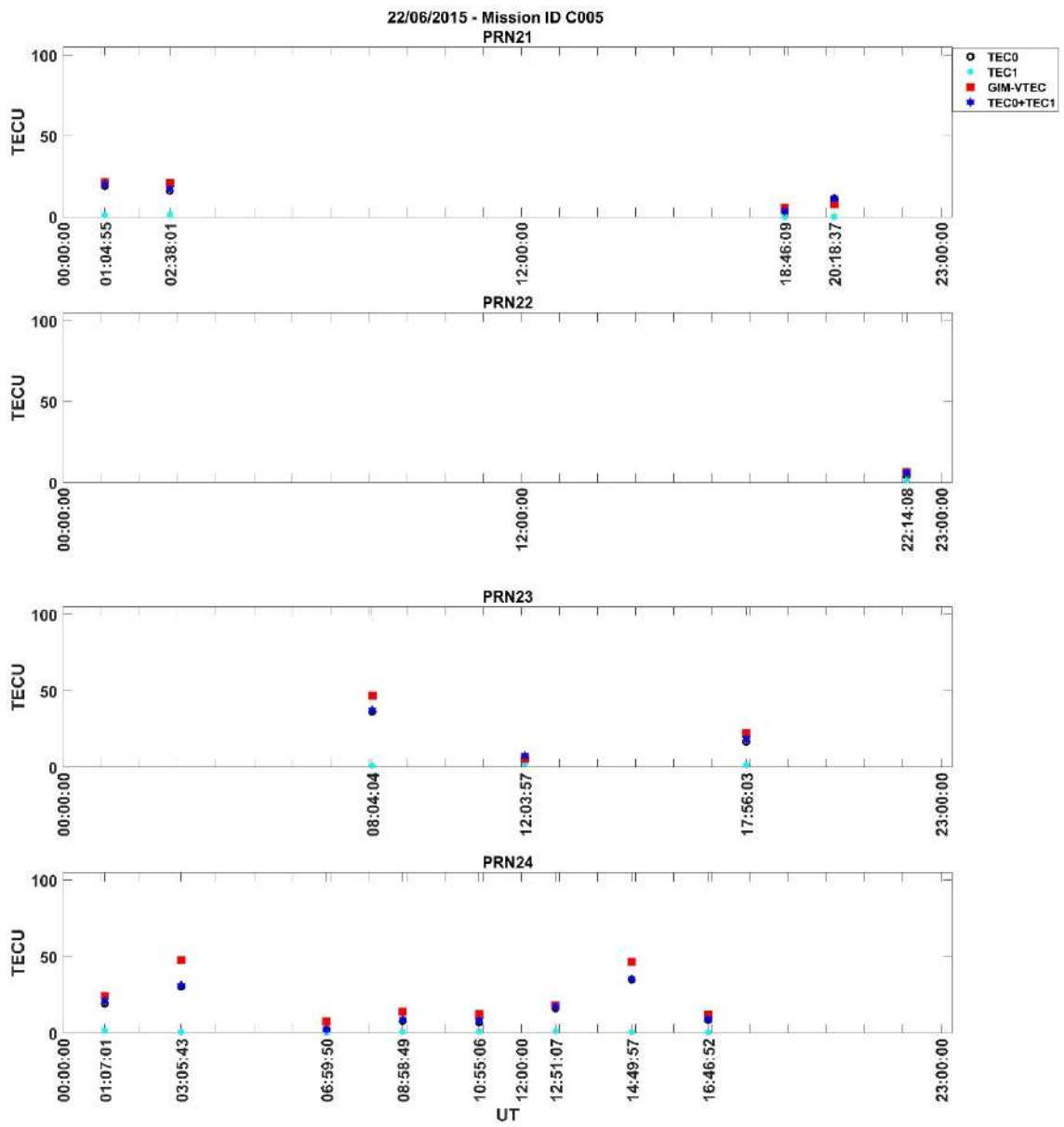
Şekil Ek 1. 10. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08



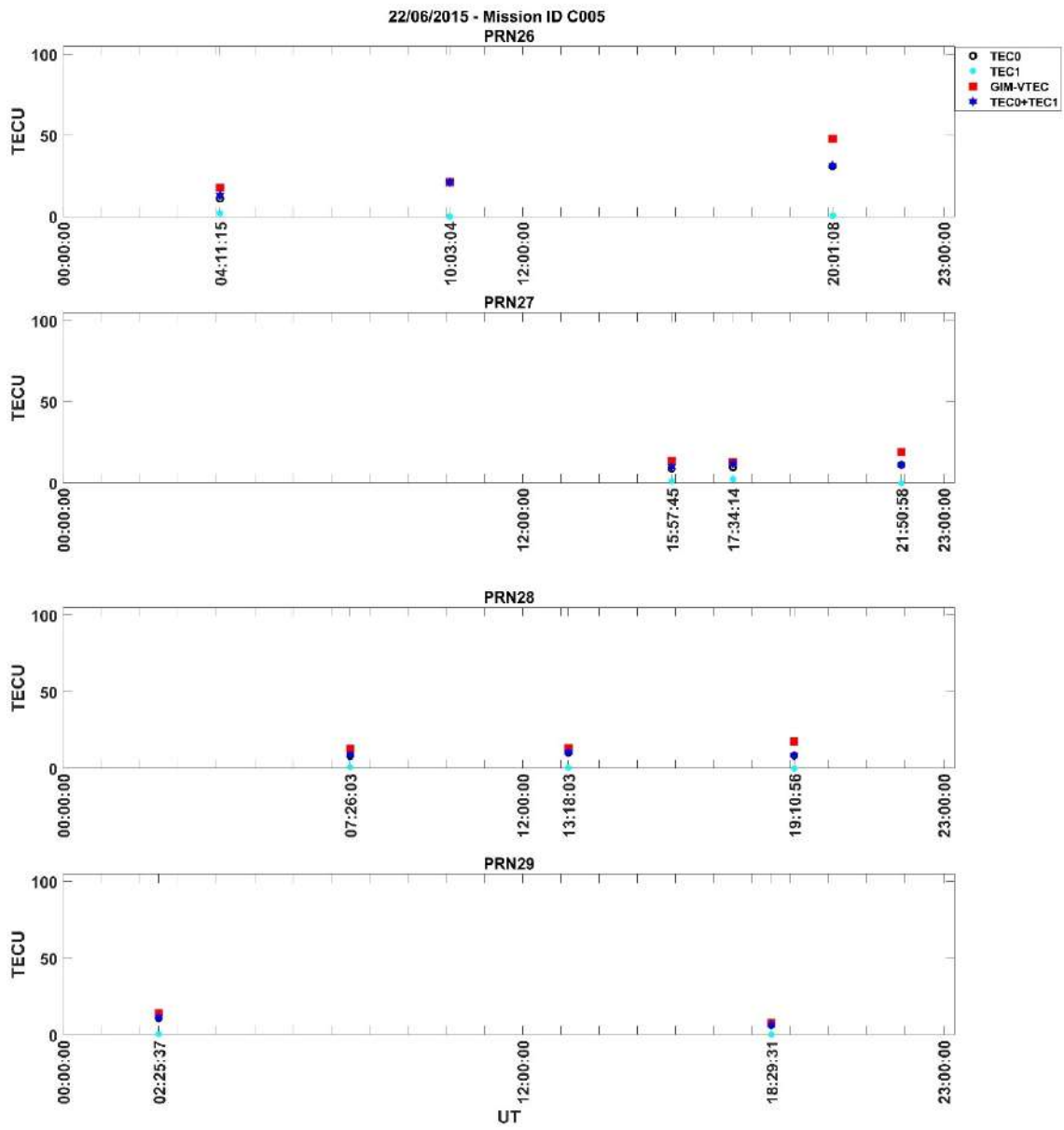
Şekil Ek 1. 11. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN11 / PRN12 / PRN13 / PRN14



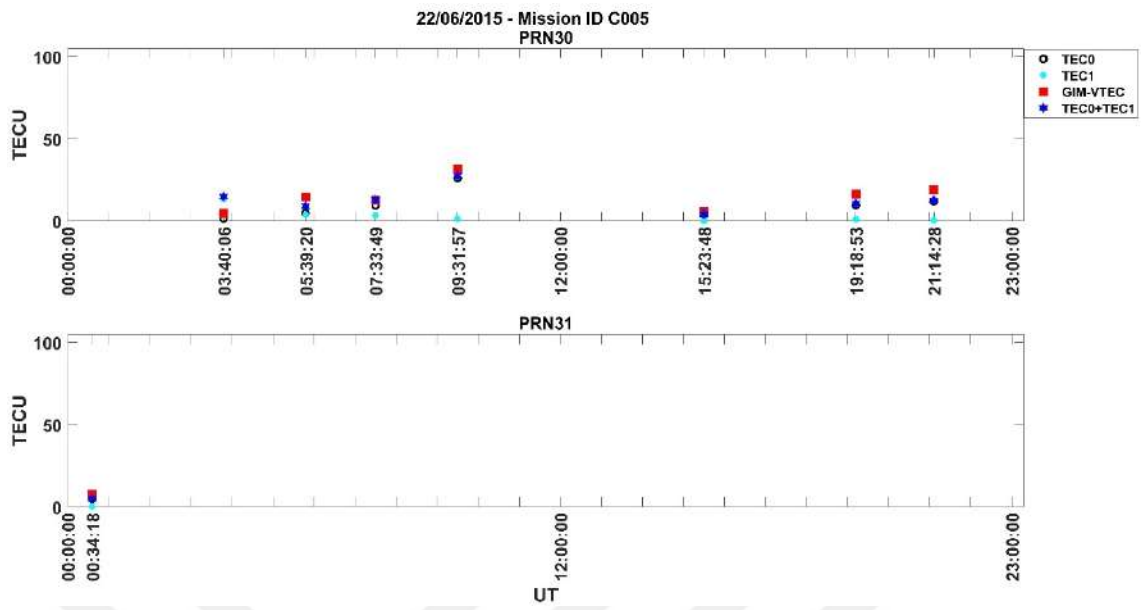
Şekil Ek 1. 12. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN15 / PRN16 / PRN18 / PRN20



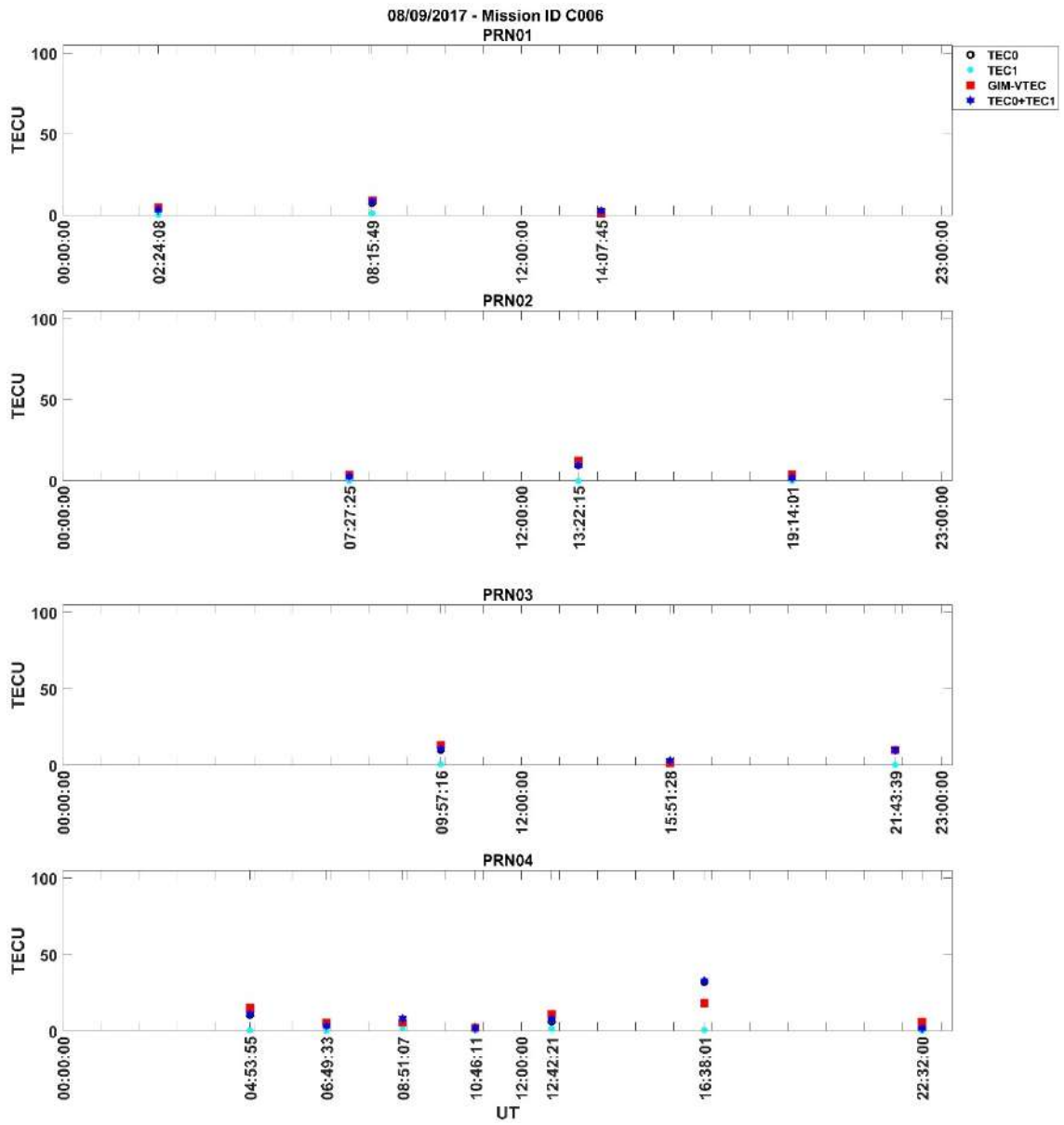
Şekil Ek 1. 13. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24



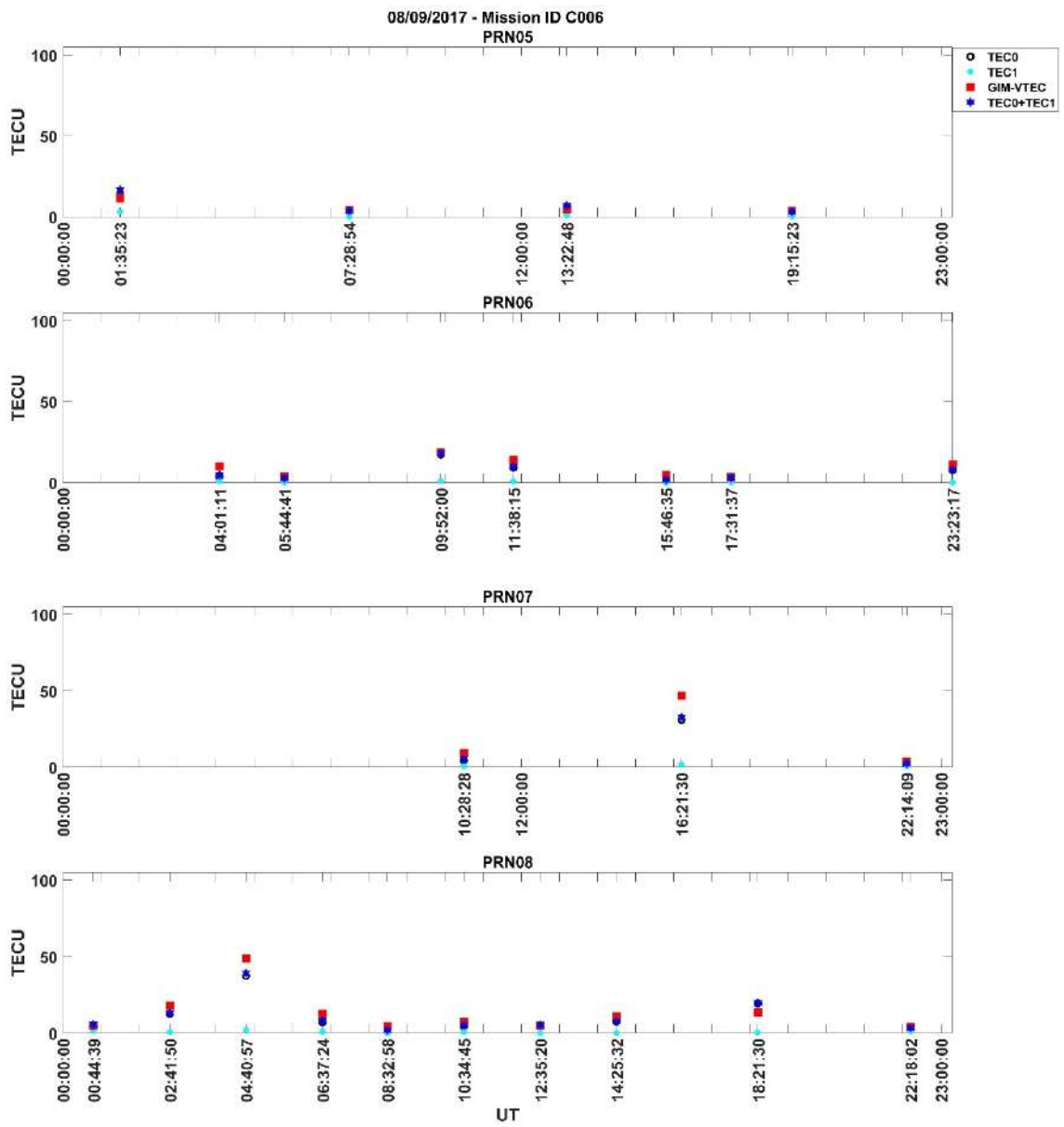
Şekil Ek 1. 14. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN26 / PRN27 / PRN28 / PRN29



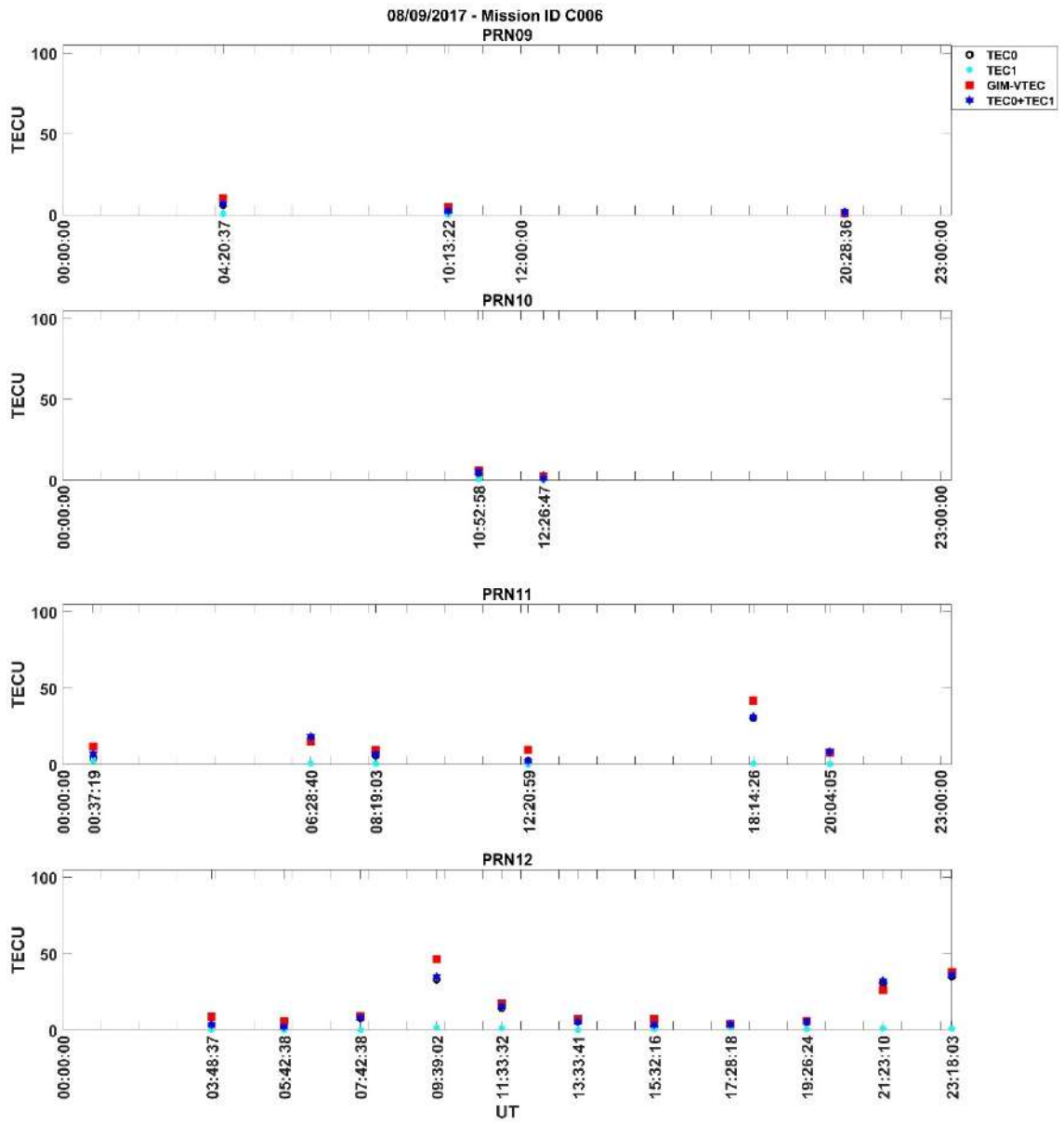
Şekil Ek 1. 15. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 22/06/2015 Mission ID C005 – PRN30 / PRN31



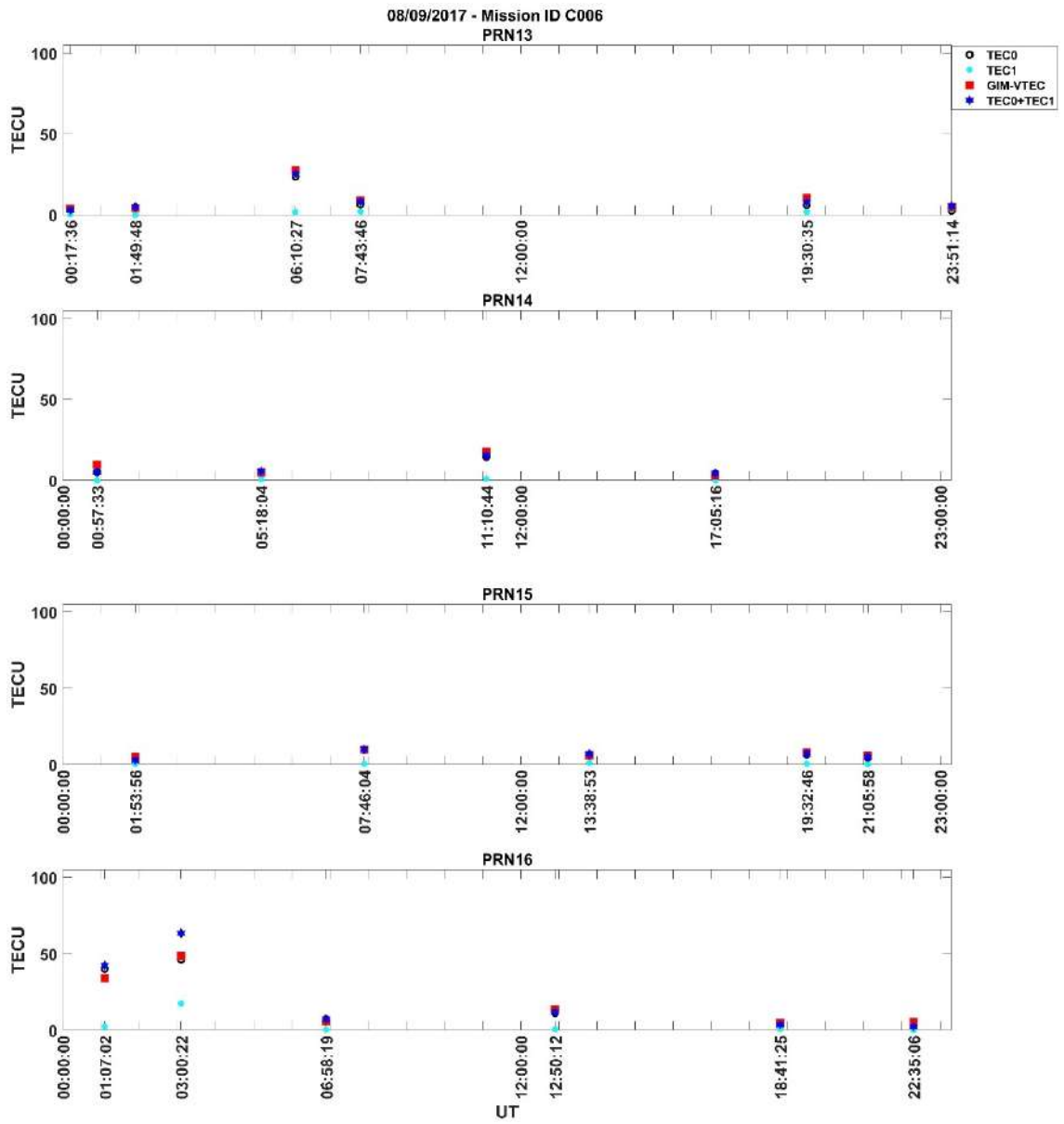
Şekil Ek 1. 16. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



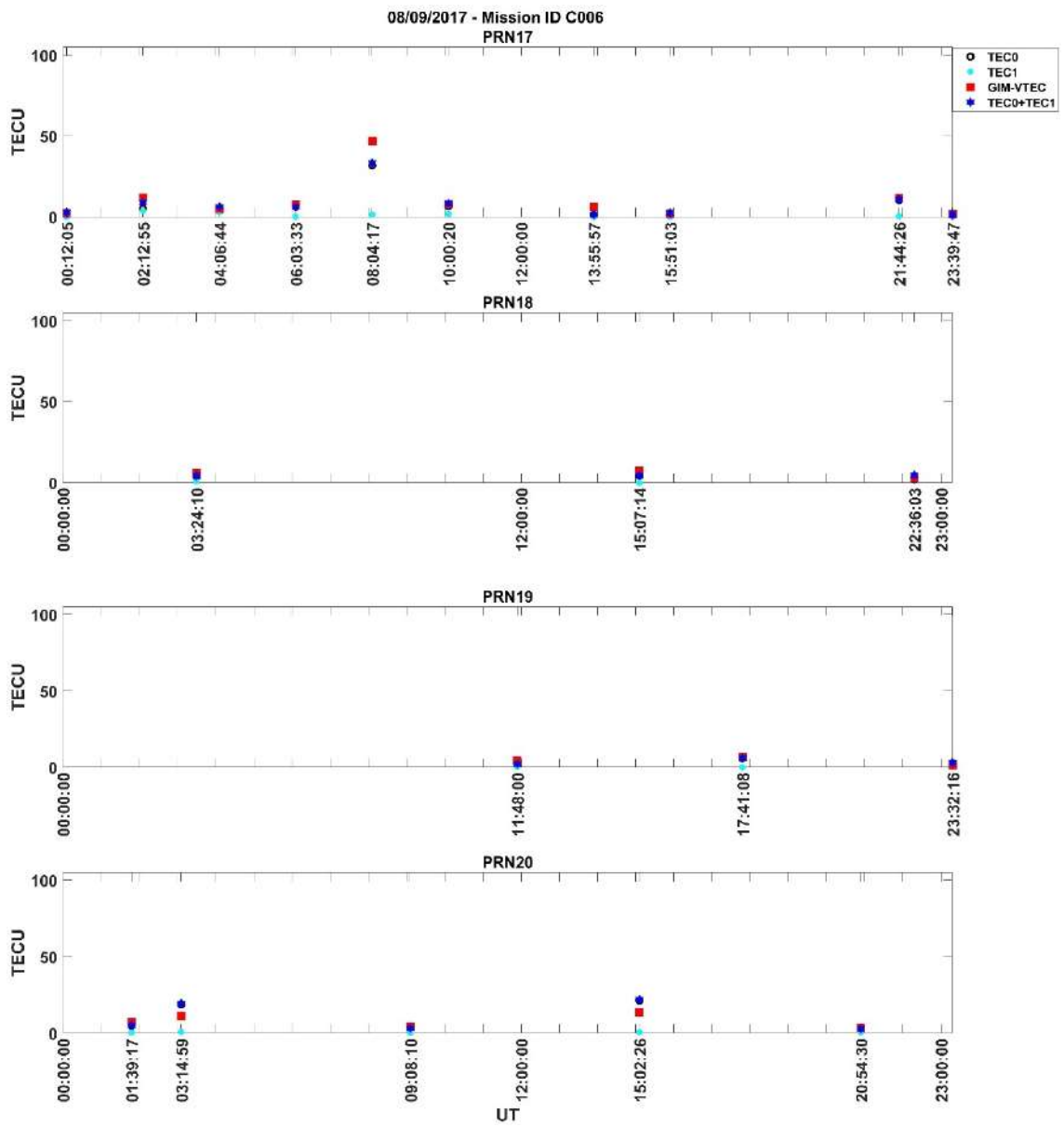
Şekil Ek 1. 17. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08



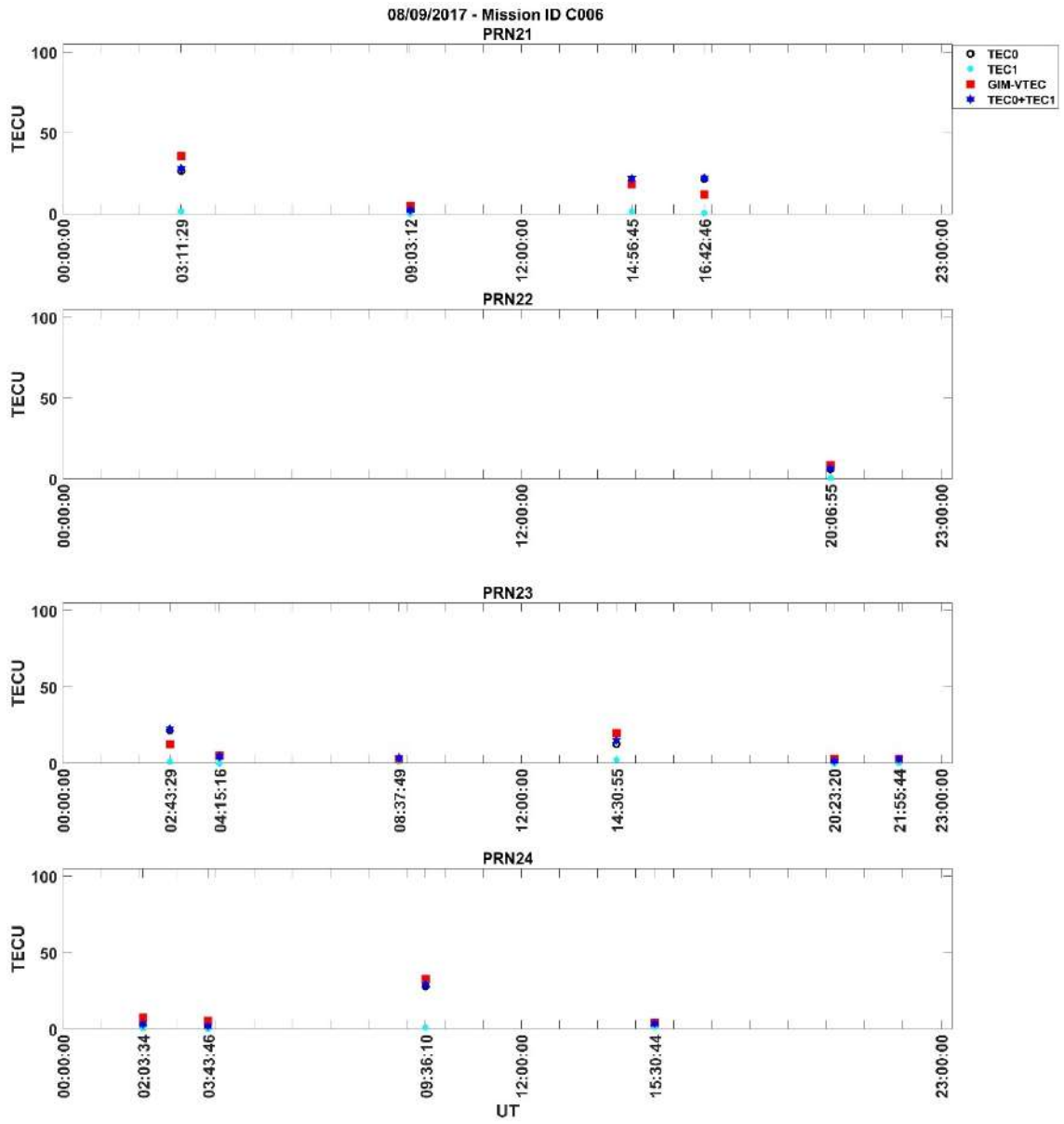
Şekil Ek 1. 18. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN09 / PRN10 / PRN11 / PRN12



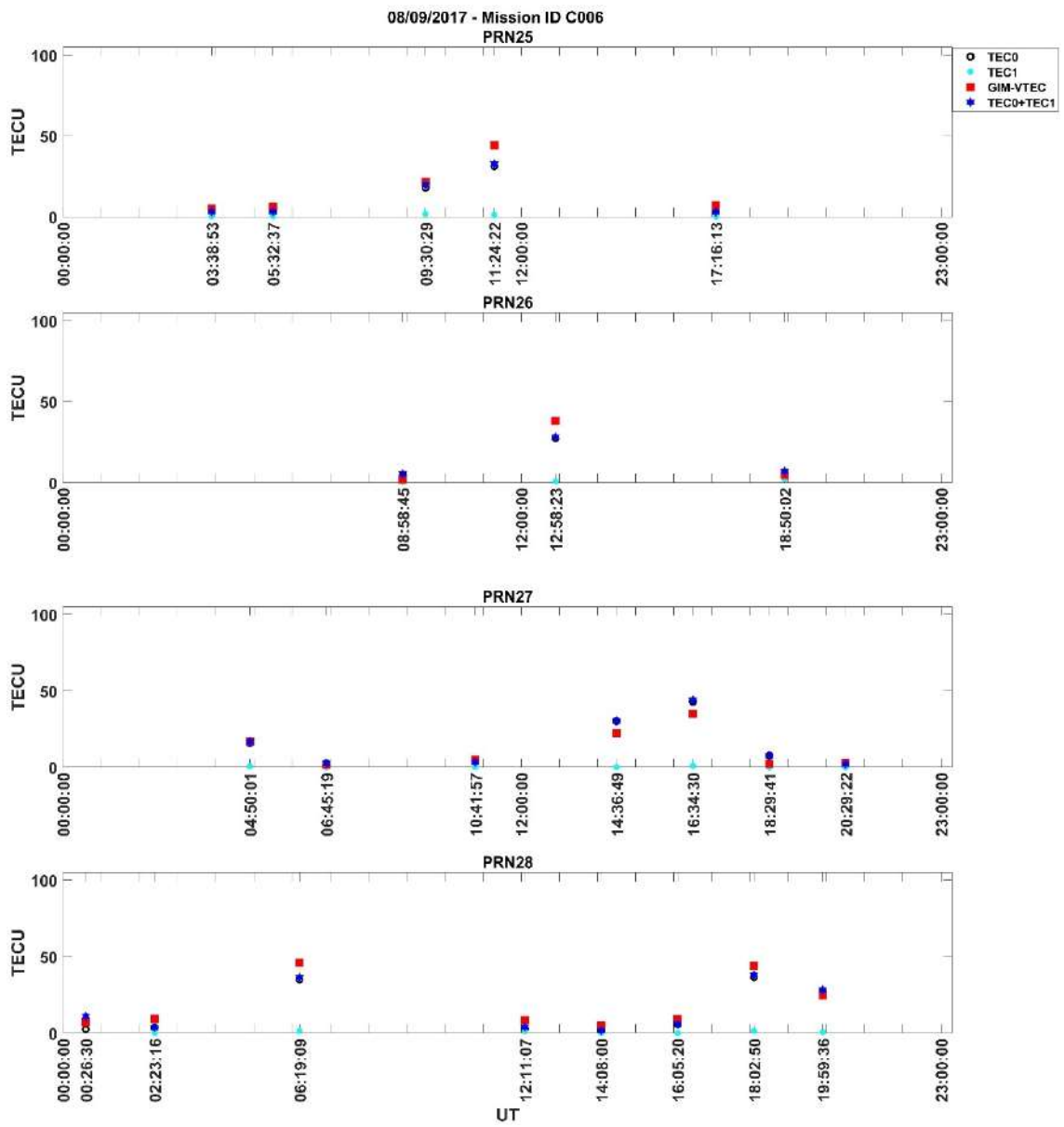
Şekil Ek 1. 19. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN13 / PRN14 / PRN15 / PRN16



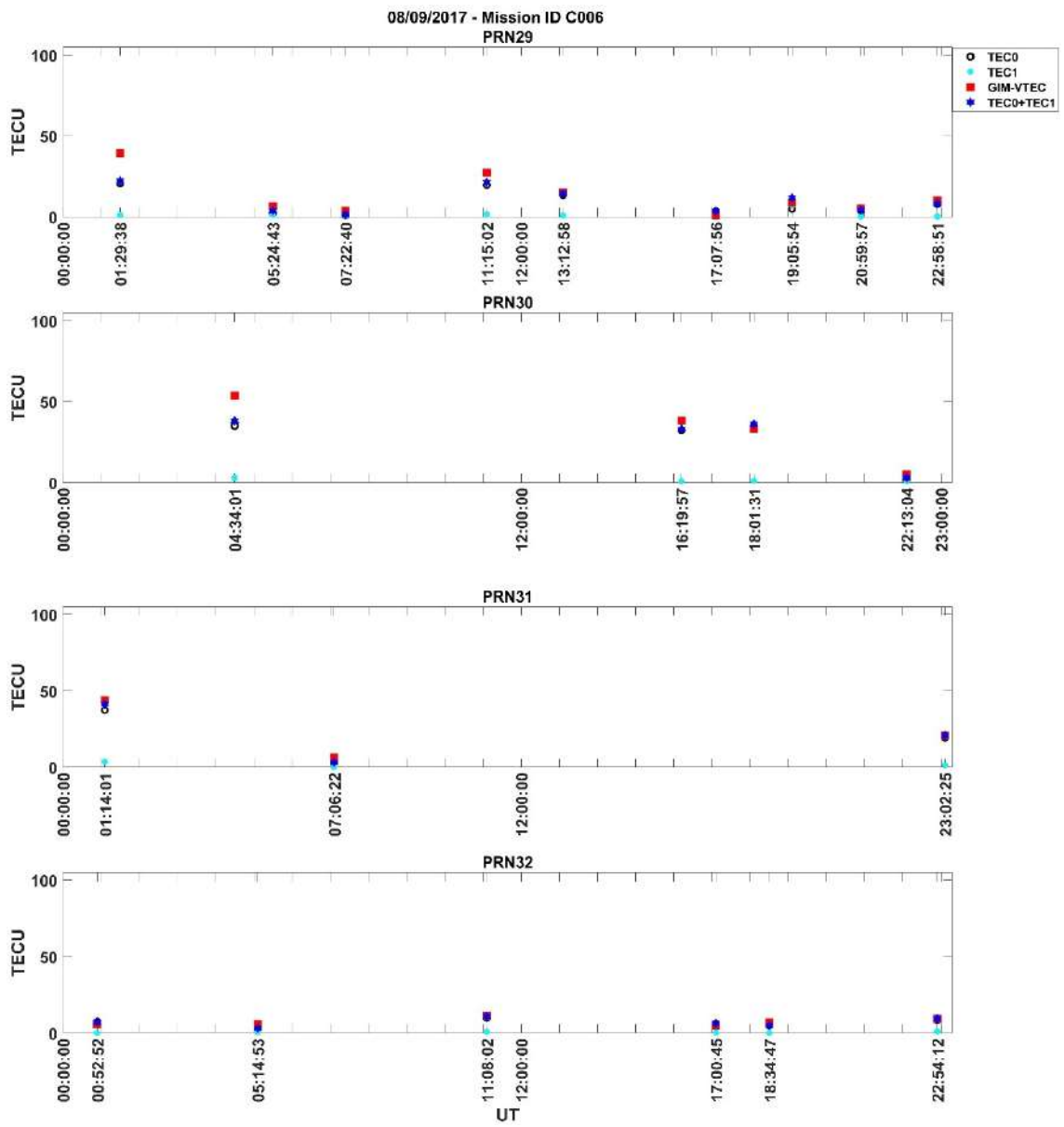
Şekil Ek 1. 20. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN17 / PRN18 / PRN19 / PRN20



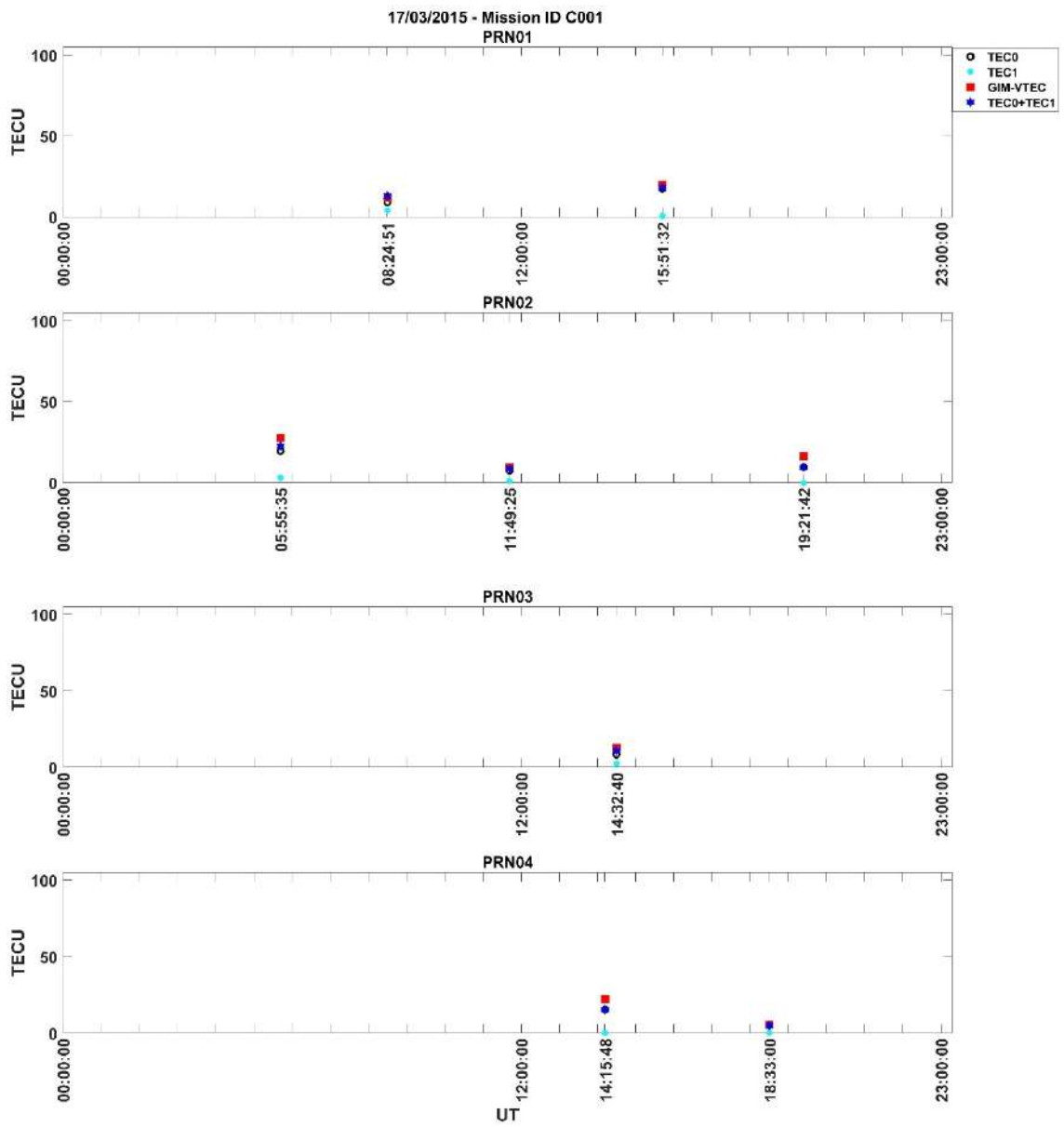
Şekil Ek 1. 21. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24



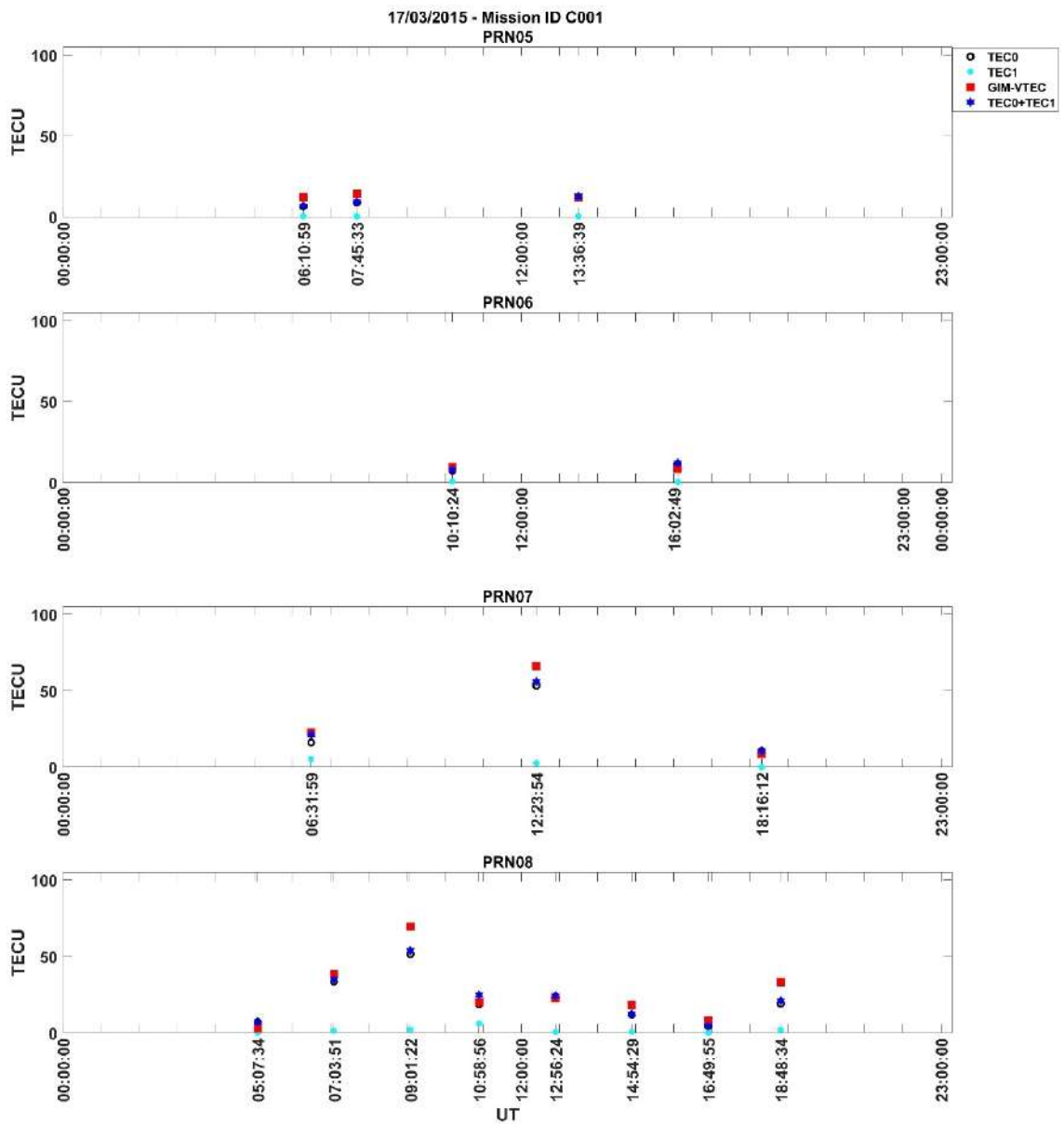
Şekil Ek 1. 22. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN25 / PRN26 / PRN27 / PRN28



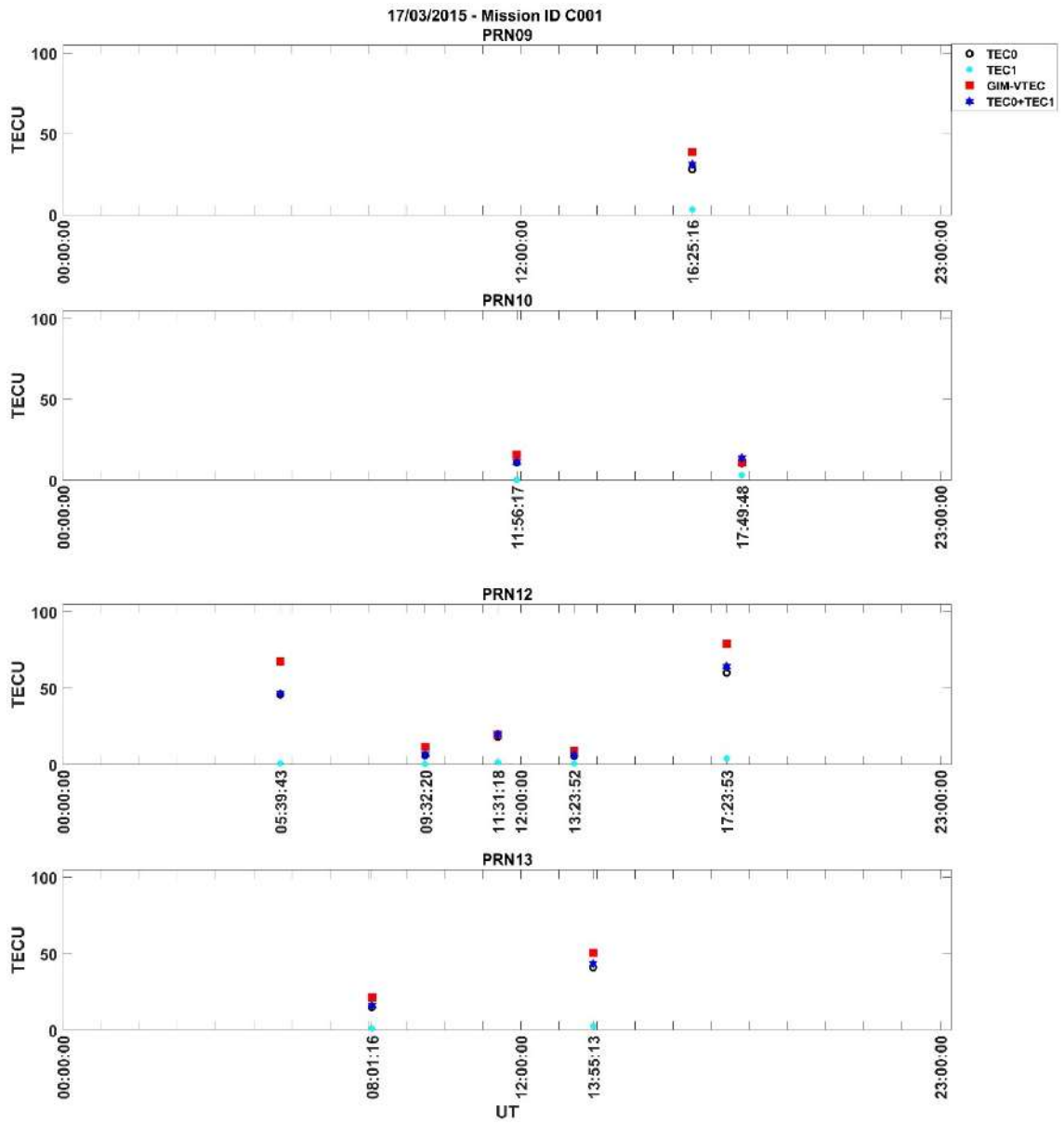
Şekil Ek 1. 23. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 08/09/2017 Mission ID C006 – PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32



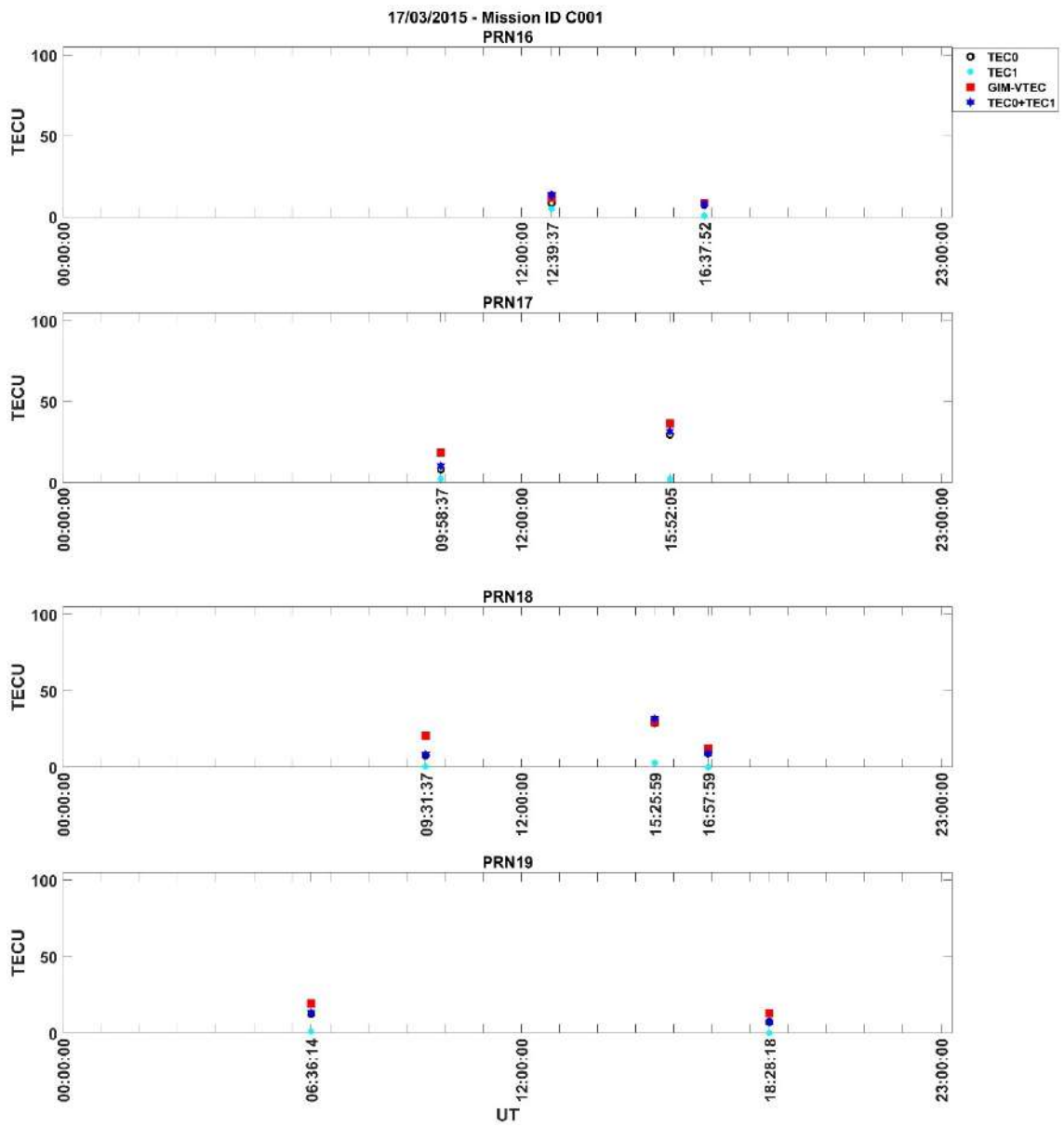
Şekil Ek 1. 24. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



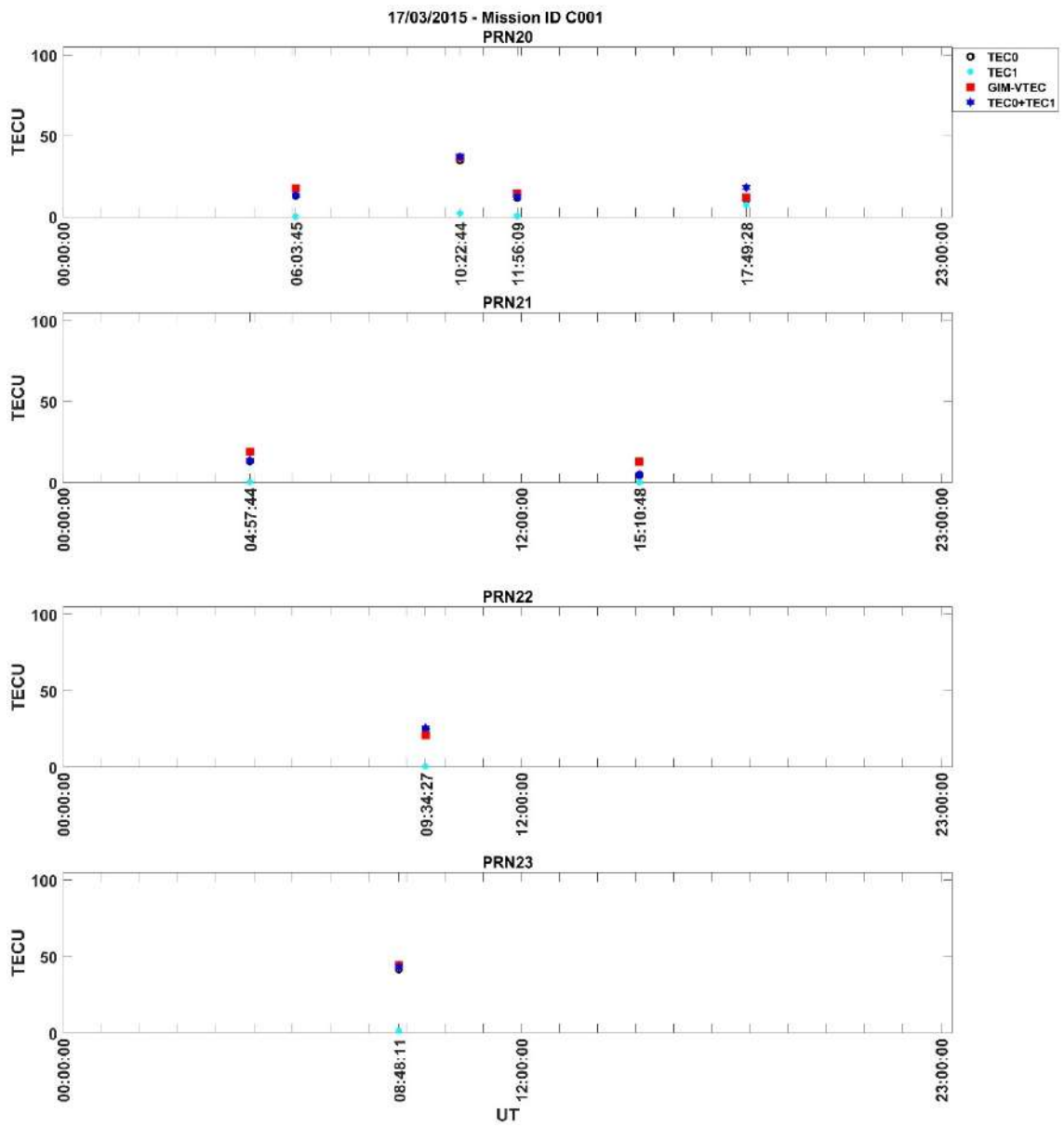
Şekil Ek 1. 25. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08



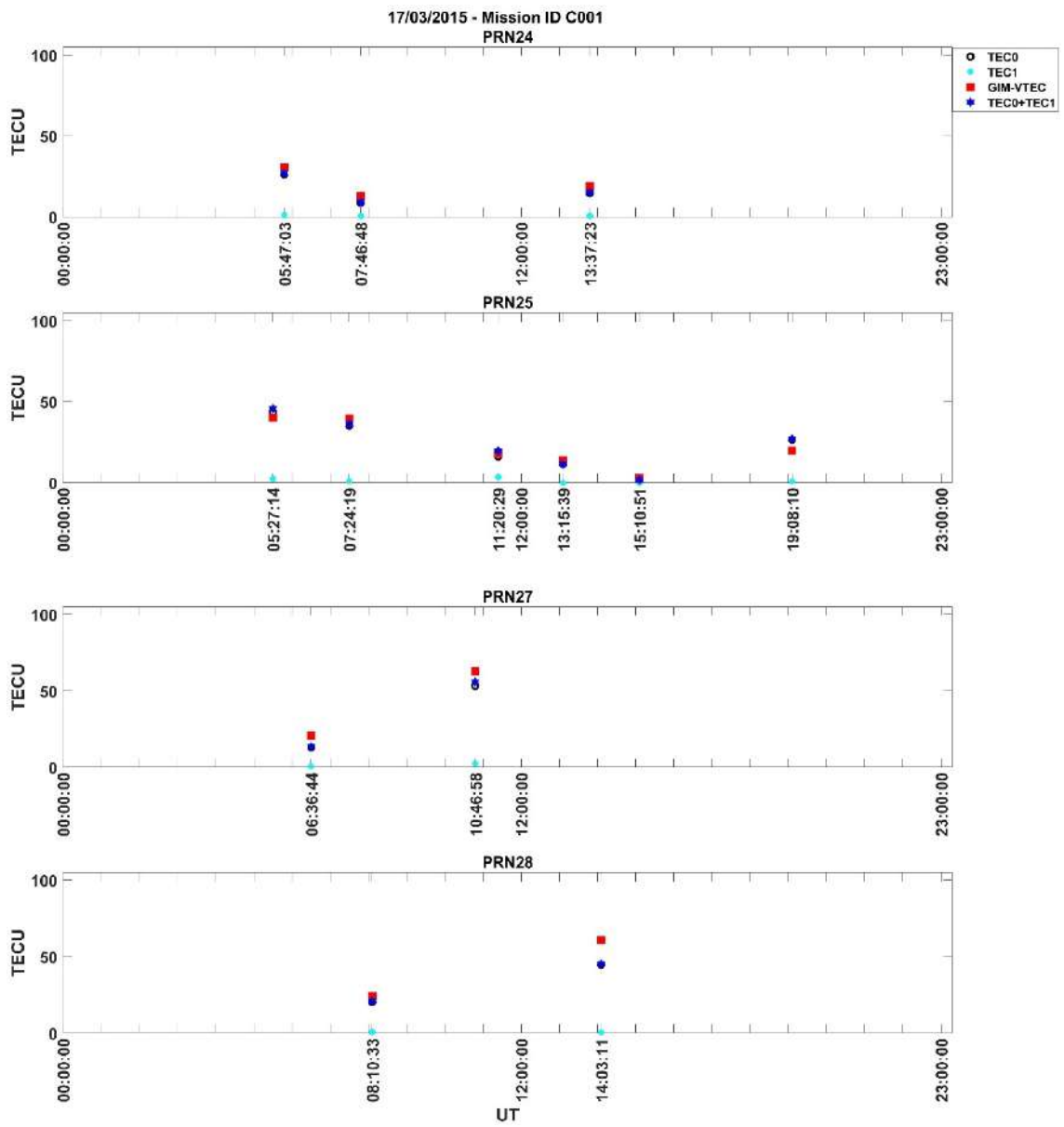
Şekil Ek 1. 26. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN09 / PRN10 / PRN12 / PRN13



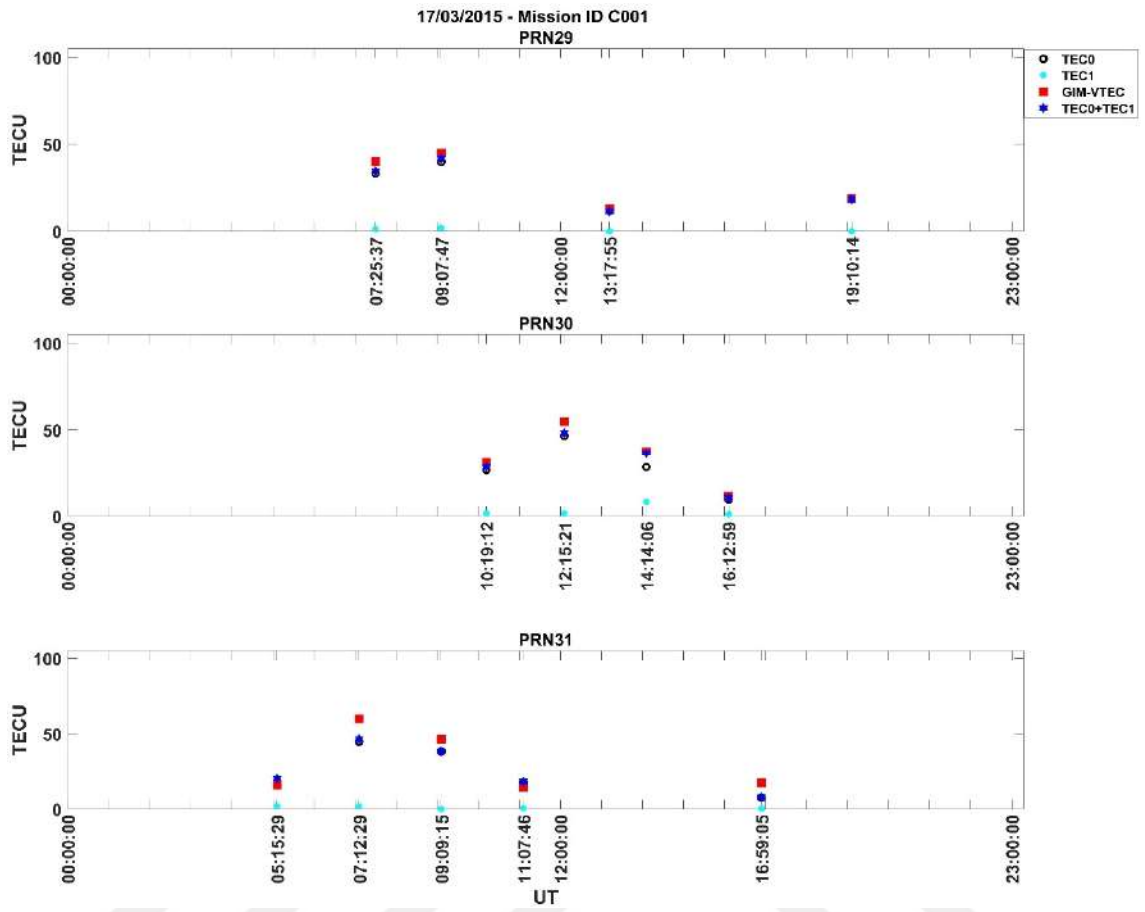
Şekil Ek 1. 27. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19



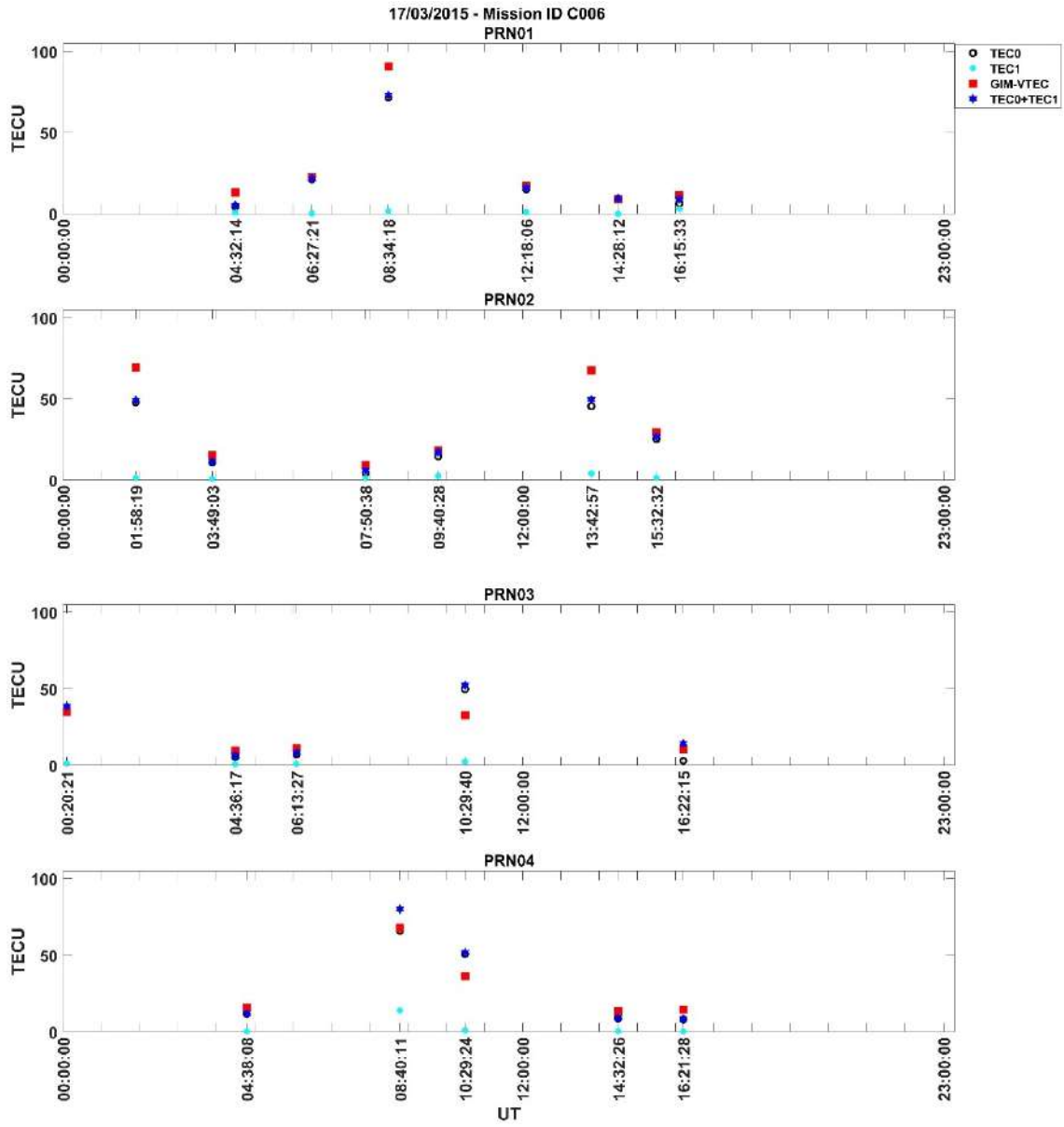
Şekil Ek 1. 28. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23



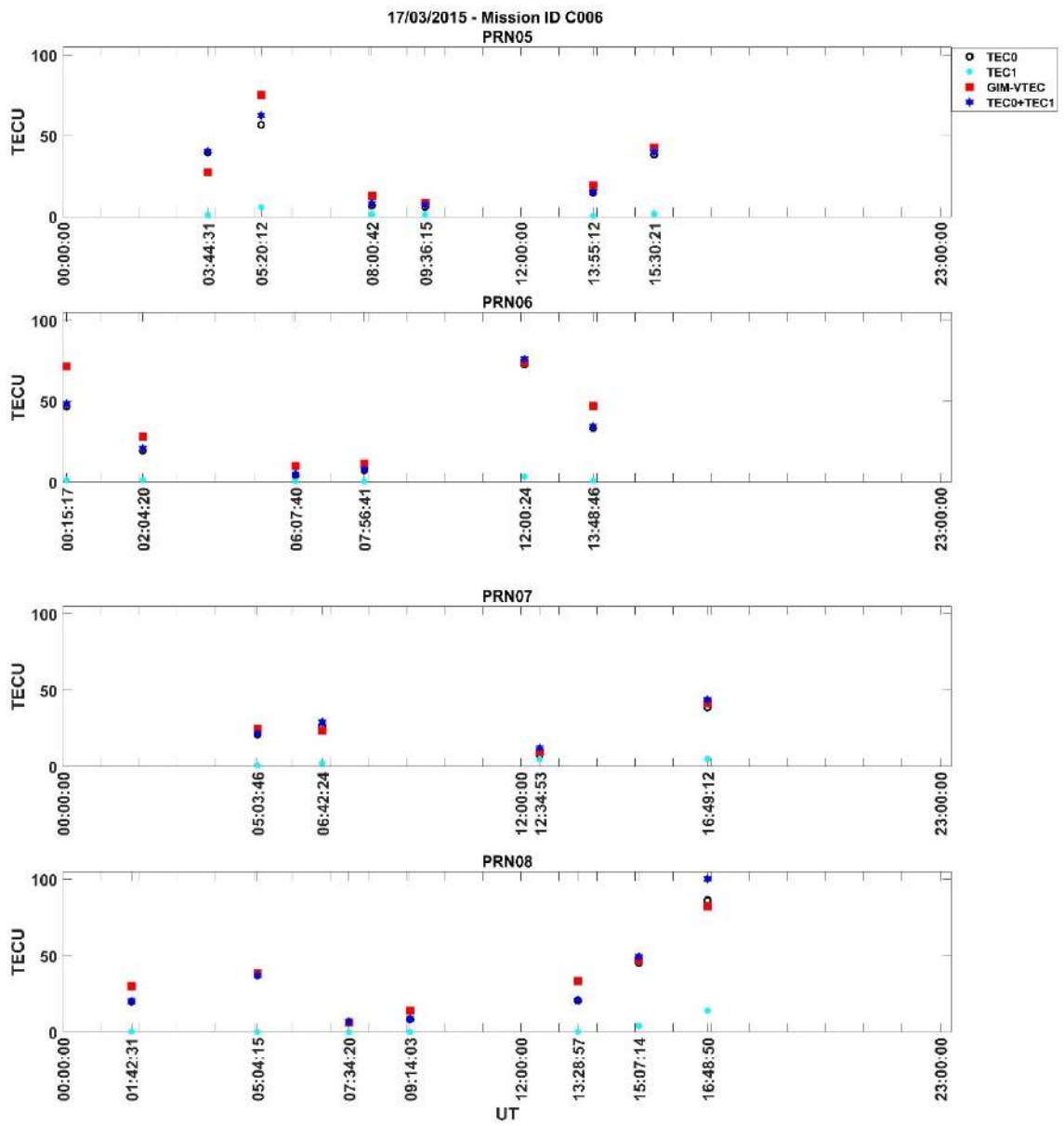
Şekil Ek 1. 29. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN24 / PRN25 / PRN27 / PRN28



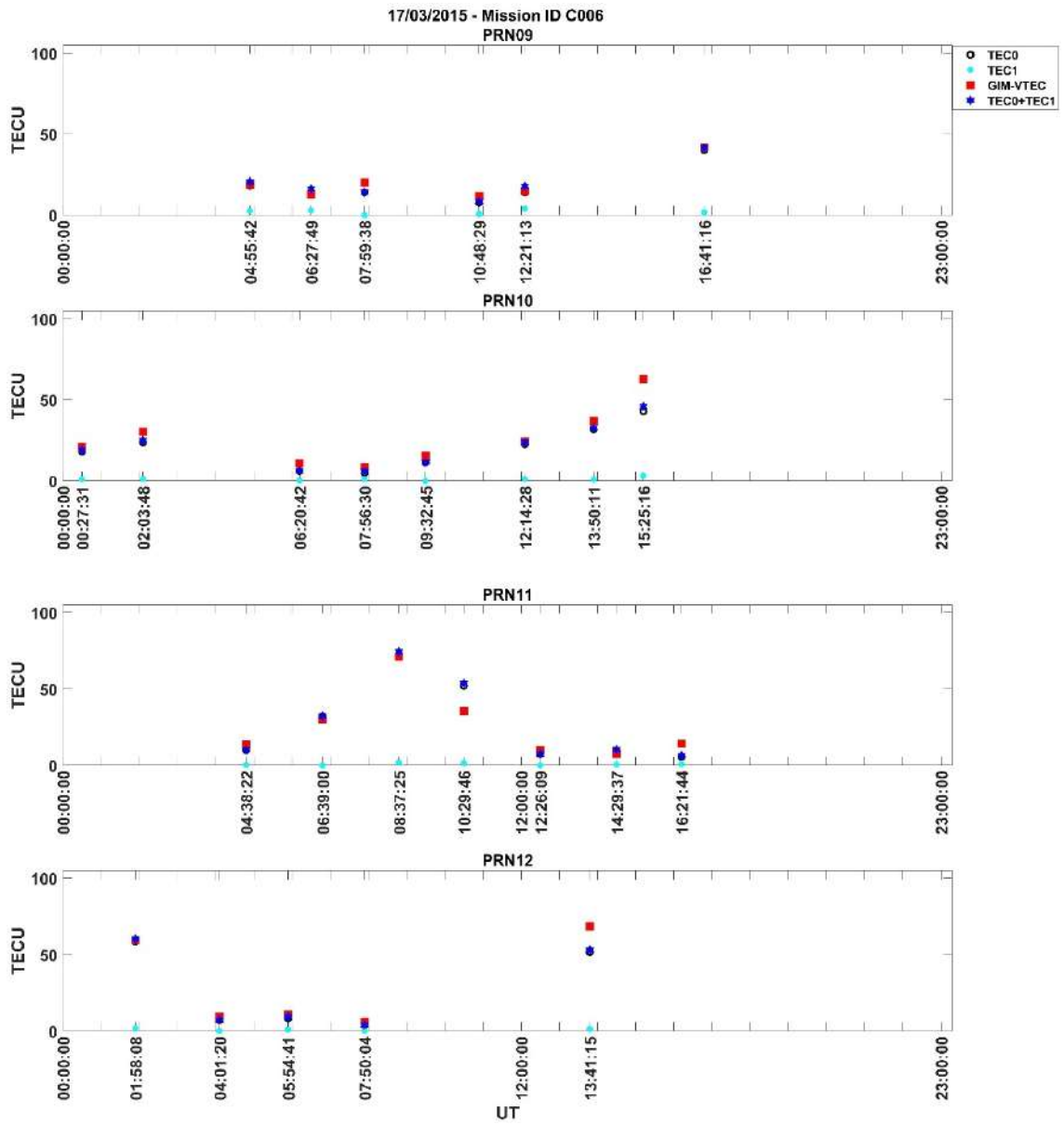
Şekil Ek 1. 30. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C001 – PRN29 / PRN30 / PRN31



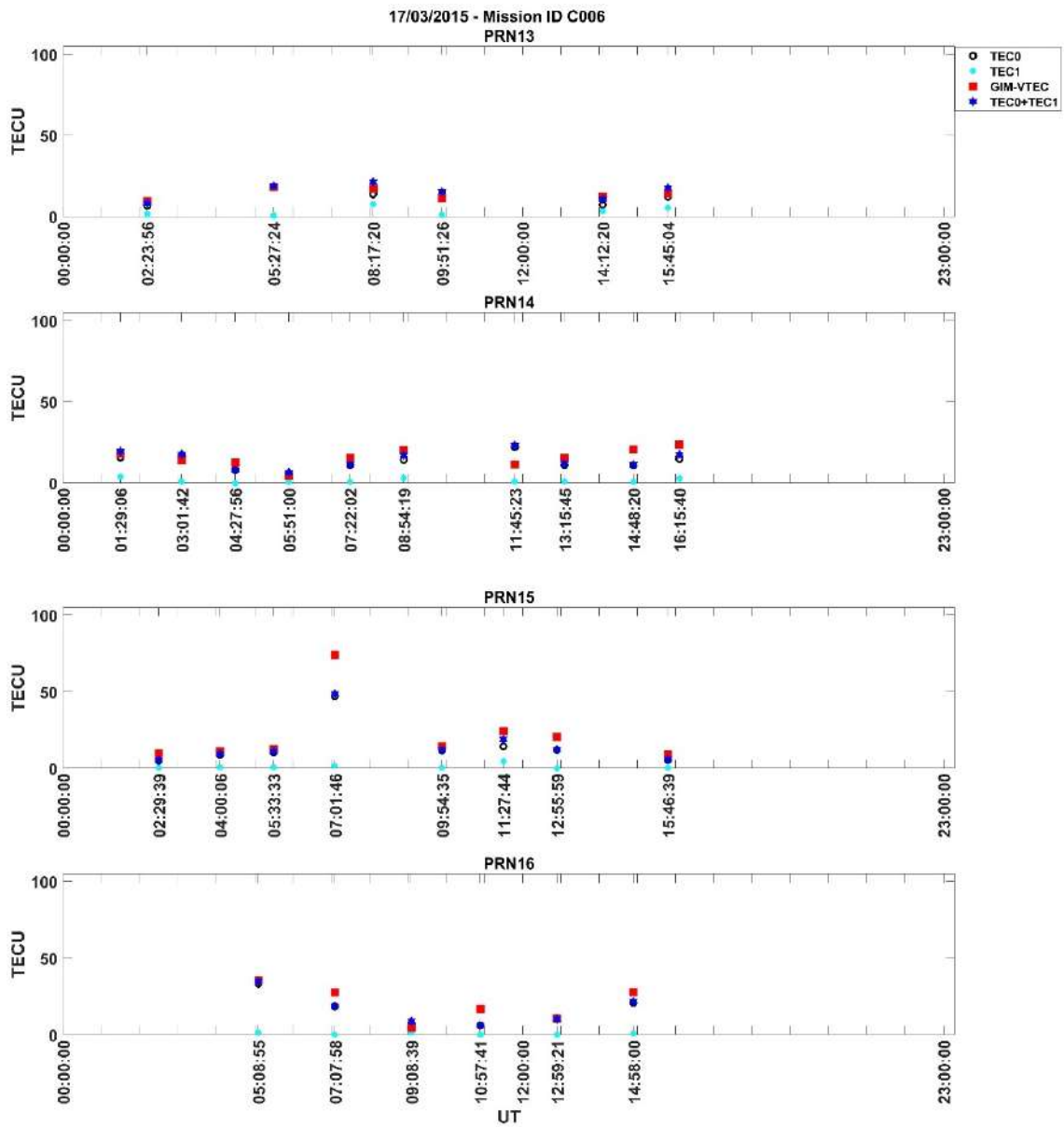
Şekil Ek 1. 31. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



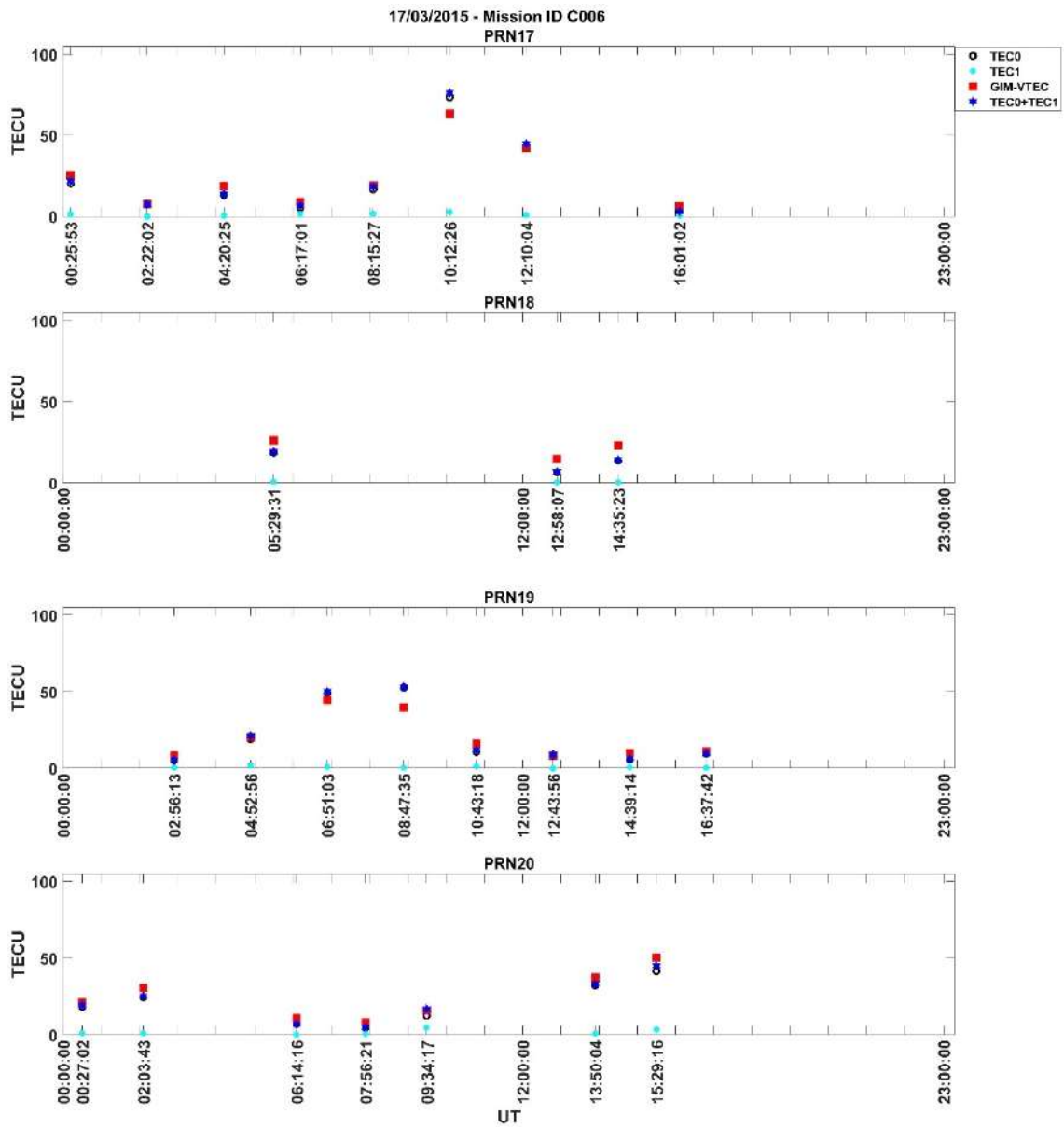
Şekil Ek 1. 32. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08



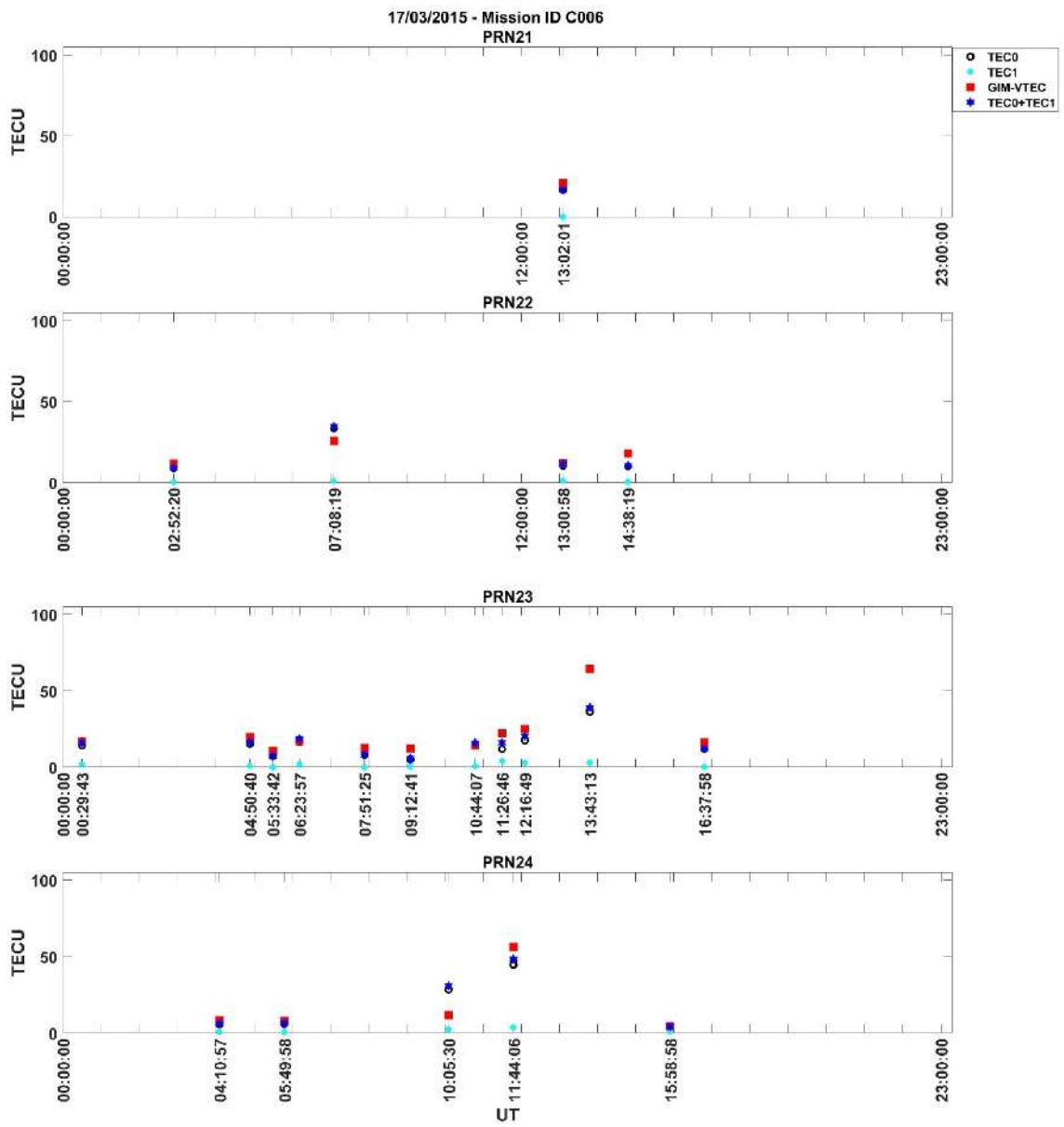
Şekil Ek 1. 33. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN09 / PRN10 / PRN11 / PRN12



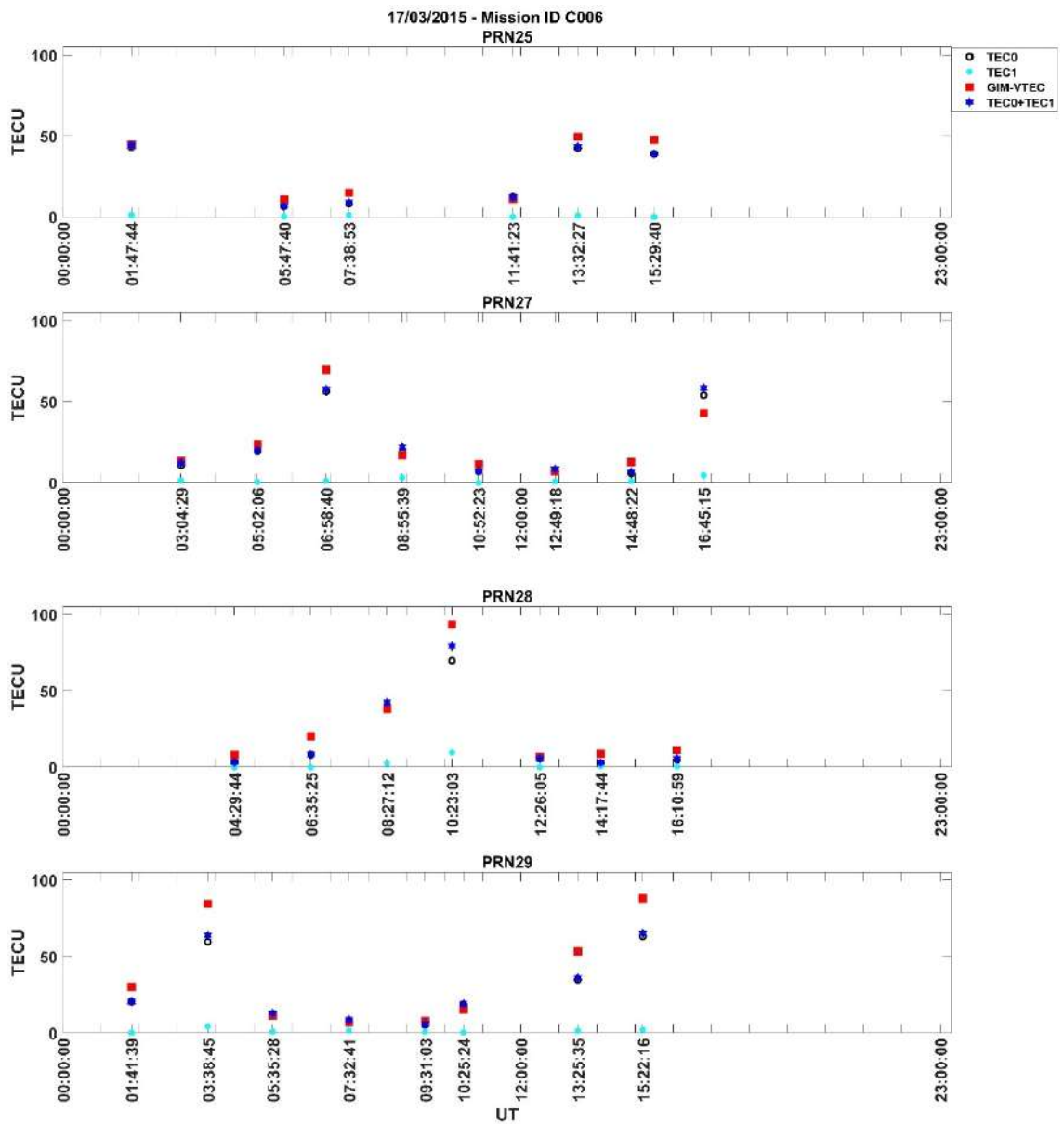
Şekil Ek 1. 34. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN13 / PRN14 / PRN15 / PRN16



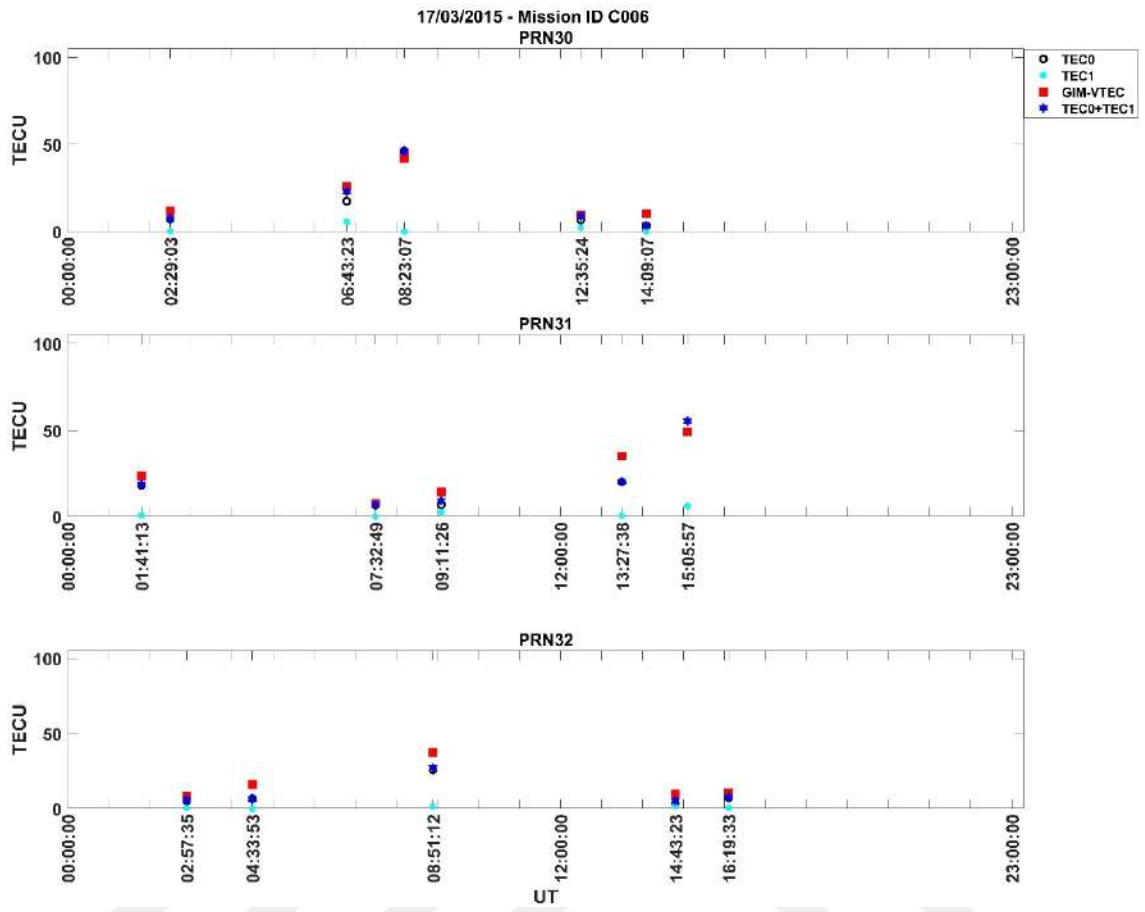
Şekil Ek 1. 35. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN17 / PRN18 / PRN19 / PRN20



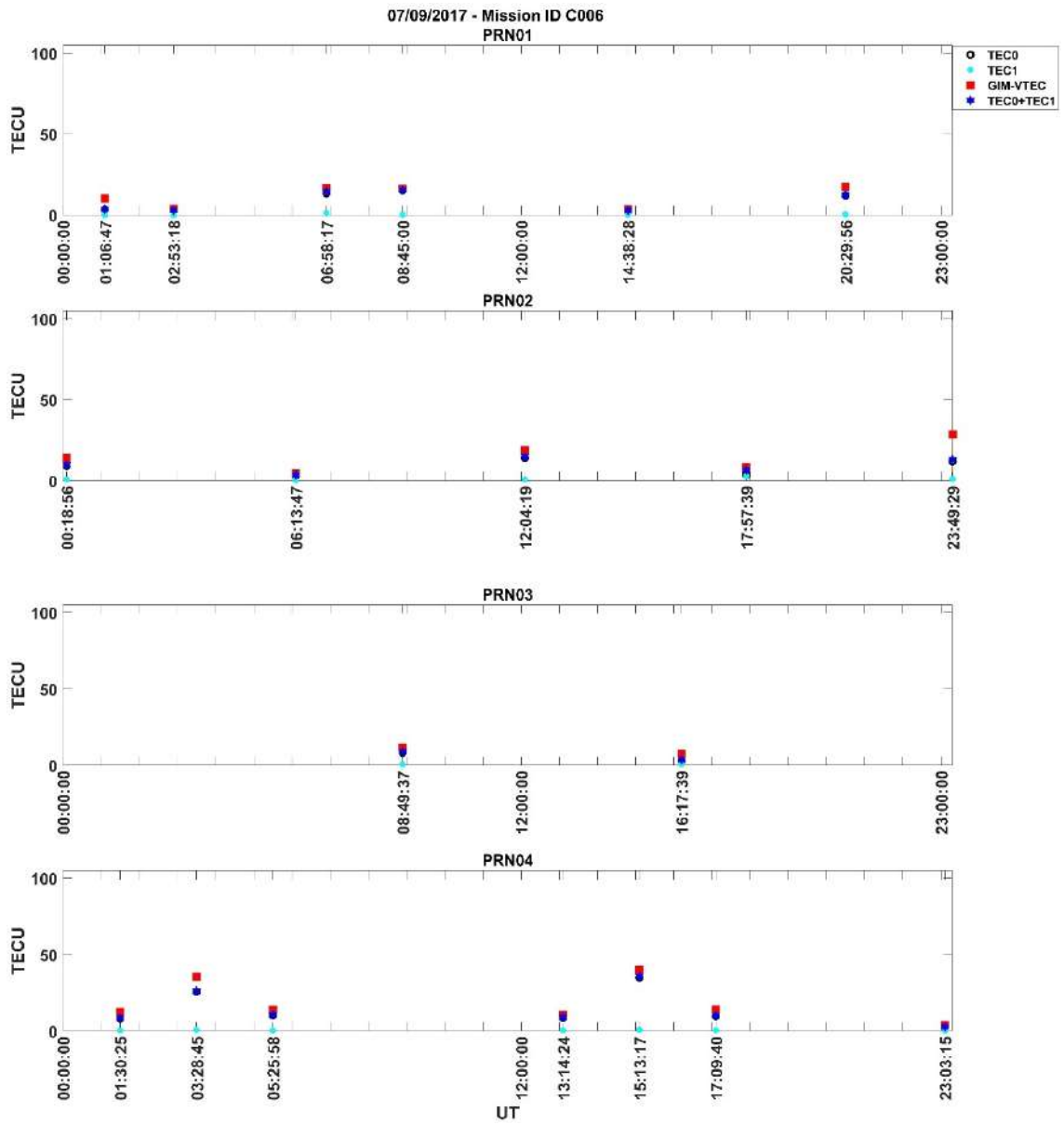
Şekil Ek 1. 36. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24



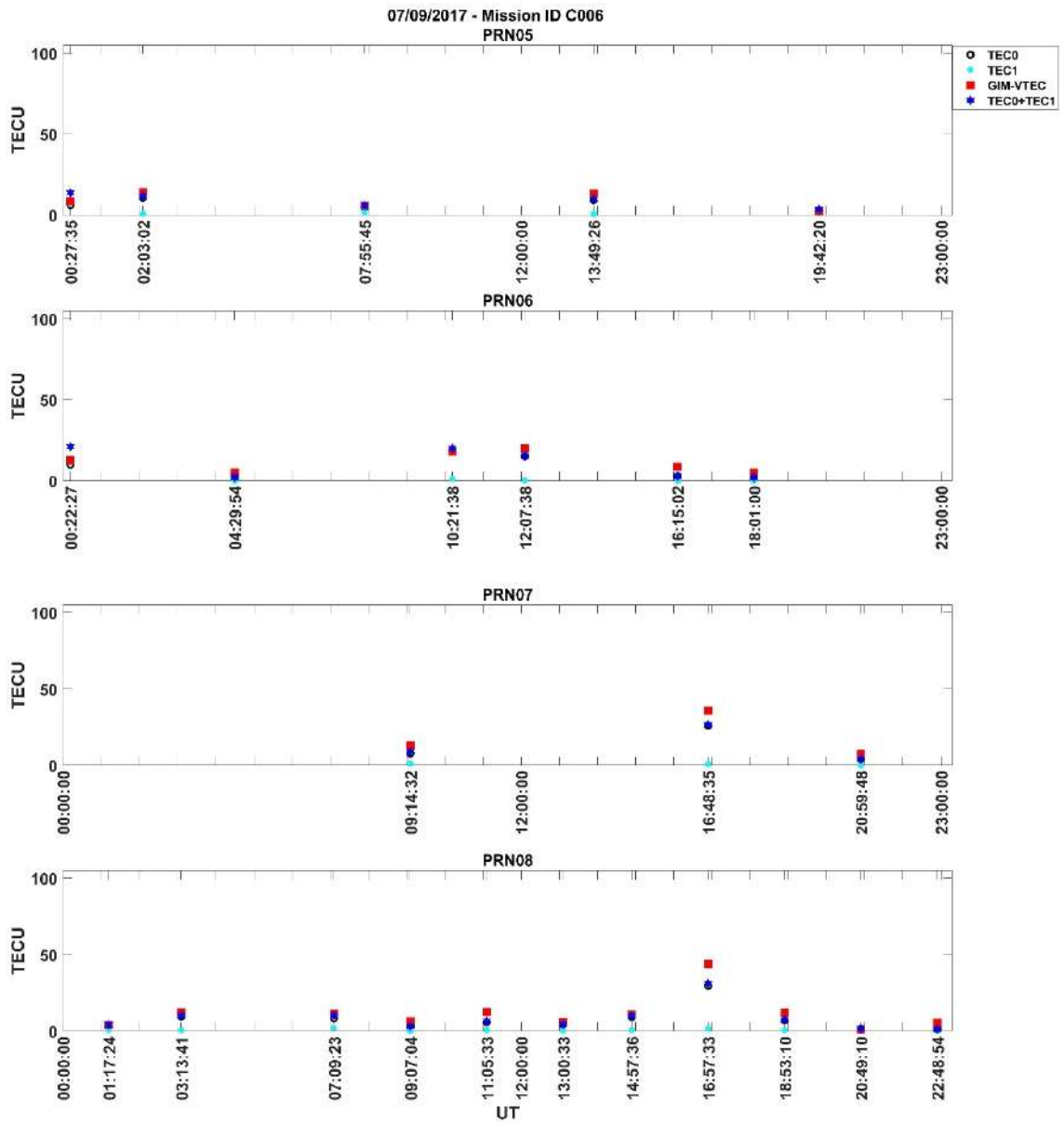
Şekil Ek 1. 37. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN25 / PRN27 / PRN28 / PRN29



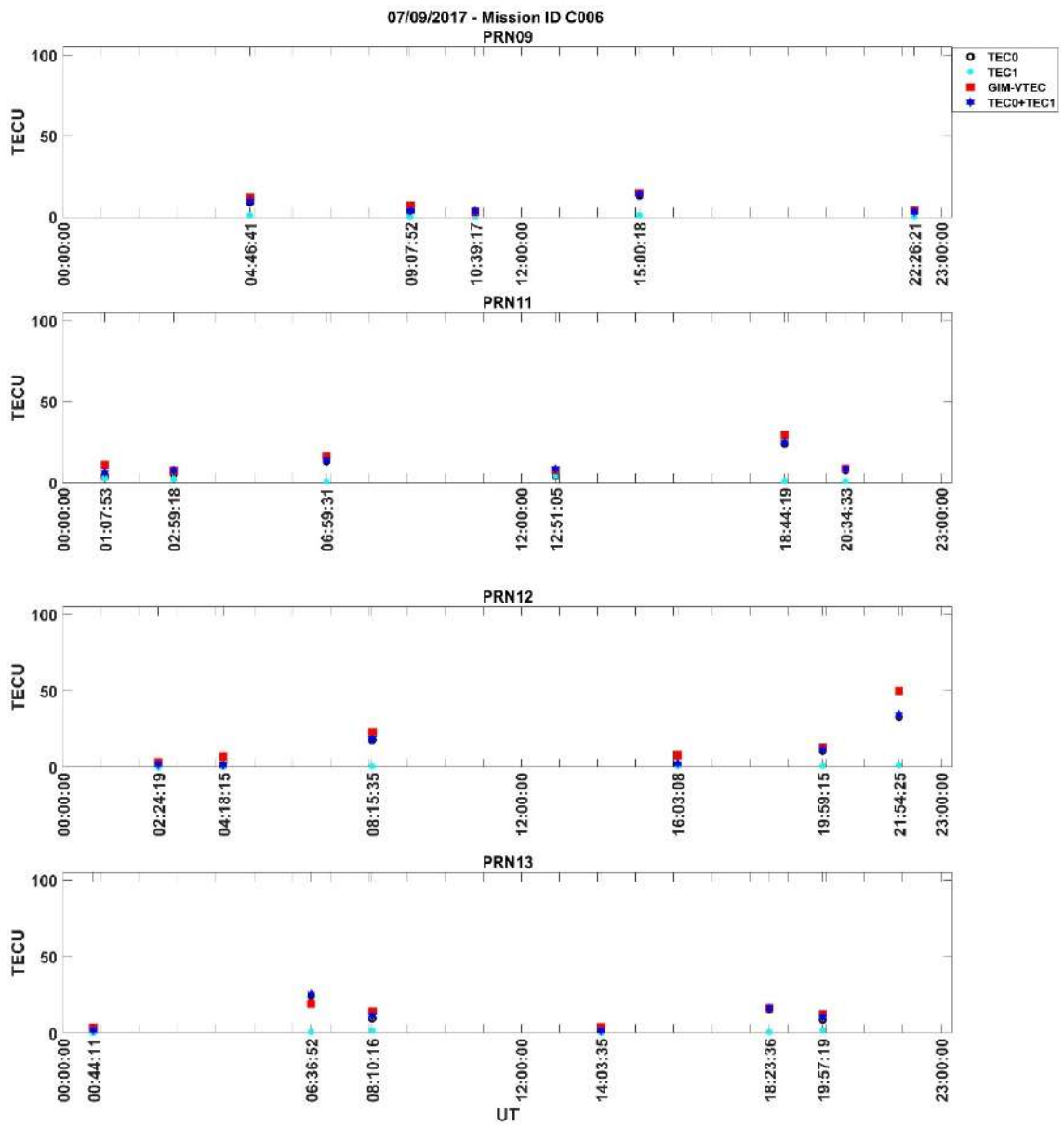
Şekil Ek 1. 38. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 17/03/2015 Mission ID C006 – PRN30 / PRN31 / PRN32



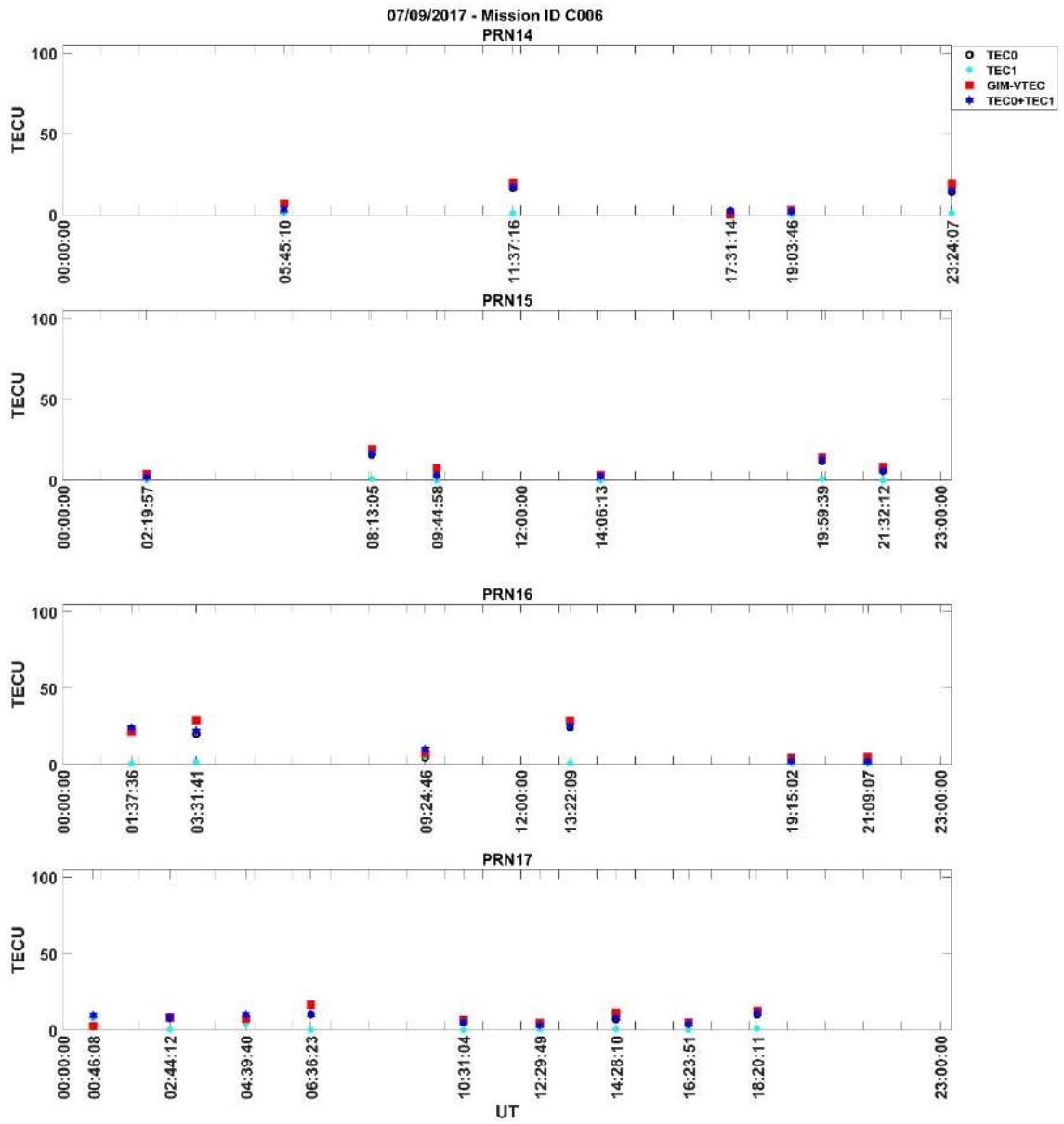
Şekil Ek 1. 39. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



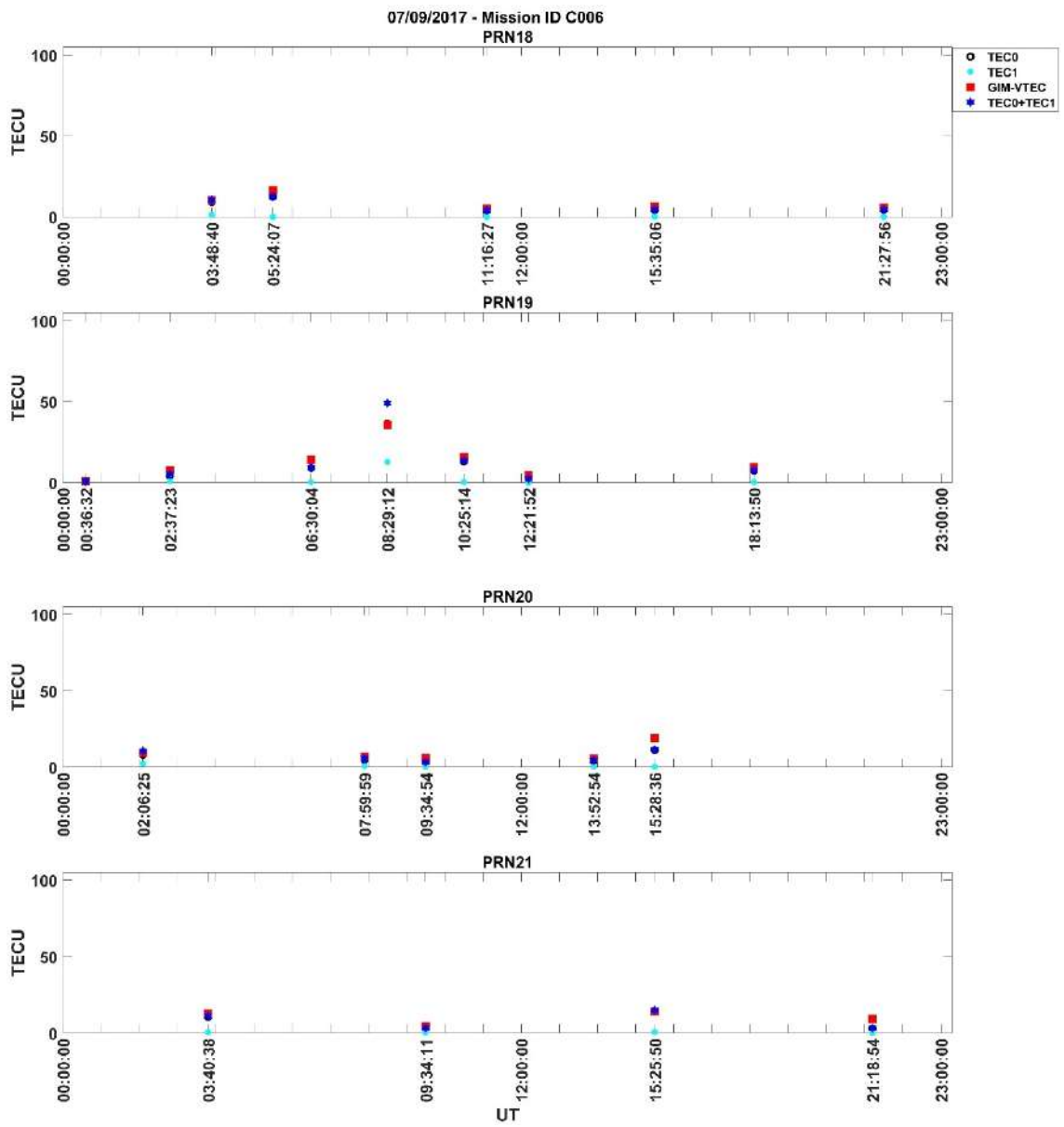
Şekil Ek 1. 40. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08



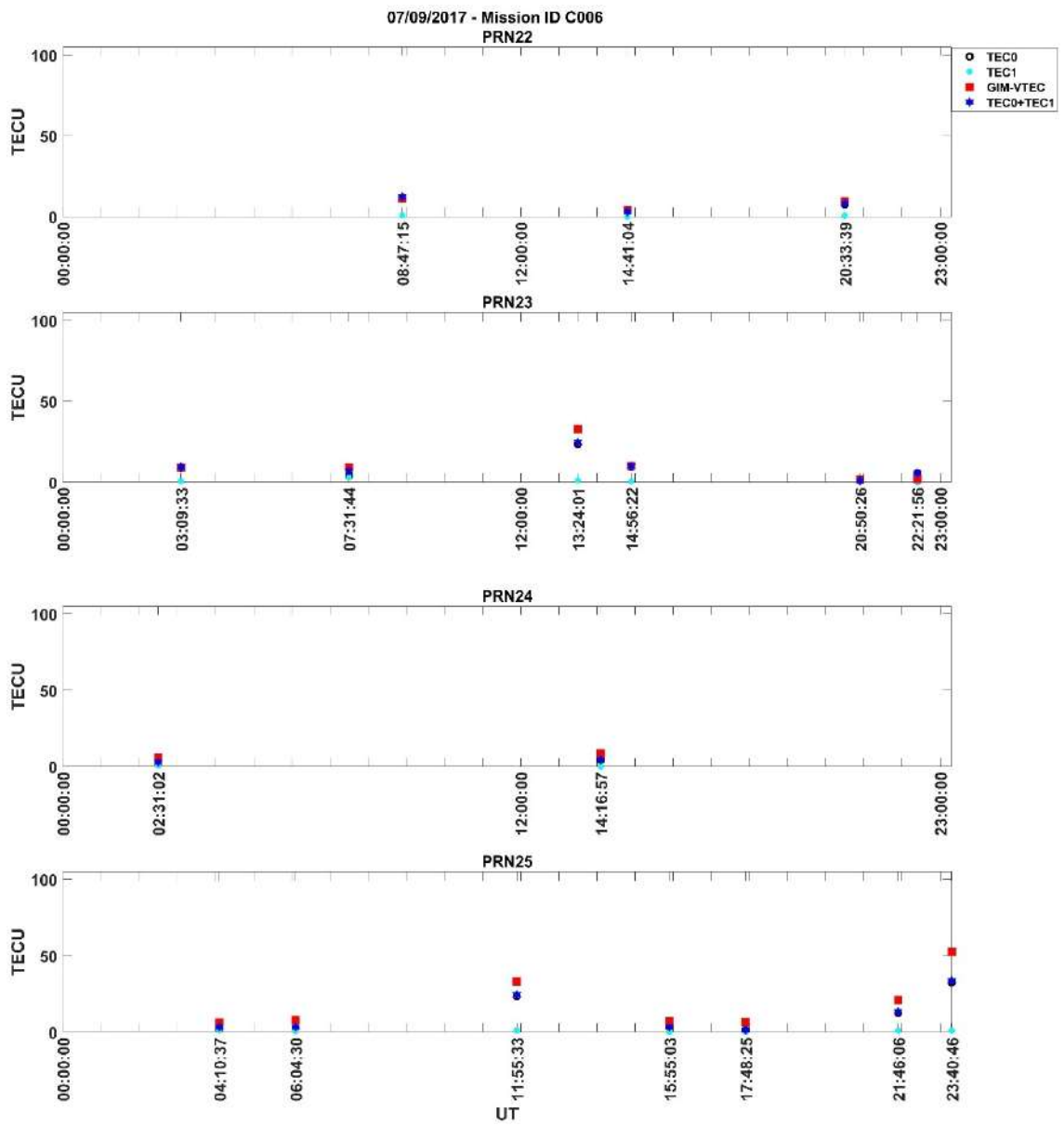
Şekil Ek 1. 41. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN09 / PRN11 / PRN12 / PRN13



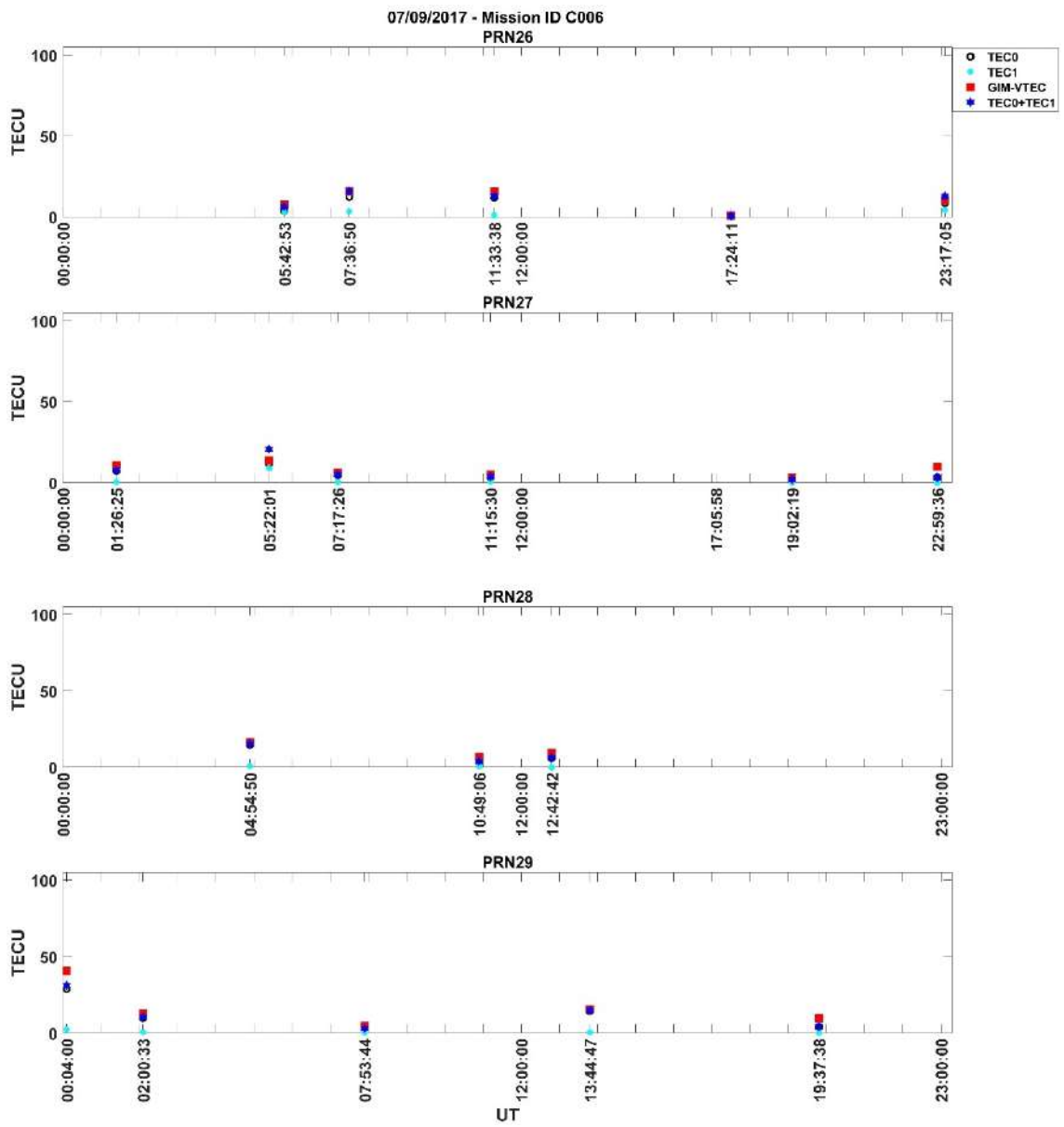
Şekil Ek 1. 42. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17



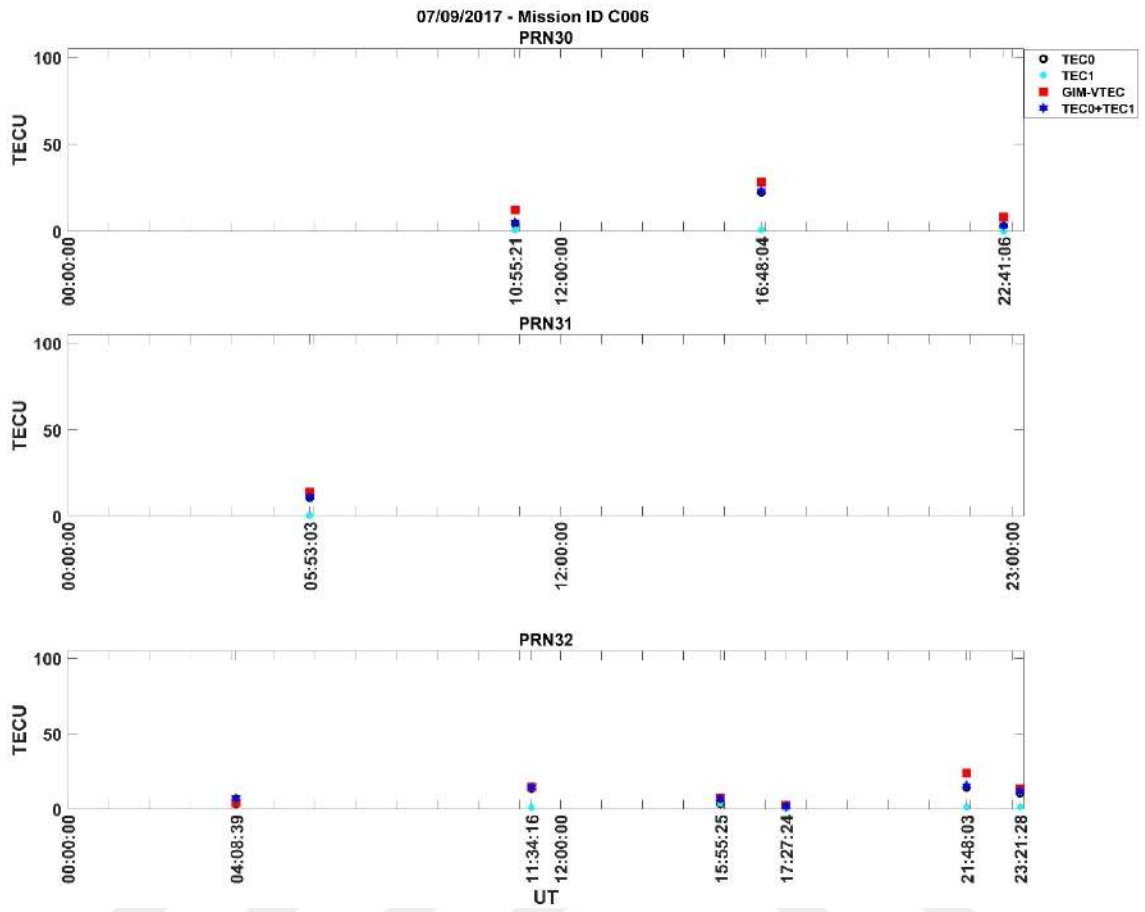
Şekil Ek 1. 43. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN18 / PRN19 / PRN20 / PRN21



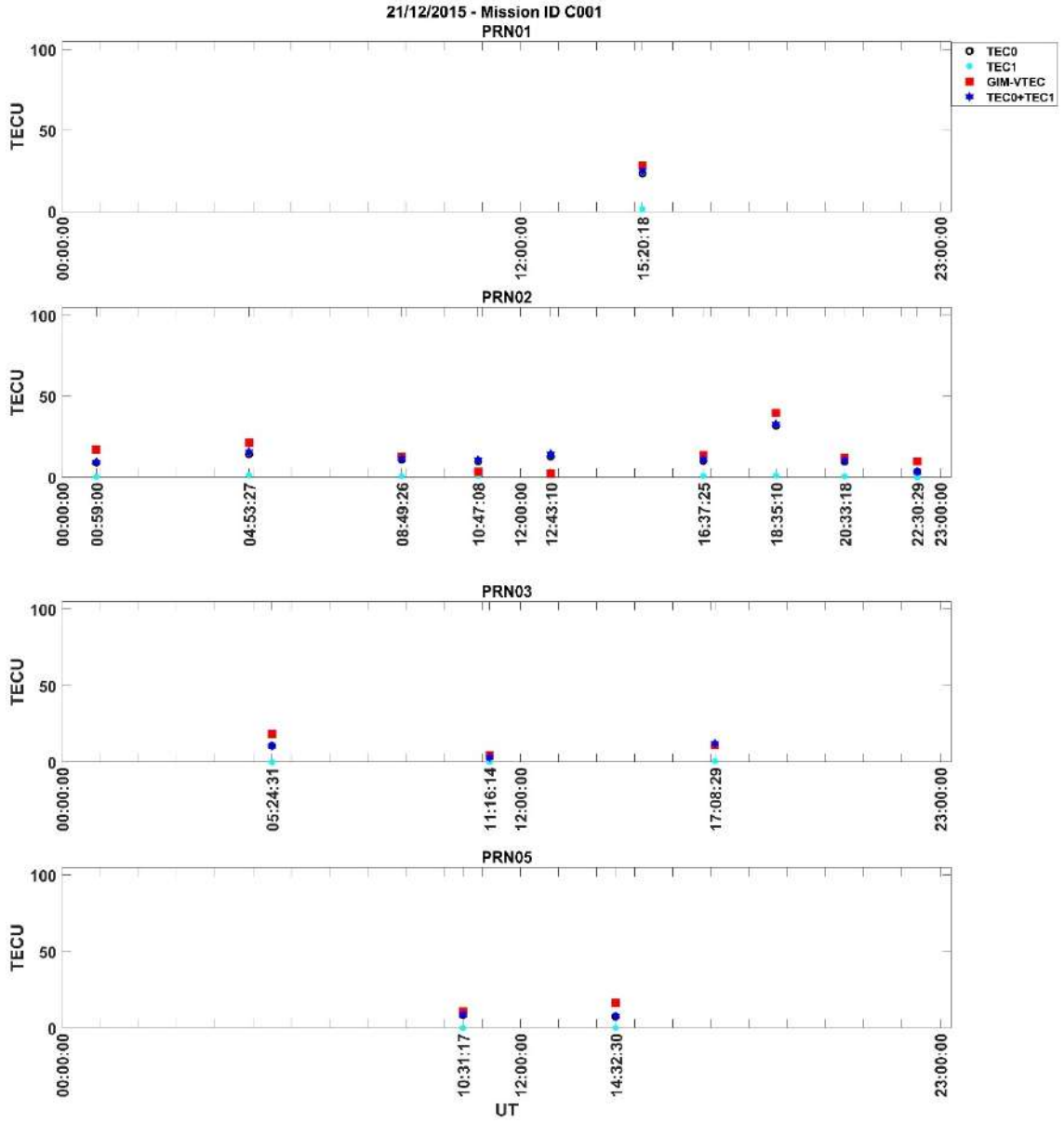
Şekil Ek 1. 44. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN22 / PRN23 / PRN24 / PRN25



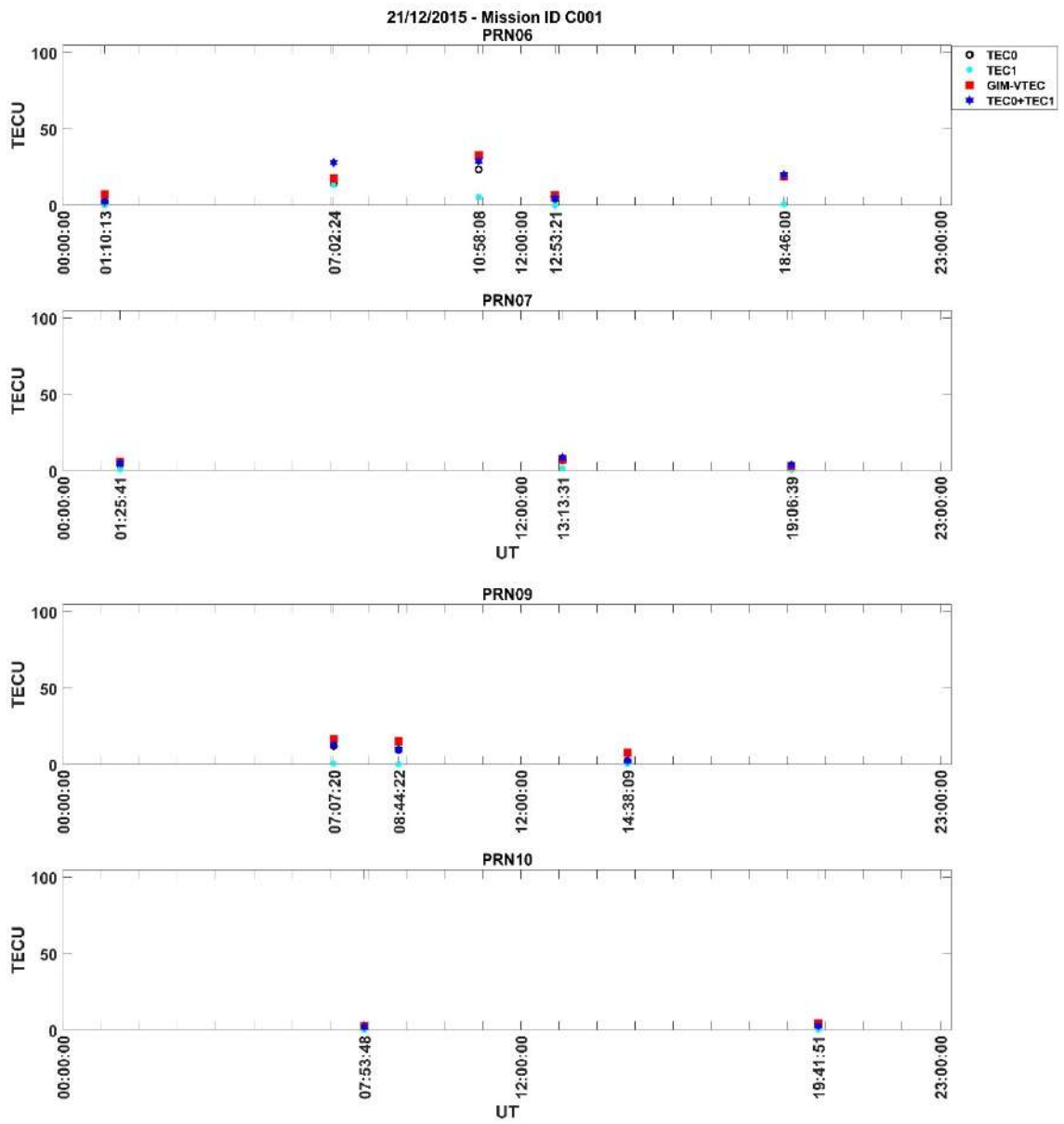
Şekil Ek 1. 45. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN26 / PRN27 / PRN28 / PRN29



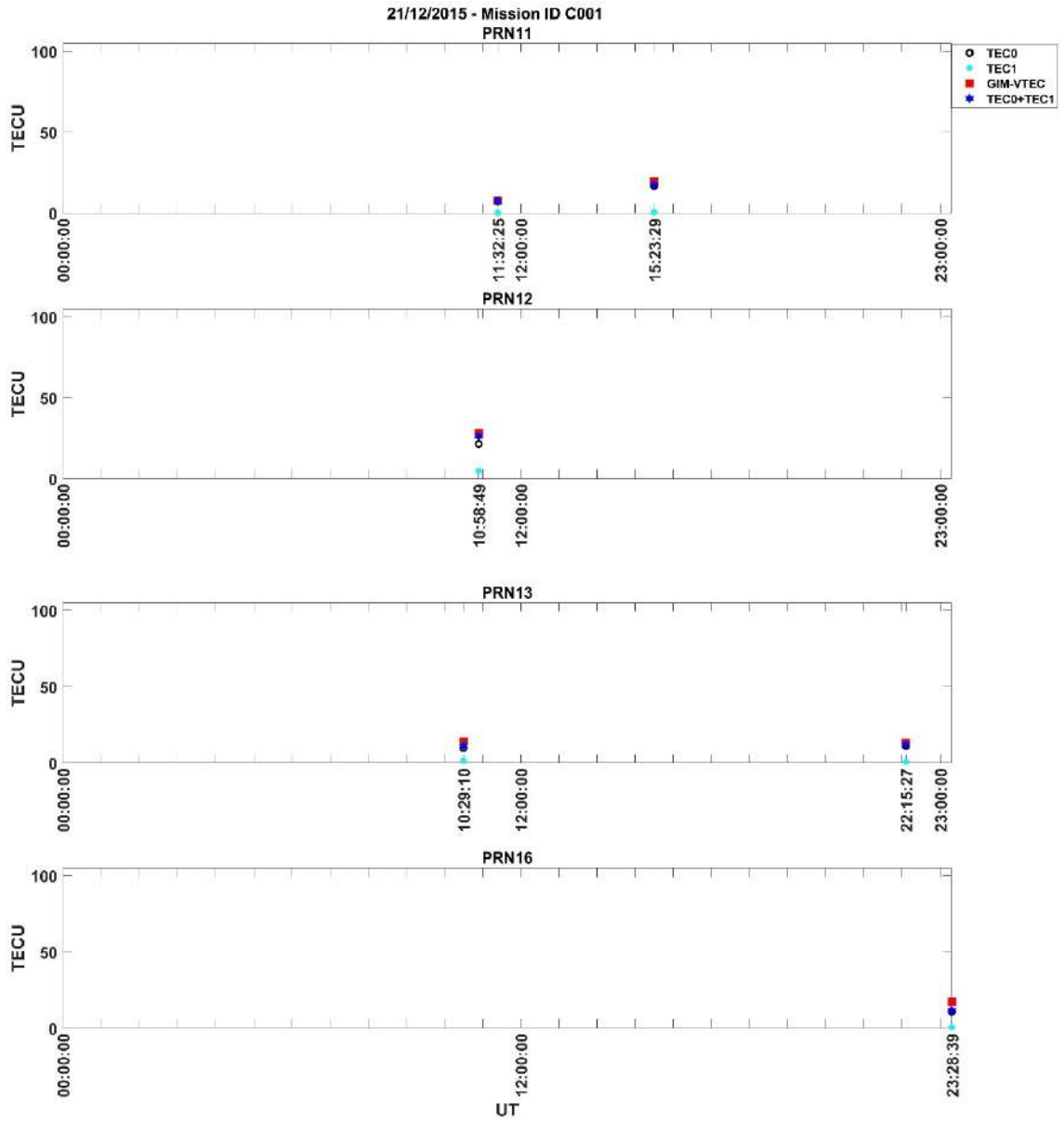
Şekil Ek 1. 46. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 07/09/2017 Mission ID C006 – PRN30 / PRN31 / PRN32



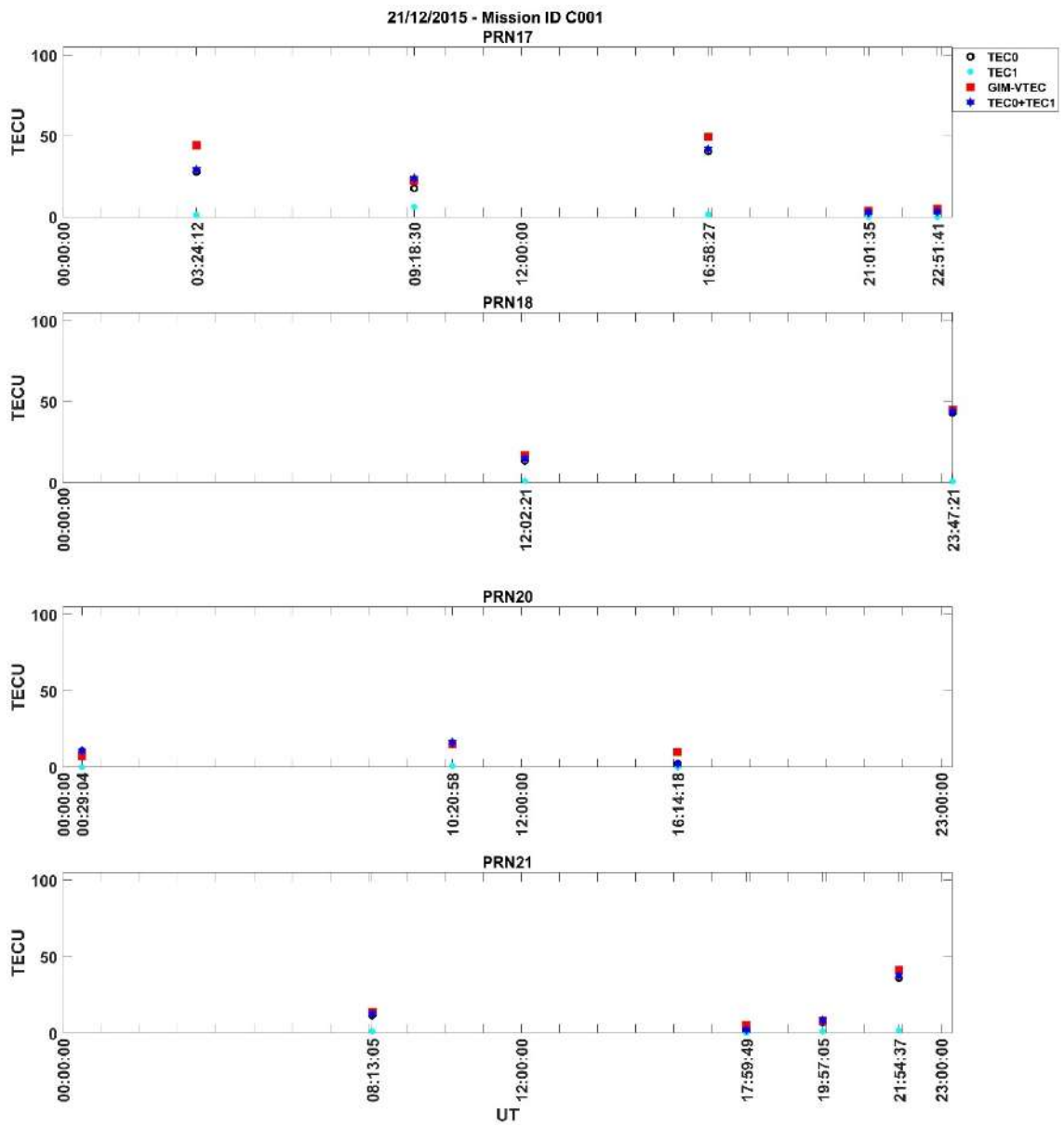
Şekil Ek 1. 47. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05



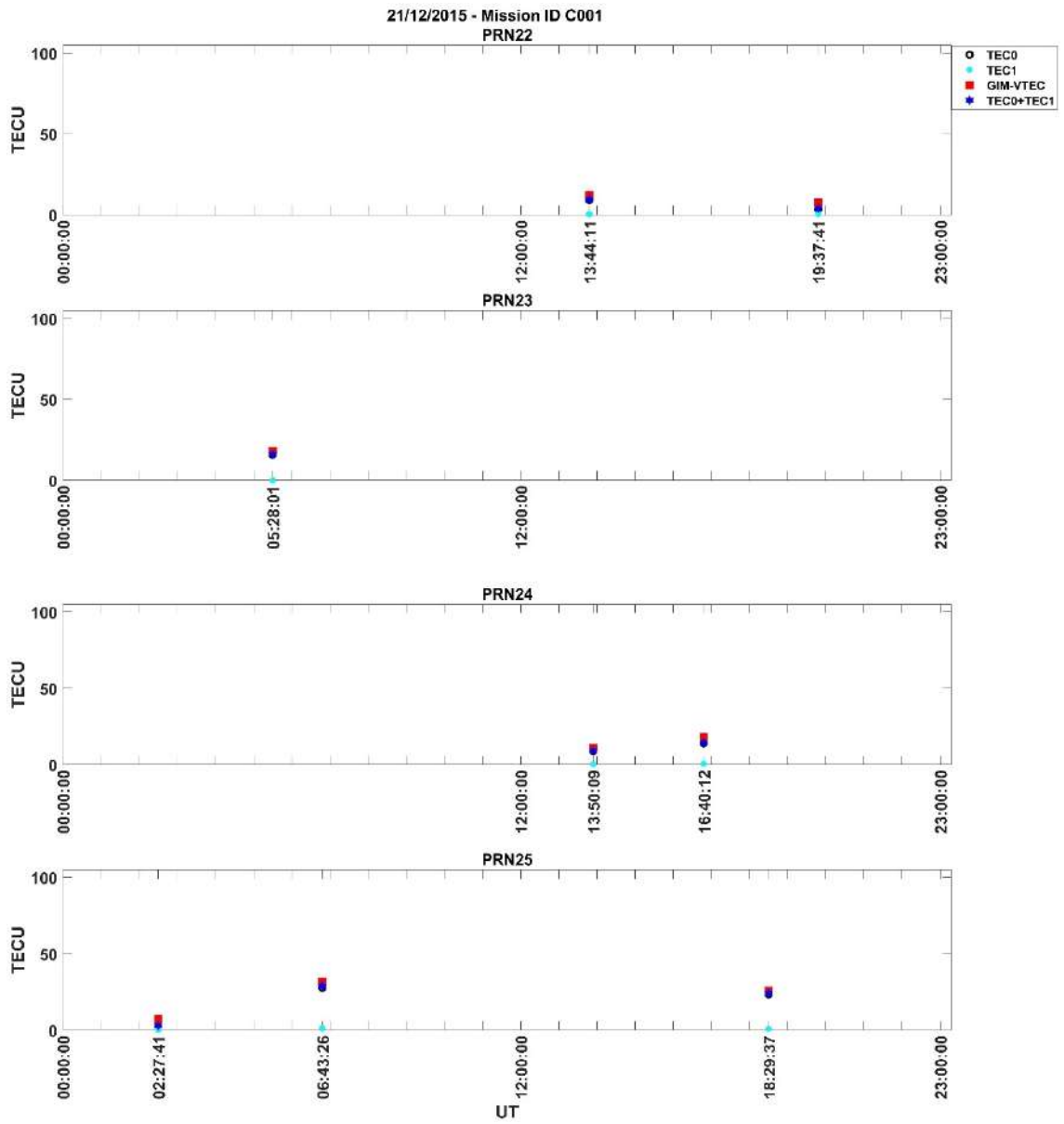
Şekil Ek 1. 48. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN06 / PRN07 / PRN09 / PRN10



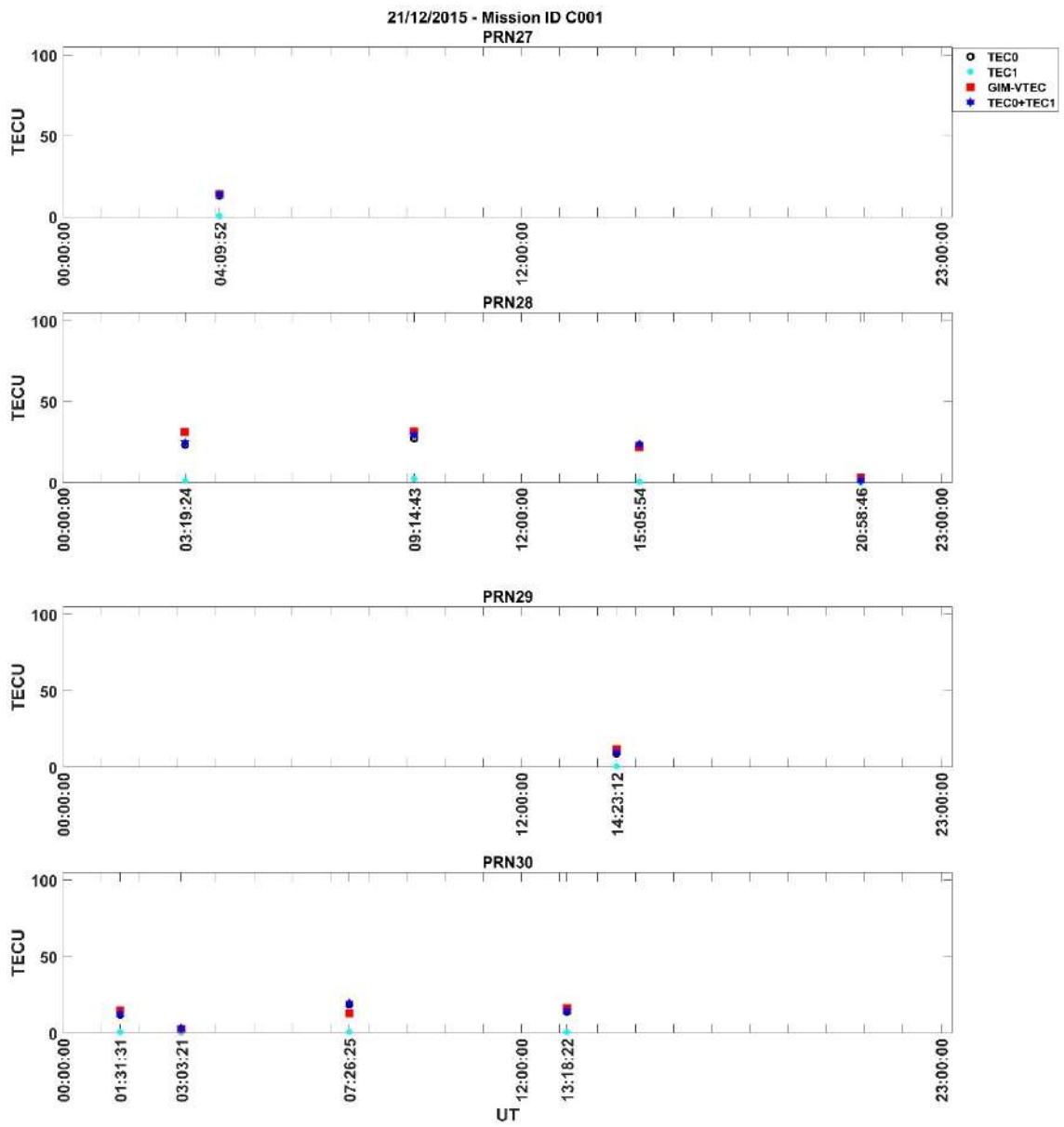
Şekil Ek 1. 49. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN11 / PRN12 / PRN13 / PRN16



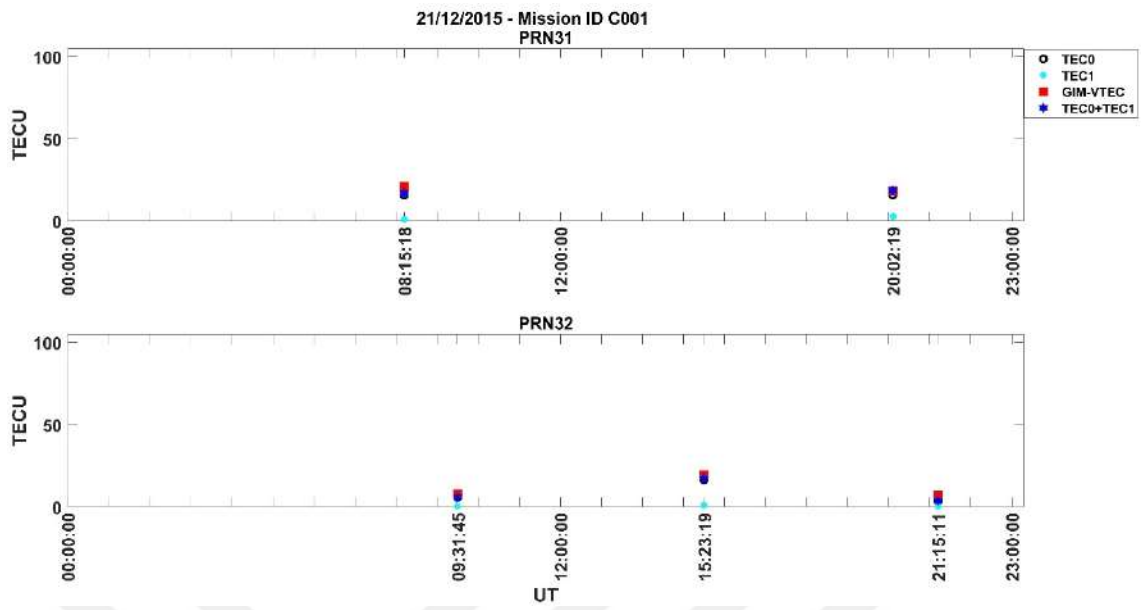
Şekil Ek 1. 50. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN17 / PRN18 / PRN20 / PRN21



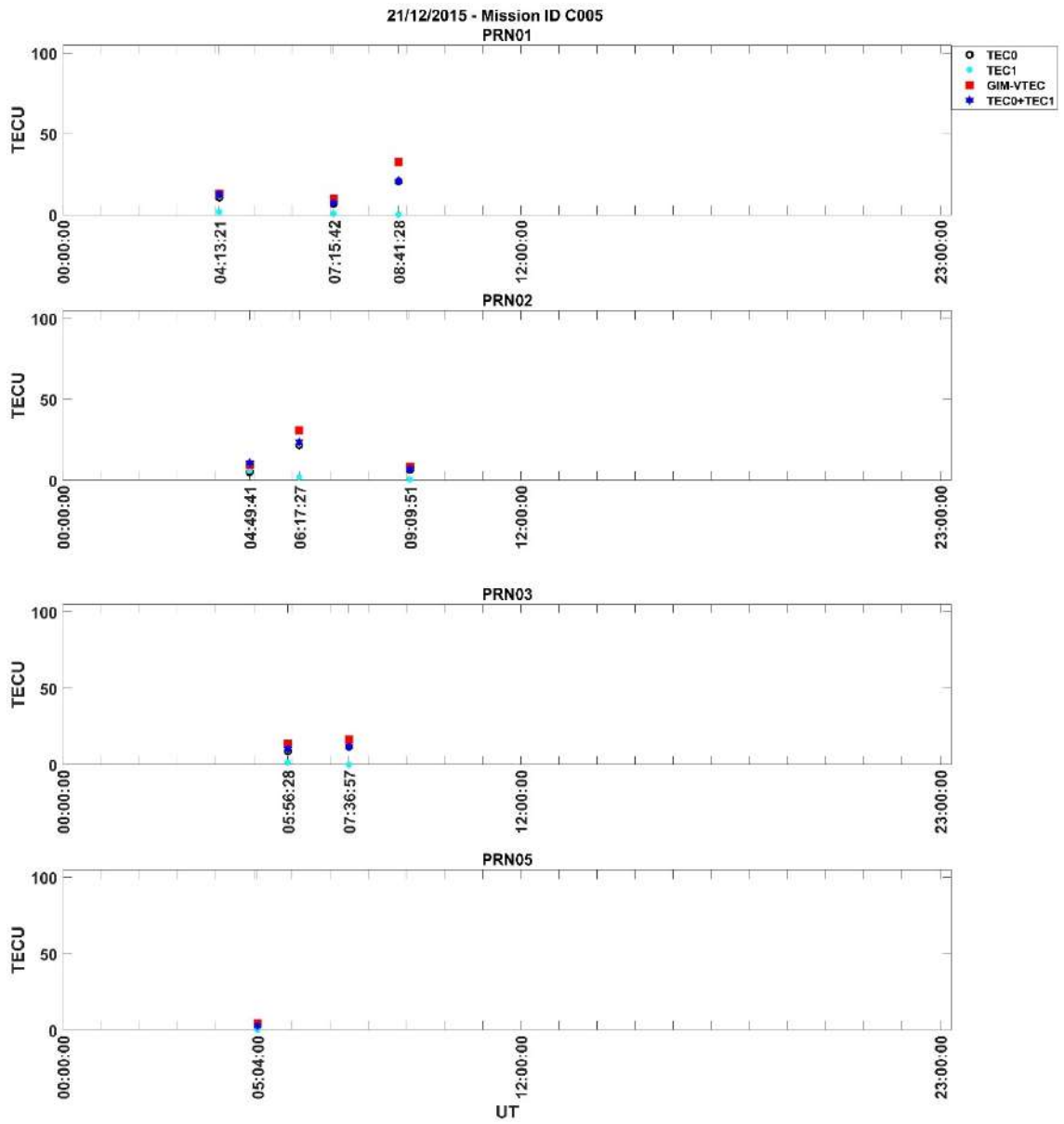
Şekil Ek 1. 51. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN22 / PRN23 / PRN24 / PRN25



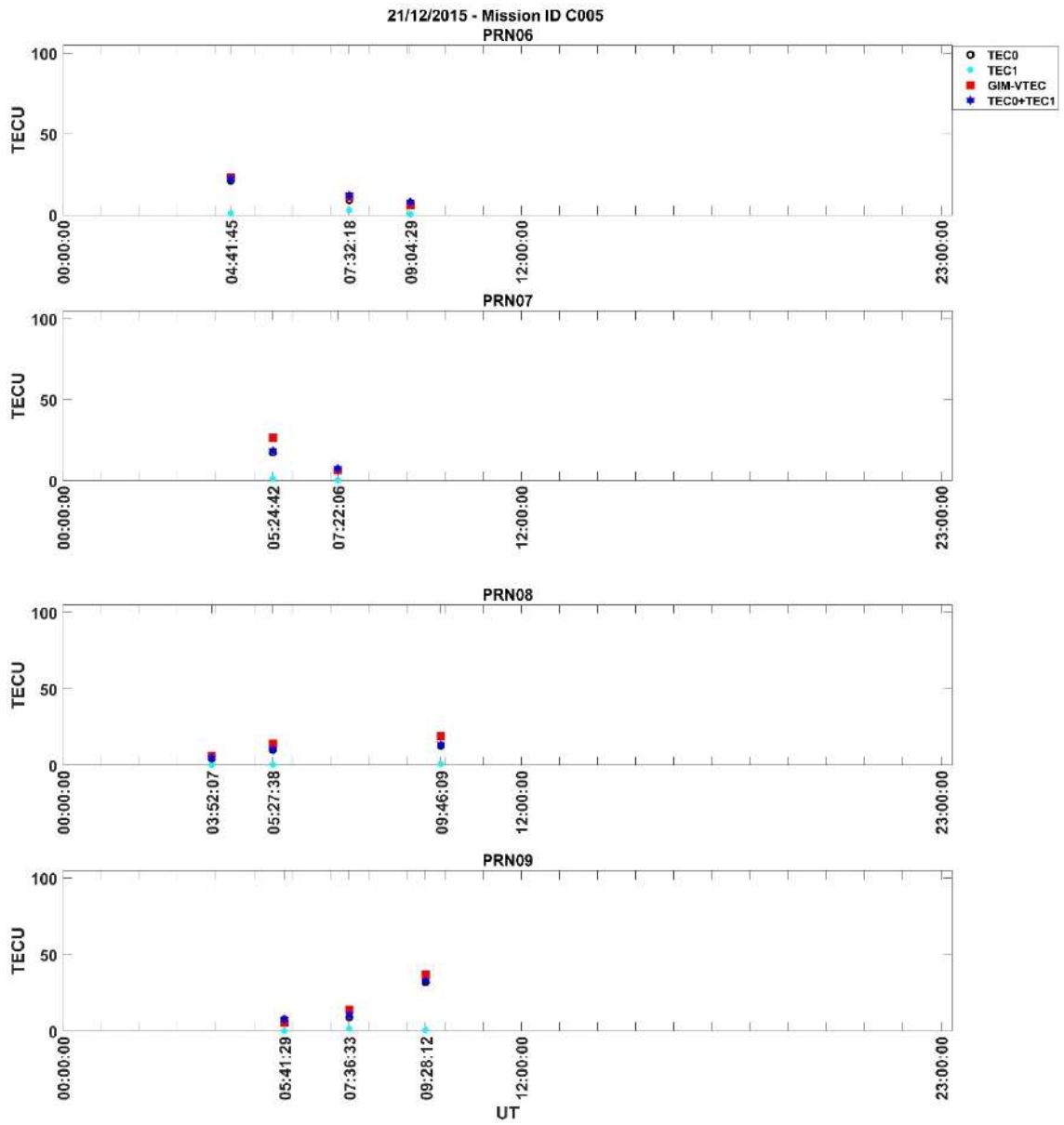
Şekil Ek 1. 52. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN27 / PRN28 / PRN29 / PRN30



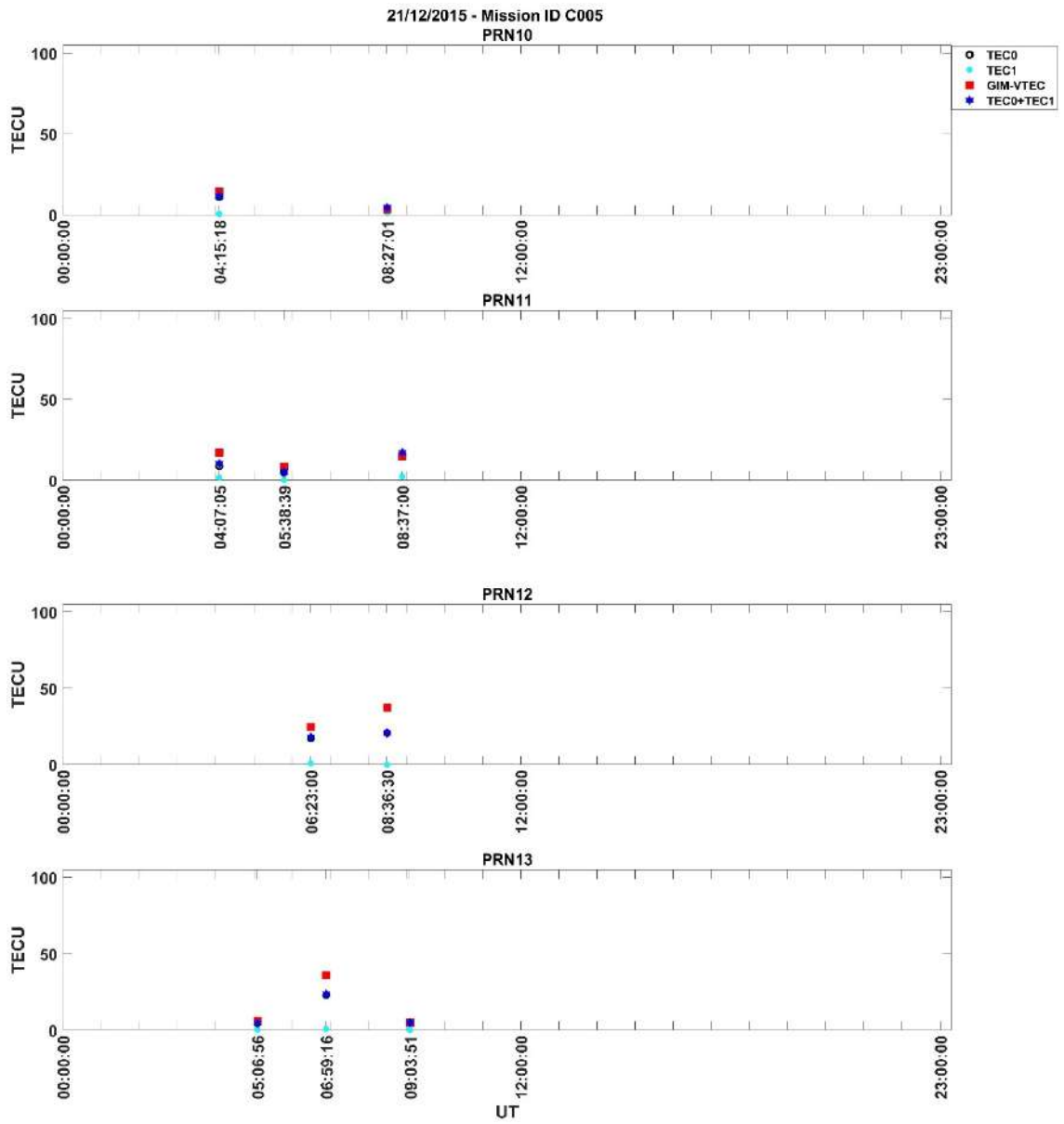
Şekil Ek 1. 53. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C001 – PRN31 / PRN32



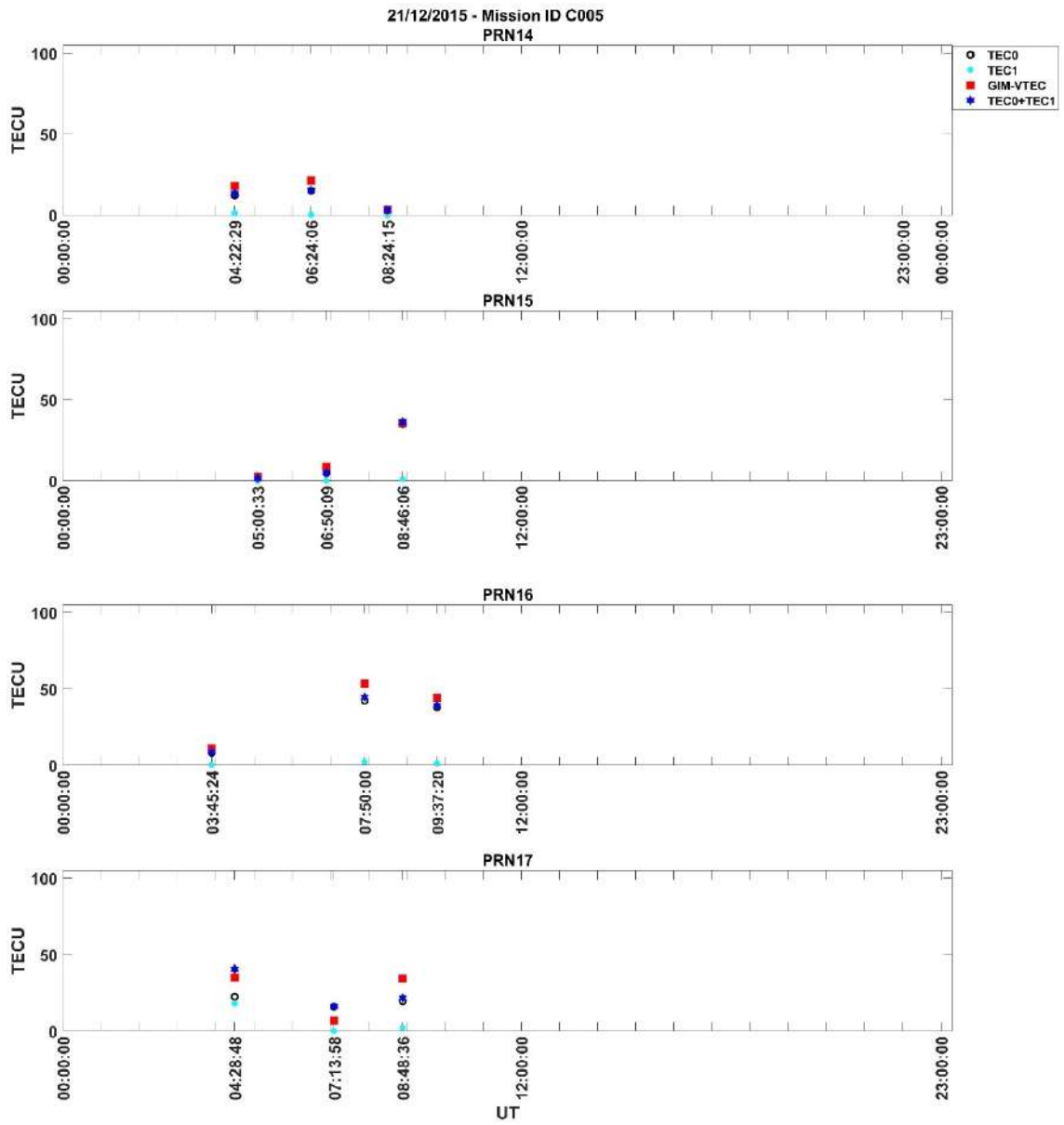
Şekil Ek 1. 54. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05



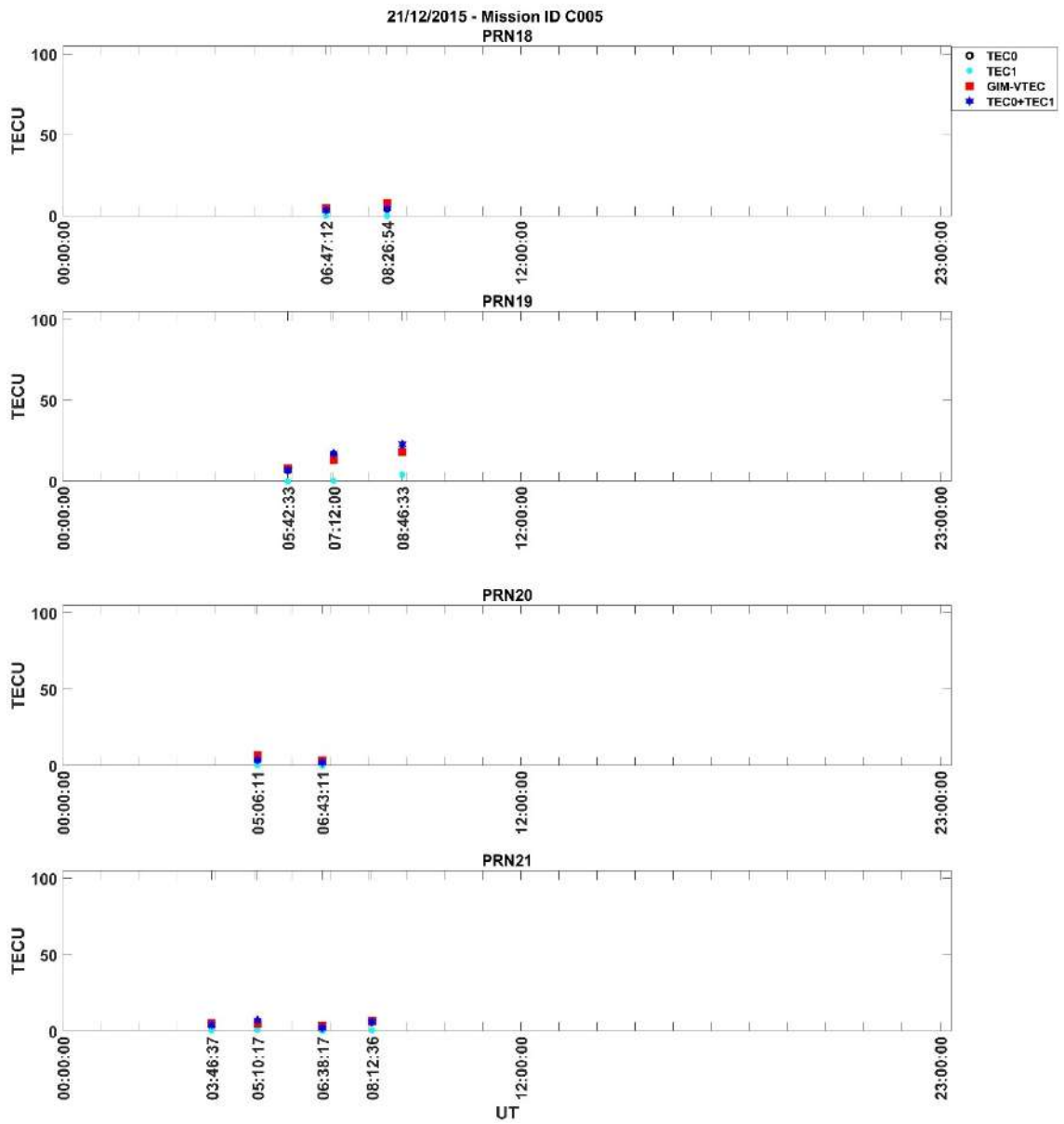
Şekil Ek 1. 55. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09



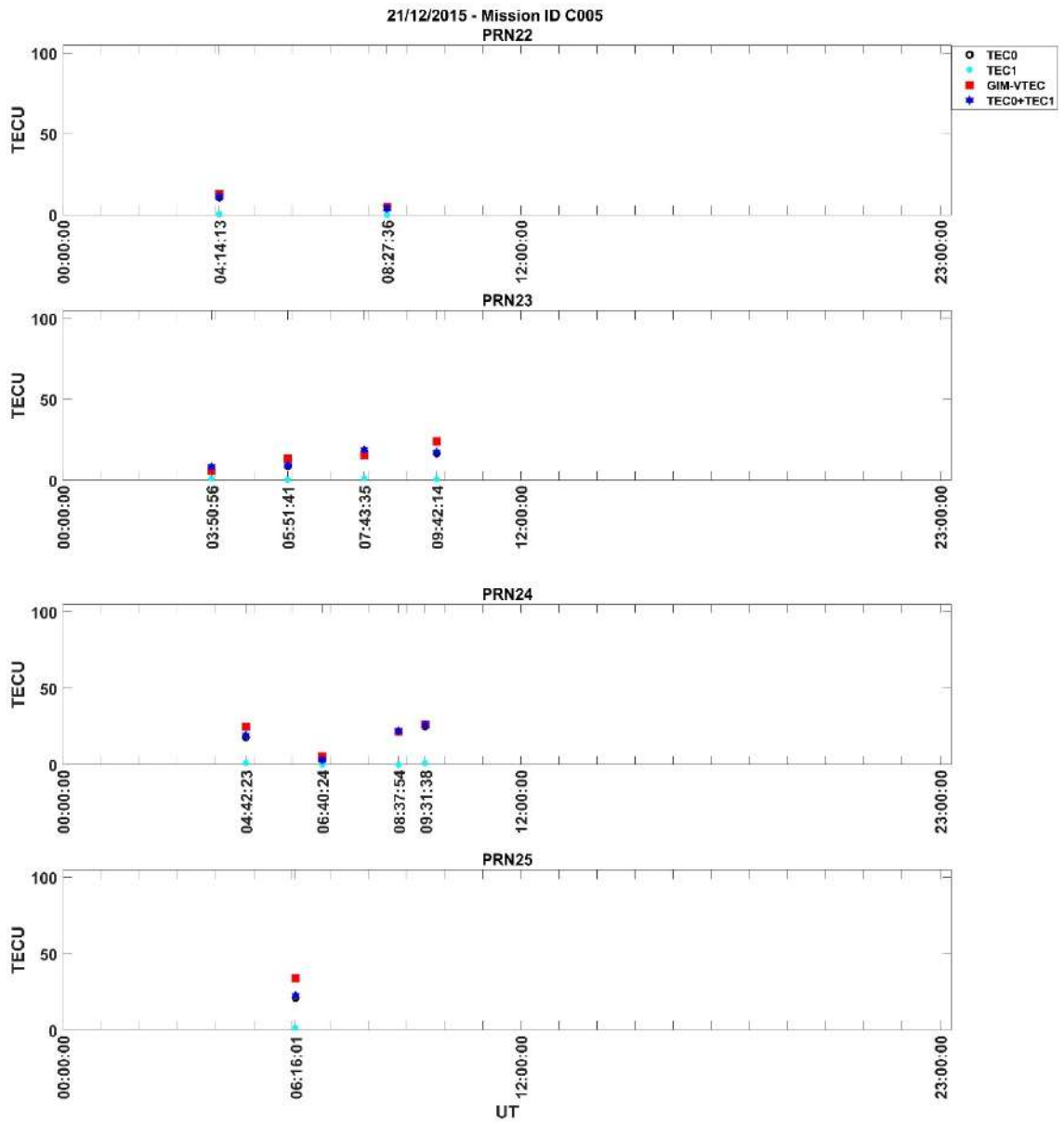
Şekil Ek 1. 56. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN13



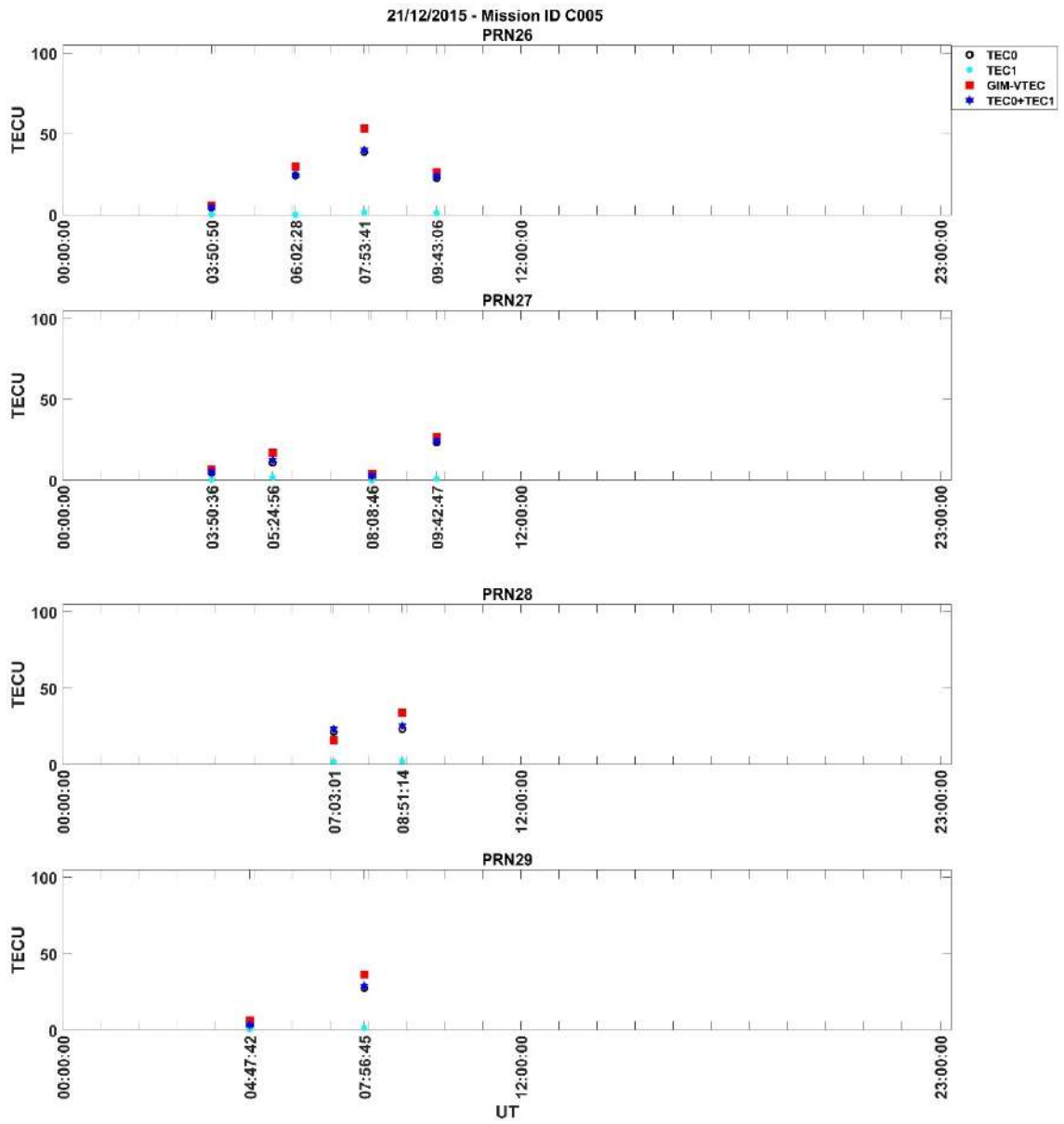
Şekil Ek 1. 57. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17



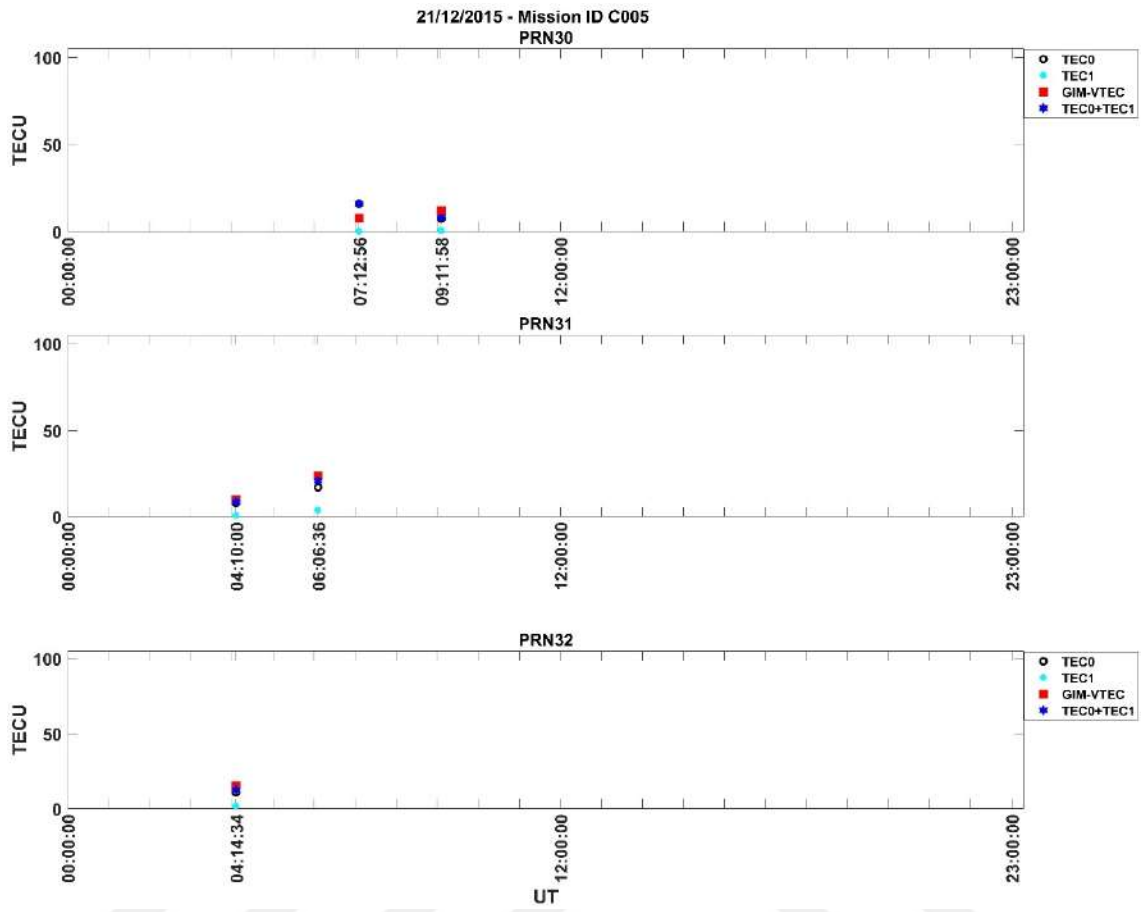
Şekil Ek 1. 58. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN18 / PRN19 / PRN20 / PRN21



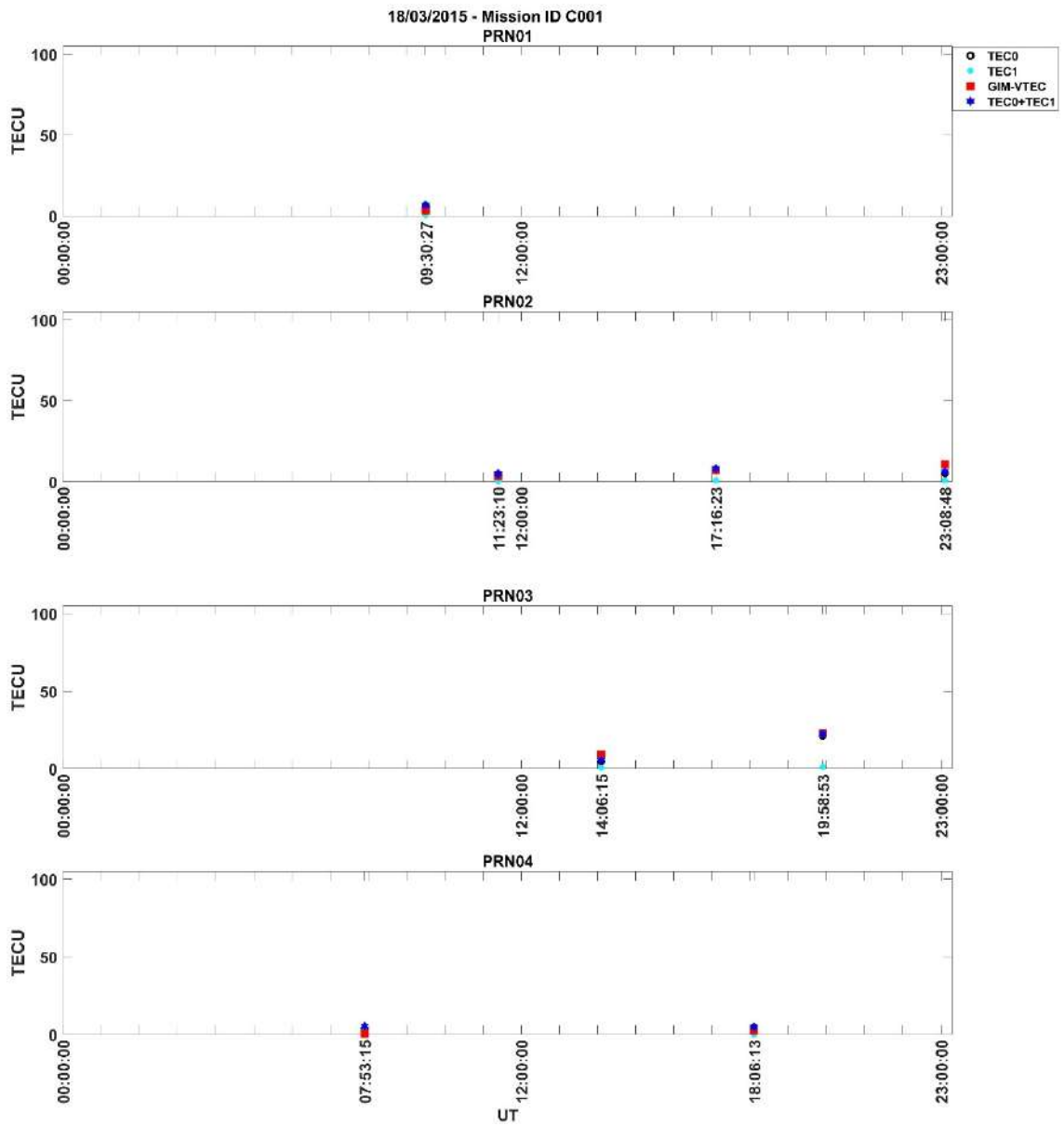
Şekil Ek 1. 59. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN22 / PRN23 / PRN24 / PRN25



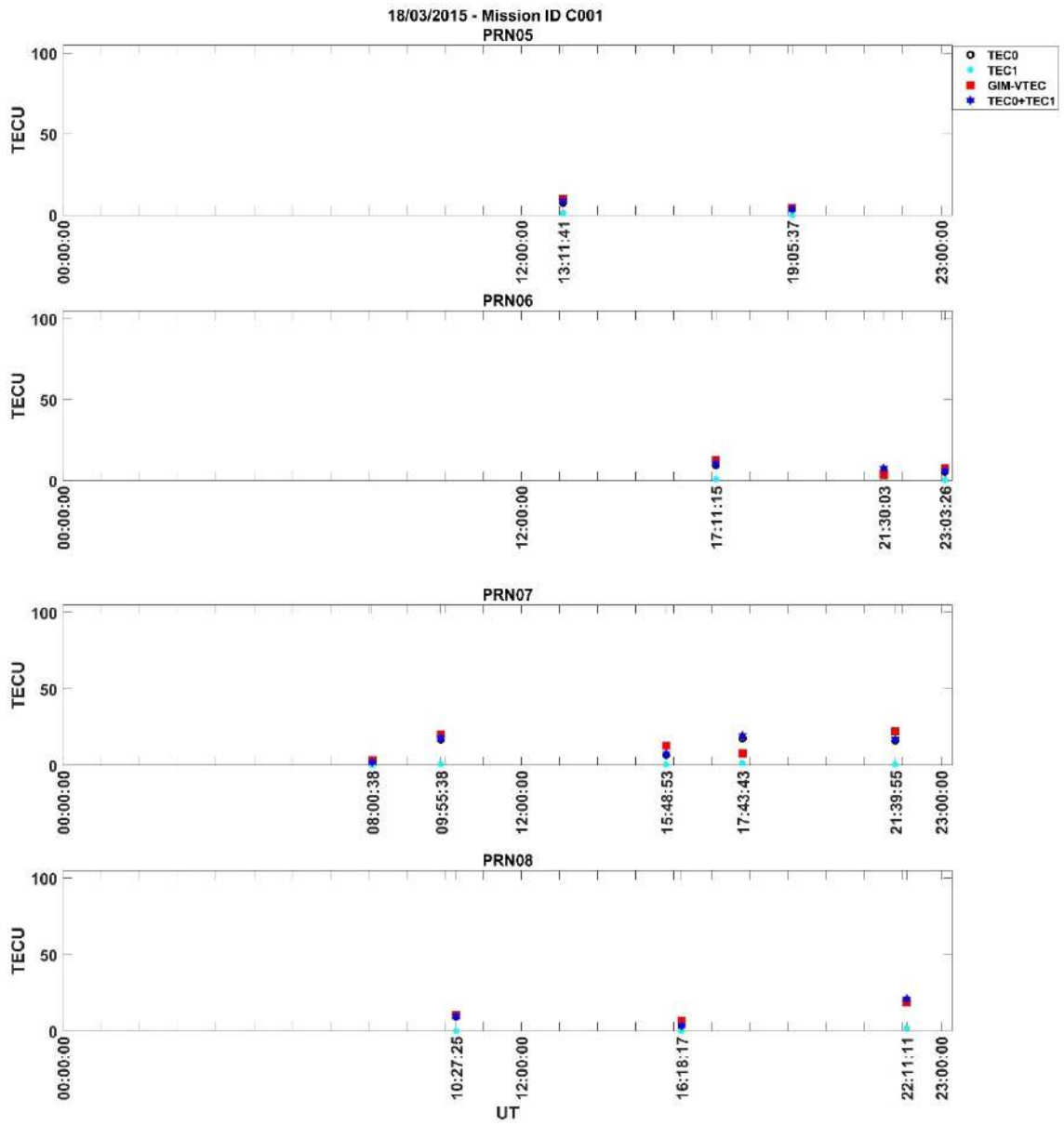
Şekil Ek 1. 60. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN26 / PRN27 / PRN28 / PRN29



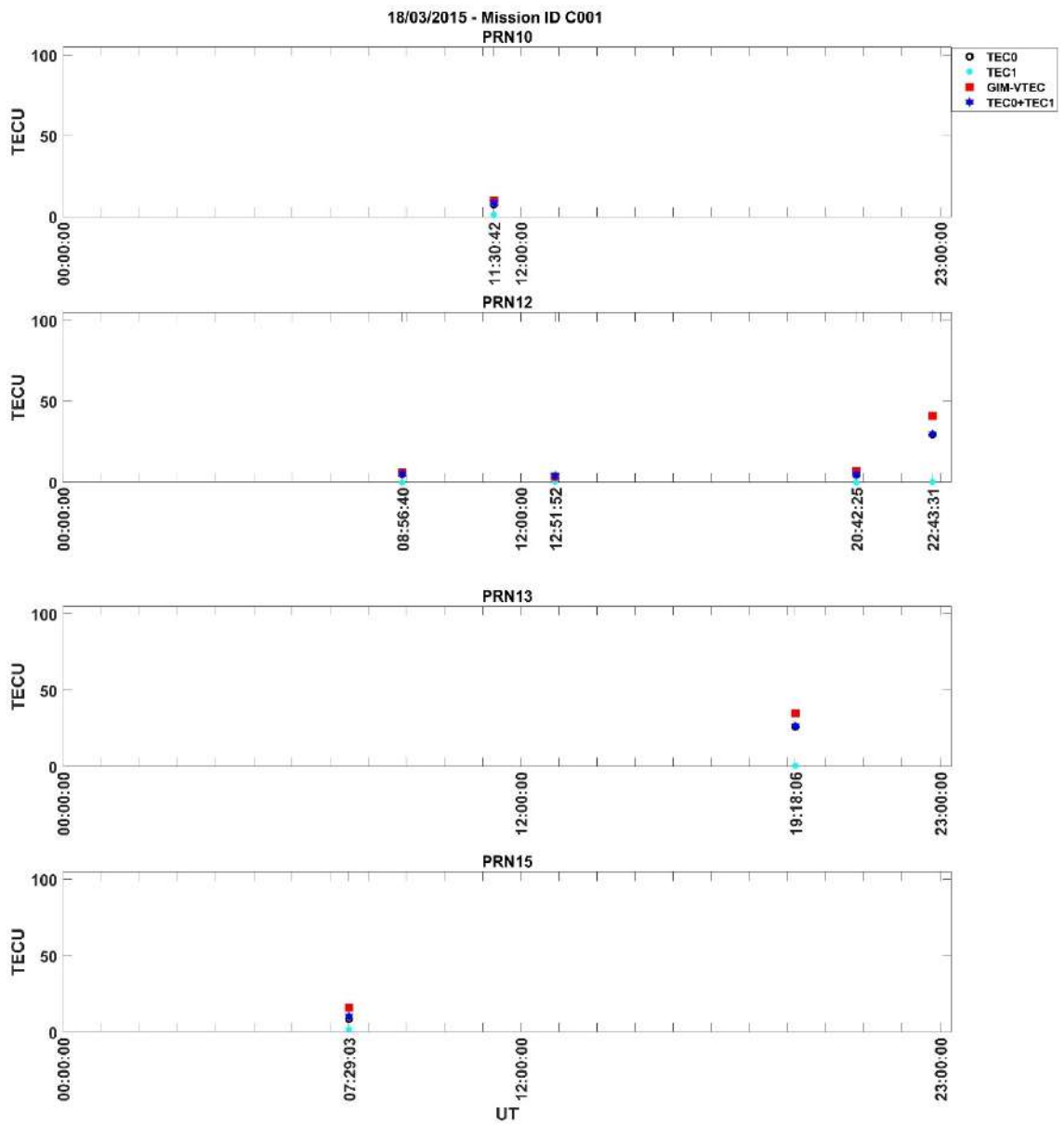
Şekil Ek 1. 61. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 21/12/2015 Mission ID C005 – PRN30 / PRN31 / PRN32



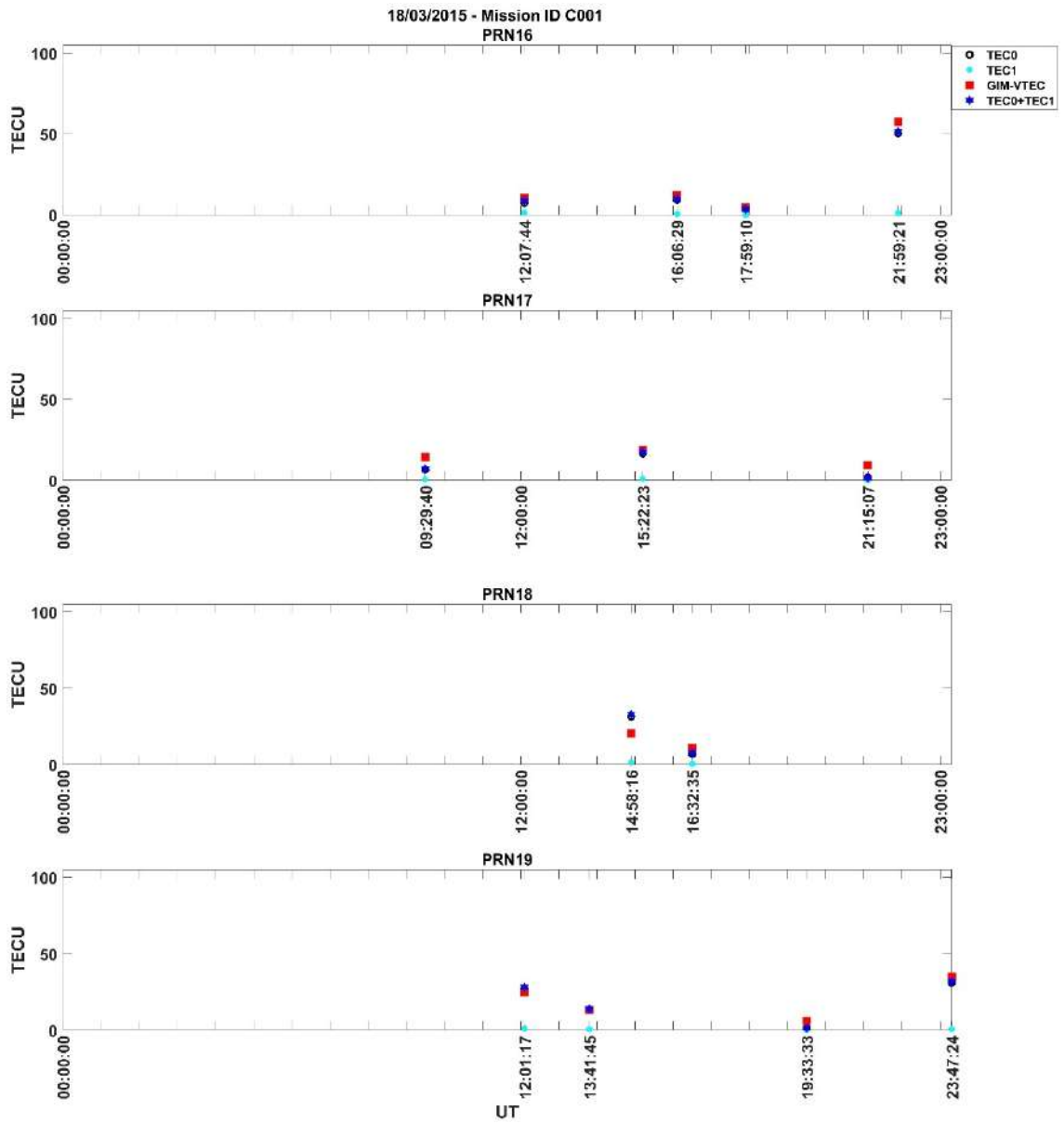
Şekil Ek 1. 62. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



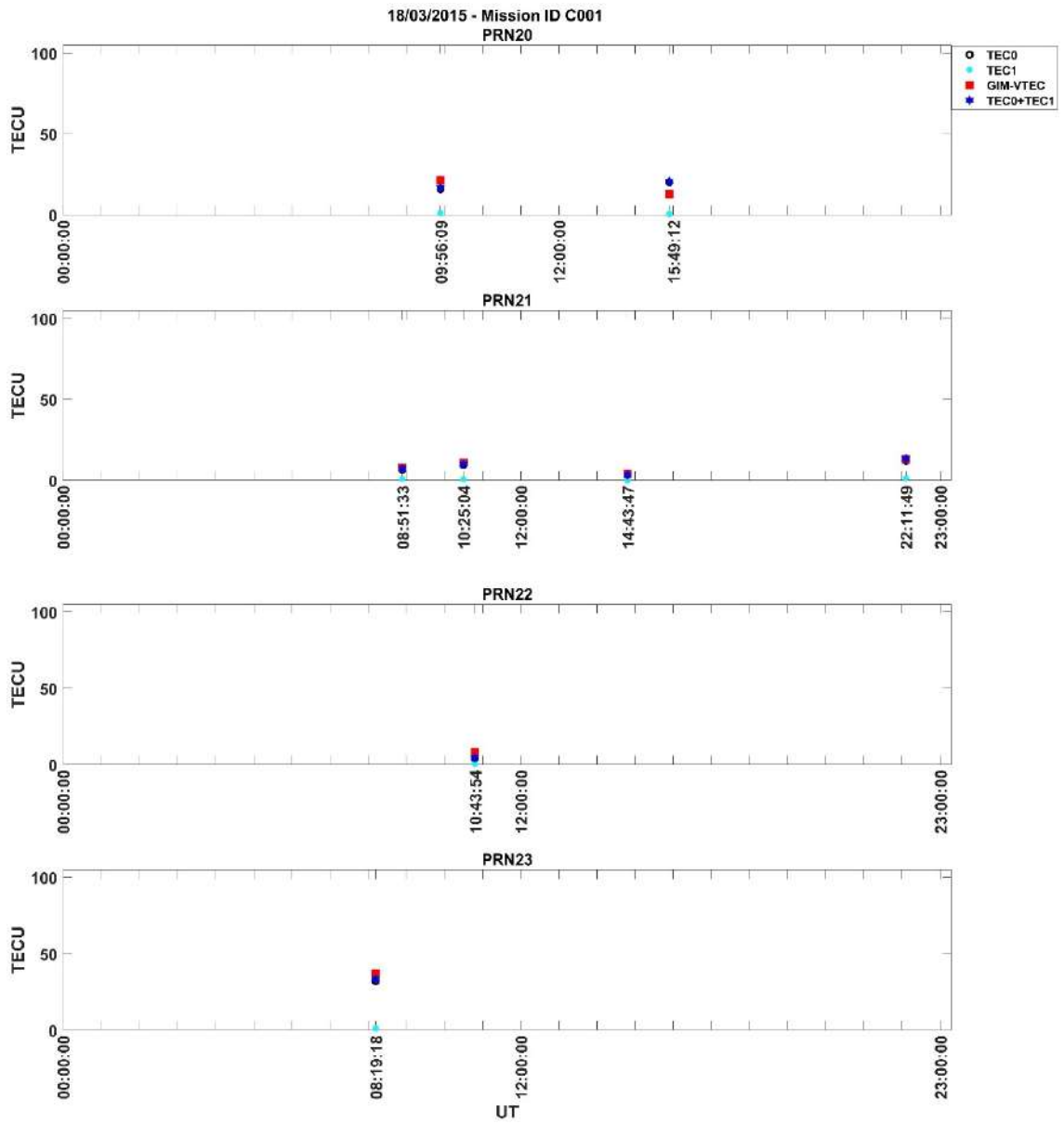
Şekil Ek 1. 63. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08



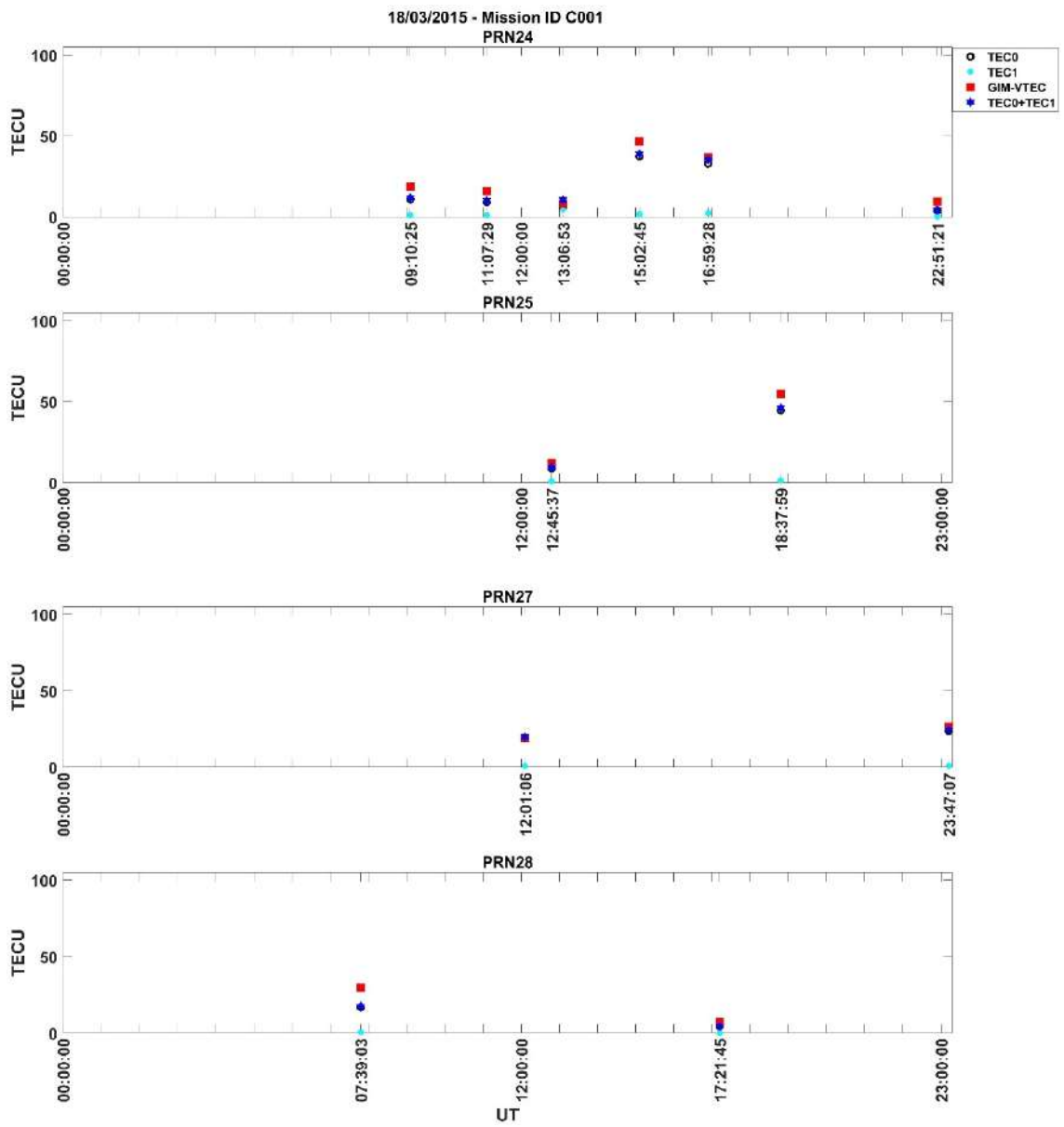
Şekil Ek 1. 64. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN10 / PRN12 / PRN13 / PRN15



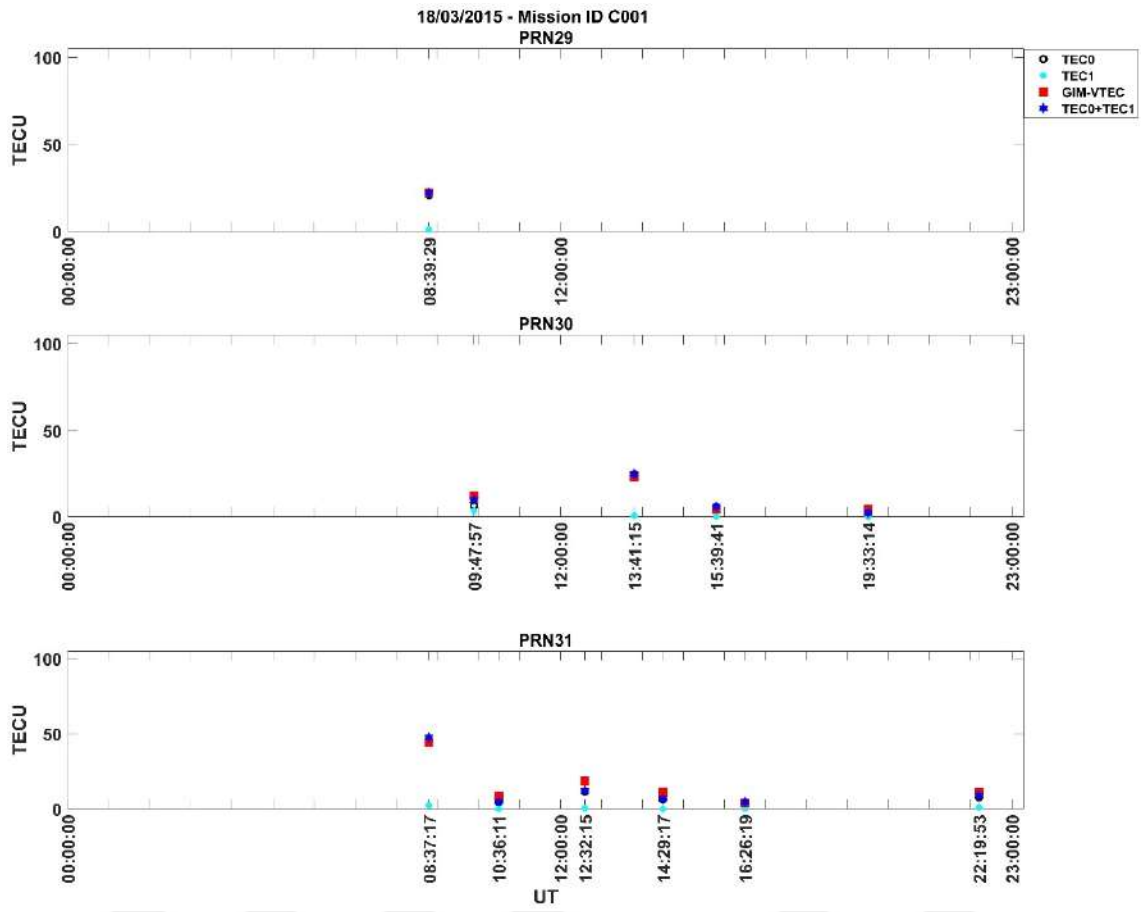
Şekil Ek 1. 65. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19



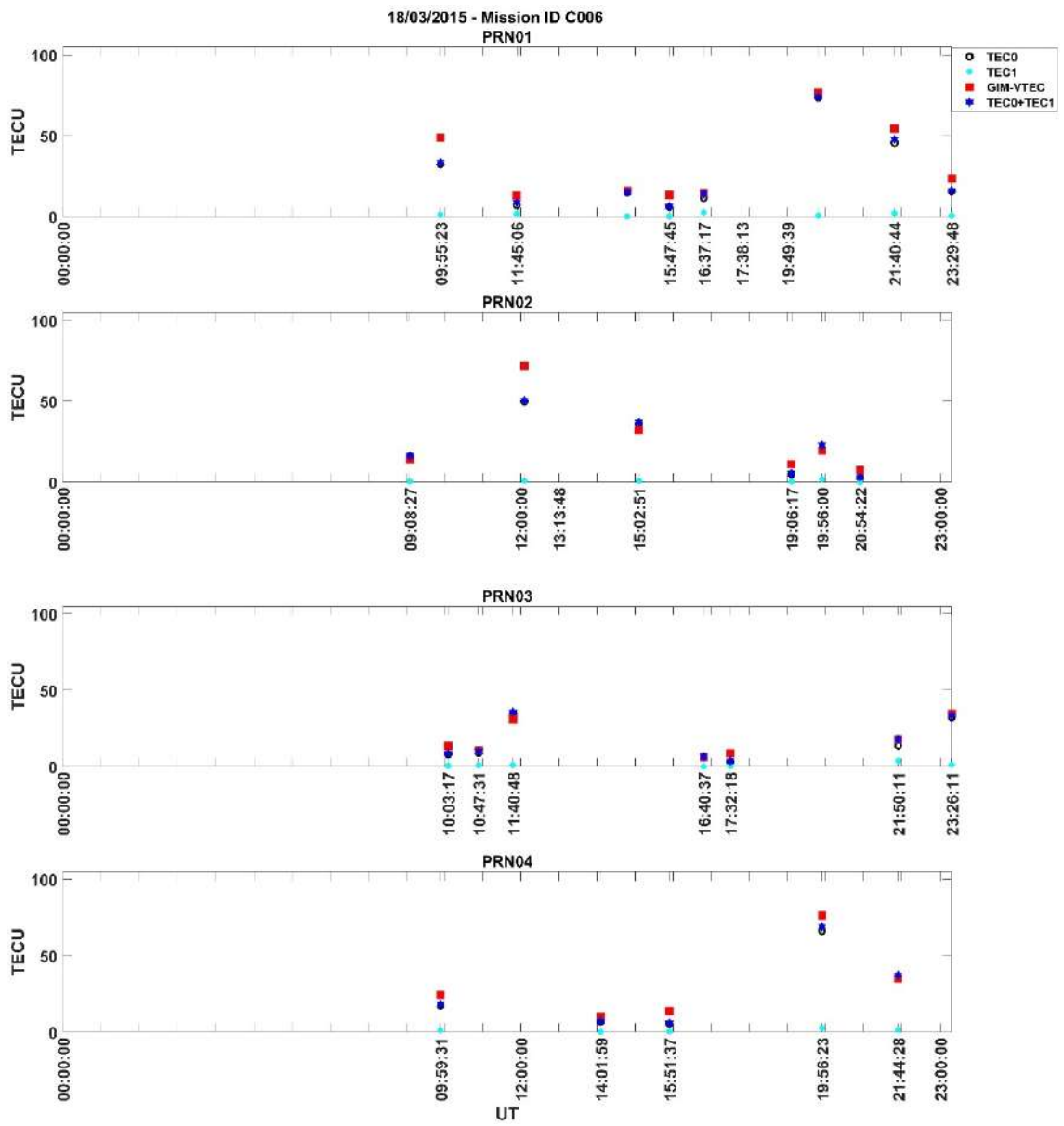
Şekil Ek 1. 66. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23



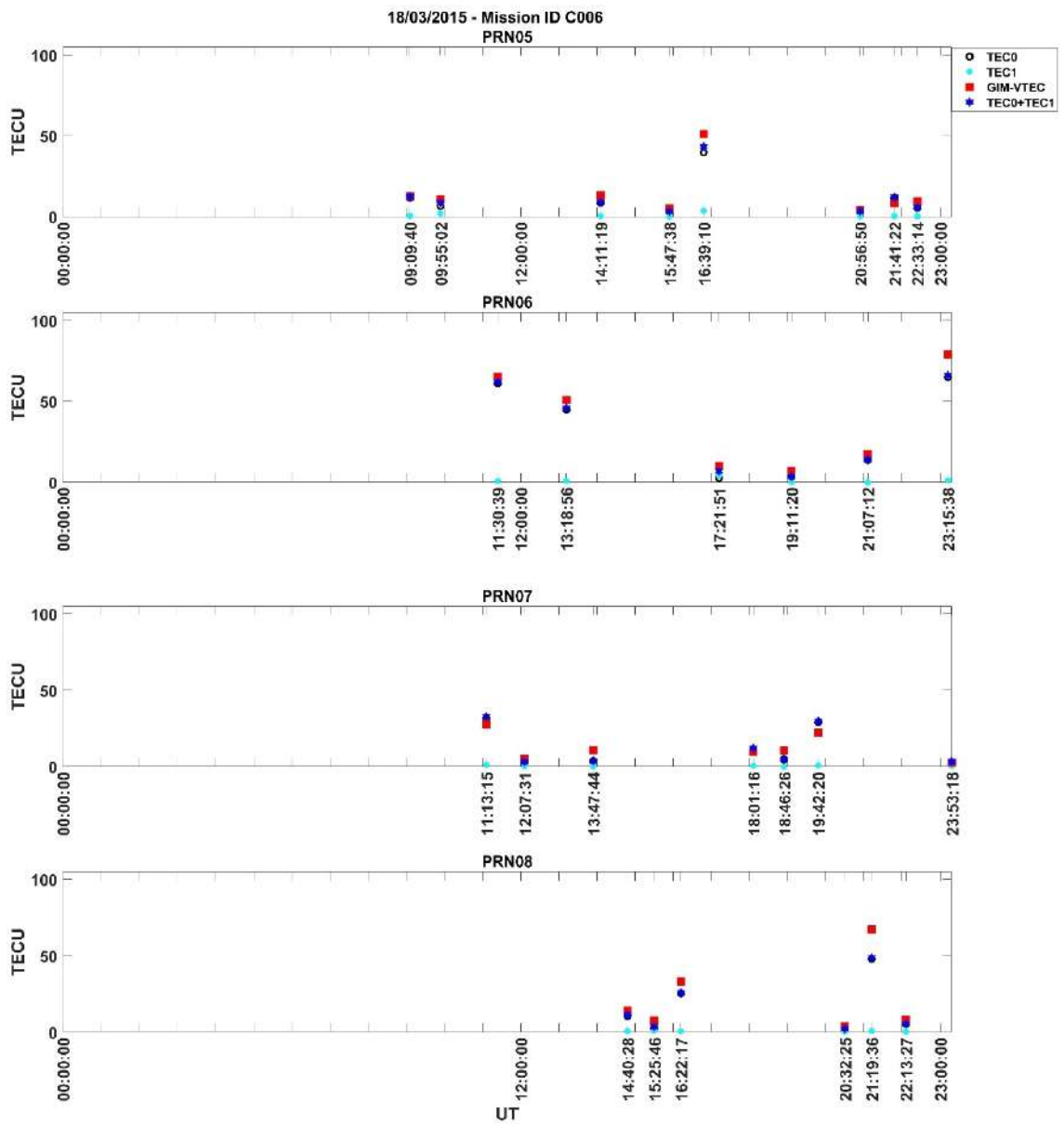
Şekil Ek 1. 67. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN24 / PRN25 / PRN27 / PRN28



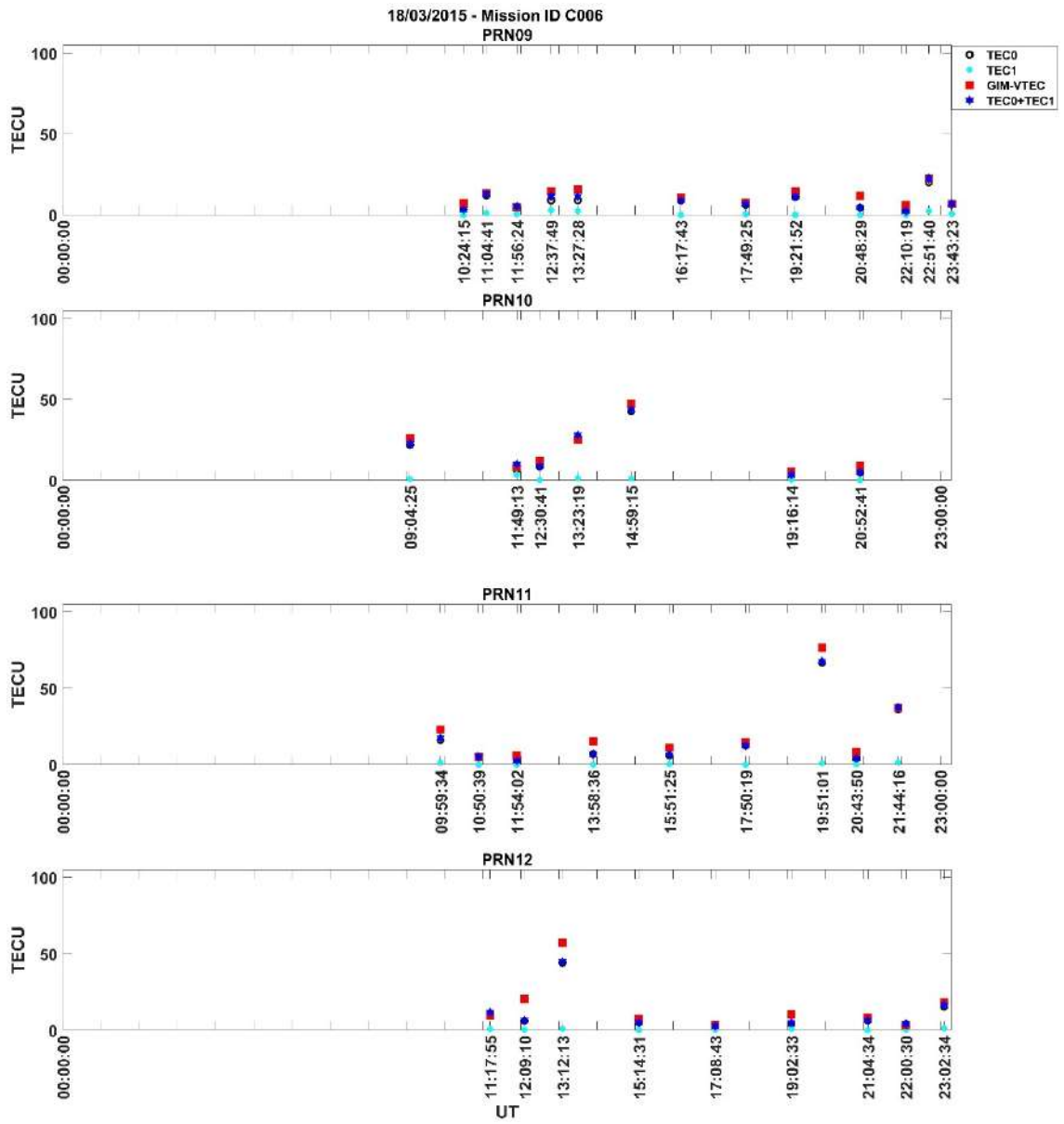
Şekil Ek 1. 68. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C001 – PRN29 / PRN30 / PRN31



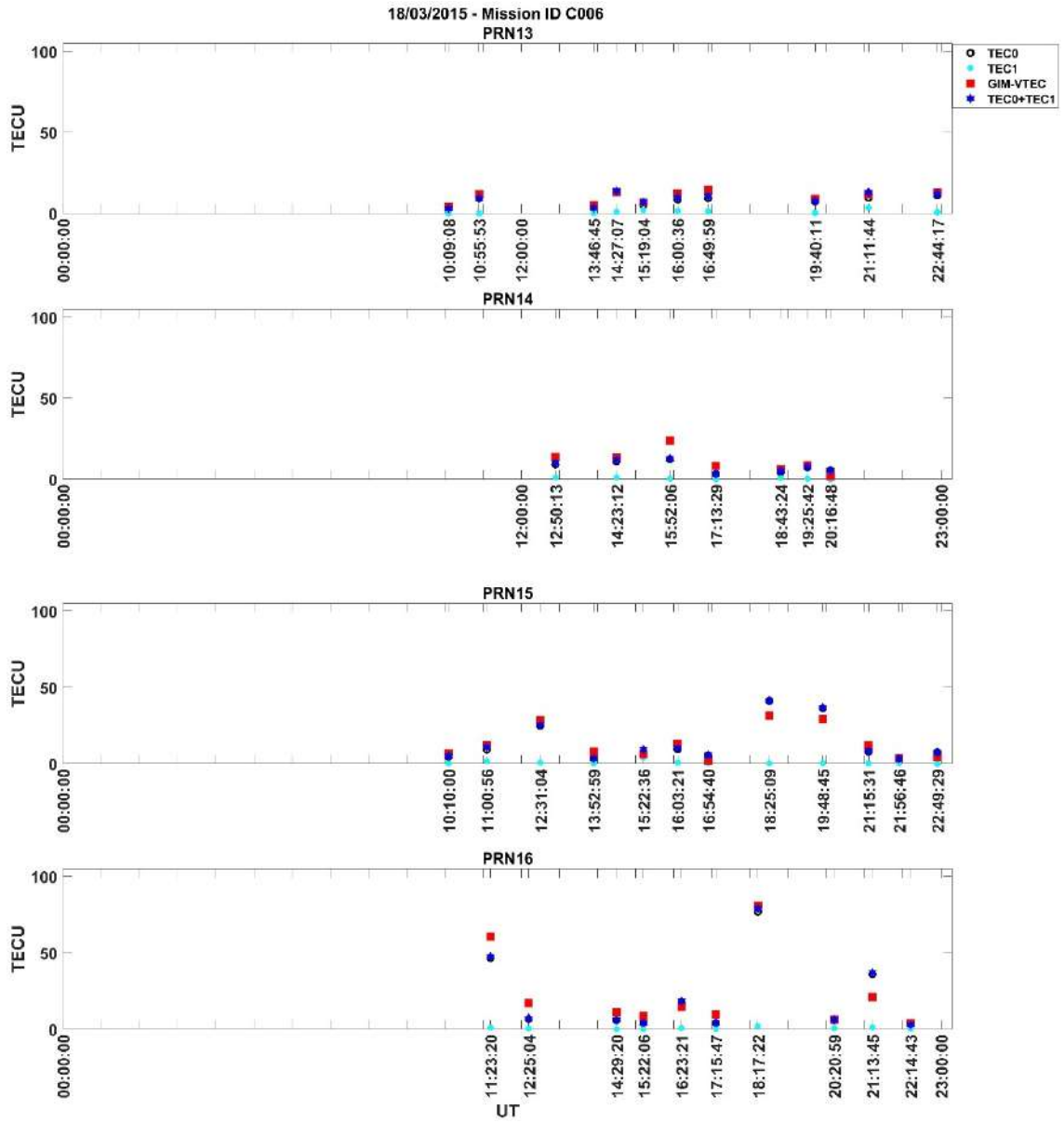
Şekil Ek 1. 69. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



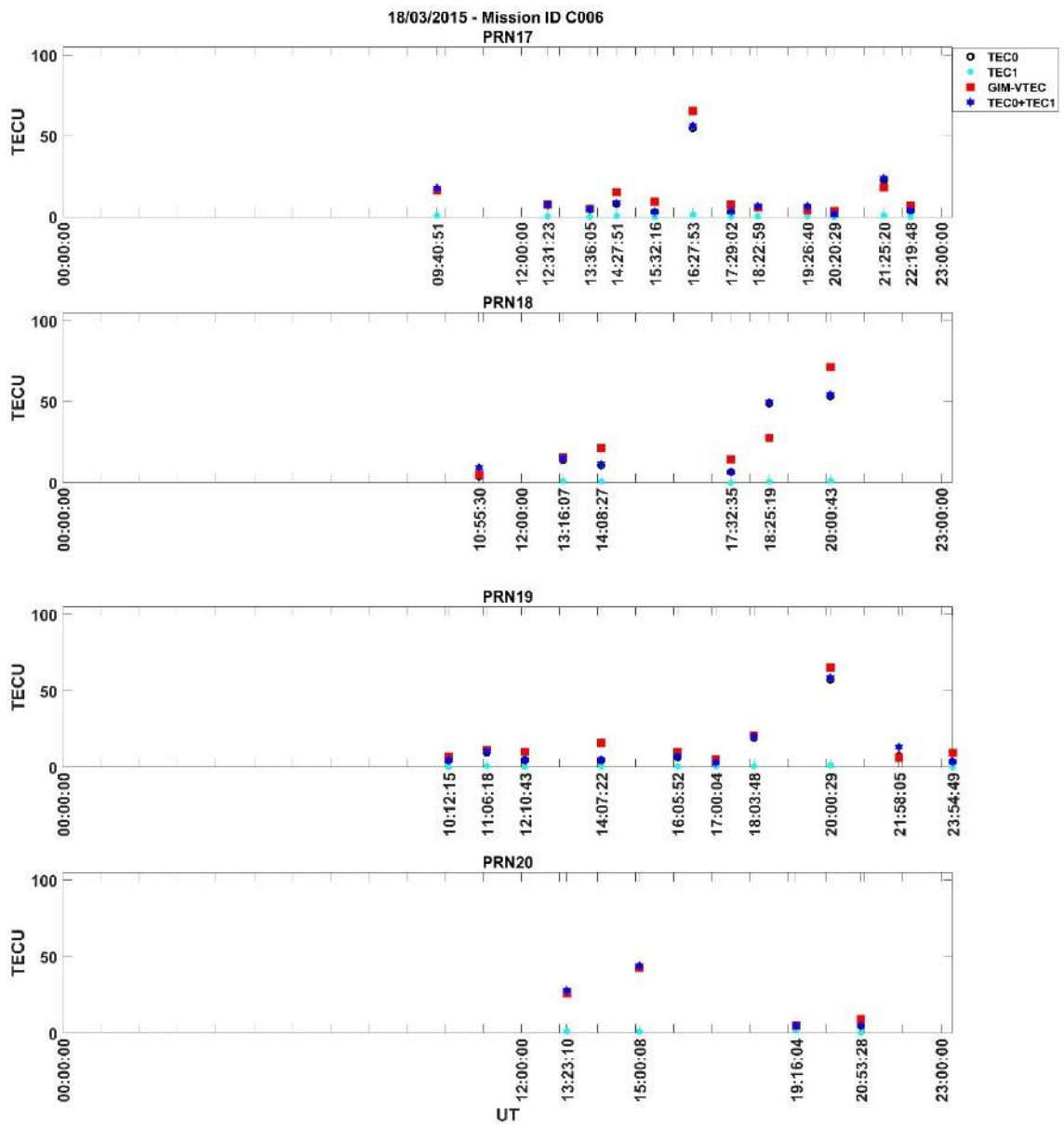
Şekil Ek 1. 70. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN08



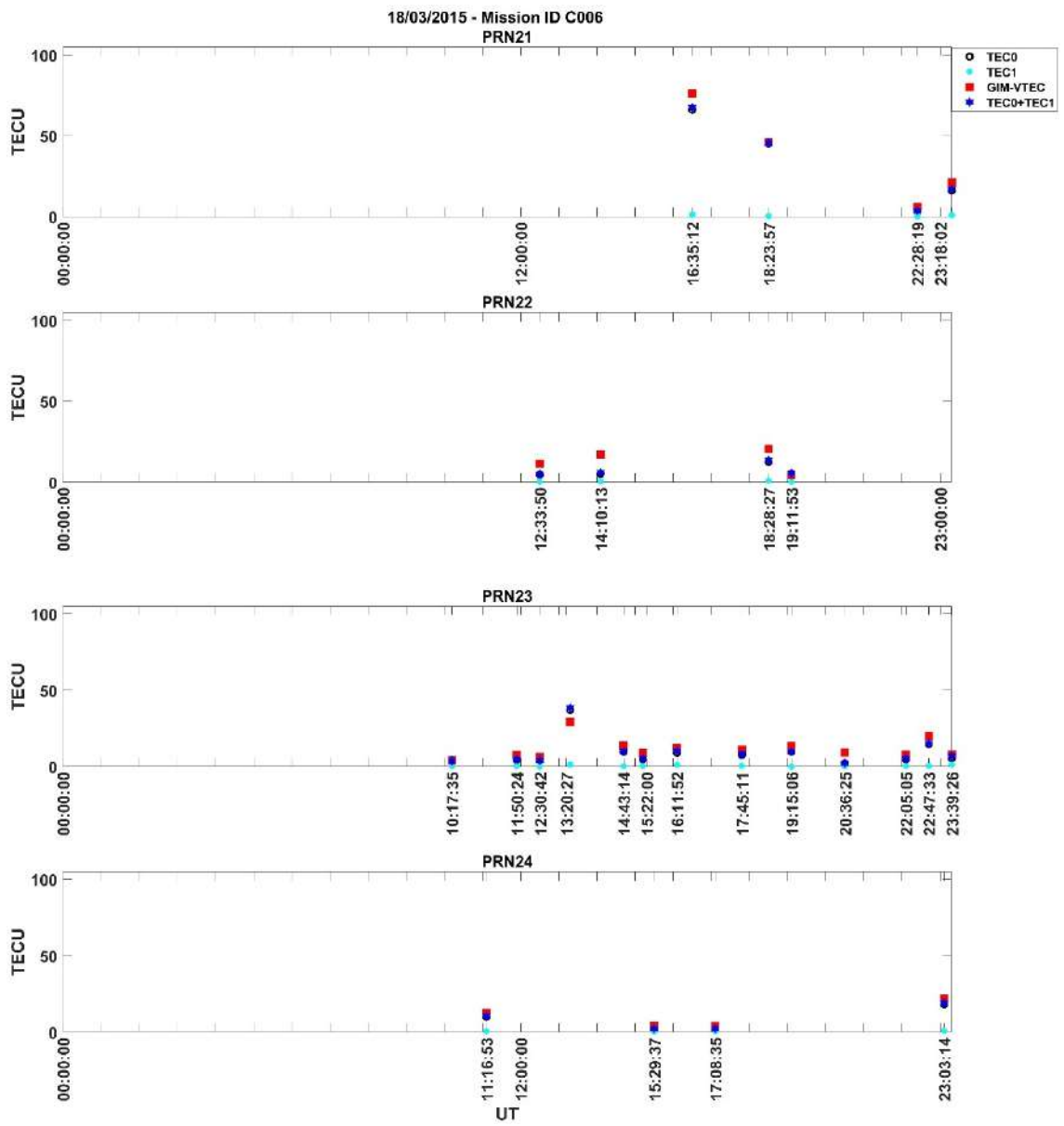
Şekil Ek 1. 71. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN09 / PRN10 / PRN11 / PRN12



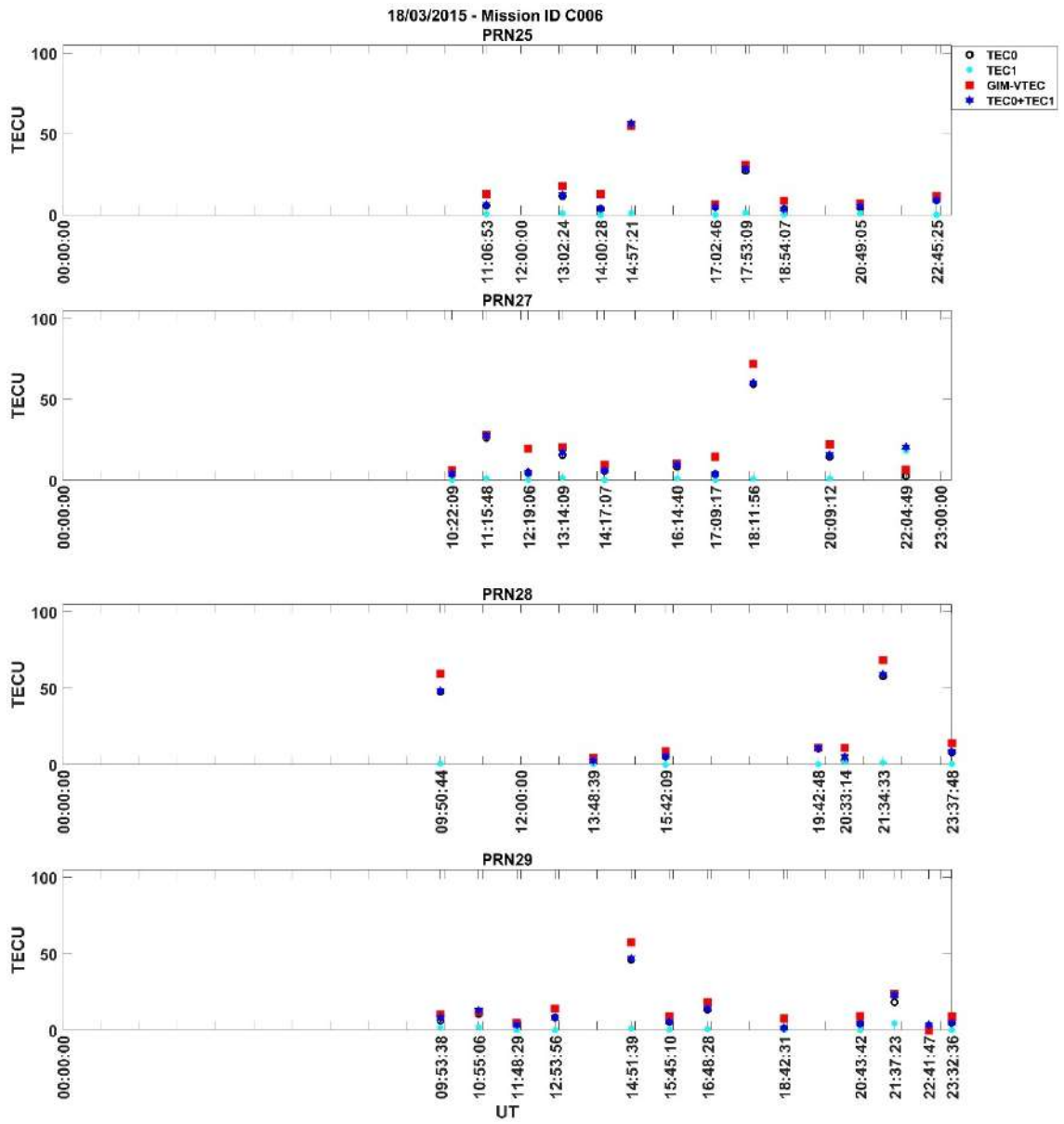
Şekil Ek 1. 72. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN13 / PRN14 / PRN15 / PRN16



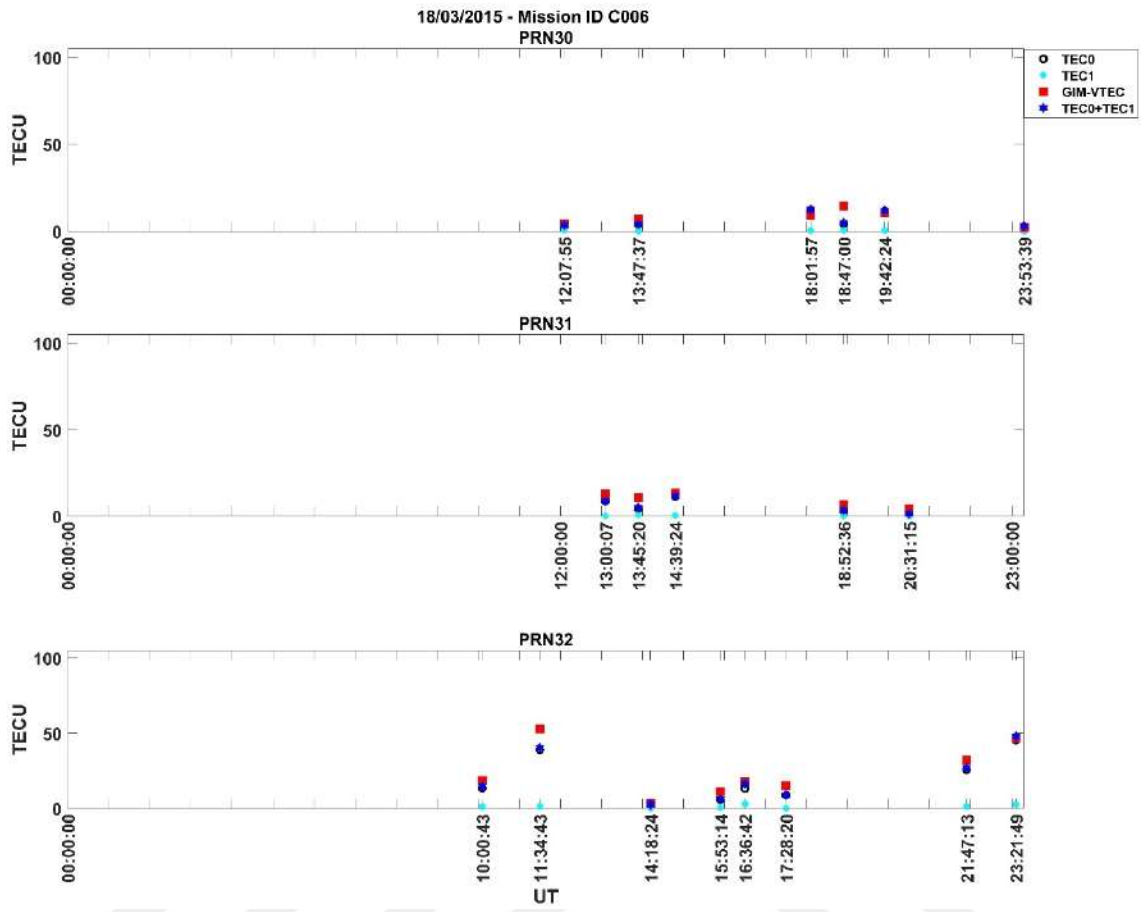
Şekil Ek 1. 73. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN17 / PRN18 / PRN19 / PRN20



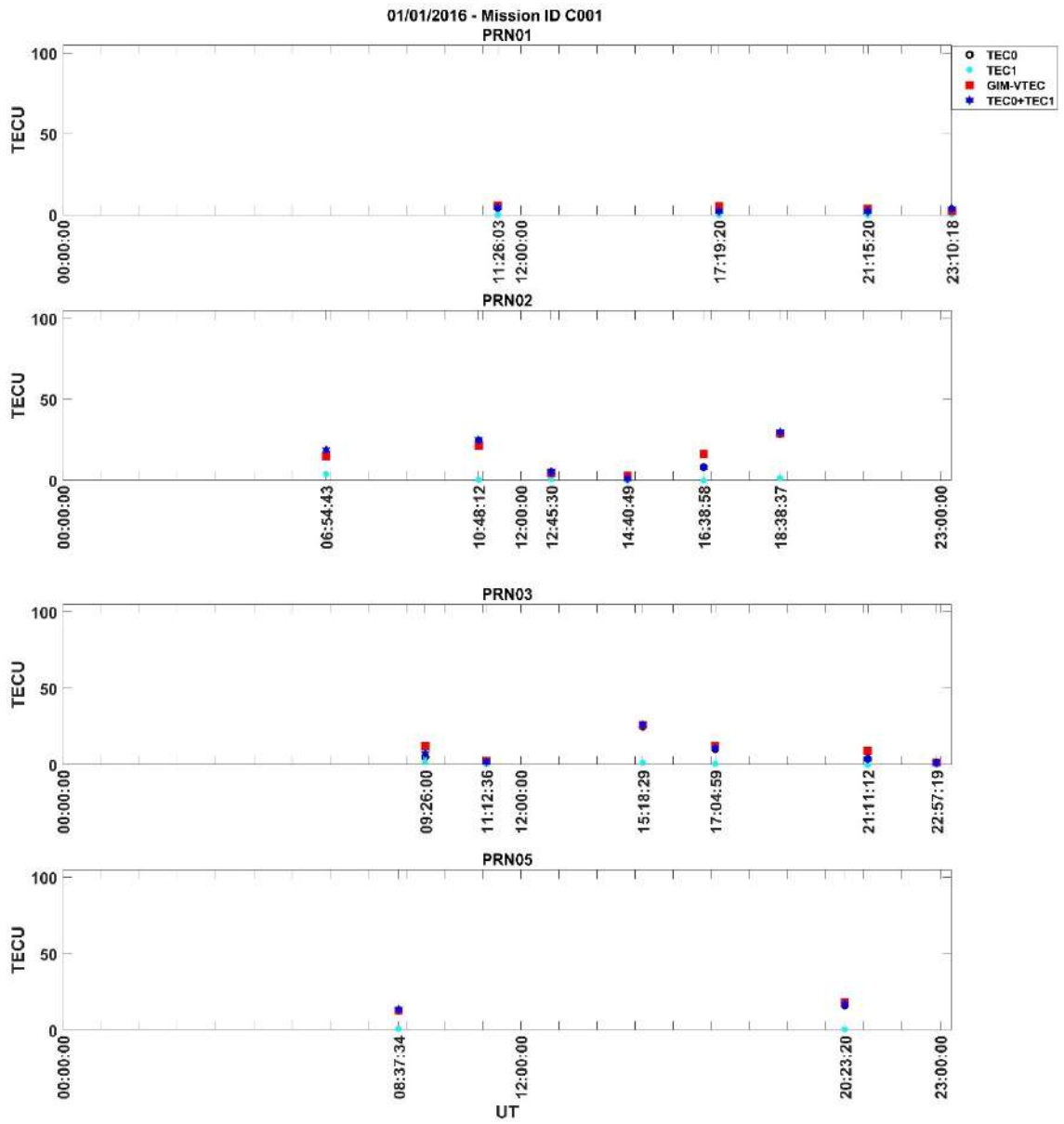
Şekil Ek 1. 74. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24



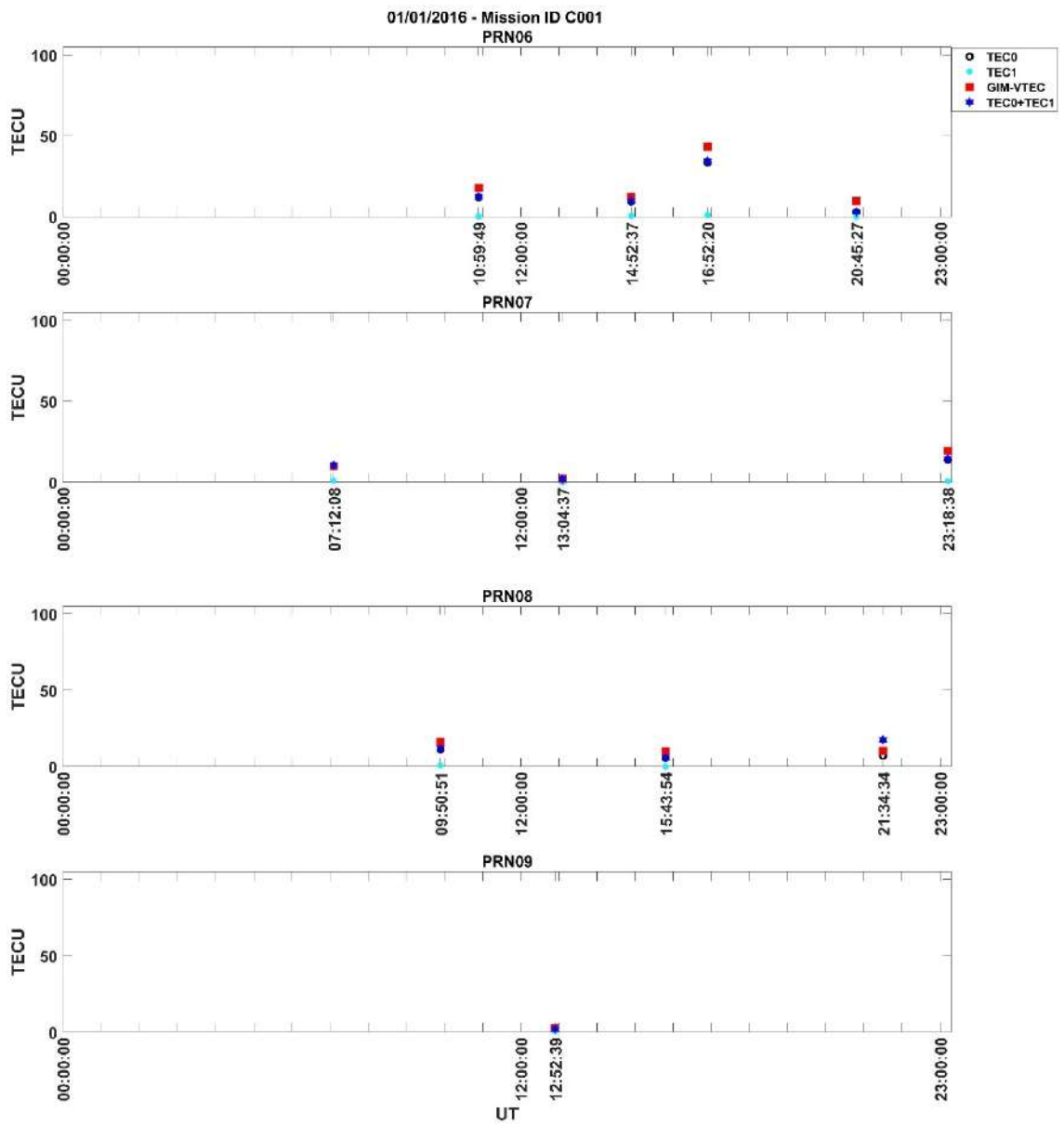
Şekil Ek 1. 75. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN25 / PRN27 / PRN28 / PRN29



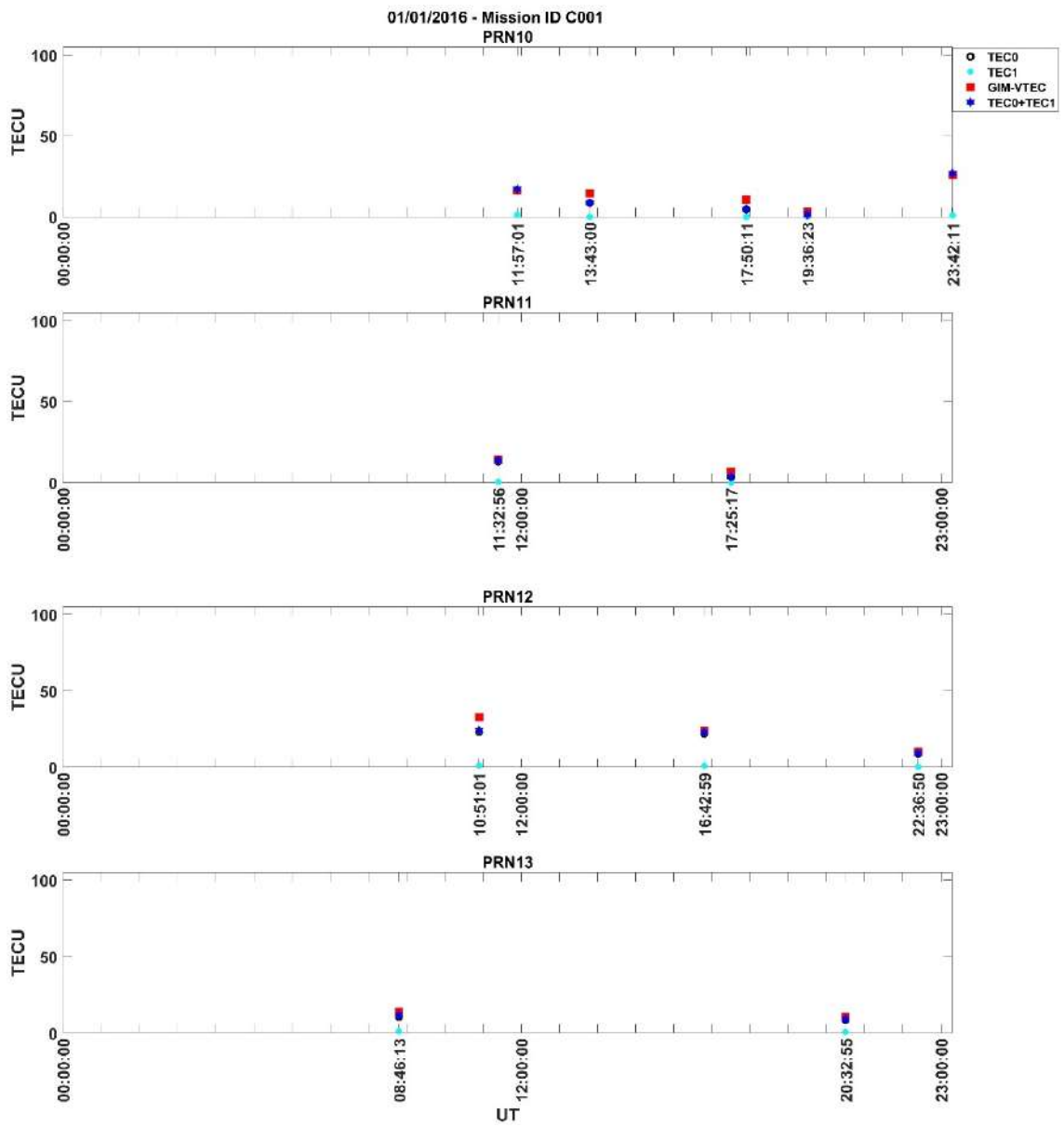
Şekil Ek 1. 76. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 18/03/2015 Mission ID C006 – PRN30 / PRN31 / PRN32



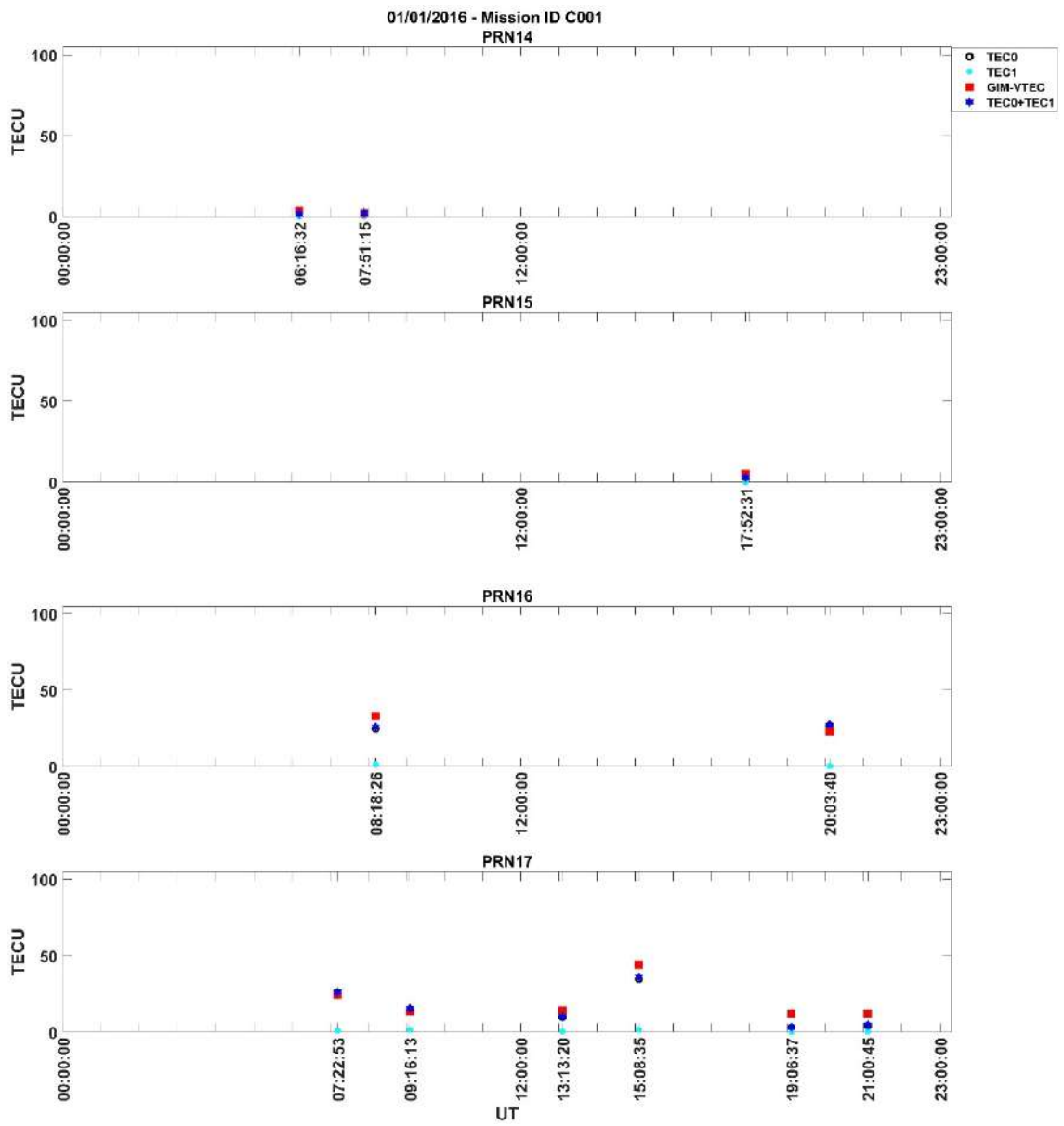
Şekil Ek 1. 77. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05



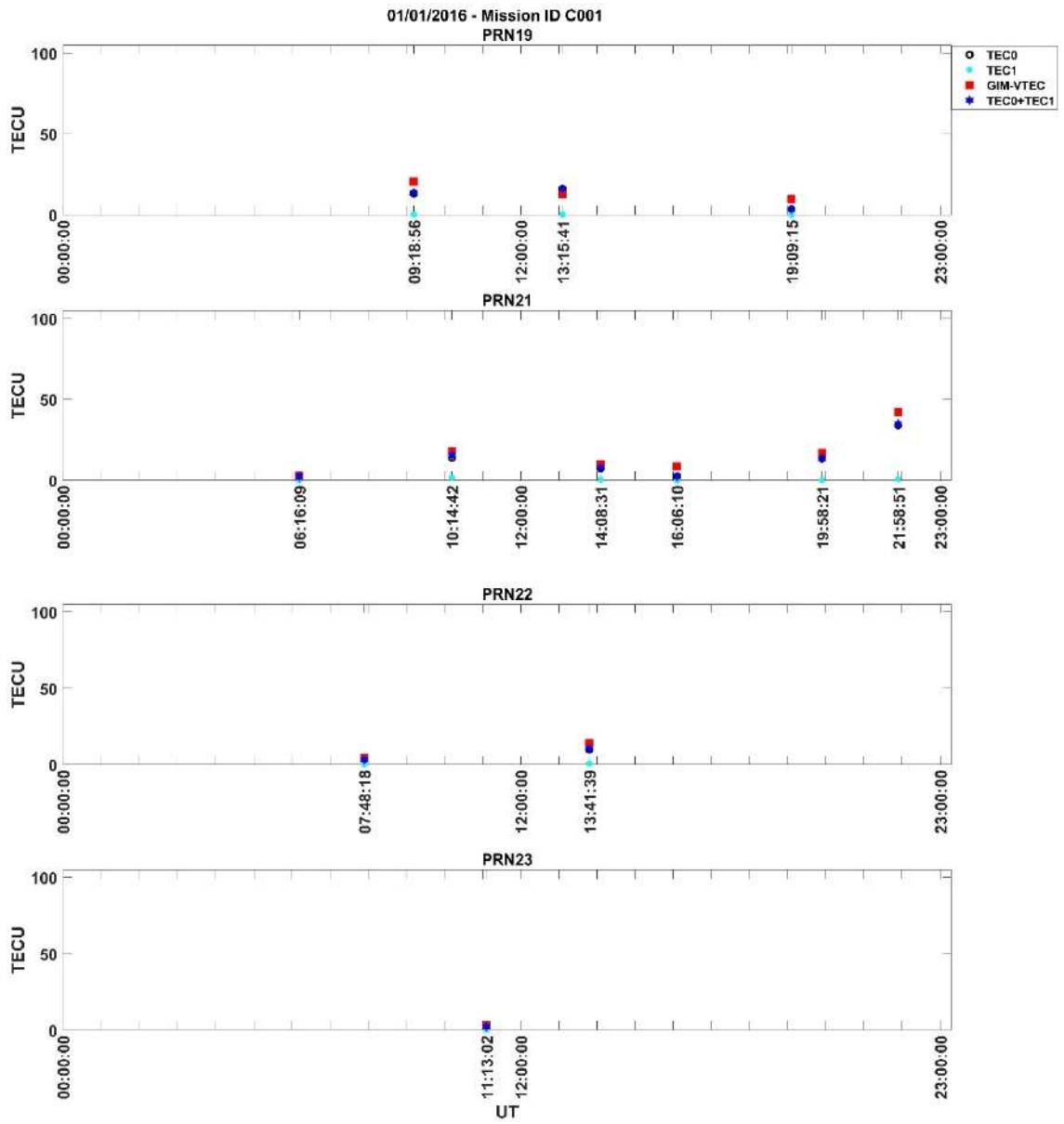
Şekil Ek 1. 78. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09



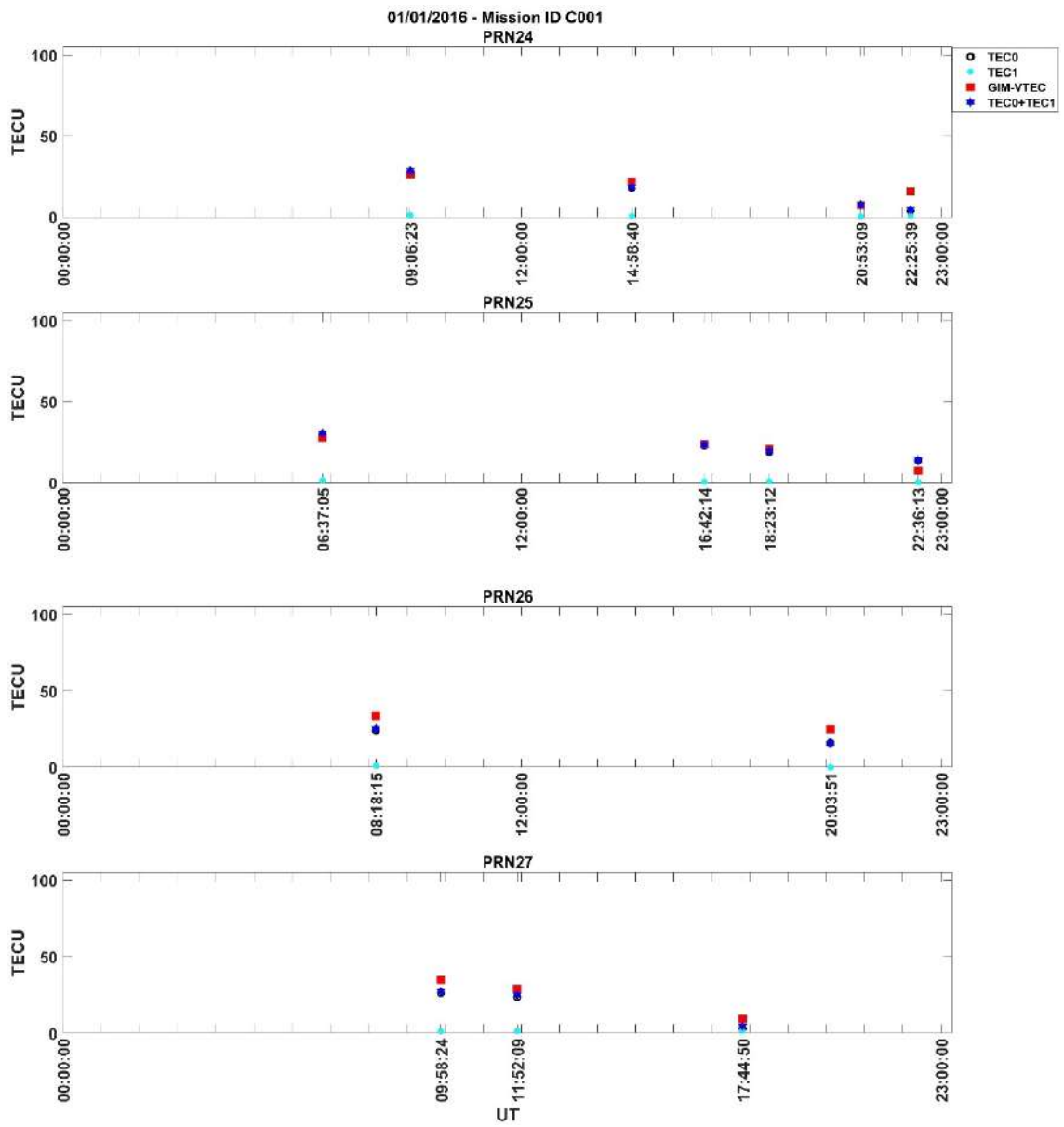
Şekil Ek 1. 79. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN13



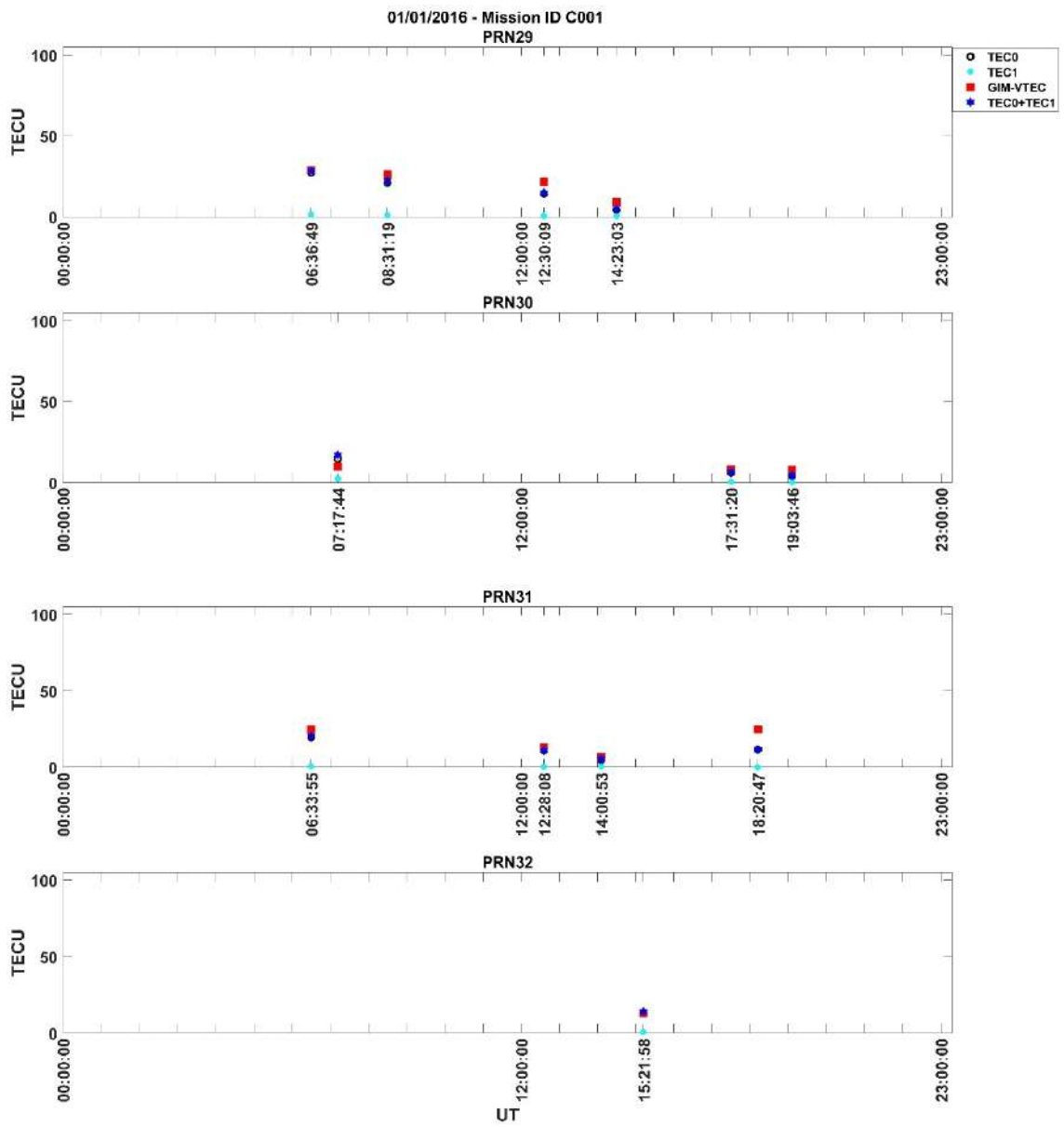
Şekil Ek 1. 80. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17



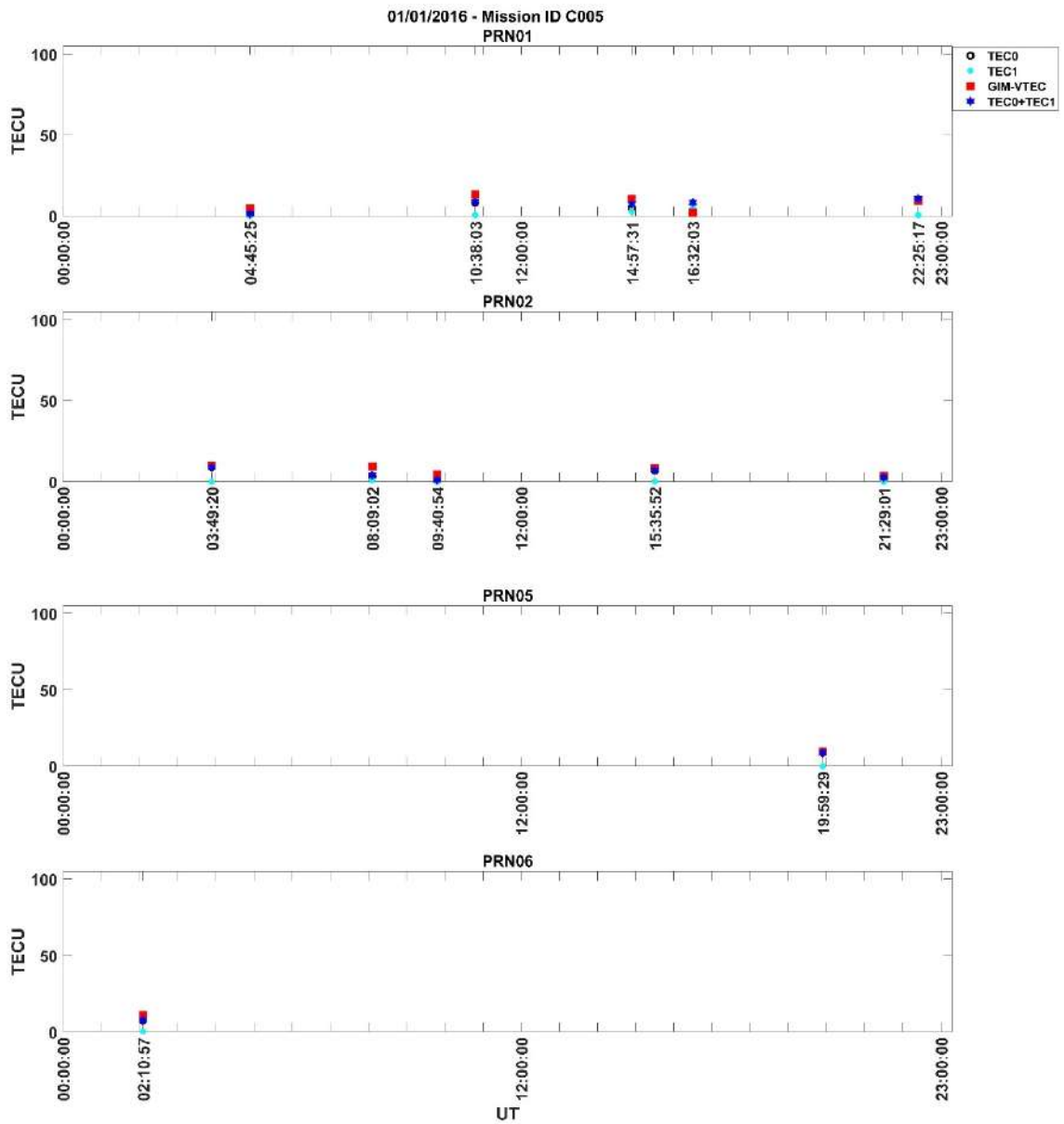
Şekil Ek 1. 81. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN019 / PRN21 / PRN22 / PRN23



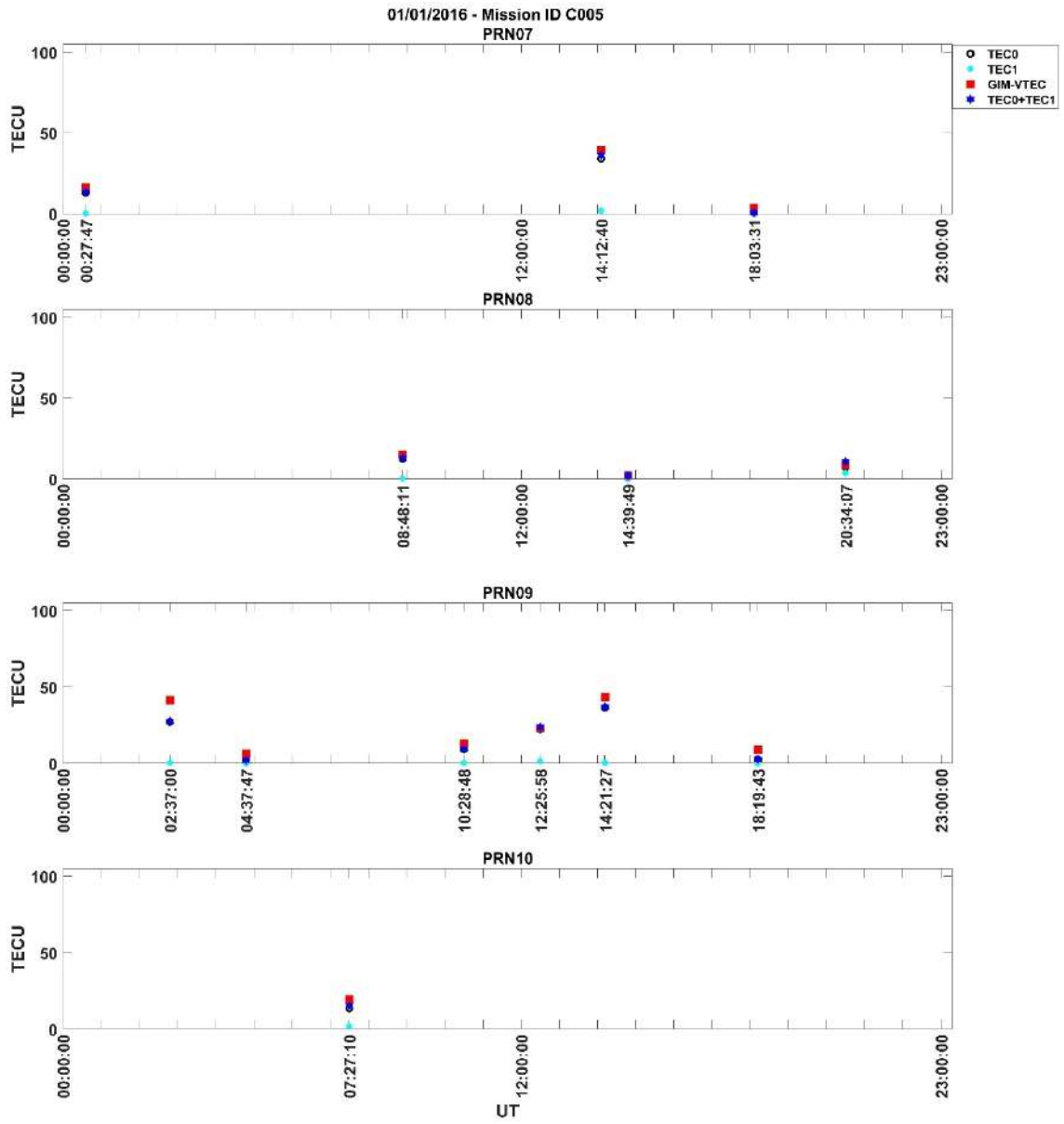
Şekil Ek 1. 82. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN24 / PRN25 / PRN26 / PRN27



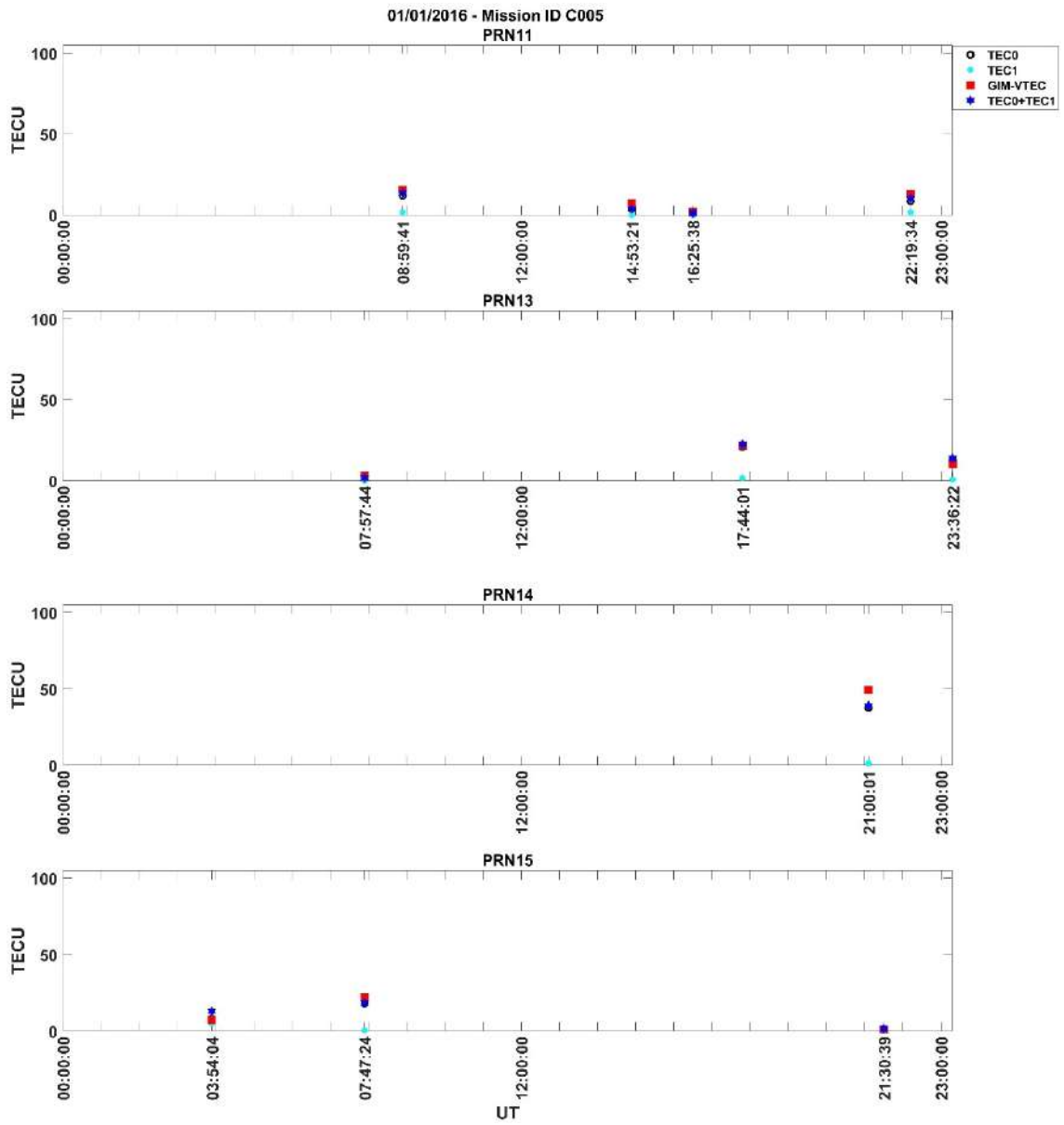
Şekil Ek 1. 83. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C001 – PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32



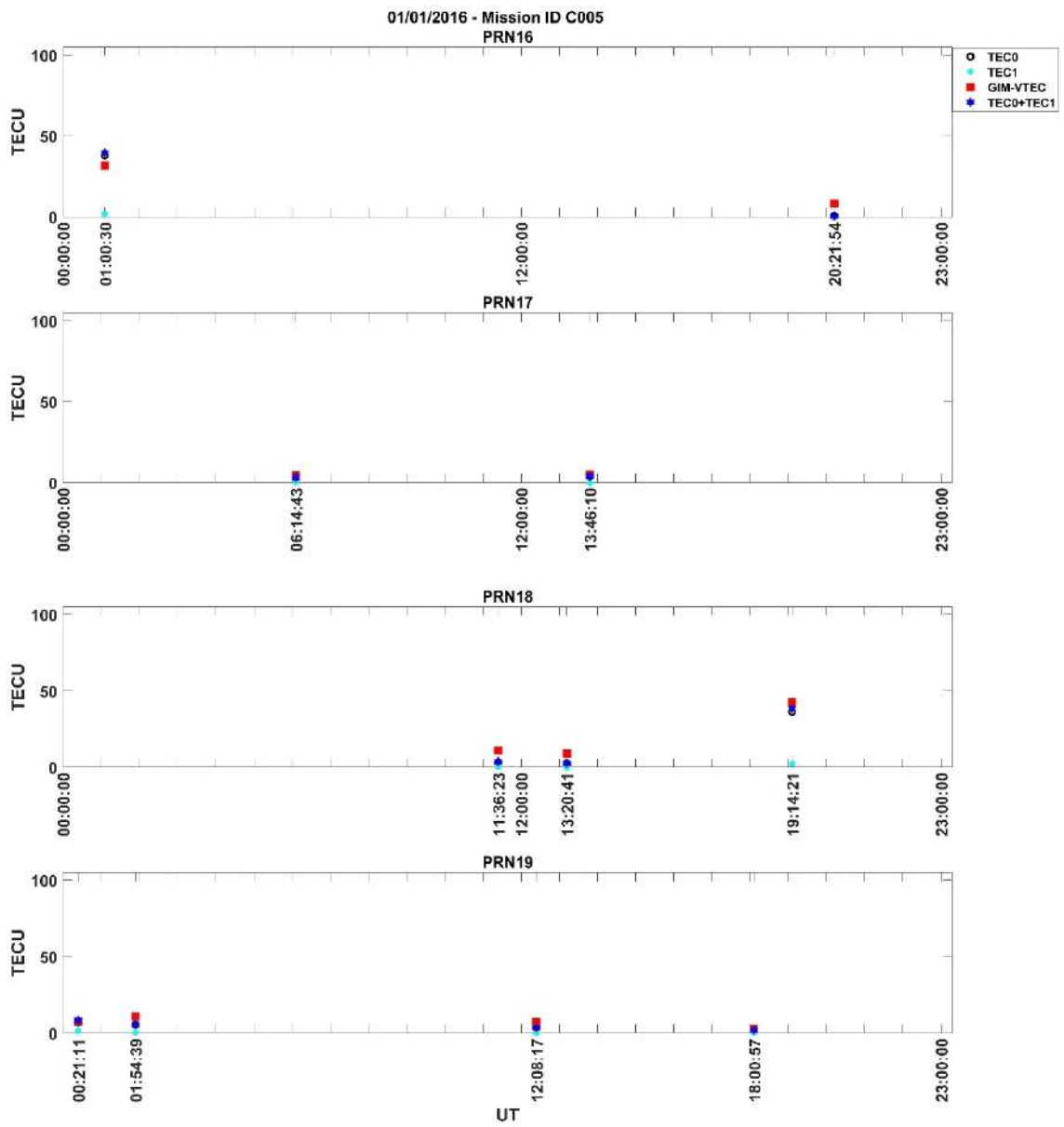
Şekil Ek 1. 84. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN01 / PRN02 / PRN05 / PRN06



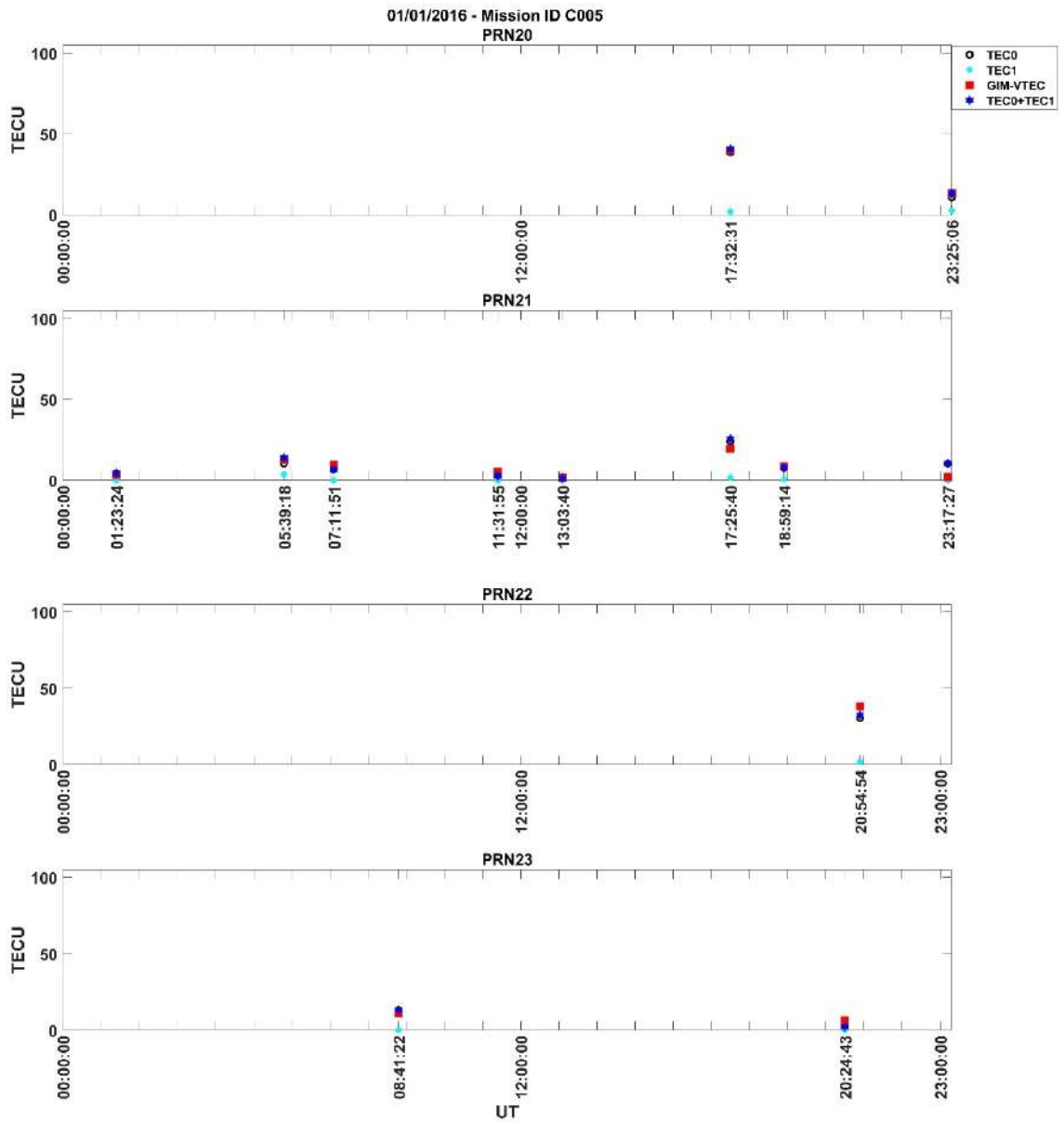
Şekil Ek 1. 85. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN07 / PRN08 / PRN09 / PRN10



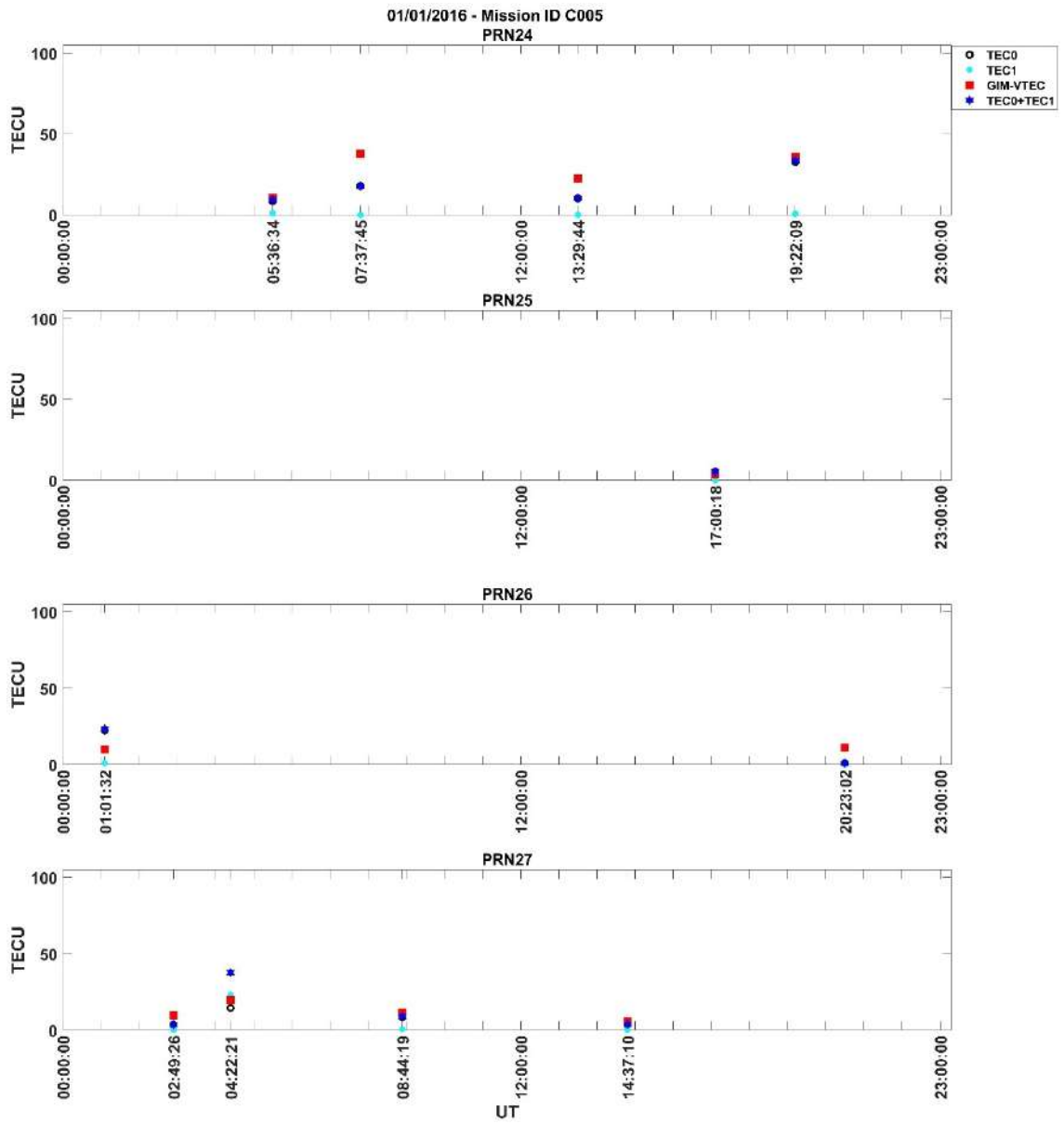
Şekil Ek 1. 86. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN11 / PRN13 / PRN14 / PRN15



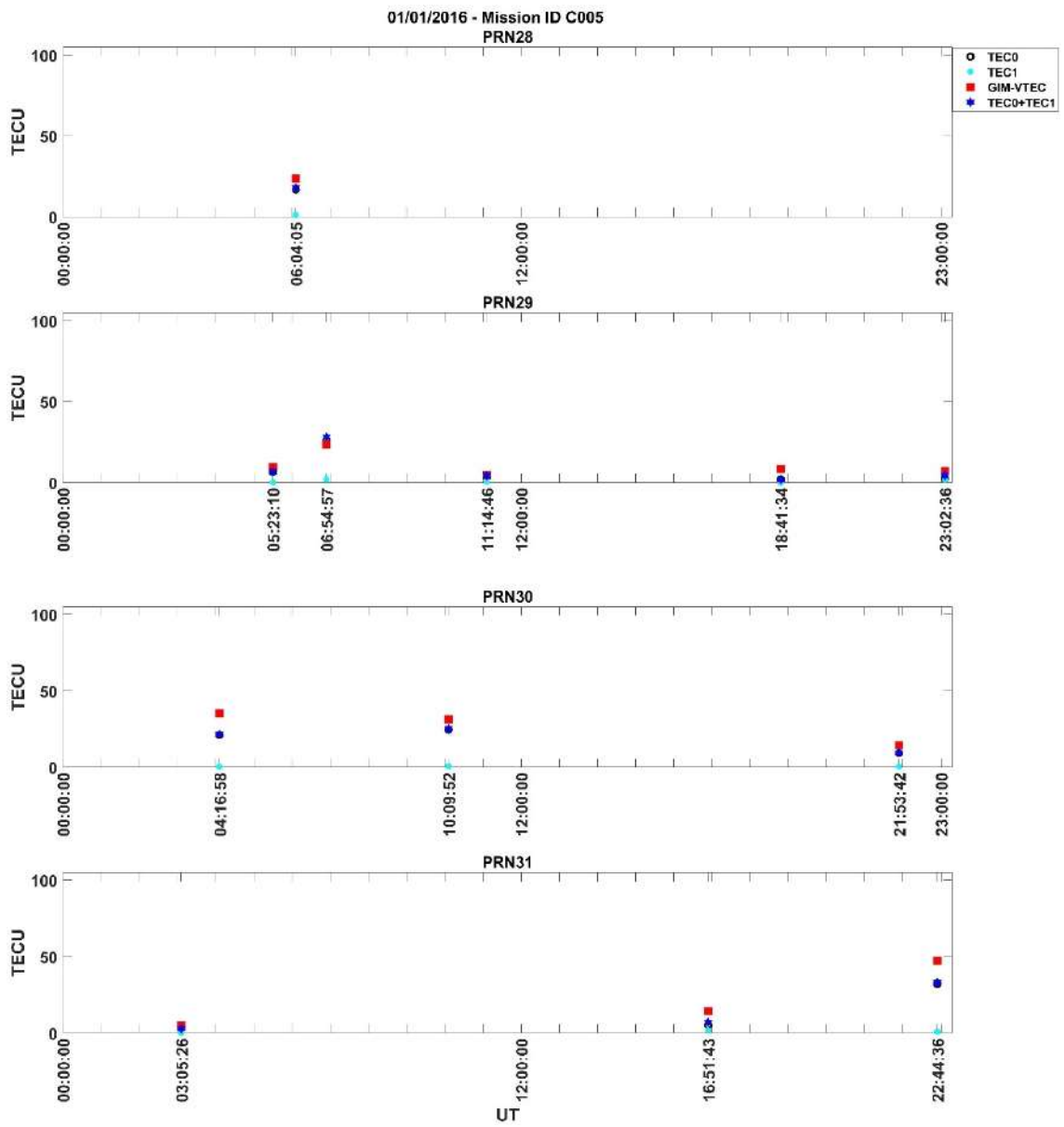
Şekil Ek 1. 87. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19



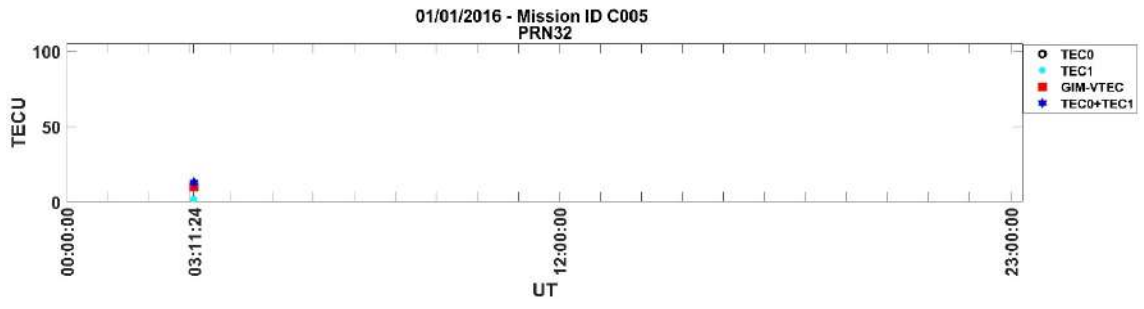
Şekil Ek 1. 88. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23



Şekil Ek 1. 89. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN24 / PRN25 / PRN26 / PRN27



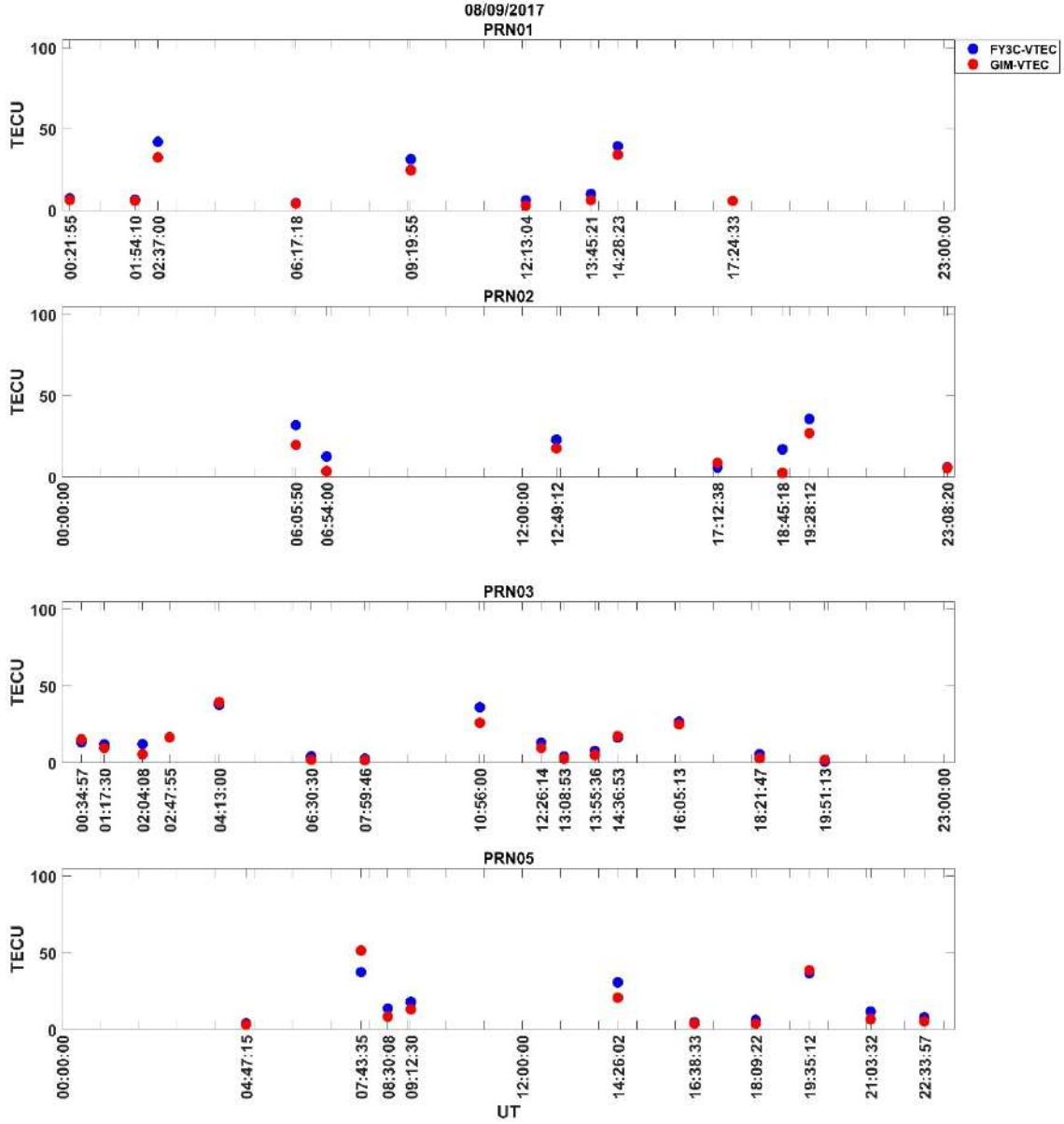
Şekil Ek 1. 90. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN28 / PRN29 / PRN30 / PRN31



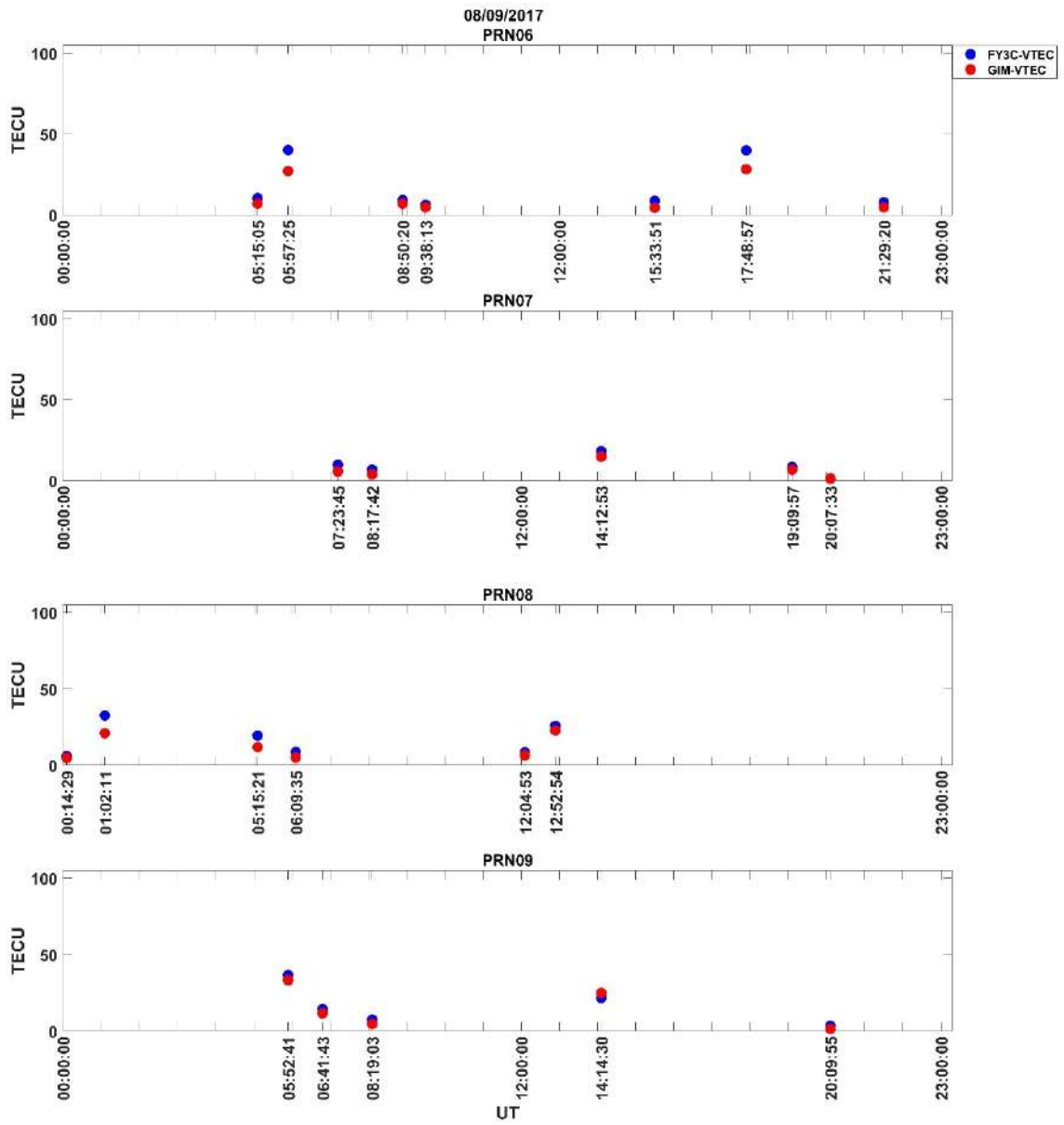
Şekil Ek 1. 91. GIM VTEC ve COSMIC RO VTEC 01/01/2016 Mission ID C005 – PRN32



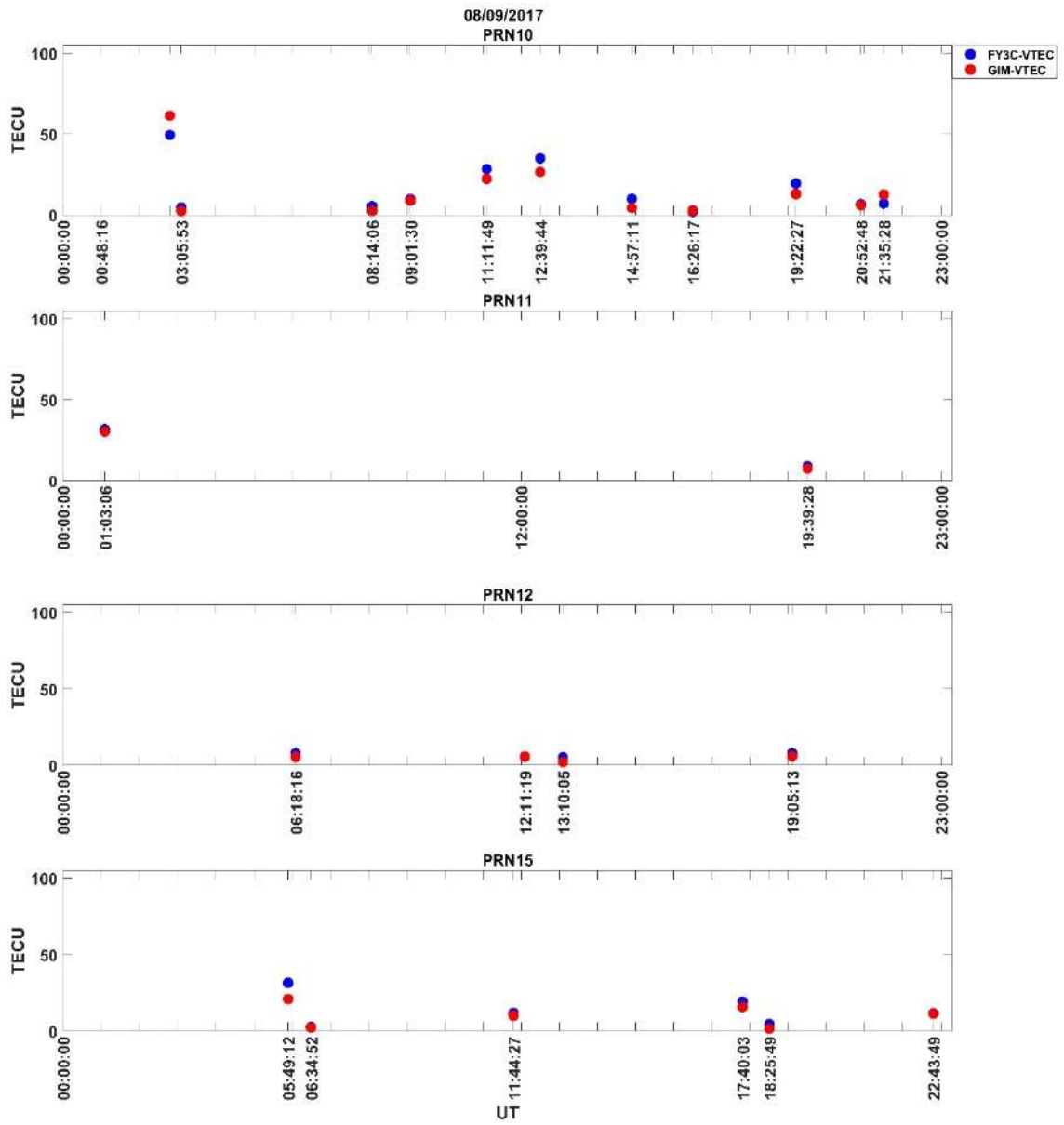
EK- 2 FY3C RO VTEC değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve şiddetli (08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



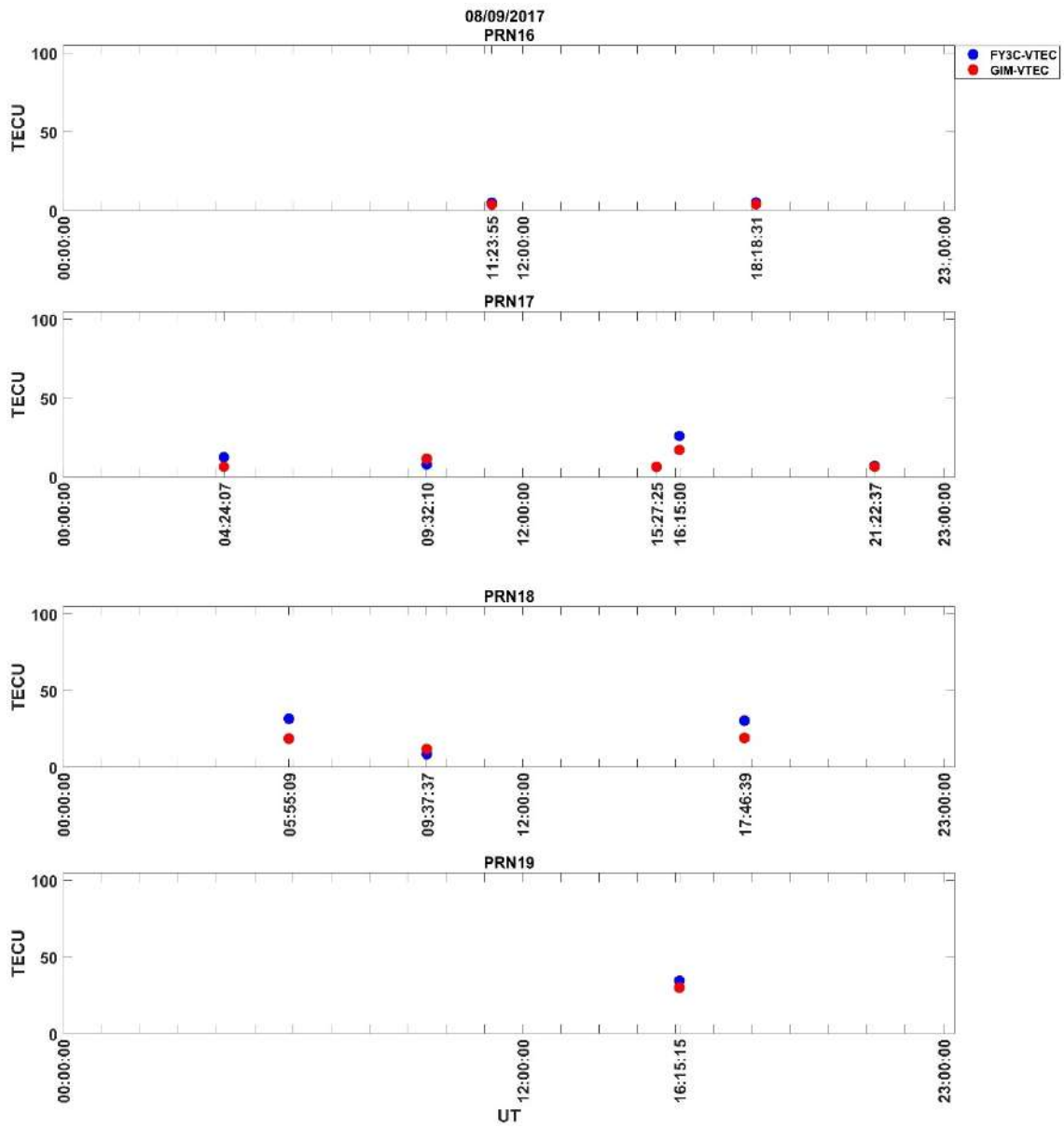
Şekil Ek 2. 1. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05



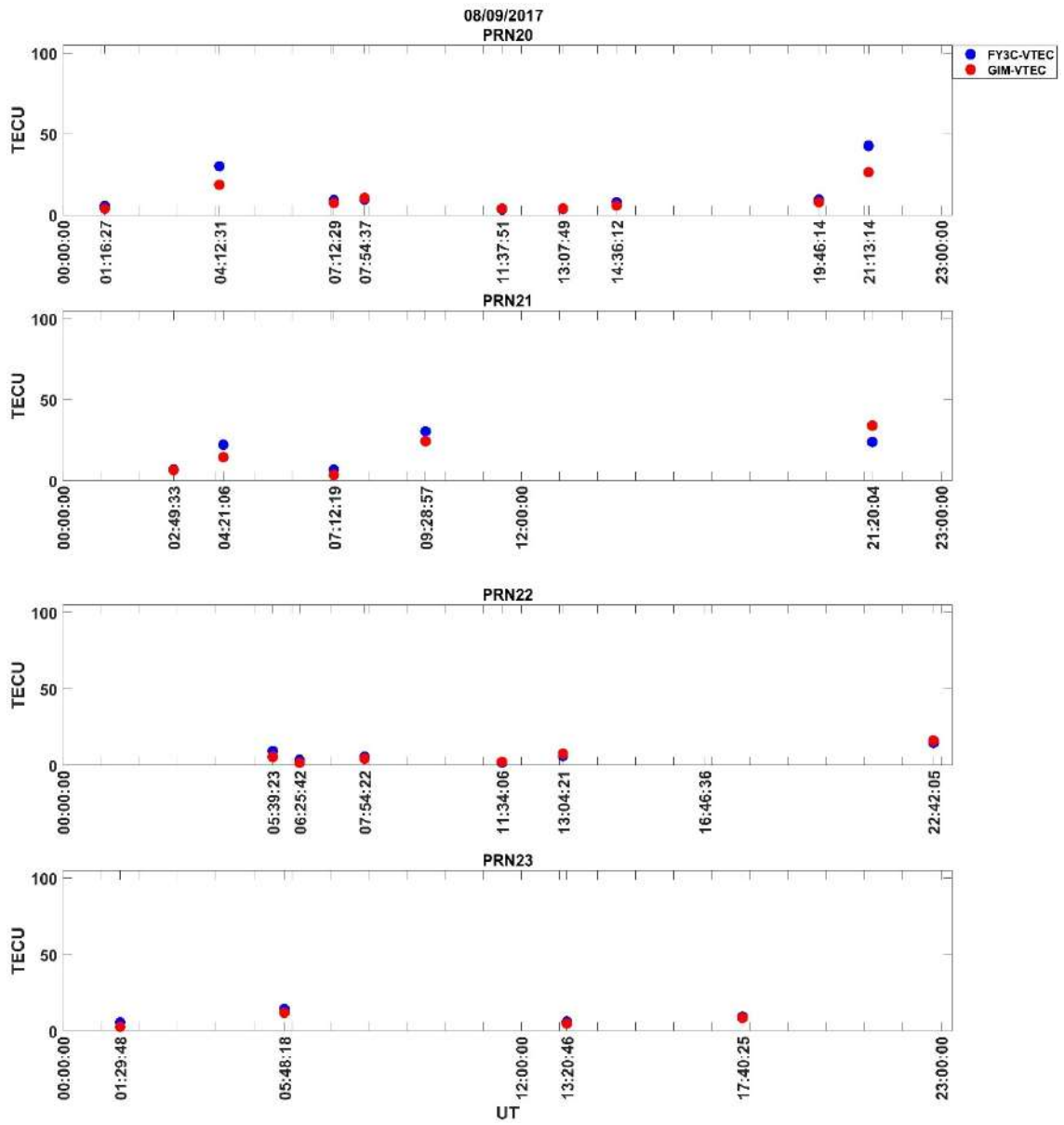
Şekil Ek 2. 2. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09



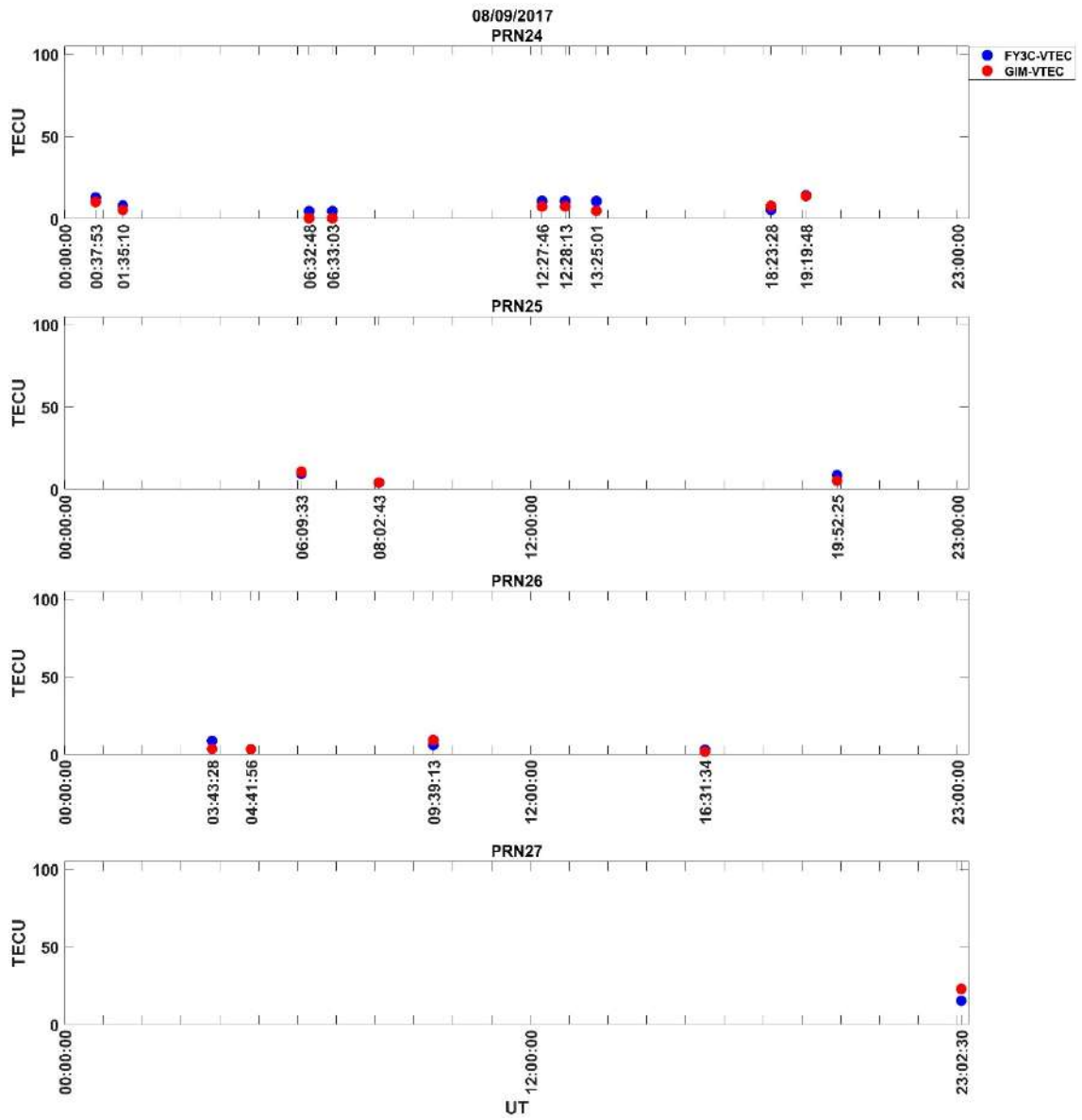
Şekil Ek 2. 3. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN15



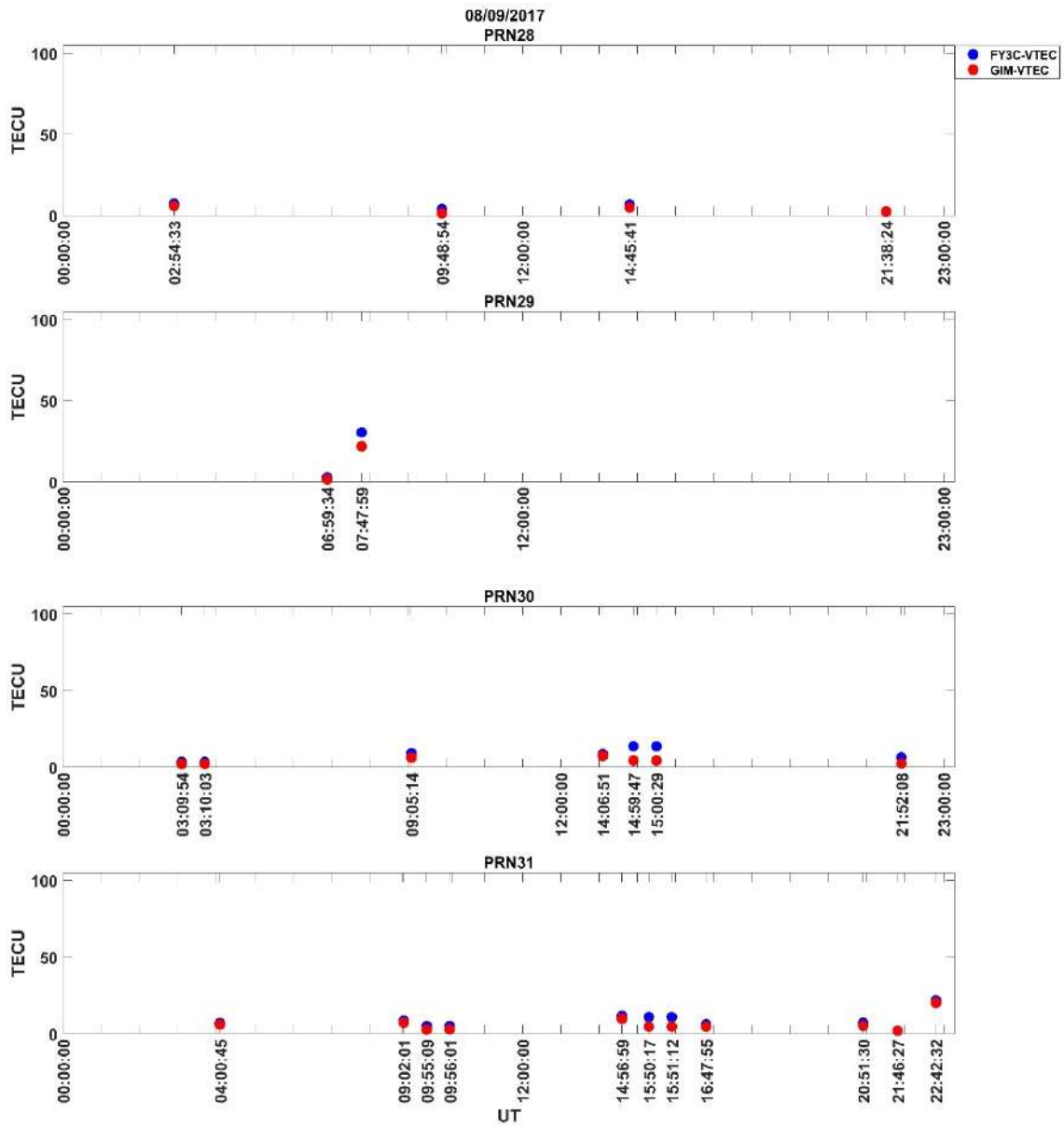
Şekil Ek 2. 4. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19



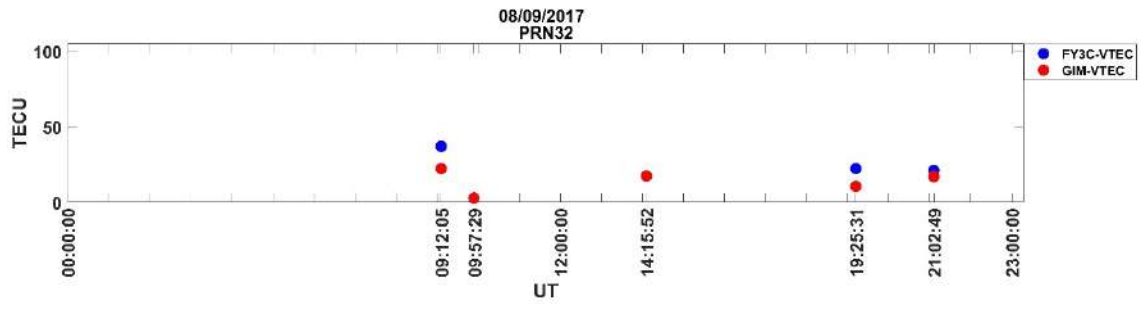
Şekil Ek 2. 5. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23



Şekil Ek 2. 6. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN24 / PRN25 / PRN26 / PRN27

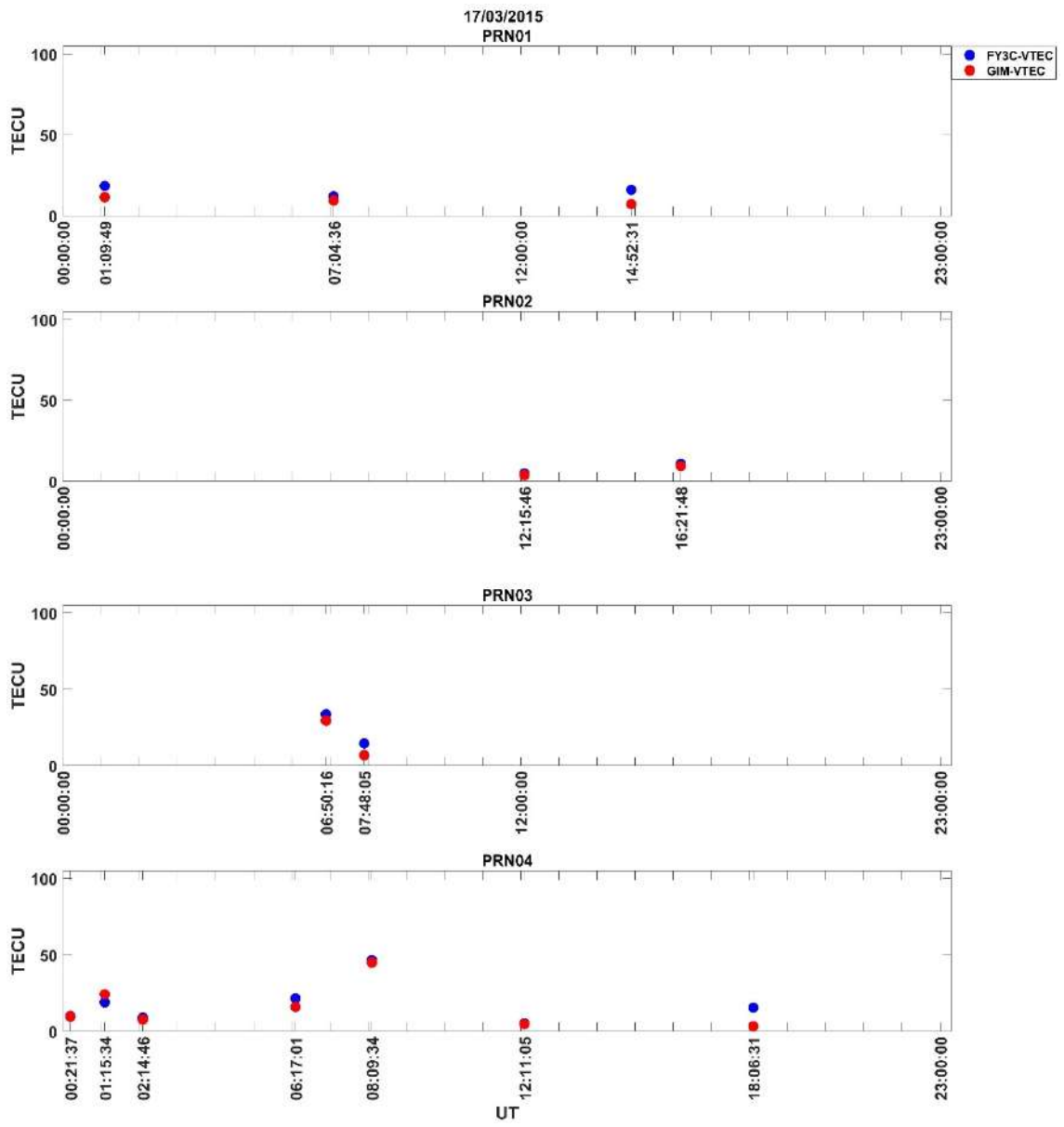


Şekil Ek 2. 7. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN28 / PRN29 / PRN30 / PRN31

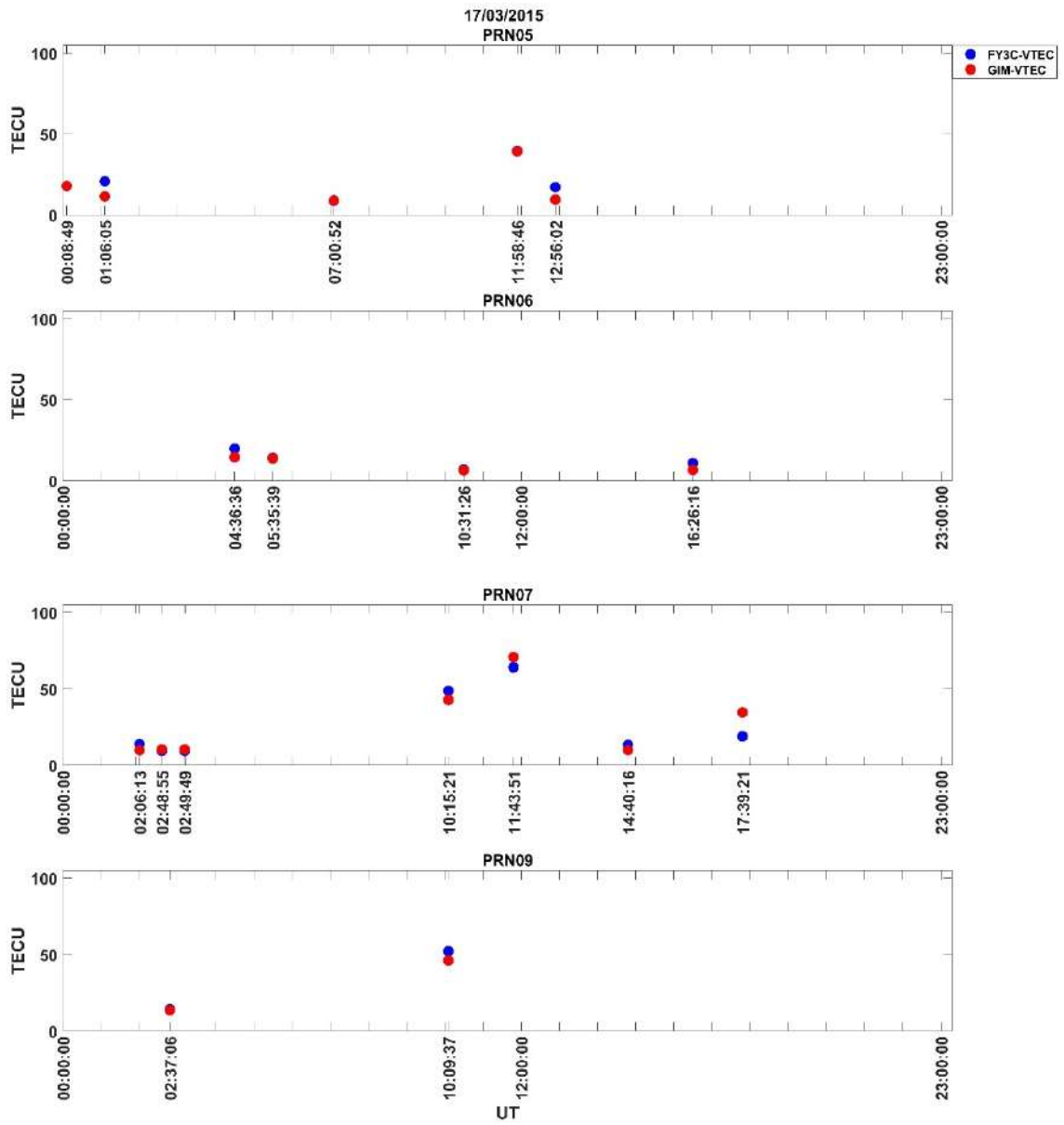


Şekil Ek 2. 8. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017 PRN32

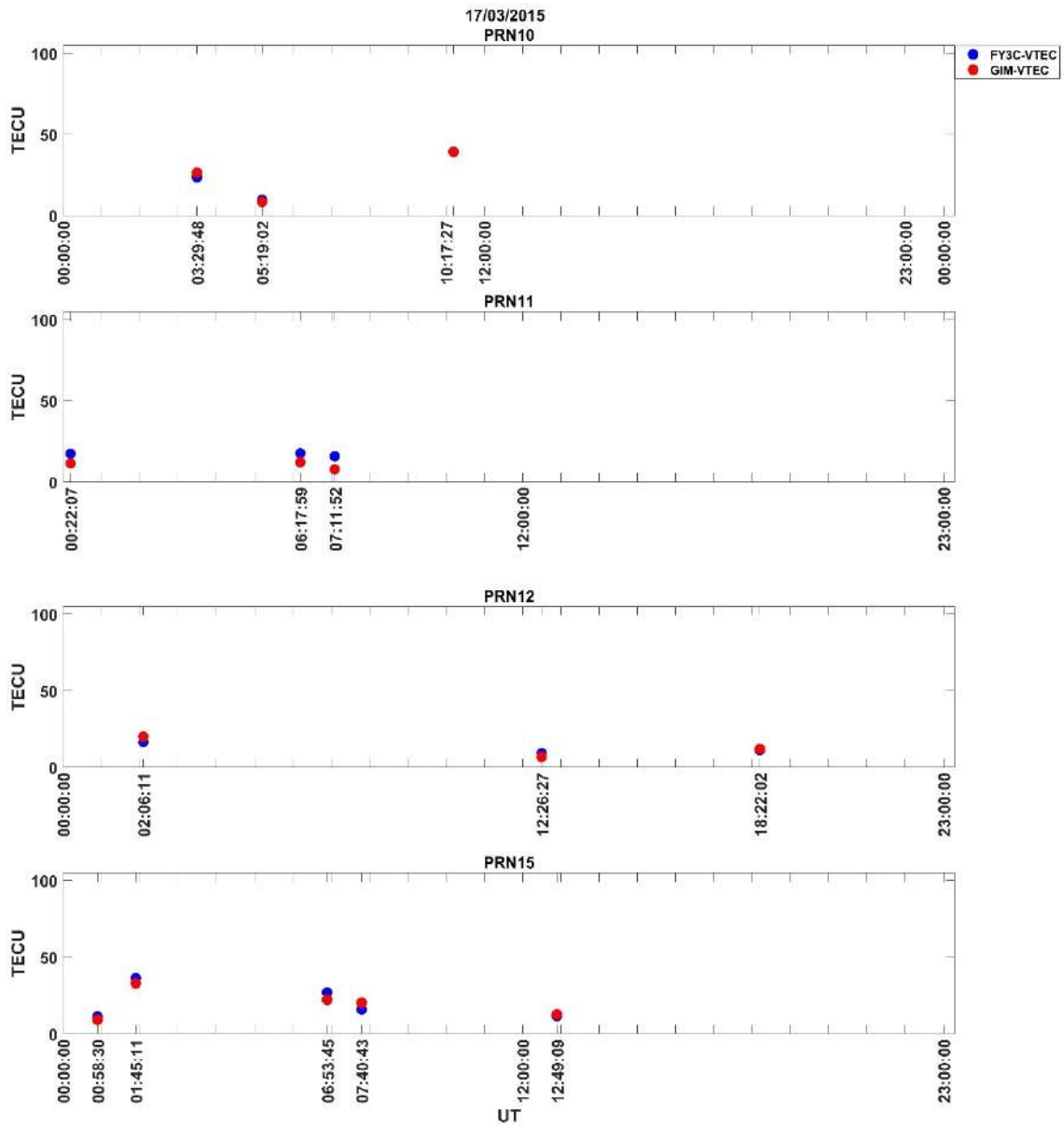




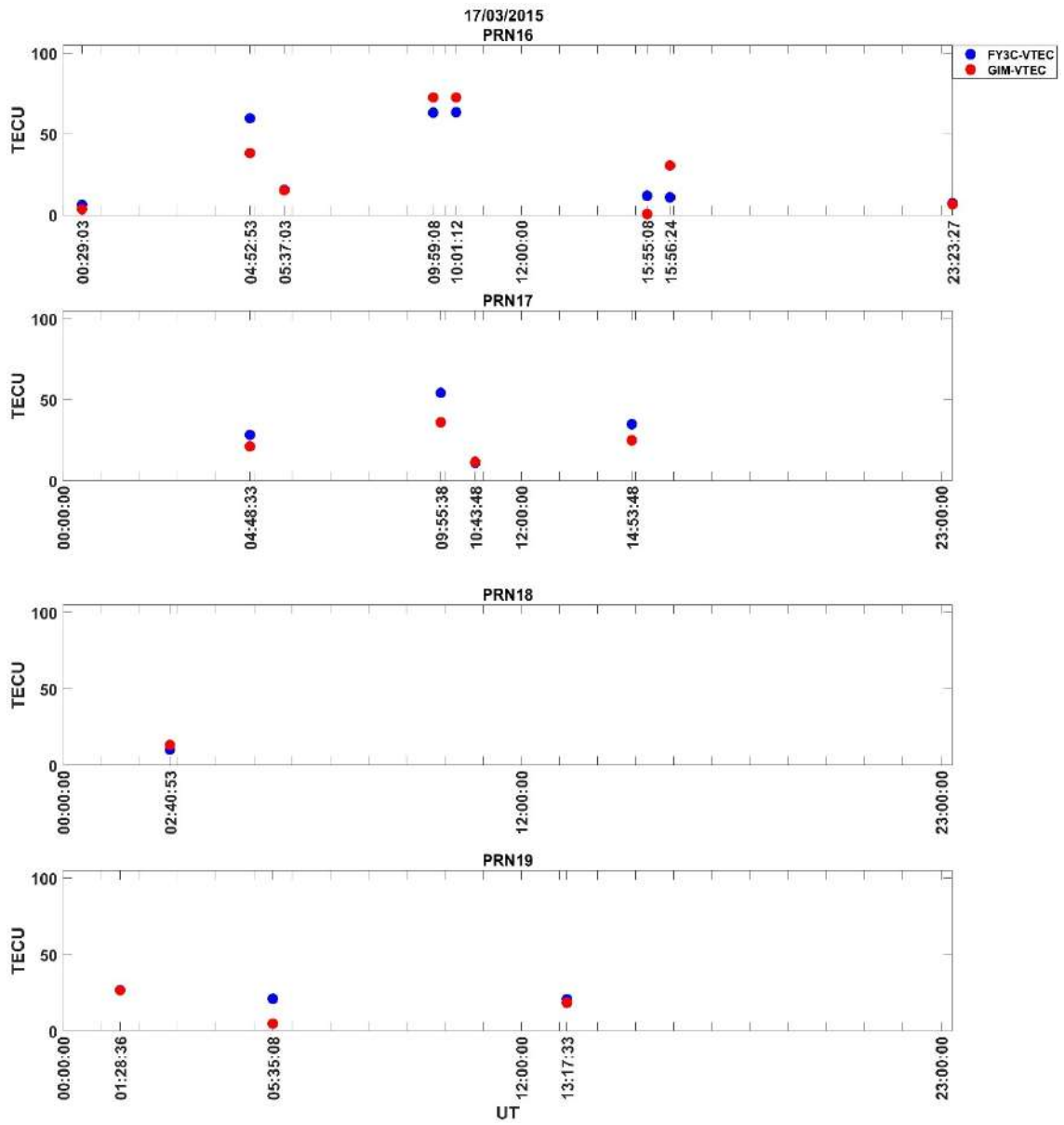
Şekil Ek 2. 9. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



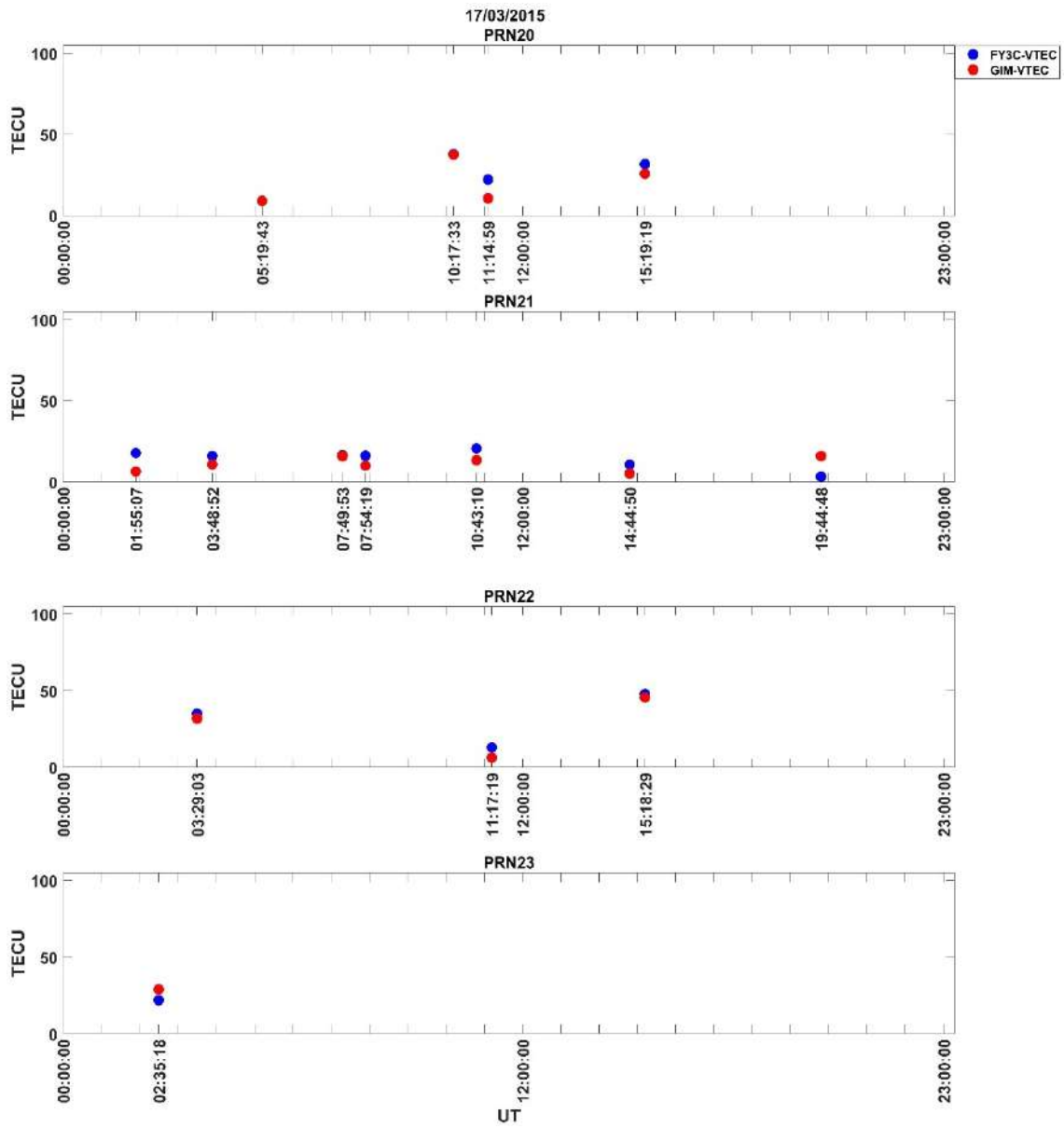
Şekil Ek 2. 10. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN09



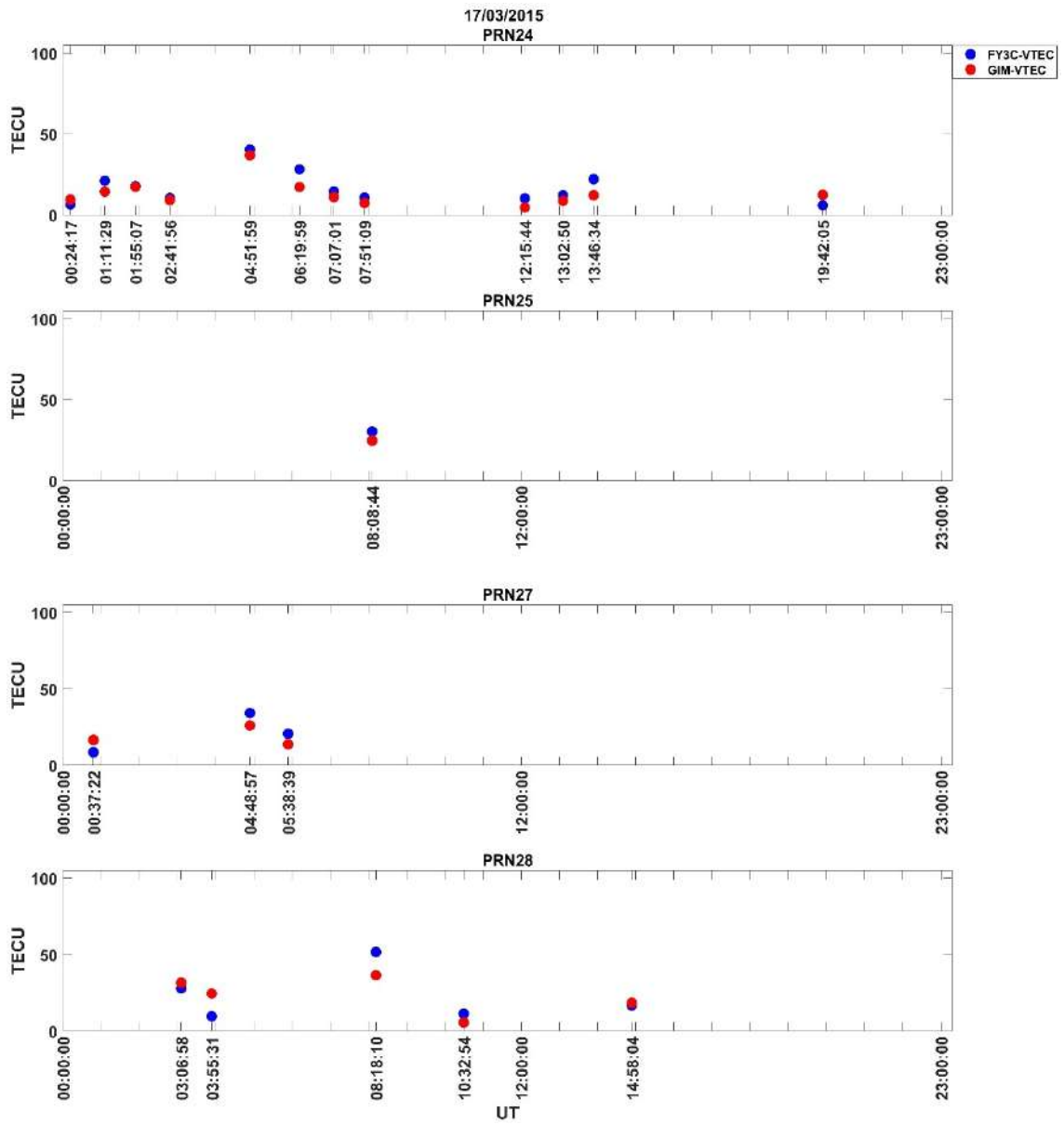
Şekil Ek 2. 11. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN15



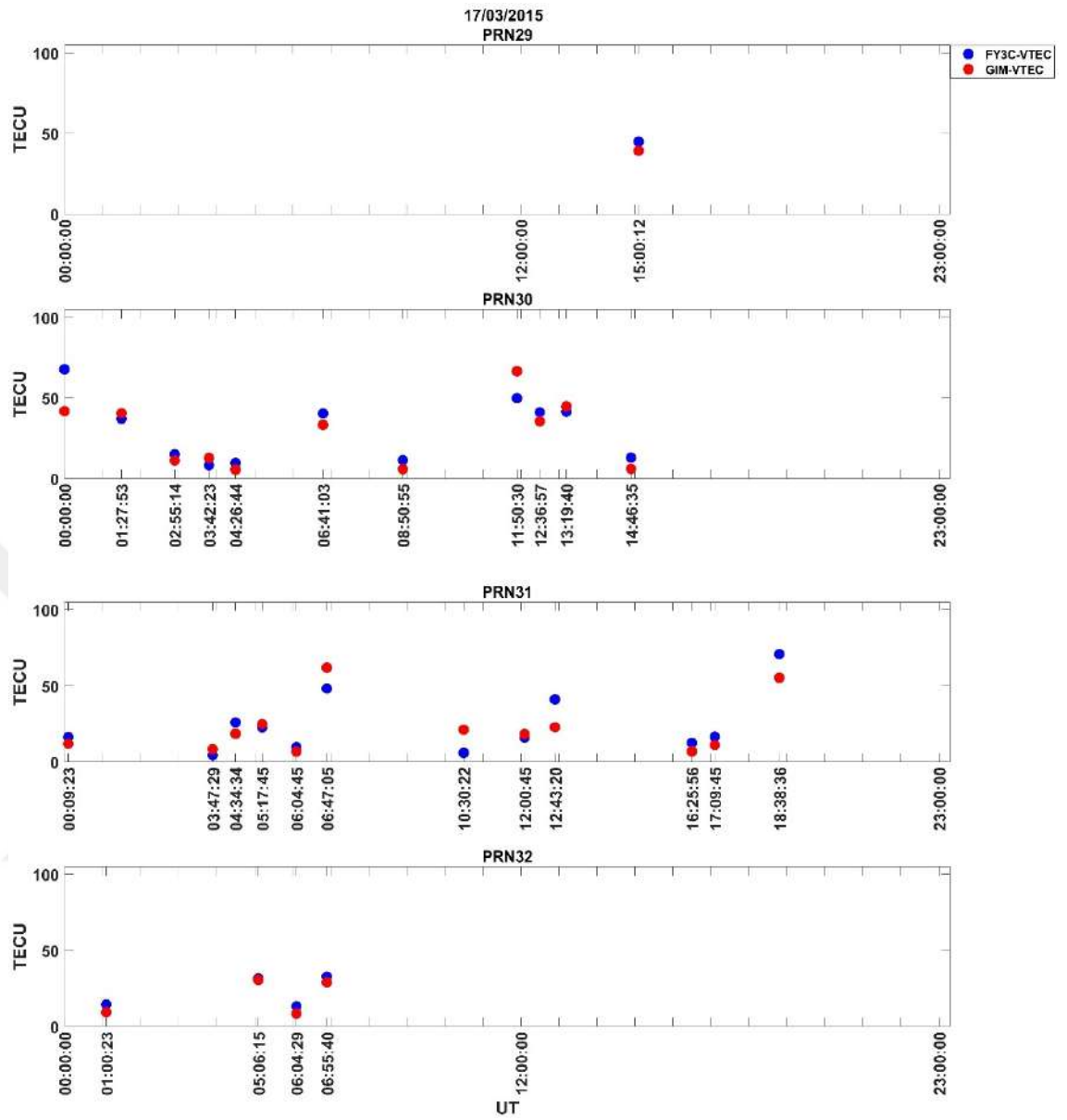
Şekil Ek 2. 12. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN16 / PRN17 / PRN18 / PRN19



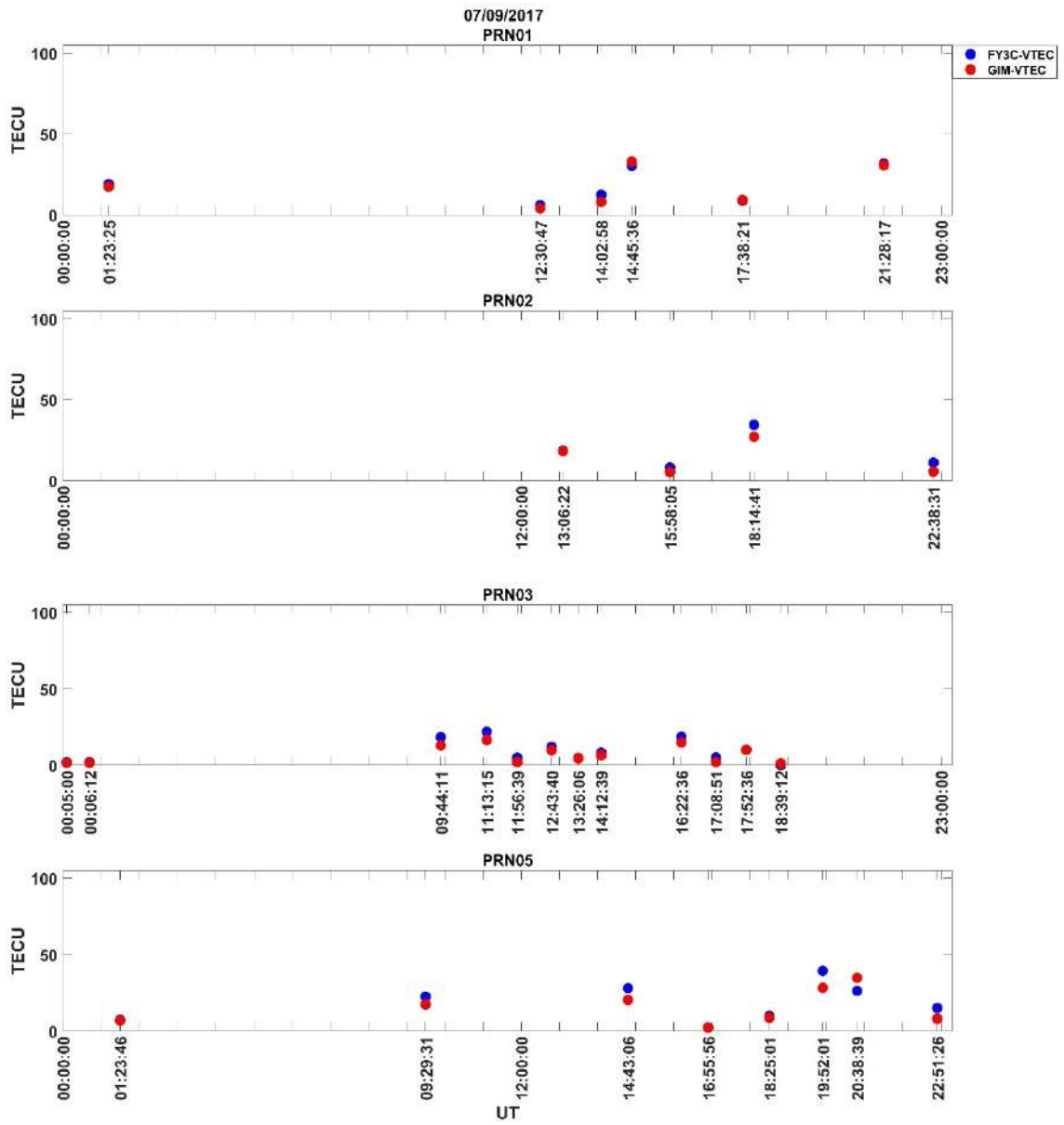
Şekil Ek 2. 13. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN20 / PRN21 / PRN22 / PRN23



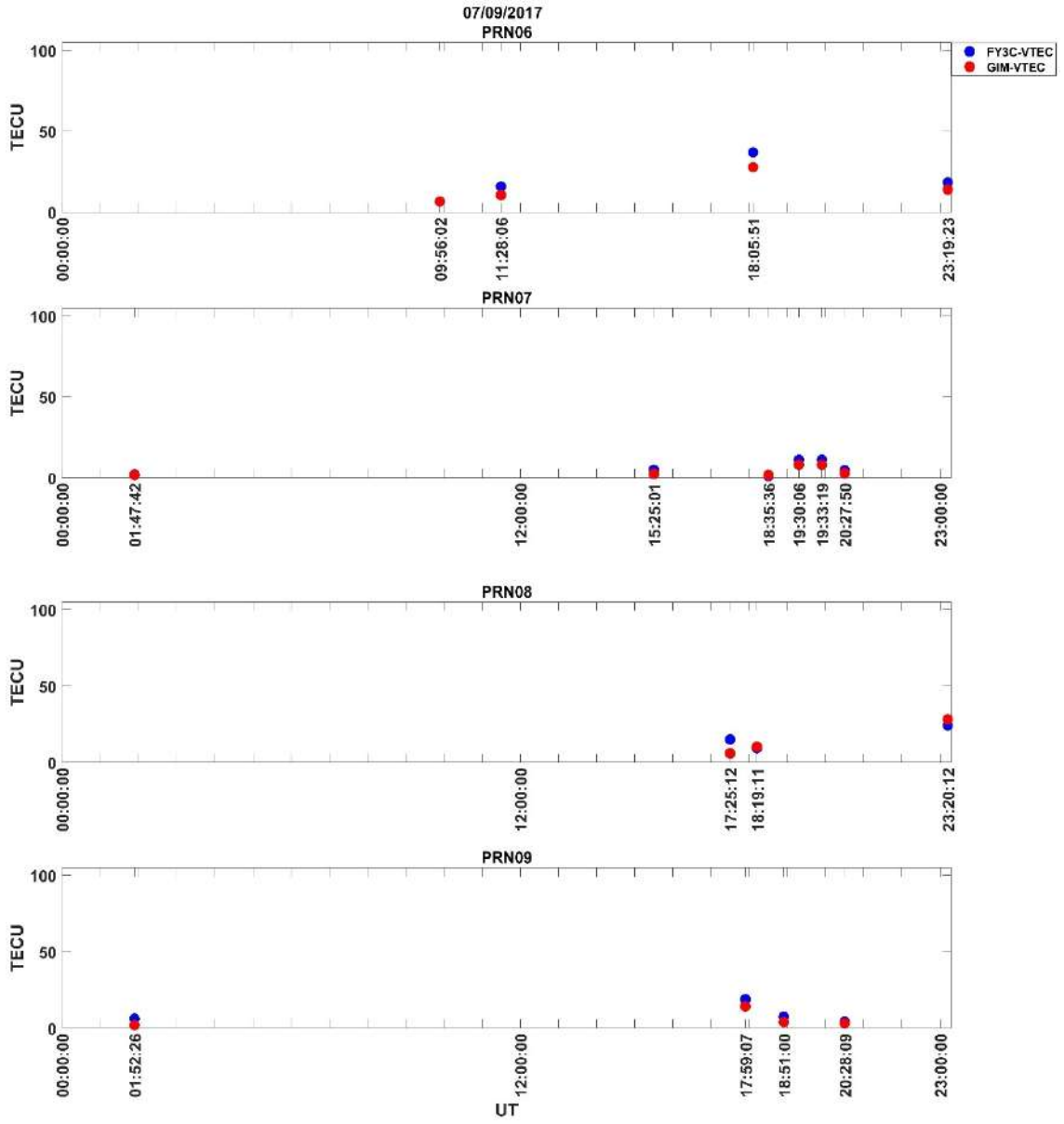
Şekil Ek 2. 14. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN24 / PRN25 / PRN27 / PRN28



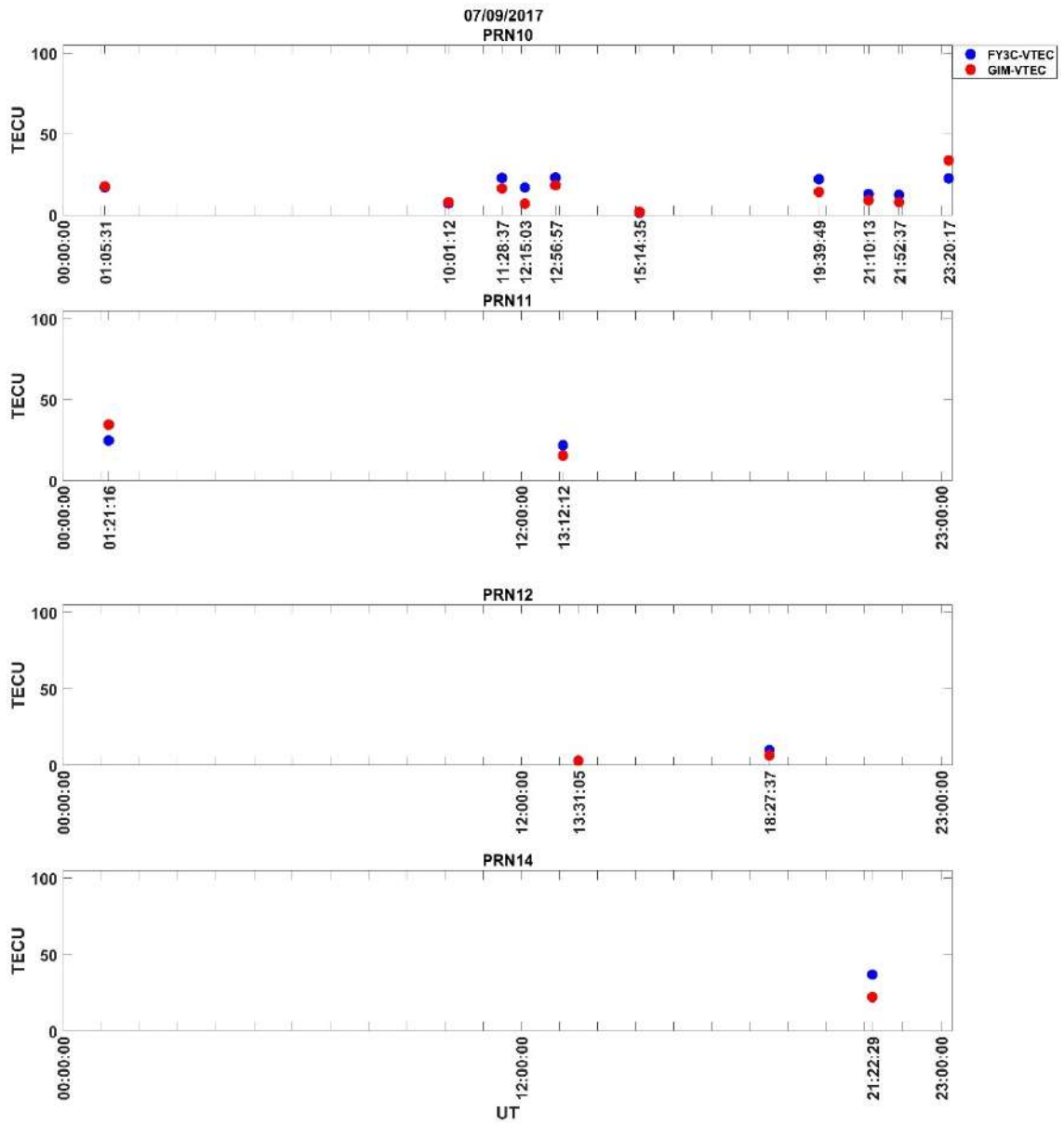
Şekil Ek 2. 15. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32



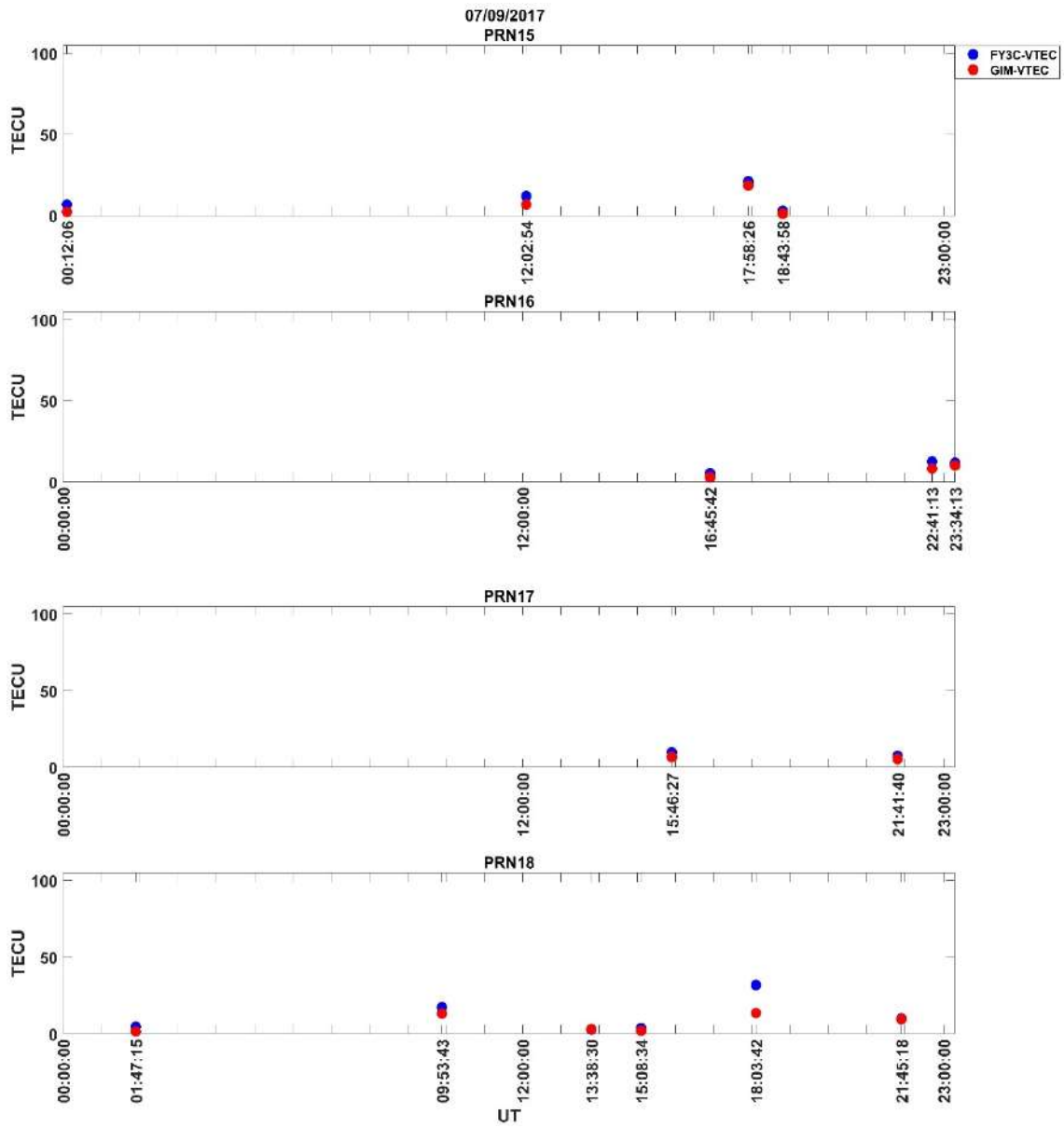
Şekil Ek 2. 16. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05



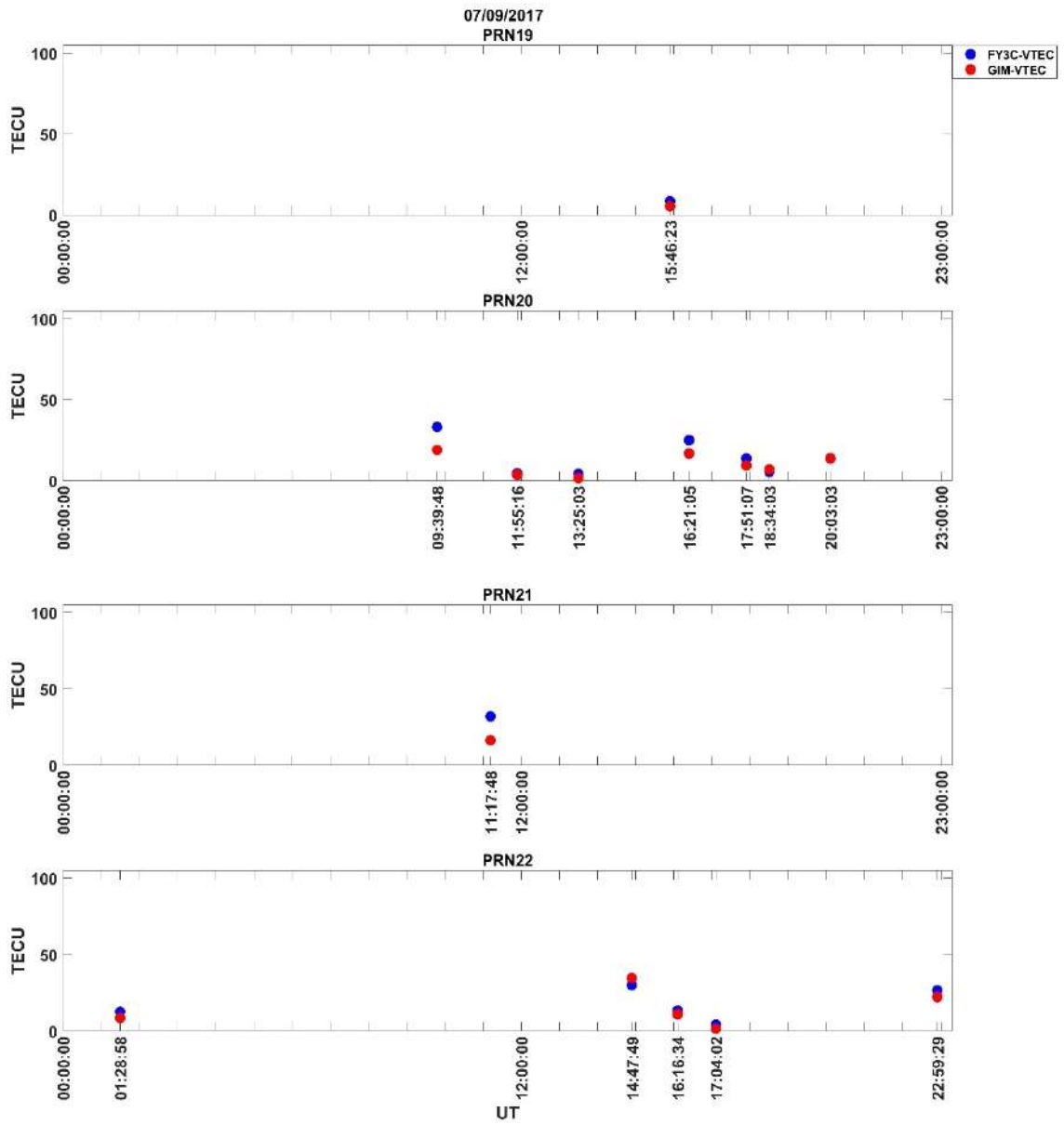
Şekil Ek 2. 17. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09



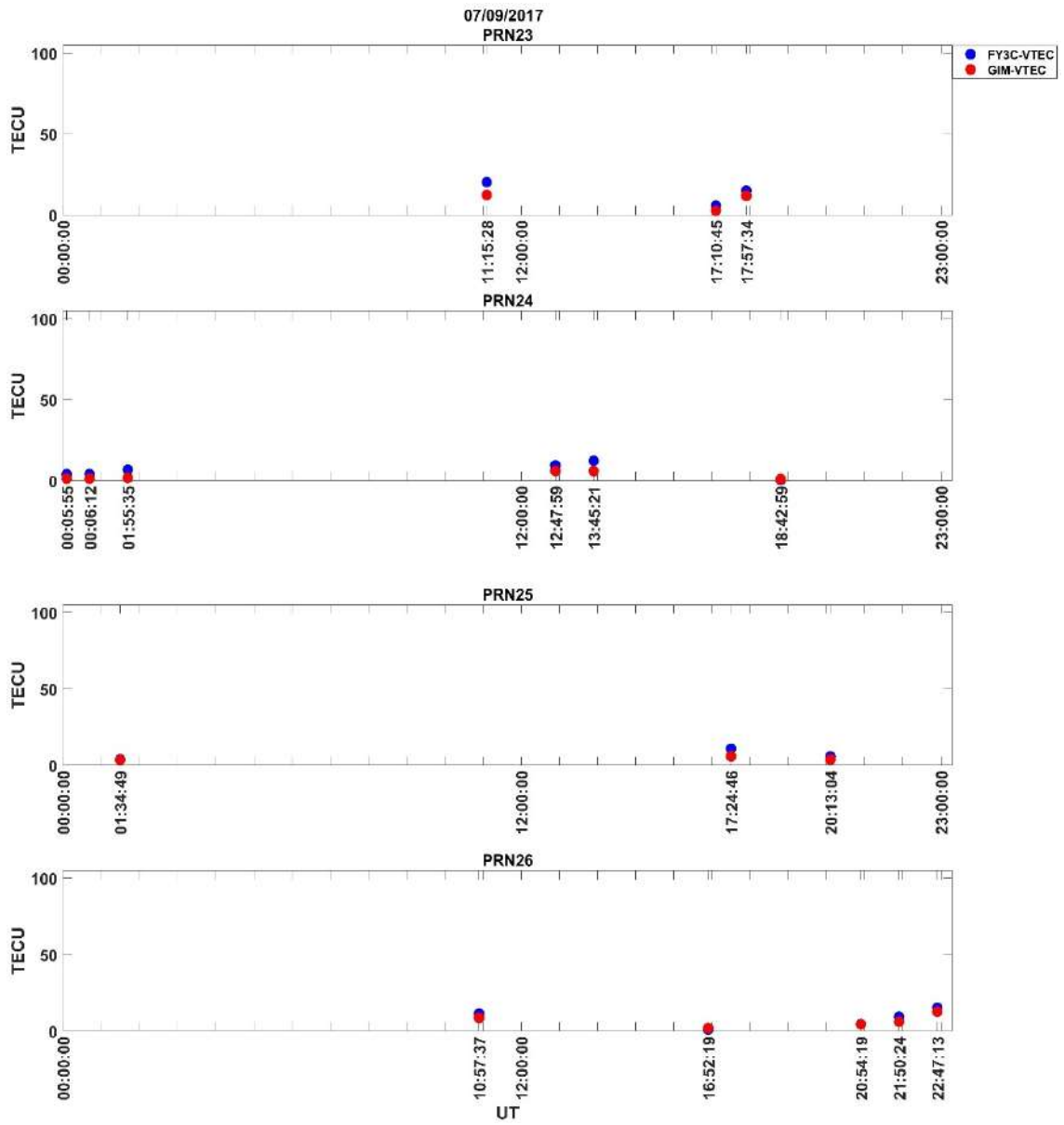
Şekil Ek 2. 18. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN14



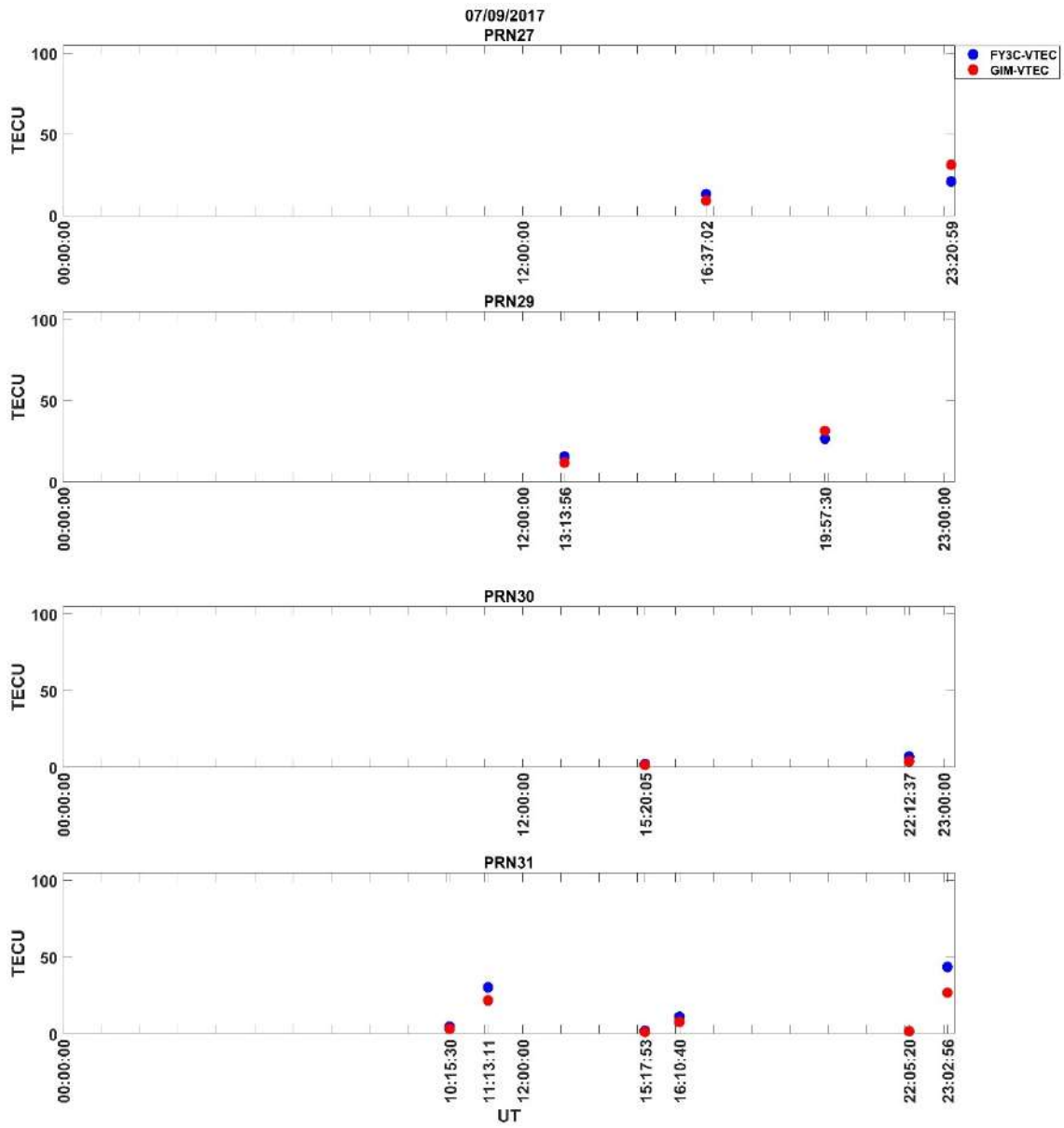
Şekil Ek 2. 19. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN15 / PRN16 / PRN17 / PRN18



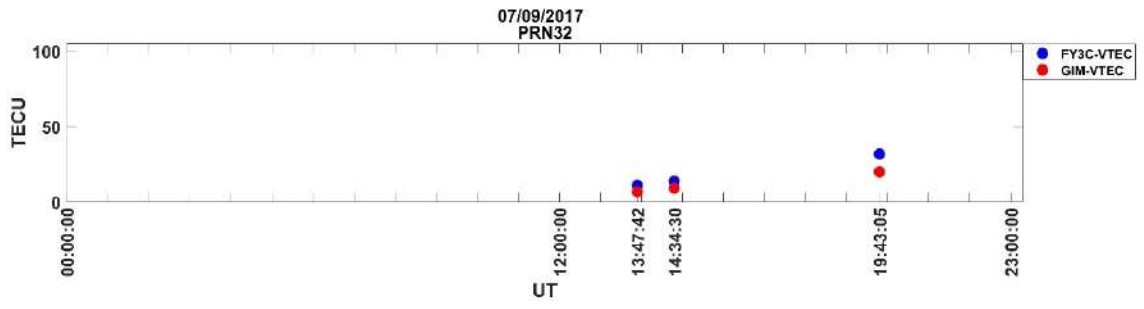
Şekil Ek 2. 20. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN19 / PRN20 / PRN21 / PRN22



Şekil Ek 2. 21. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN23 / PRN24 / PRN25 / PRN26

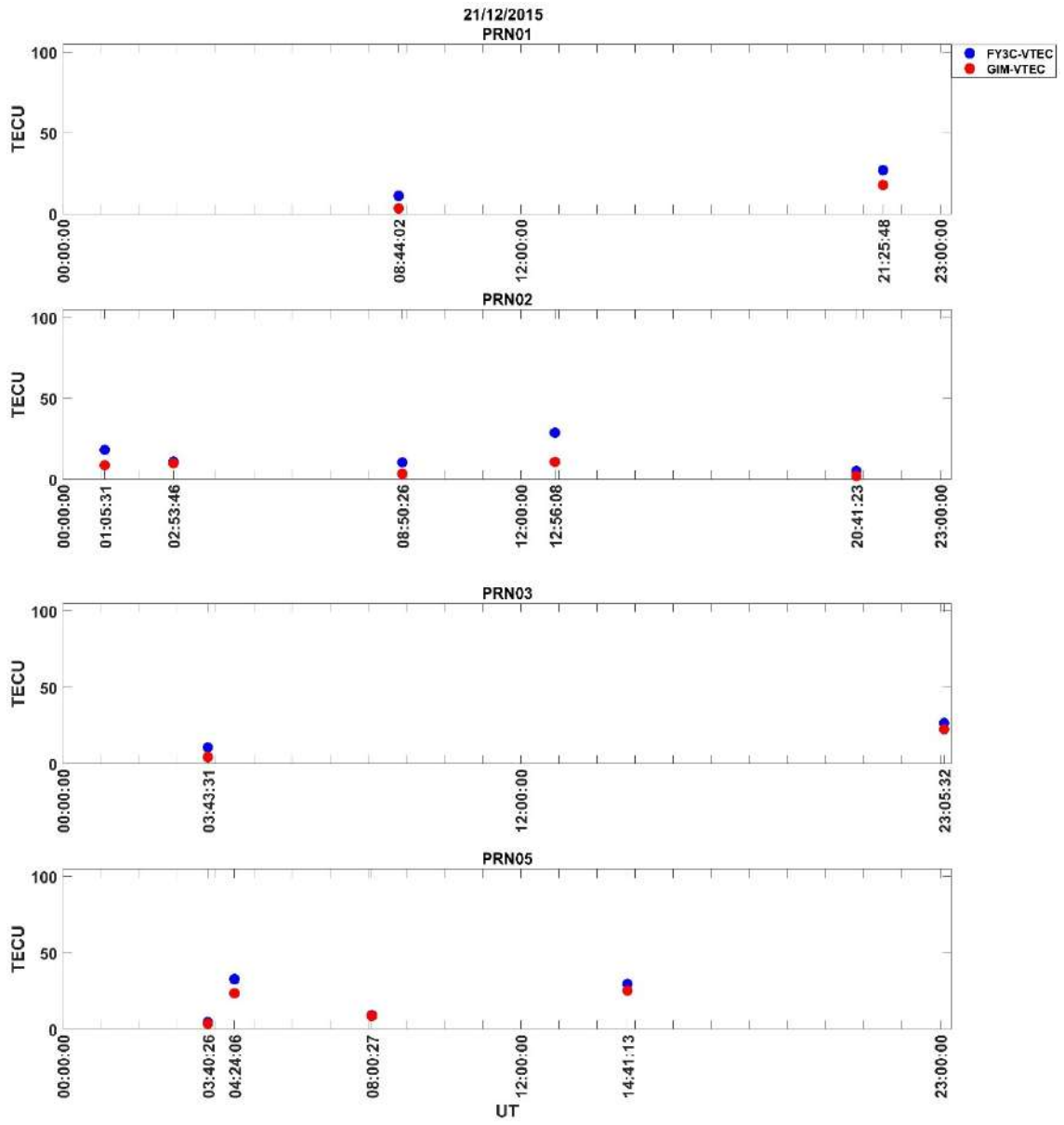


Şekil Ek 2. 22. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN27 / PRN29 / PRN30 / PRN31

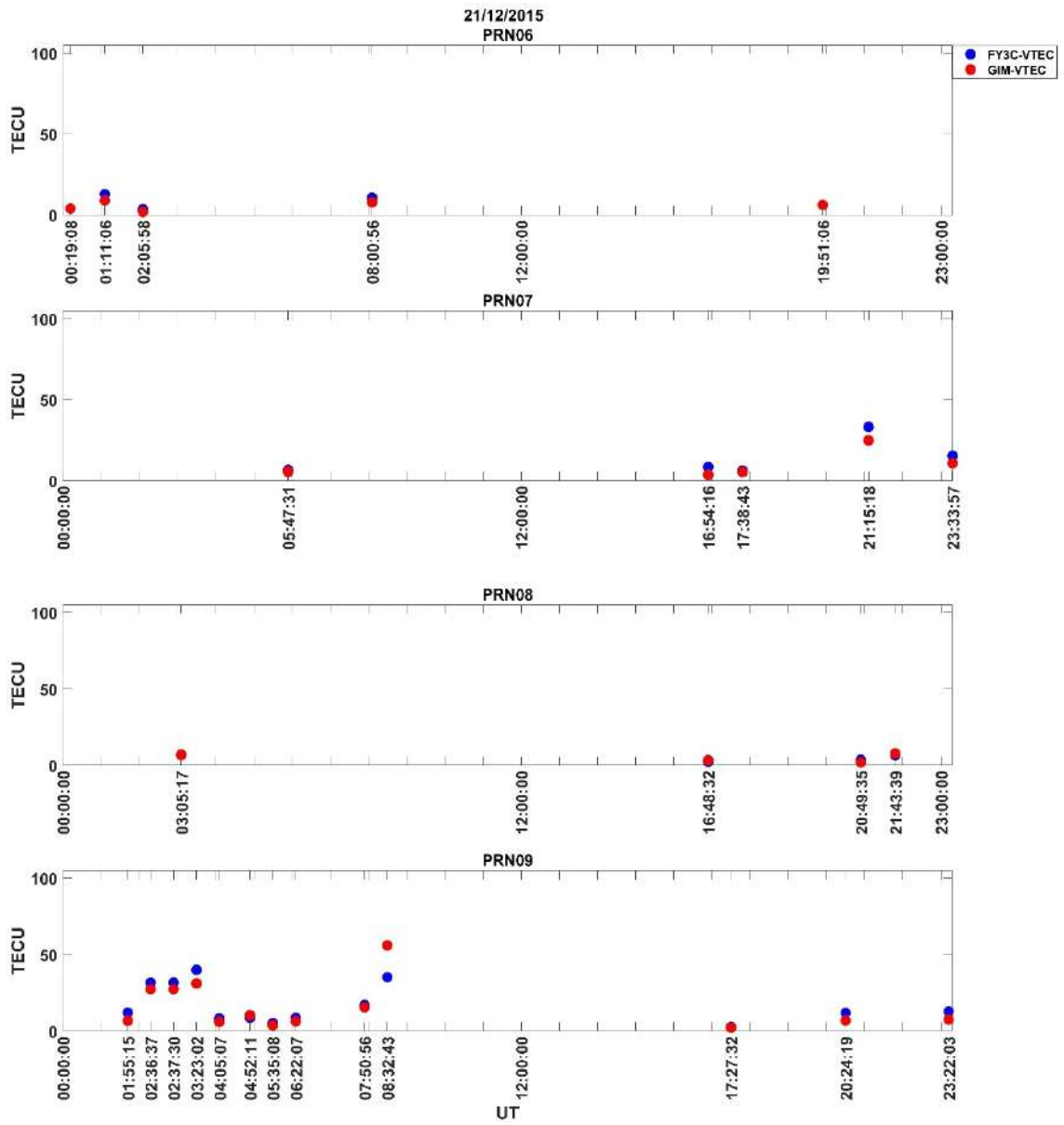


Şekil Ek 2. 23. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017 PRN32

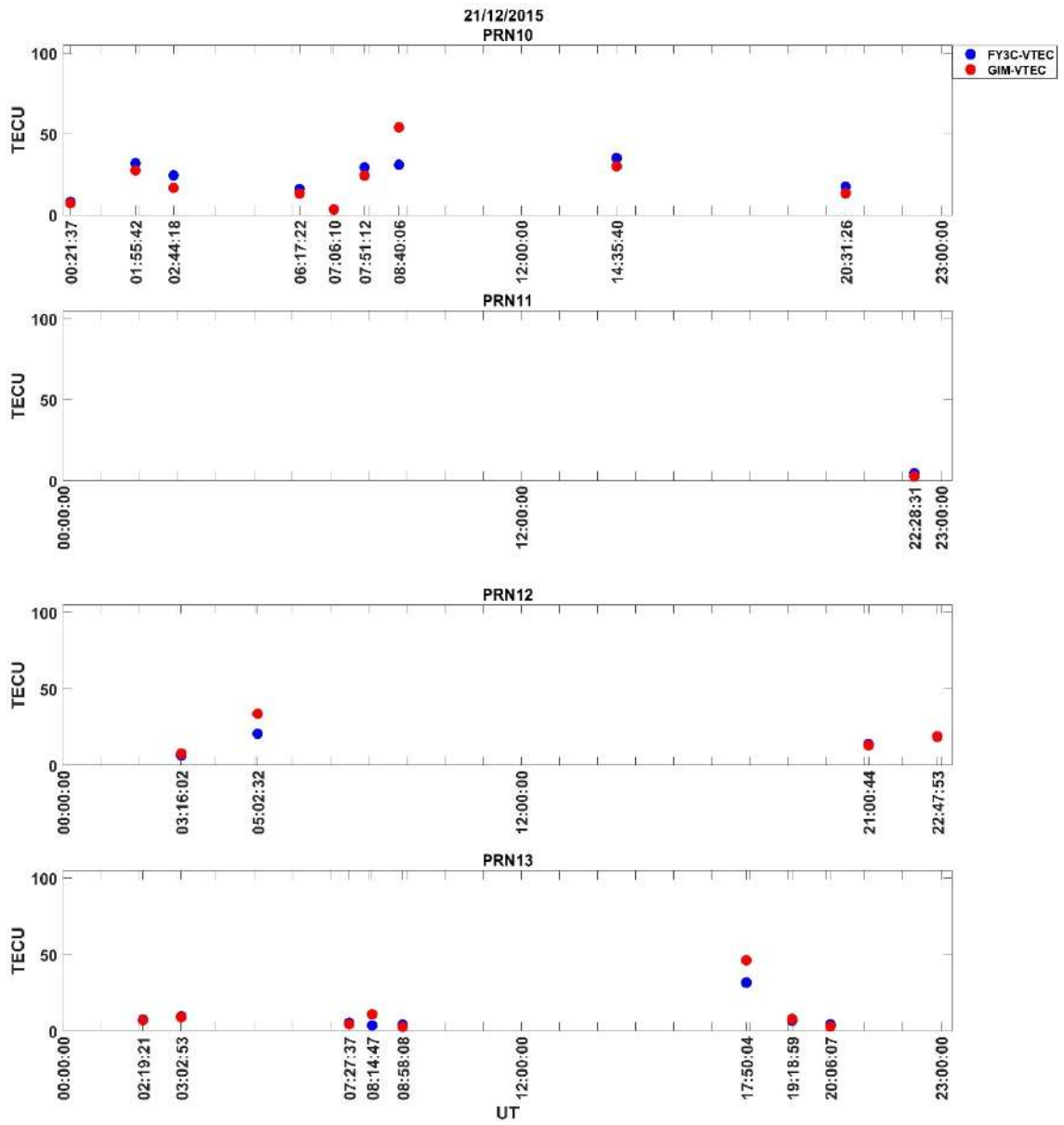




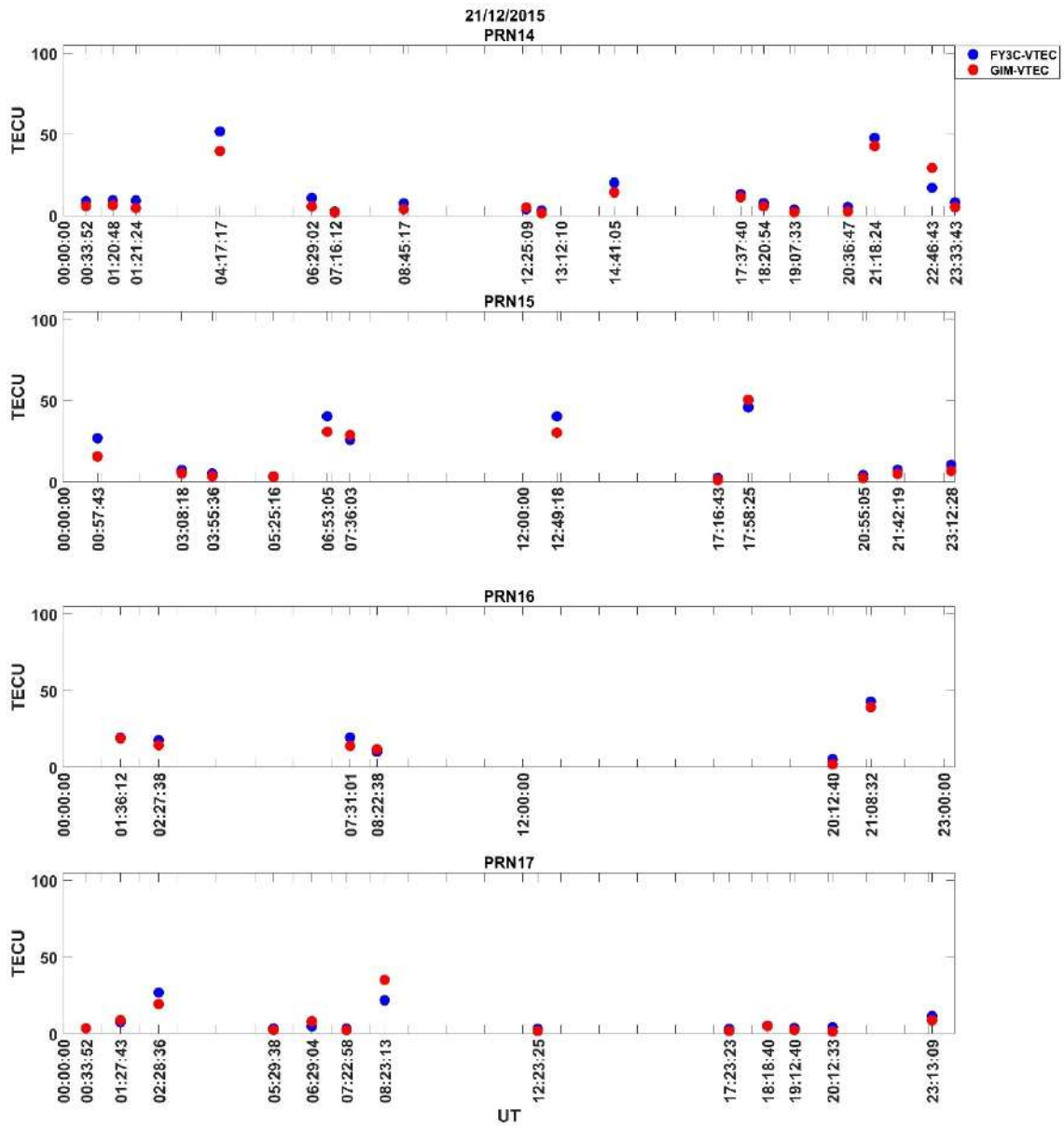
Şekil Ek 2. 24. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05



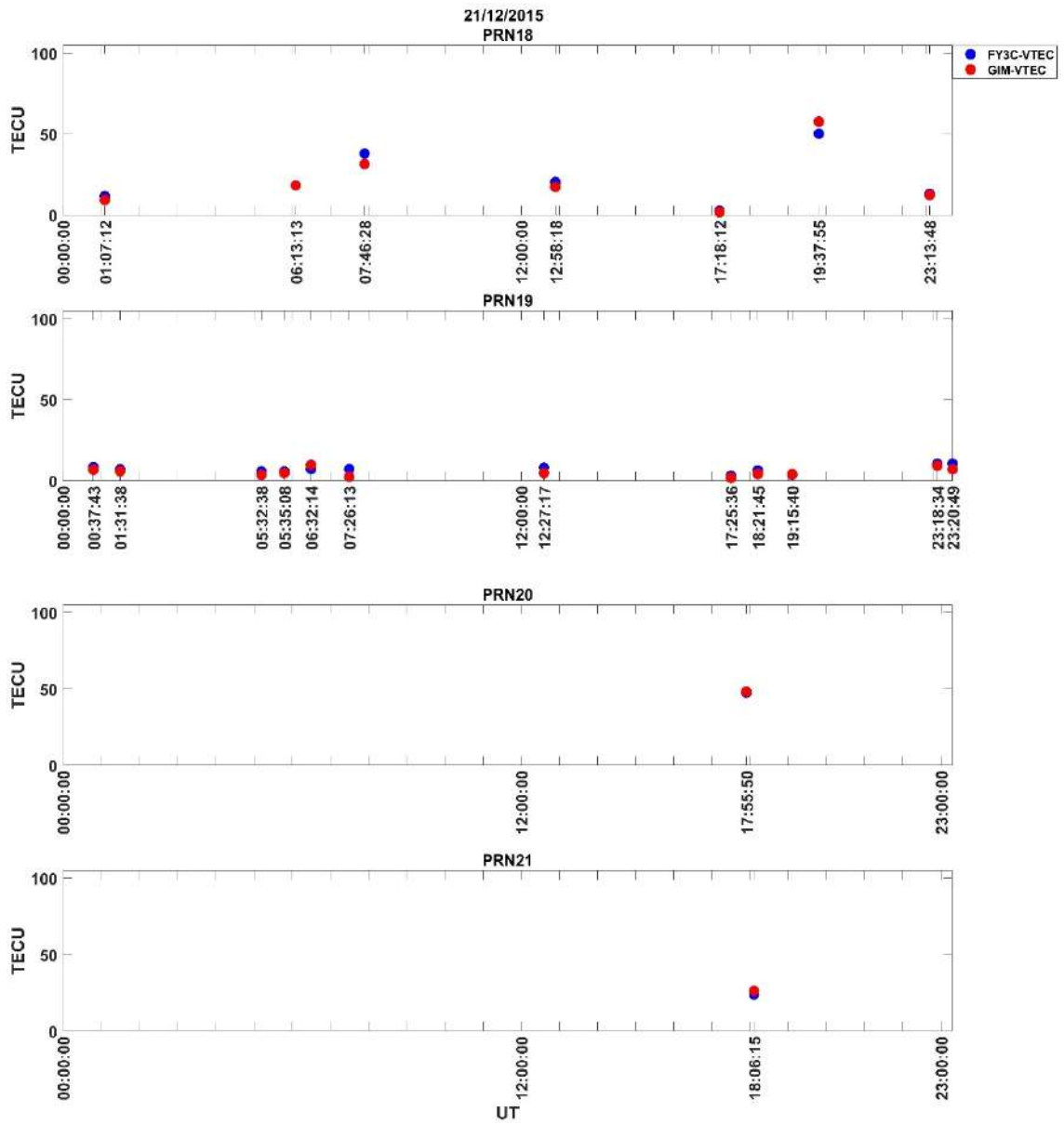
Şekil Ek 2. 25. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09



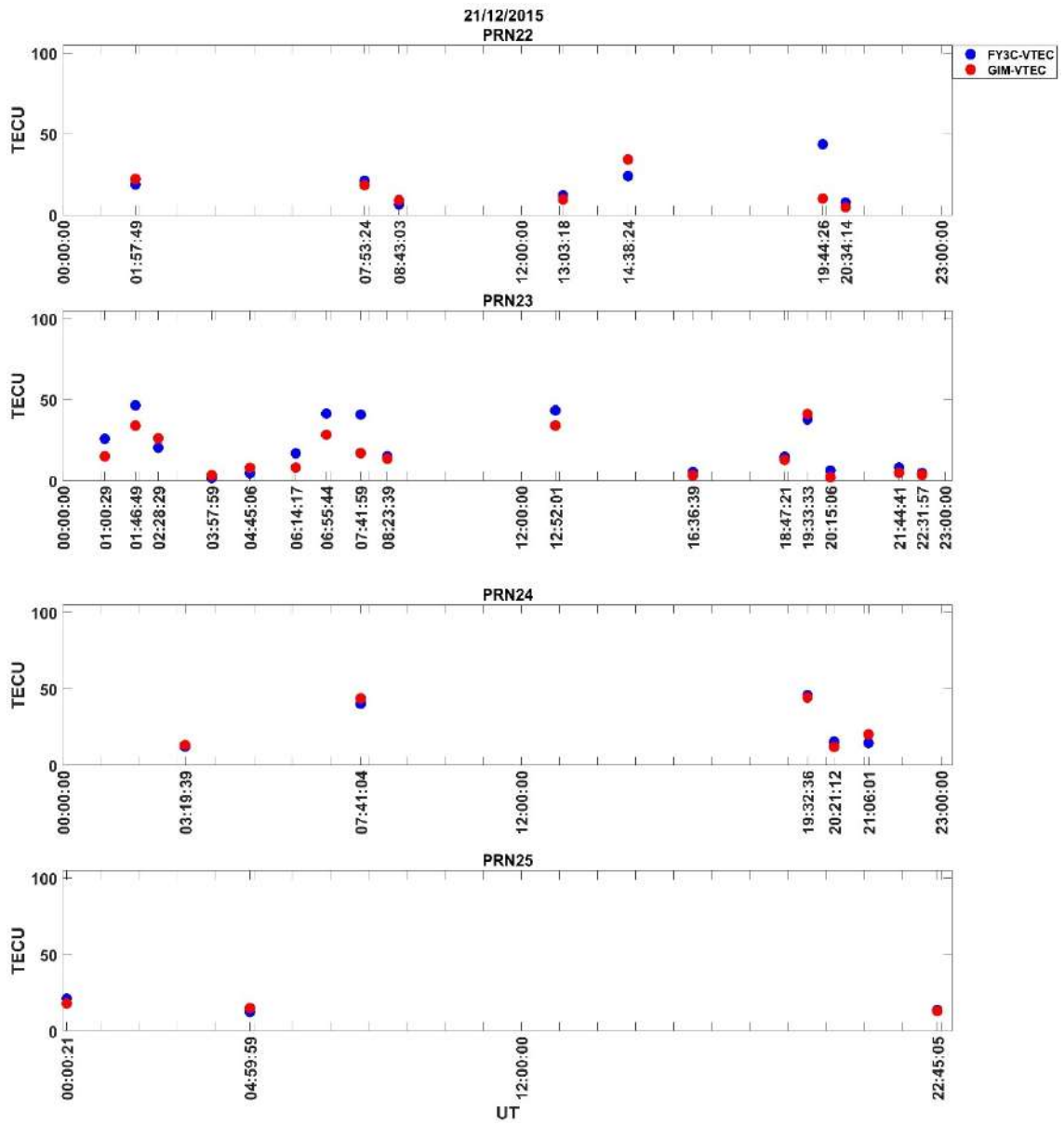
Şekil Ek 2. 26. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN13



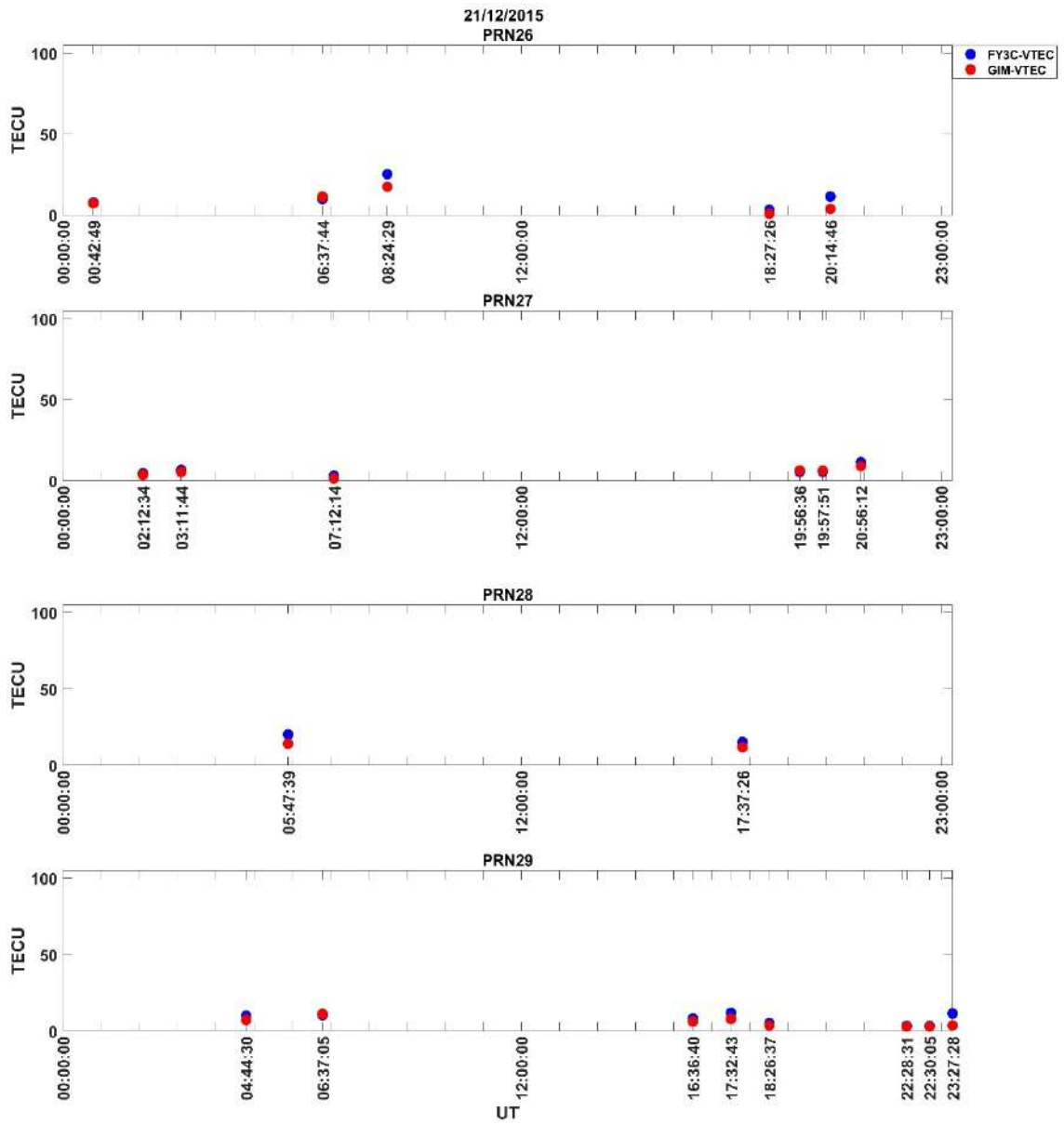
Şekil Ek 2. 27. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17



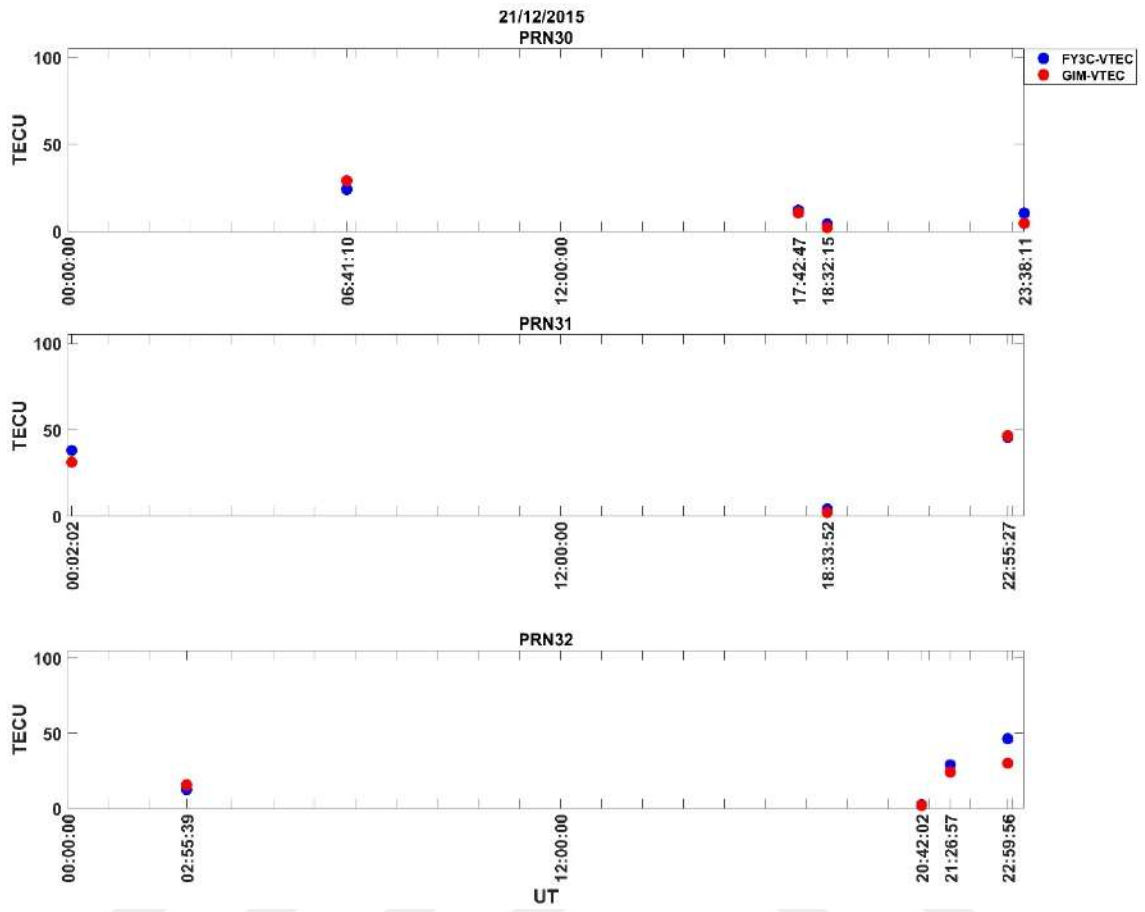
Şekil Ek 2. 28. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN18 / PRN19 / PRN20 / PRN21



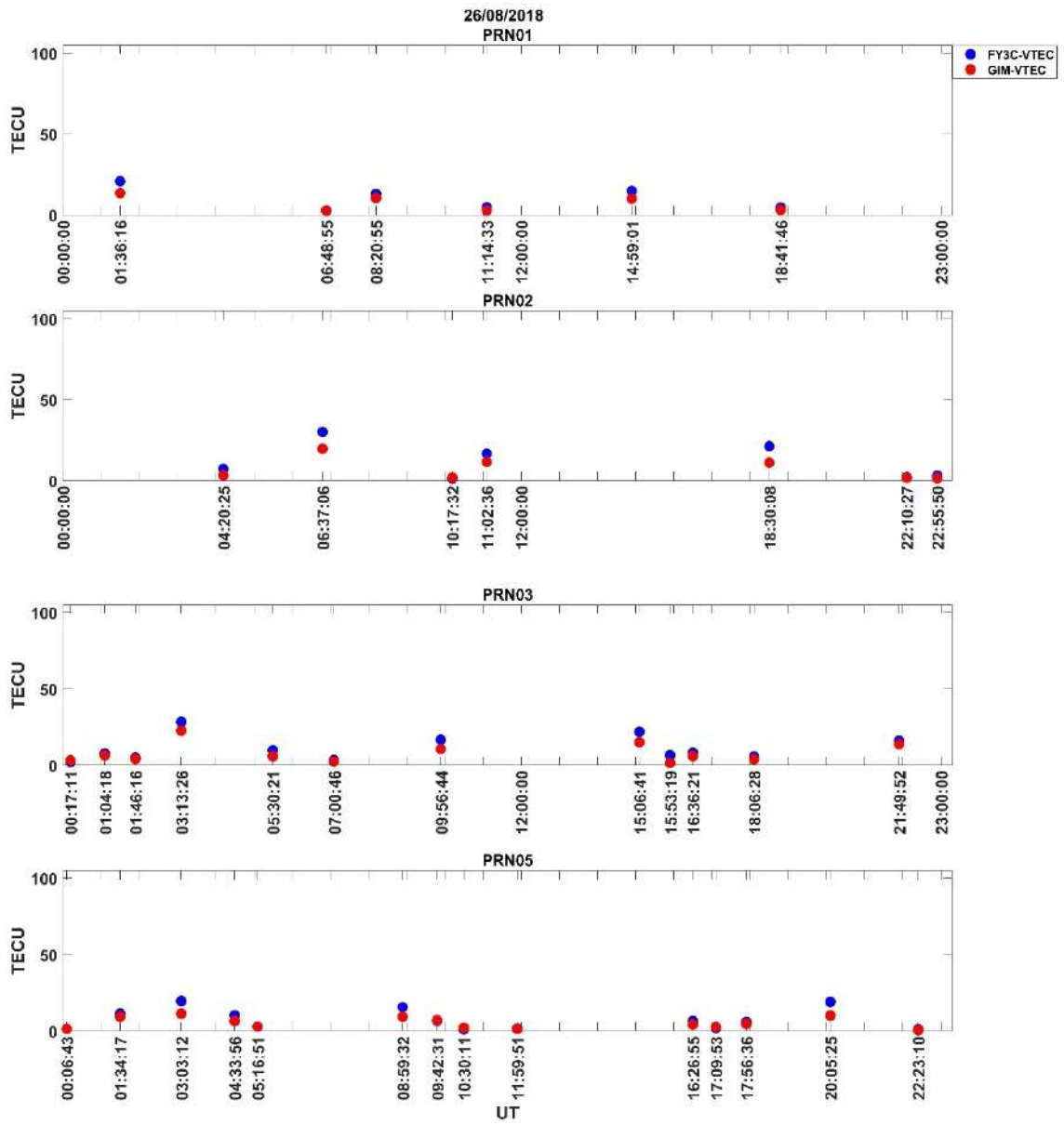
Şekil Ek 2. 29. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN22 / PRN23 / PRN24 / PRN25



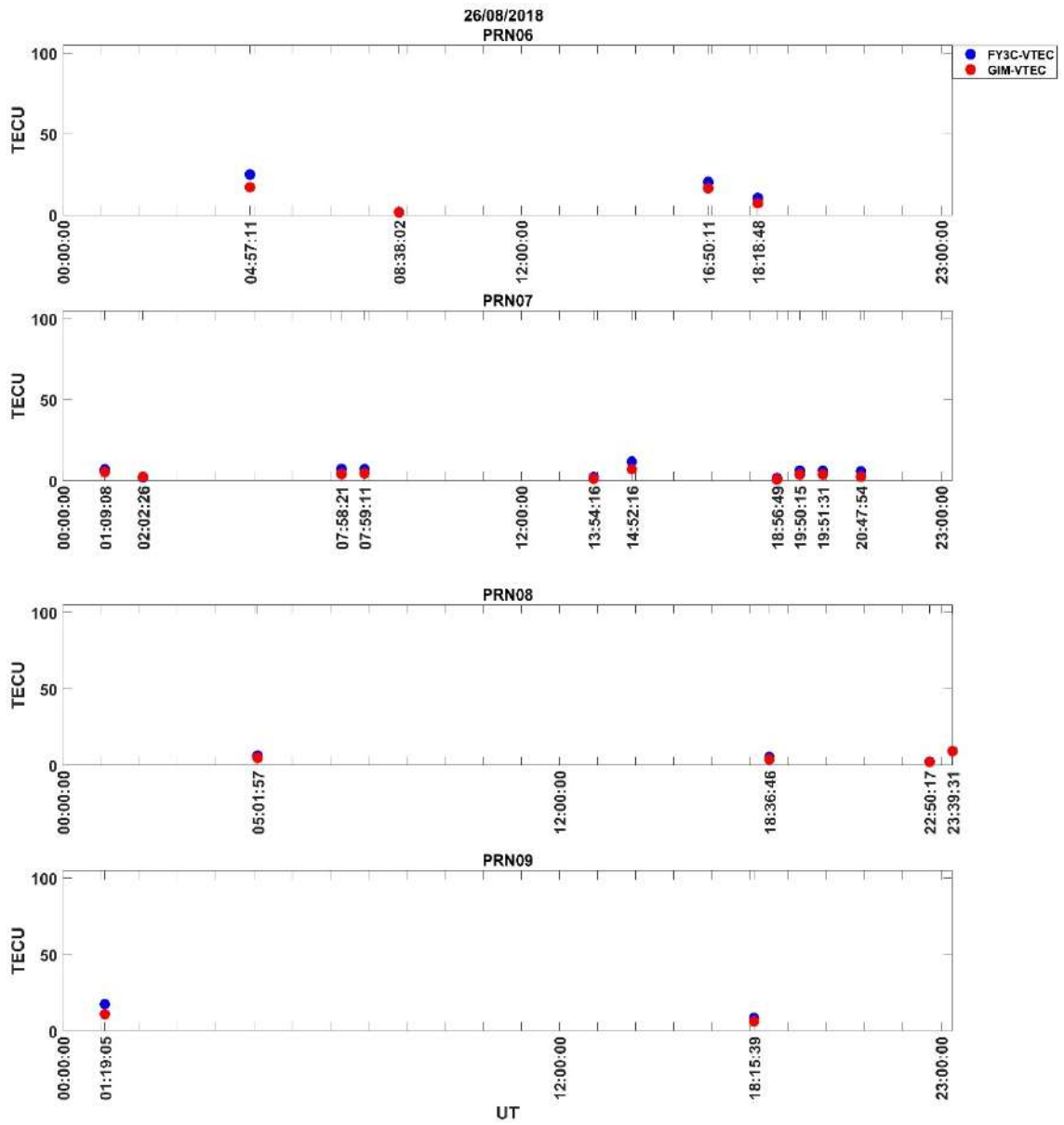
Şekil Ek 2. 30. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN26 / PRN27 / PRN28 / PRN29



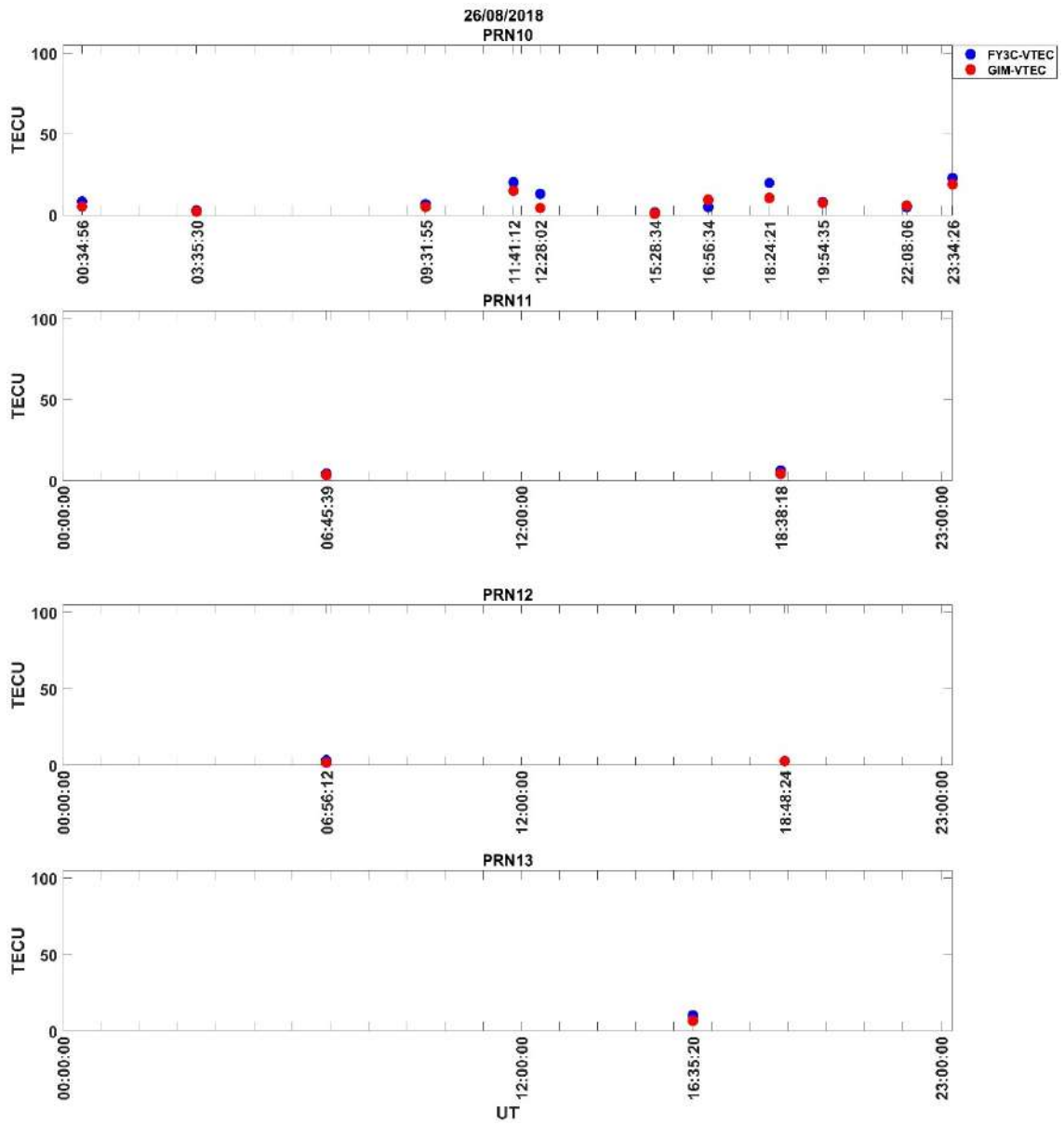
Şekil Ek 2. 31. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015 PRN30 / PRN31 / PRN32



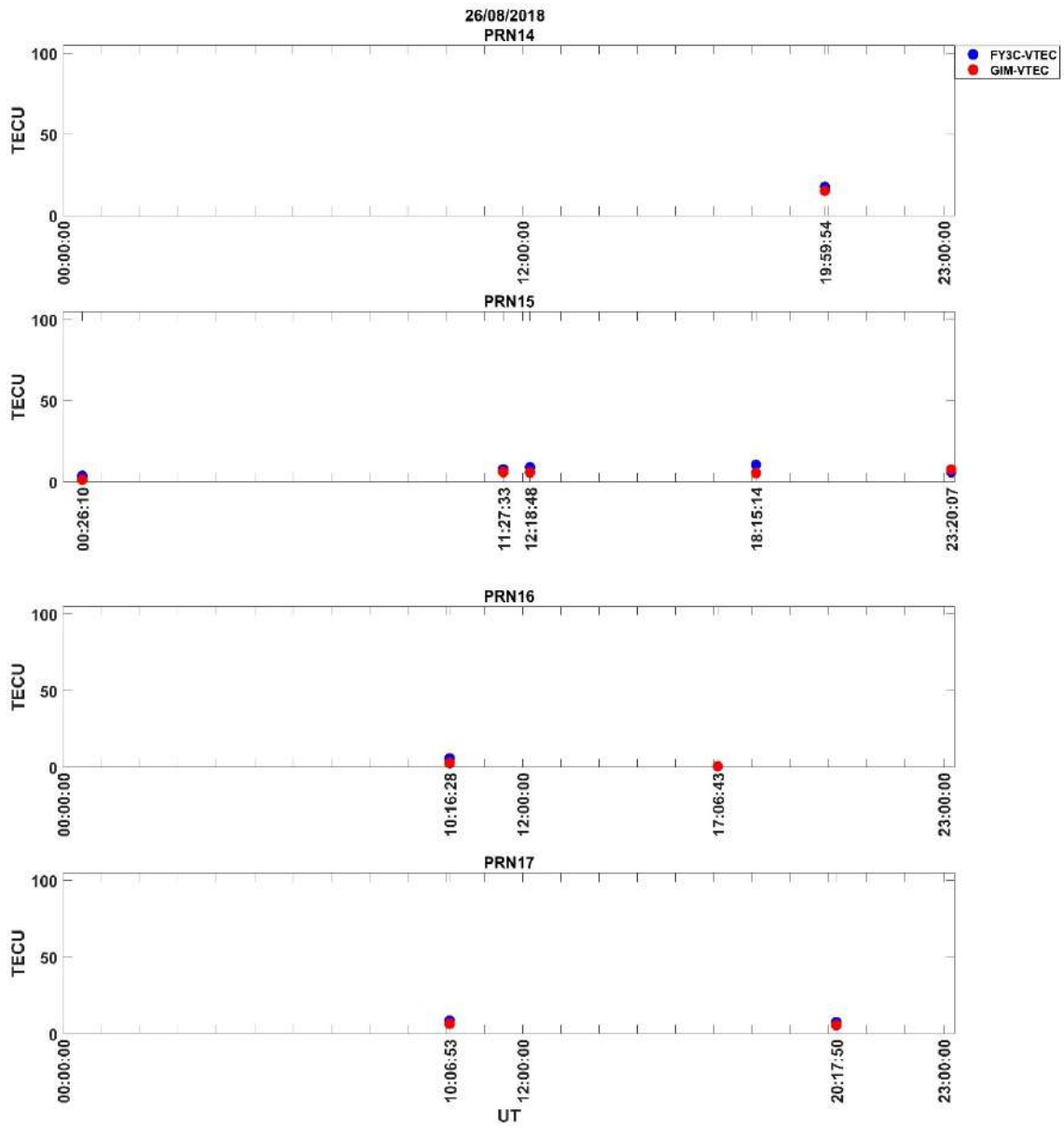
Şekil Ek 2. 32. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN05



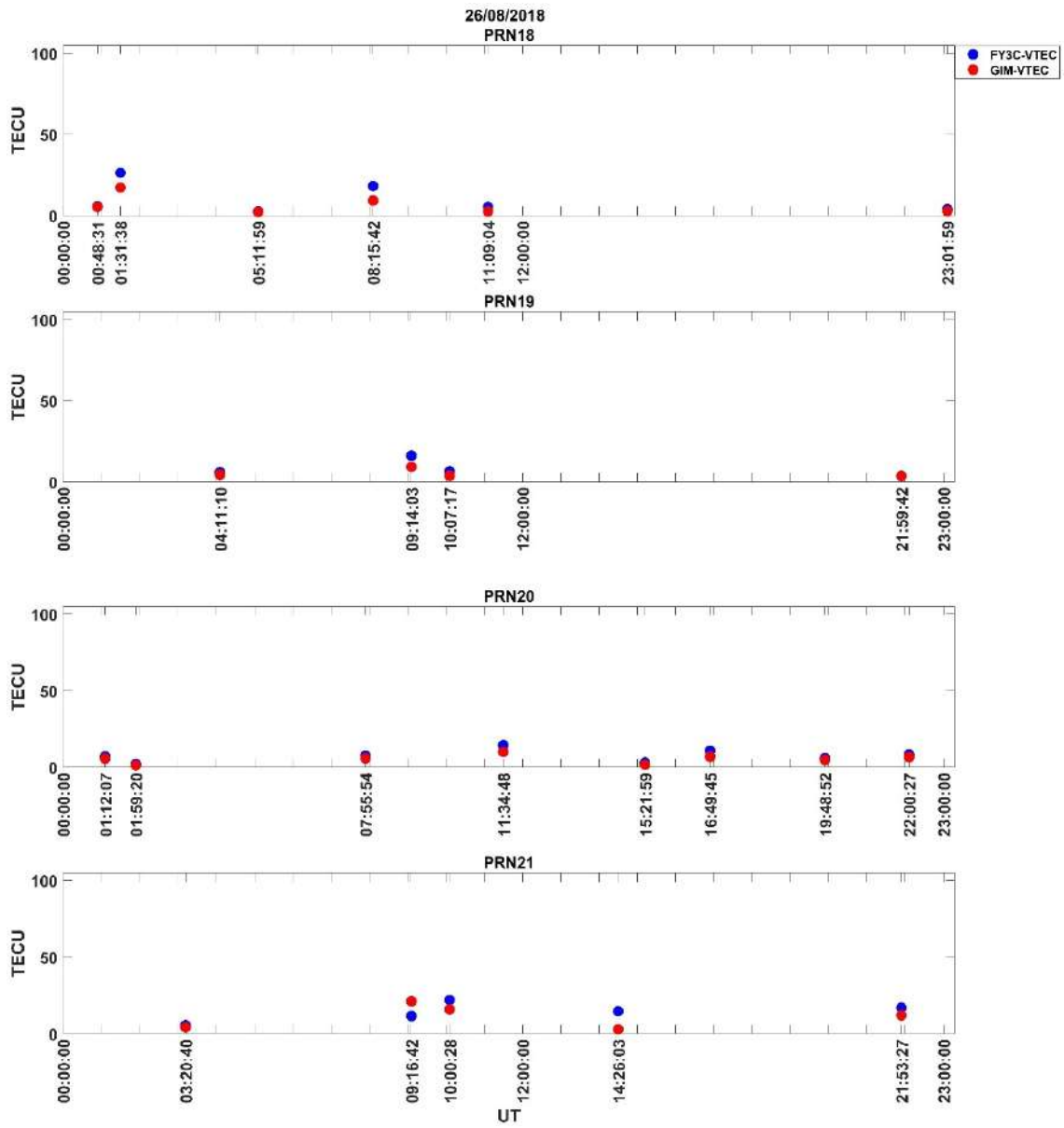
Şekil Ek 2. 33. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN06 / PRN07 / PRN08 / PRN09



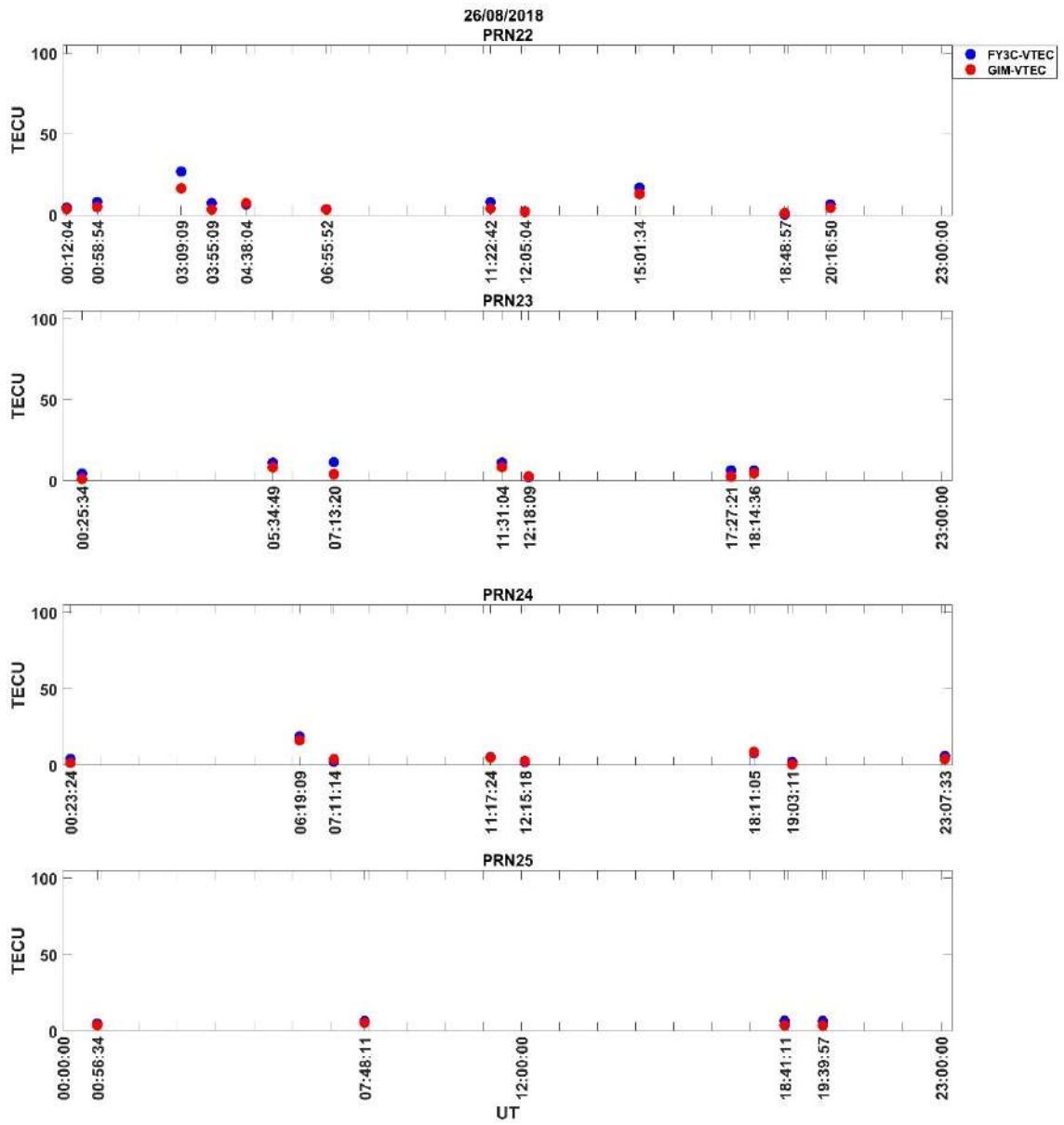
Şekil Ek 2. 34. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN10 / PRN11 / PRN12 / PRN13



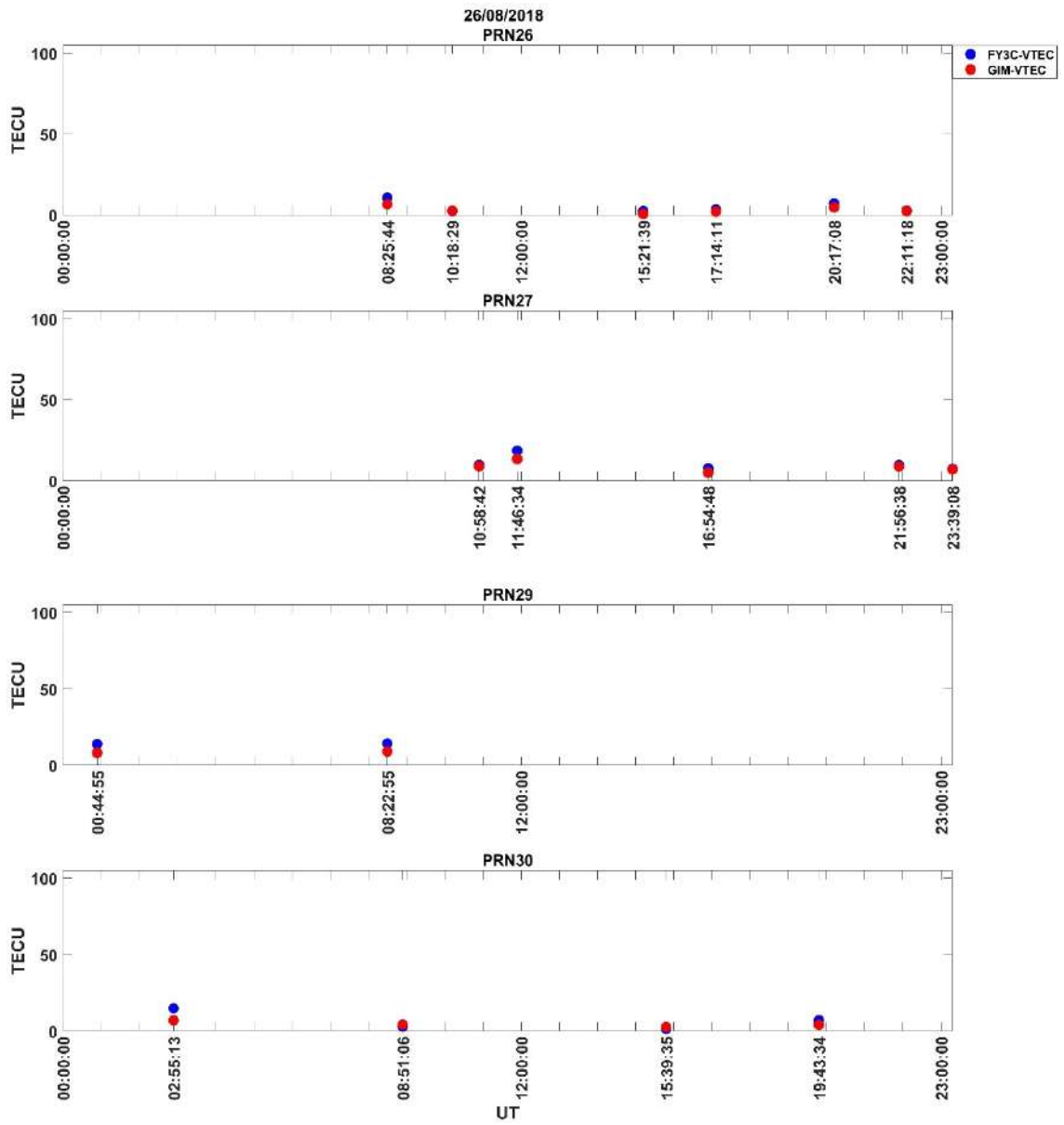
Şekil Ek 2. 35. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN14 / PRN15 / PRN16 / PRN17



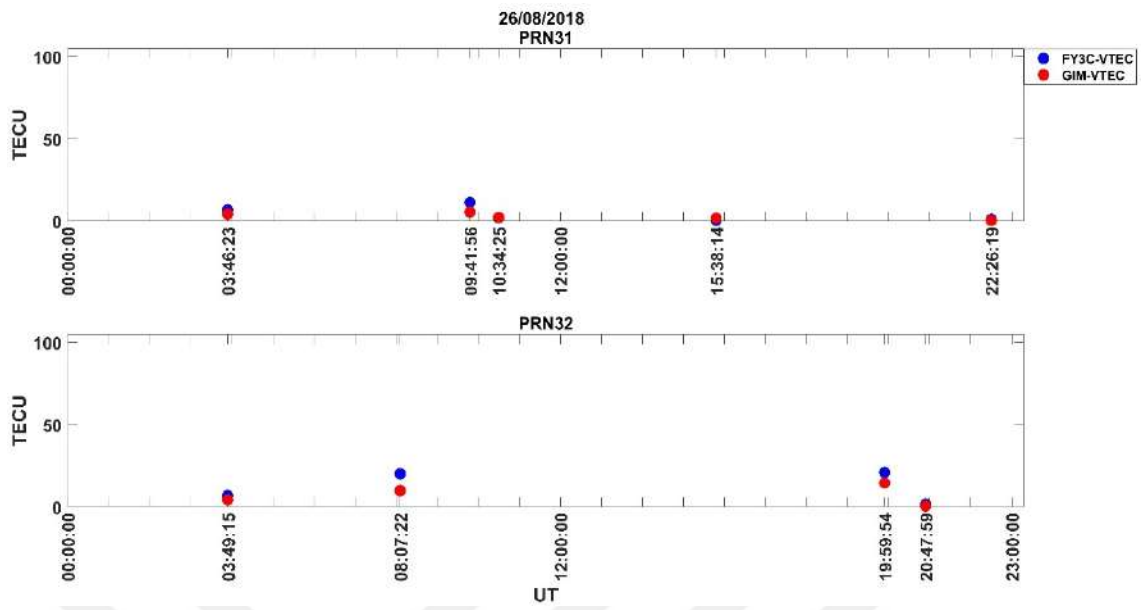
Şekil Ek 2. 36. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN18 / PRN19 / PRN20 / PRN21



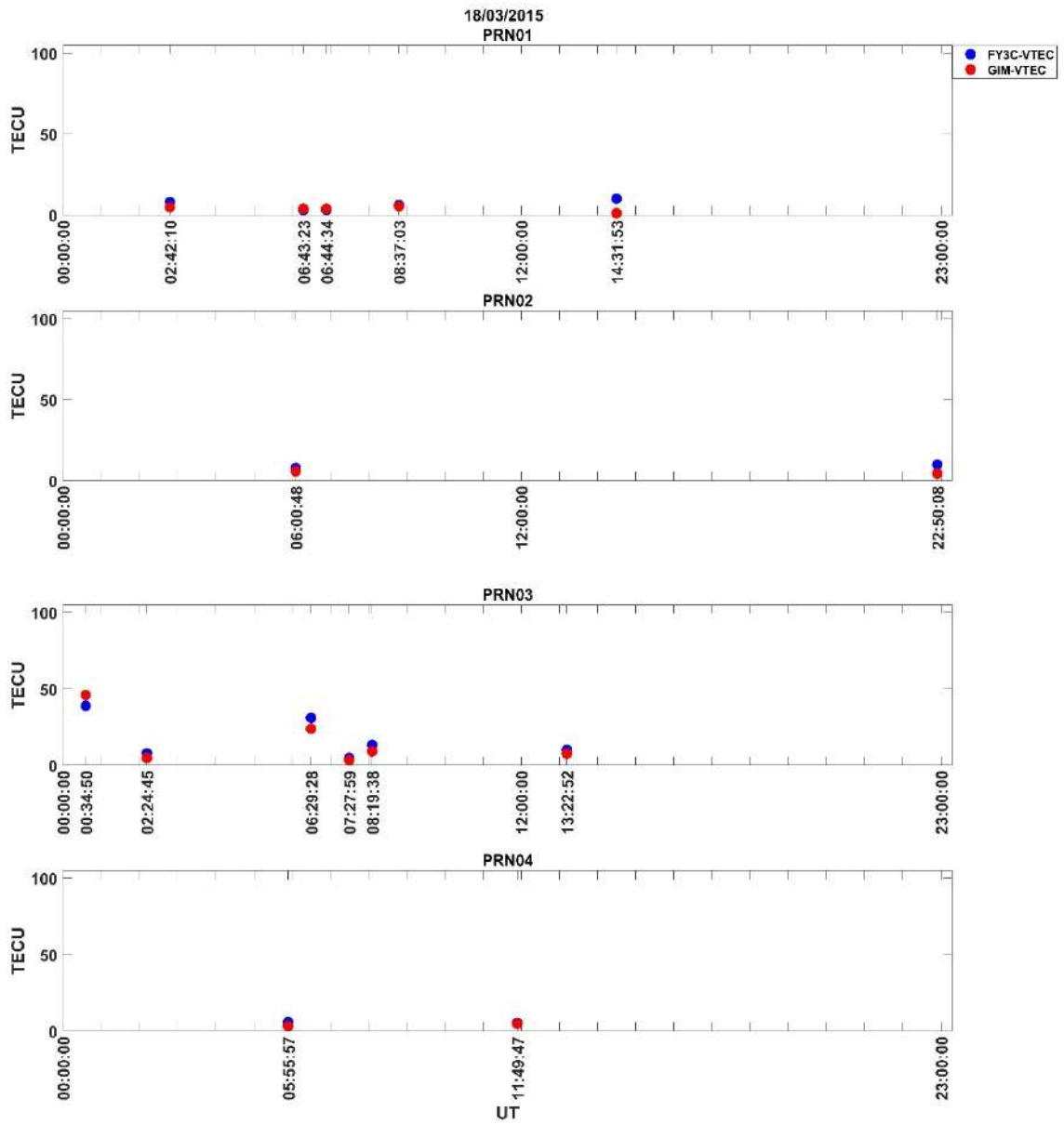
Şekil Ek 2. 37. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN22 / PRN23/ PRN24 / PRN25



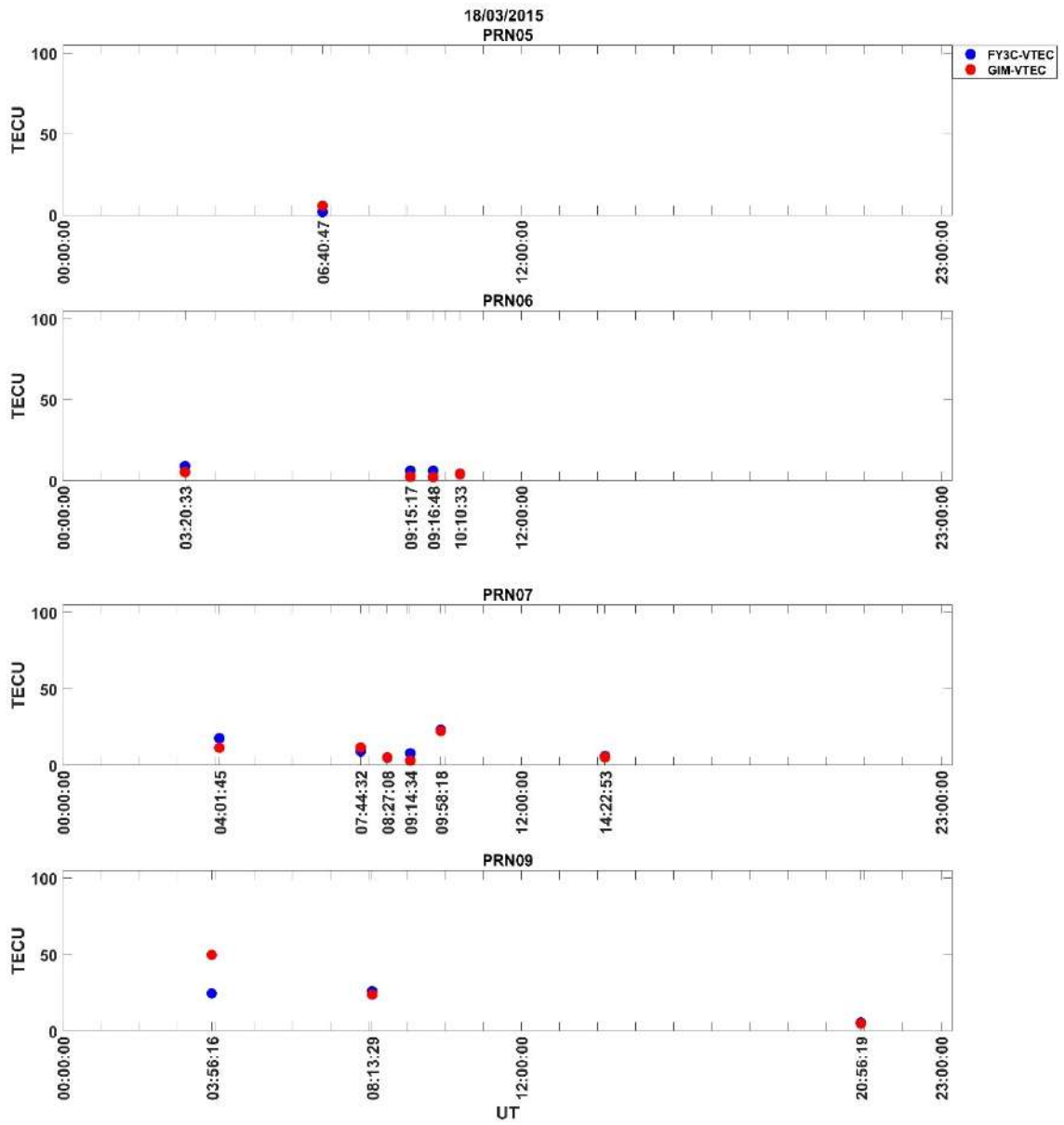
Şekil Ek 2. 38. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN26 / PRN27 / PRN29 / PRN30



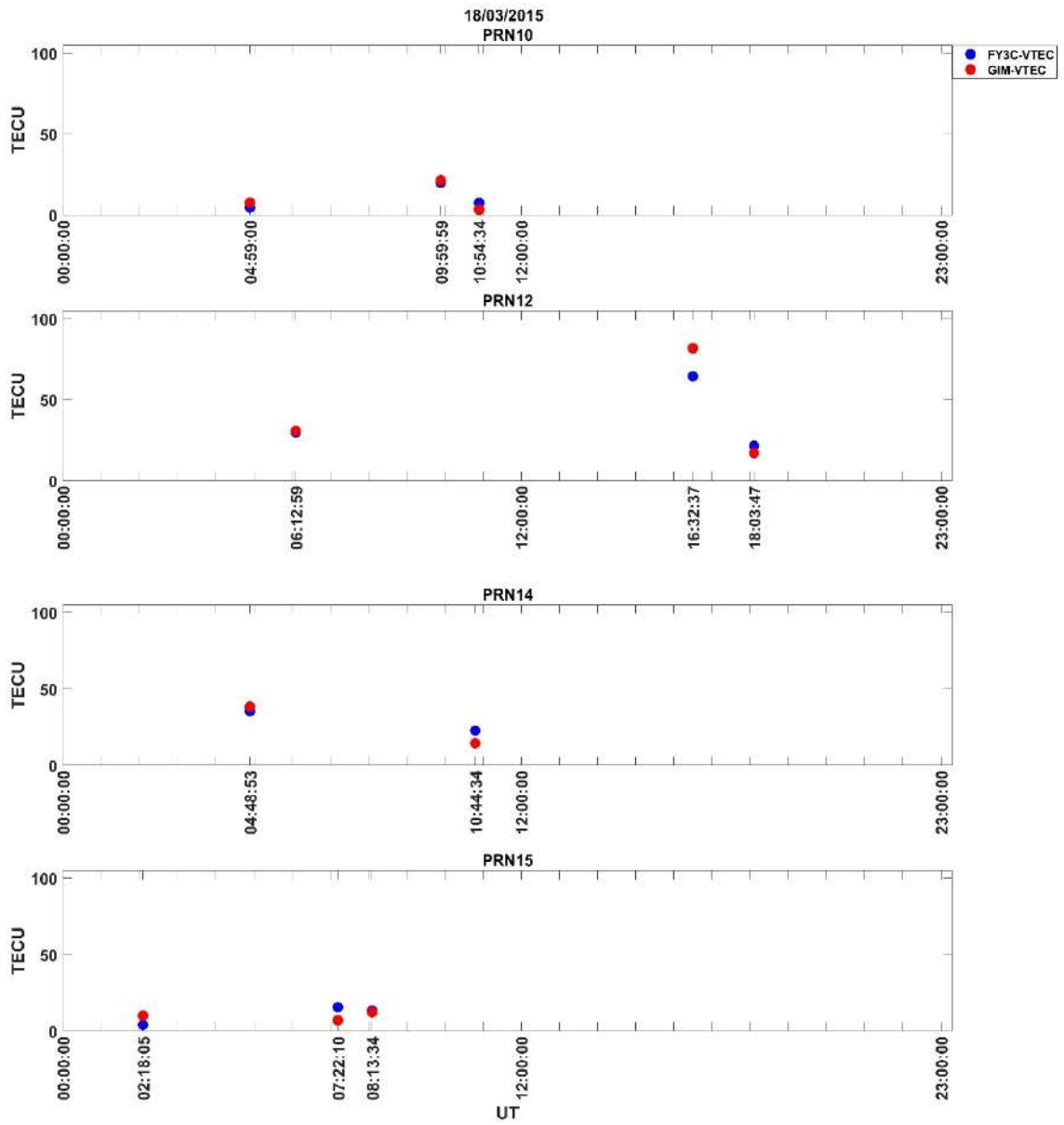
Şekil Ek 2. 39. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018 PRN31



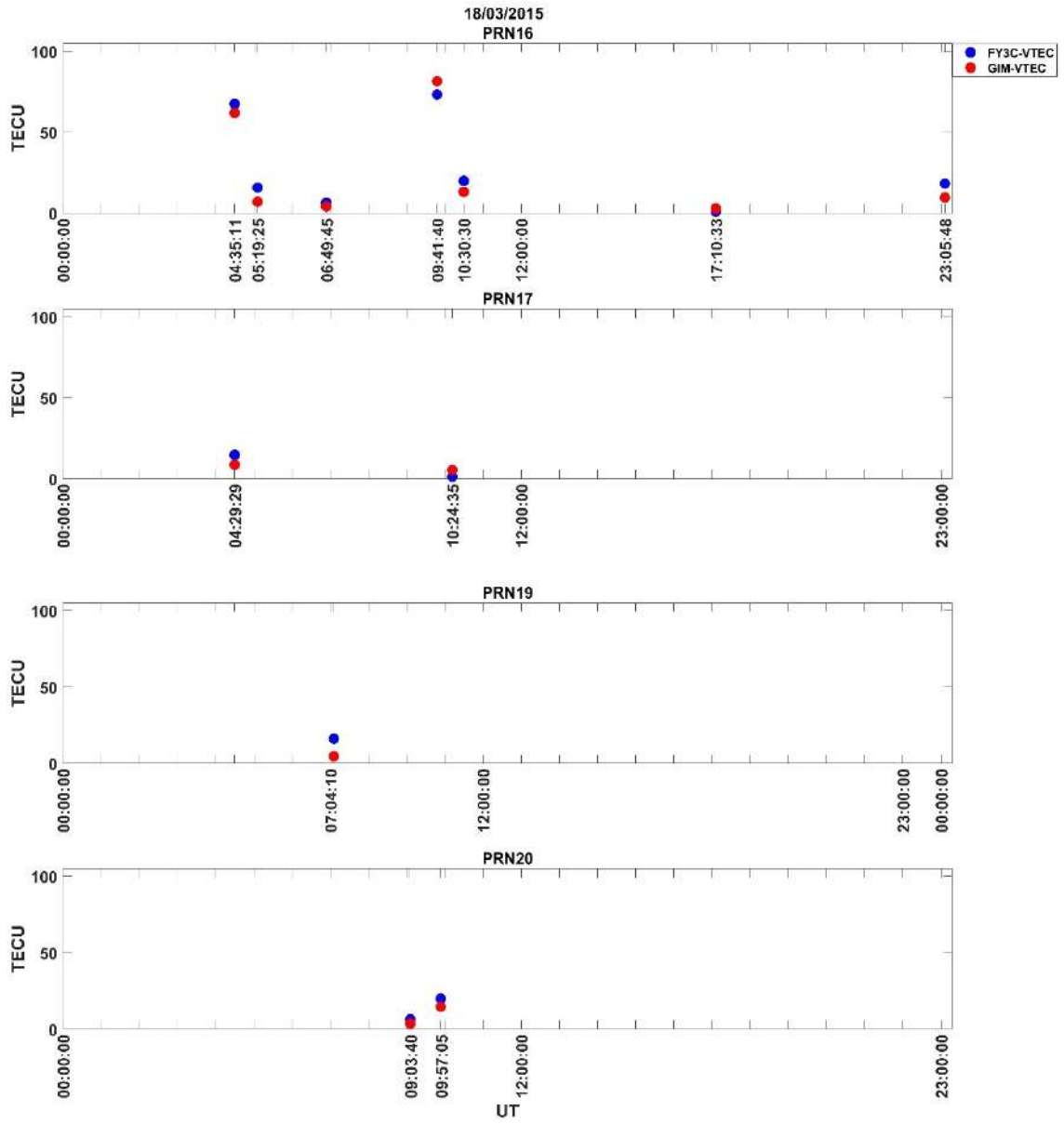
Şekil Ek 2. 40. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN01 / PRN02 / PRN03 / PRN04



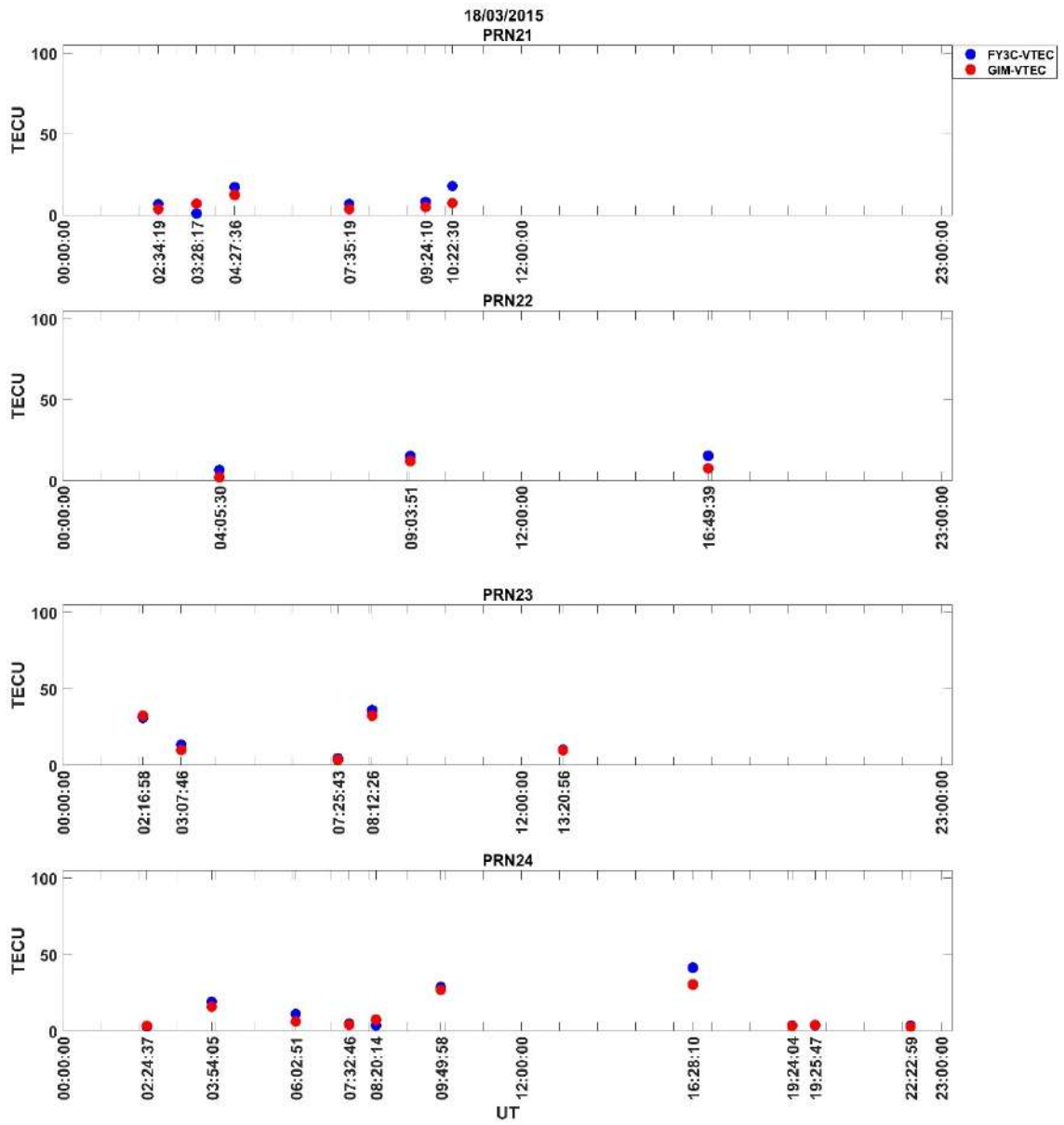
Şekil Ek 2. 41. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN05 / PRN06 / PRN07 / PRN09



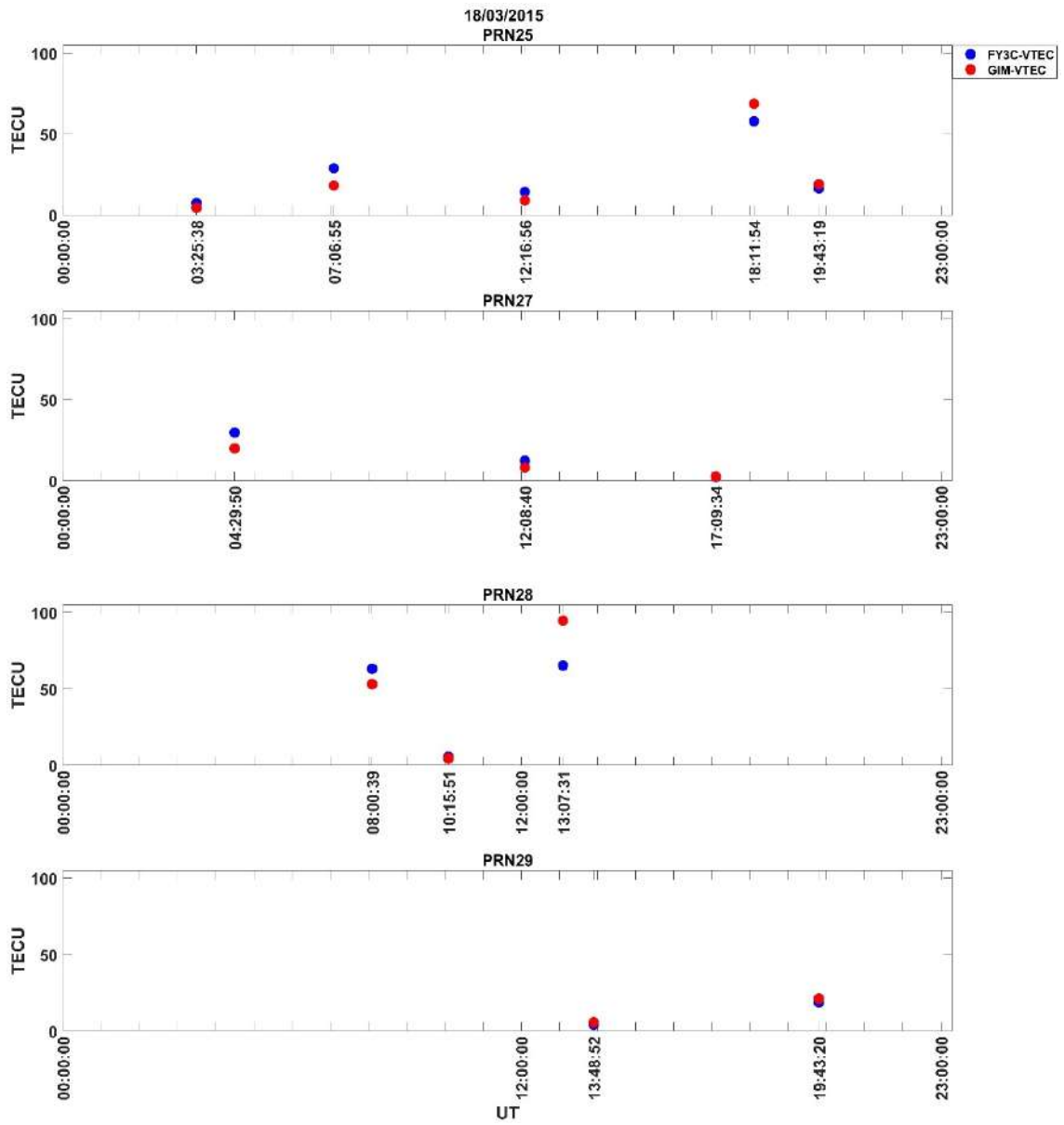
Şekil Ek 2. 42. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN10 / PRN12 / PRN14 / PRN15



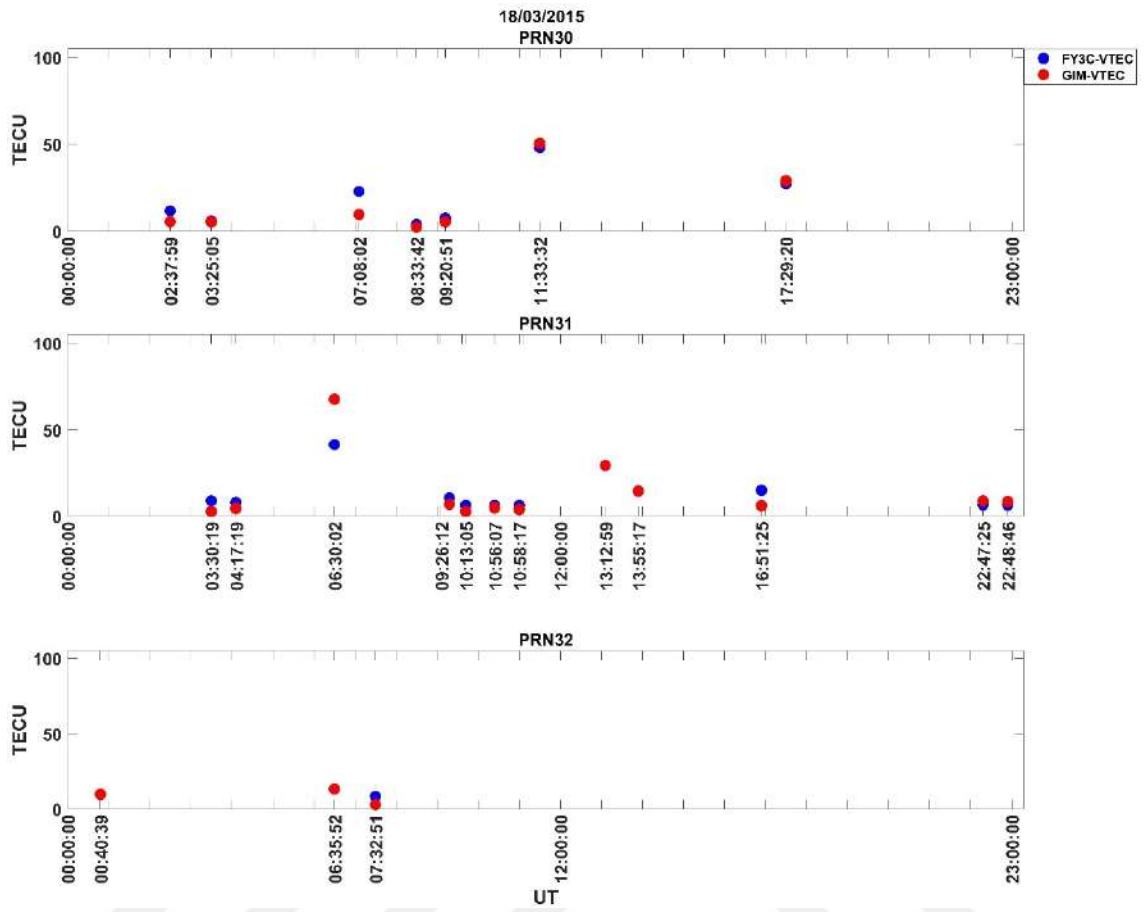
Şekil Ek 2. 43. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN16 / PRN17 / PRN19 / PRN20



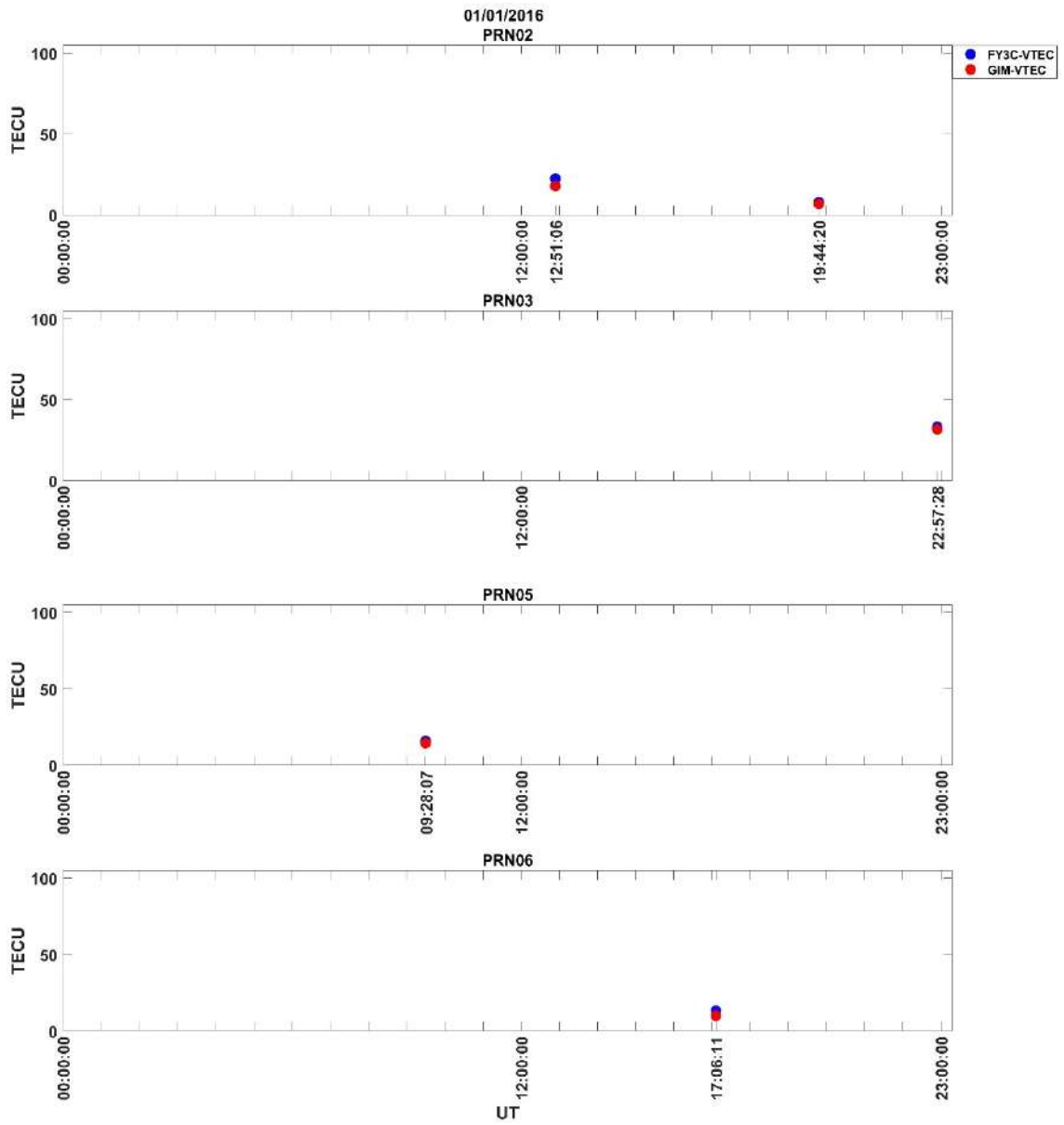
Şekil Ek 2. 44. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN21 / PRN22 / PRN23 / PRN24



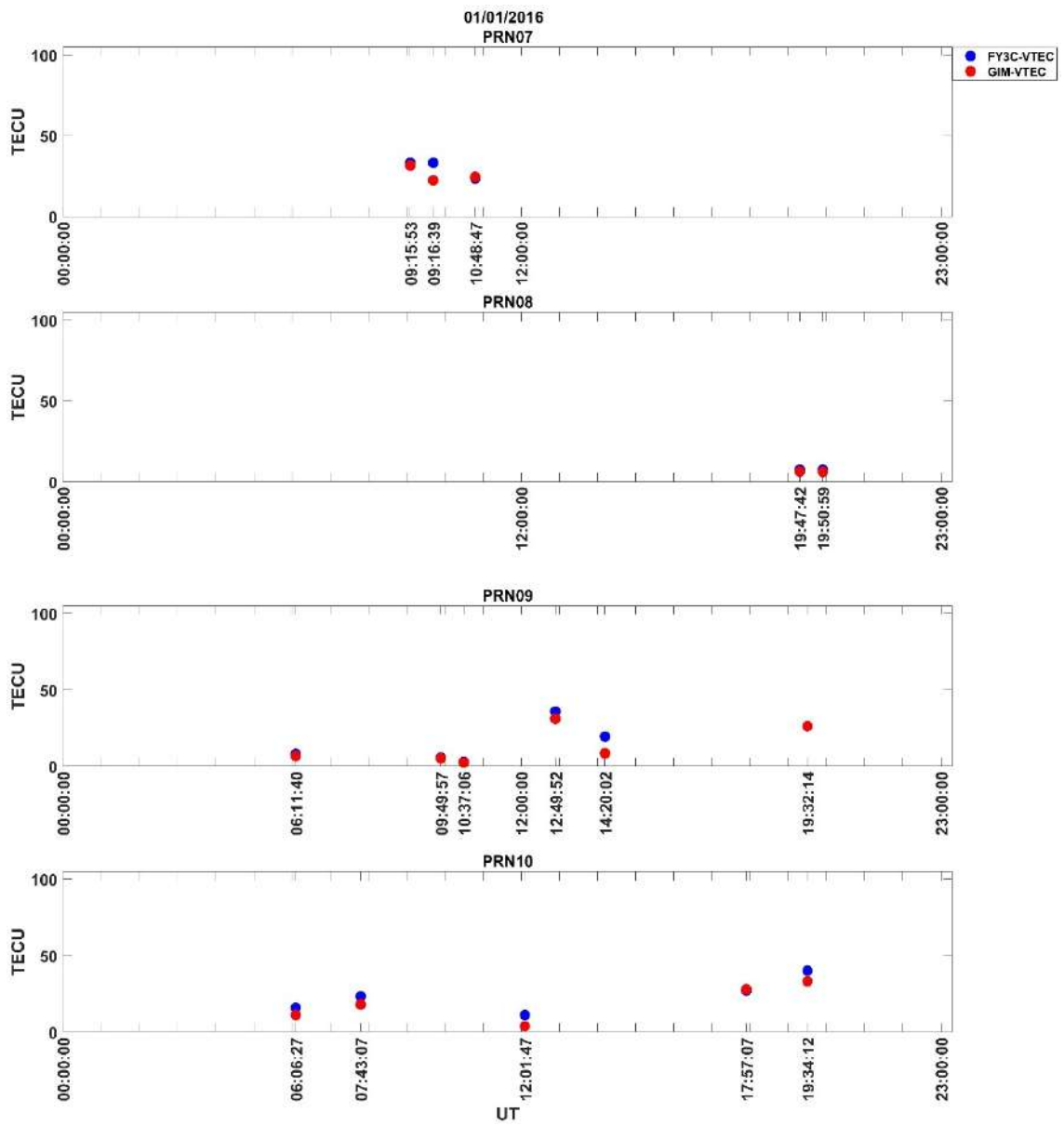
Şekil Ek 2. 45. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN25 / PRN27 / PRN28 / PRN29



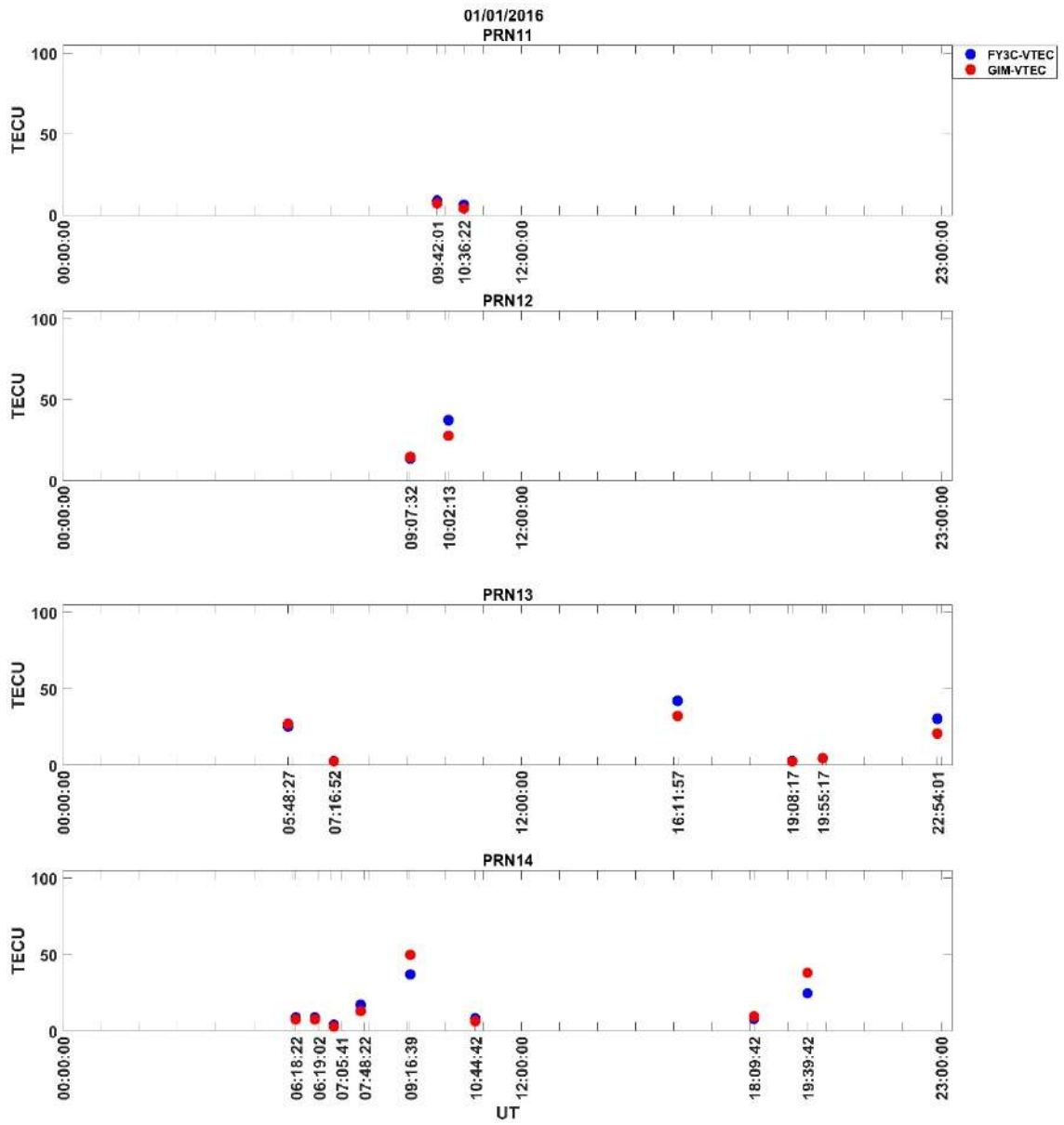
Şekil Ek 2. 46. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015 PRN30 / PRN31 / PRN32



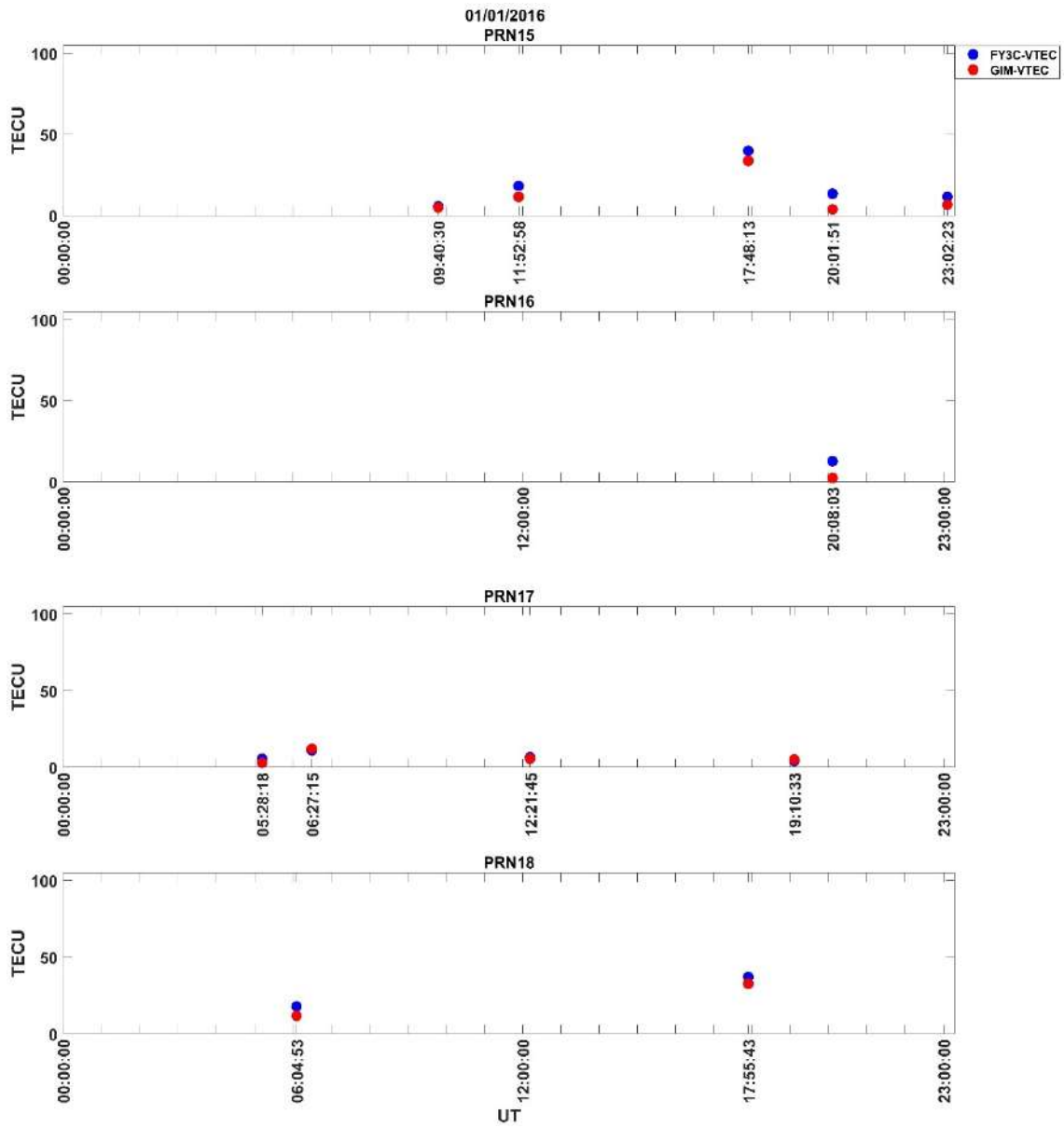
Şekil Ek 2. 47. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN02 / PRN03 / PRN05 / PRN06



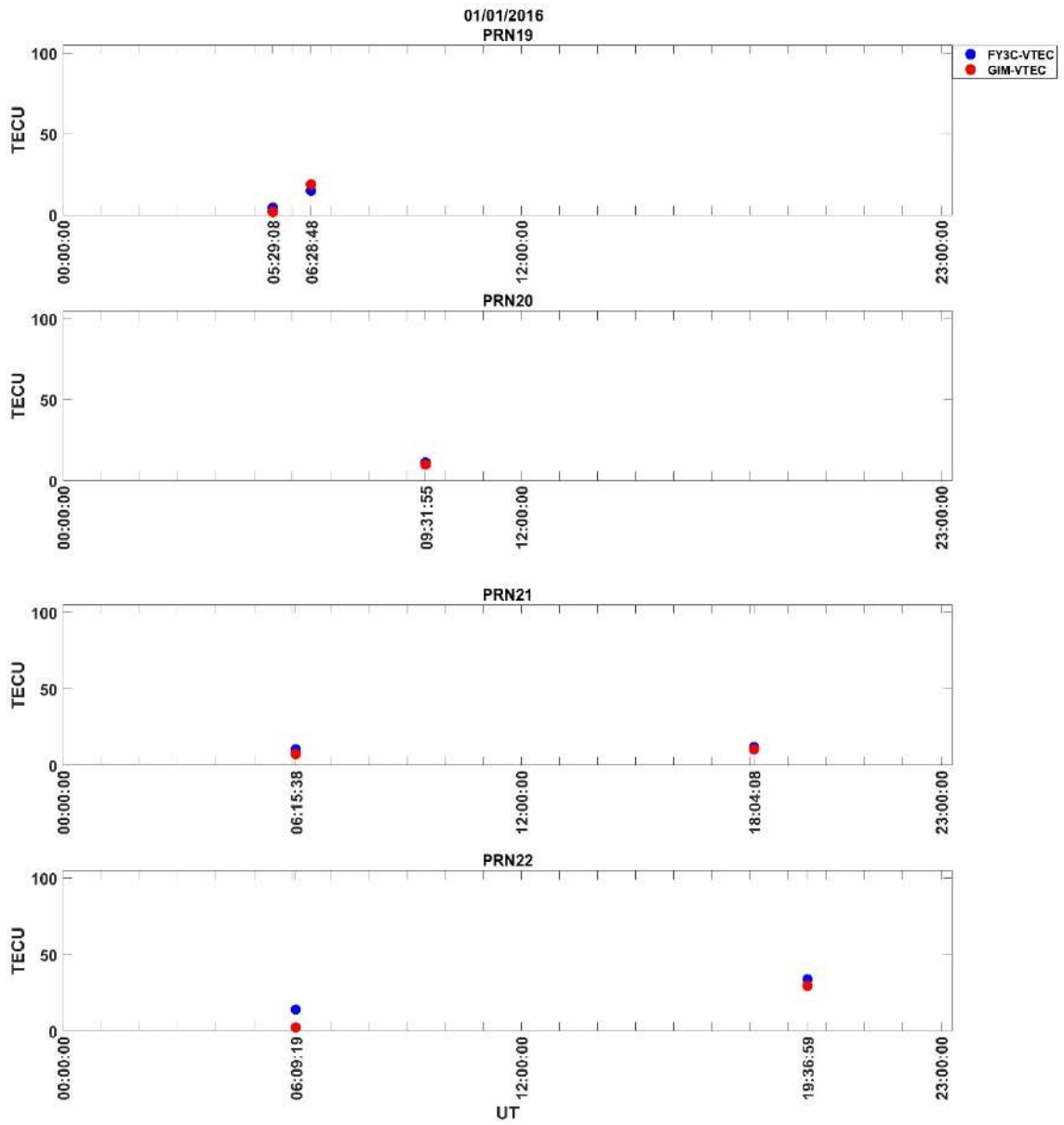
Şekil Ek 2. 48. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN07 / PRN08 / PRN09 / PRN10



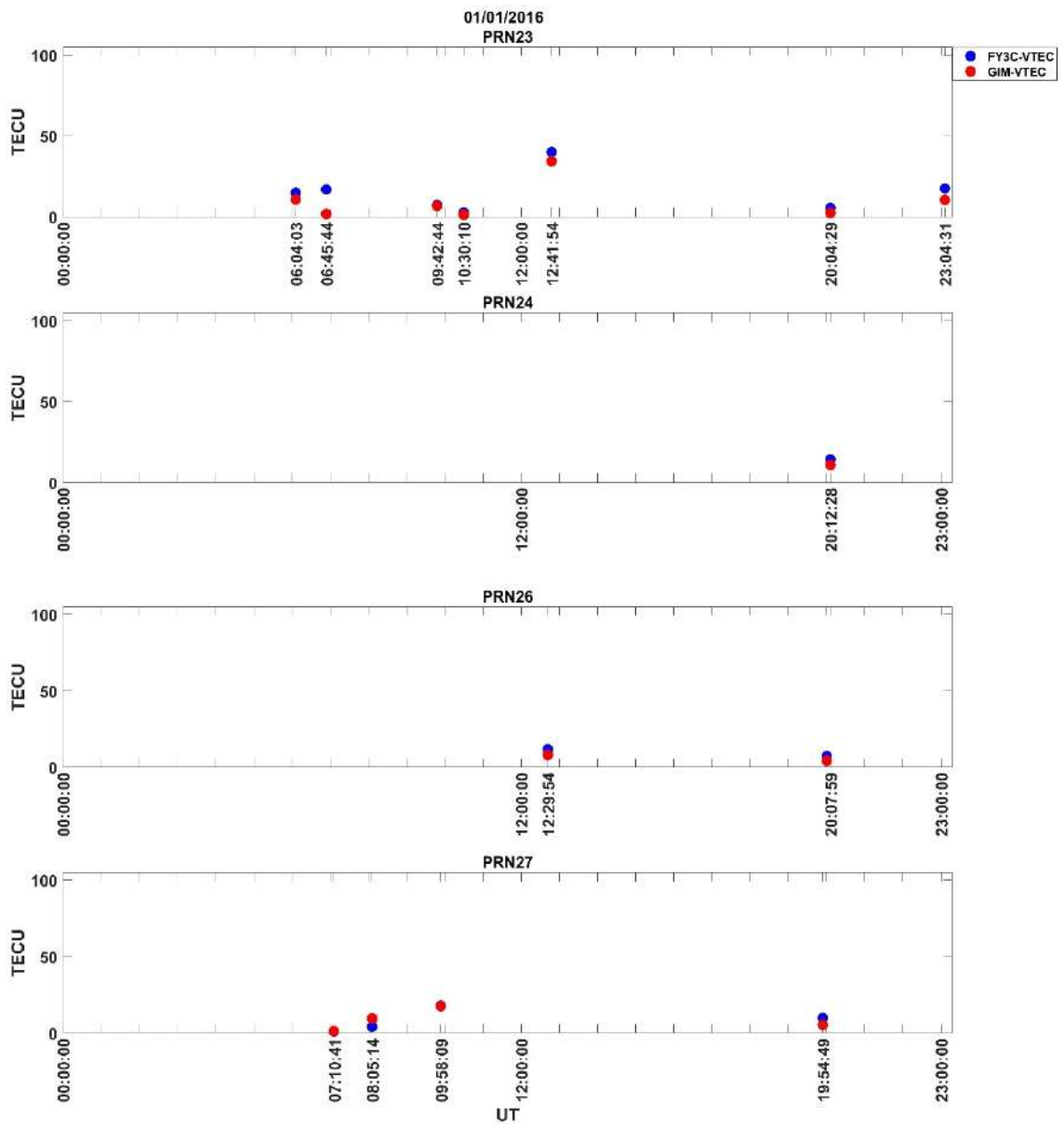
Şekil Ek 2. 49. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN11 / PRN12 / PRN13 / PRN14



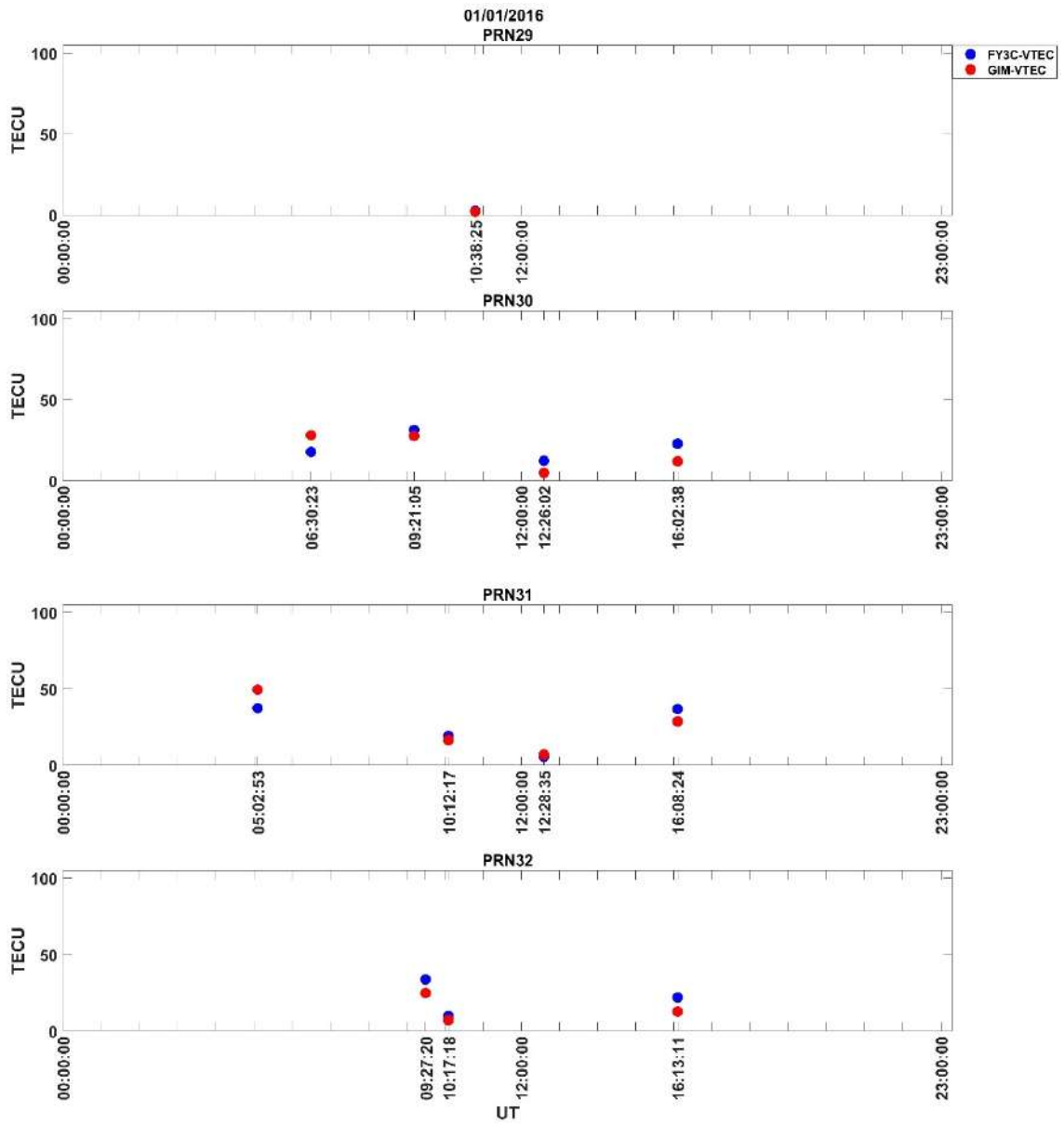
Şekil Ek 2. 50. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN15 / PRN16 / PRN17 / PRN18



Şekil Ek 2. 51. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN19 / PRN20 / PRN21 / PRN22

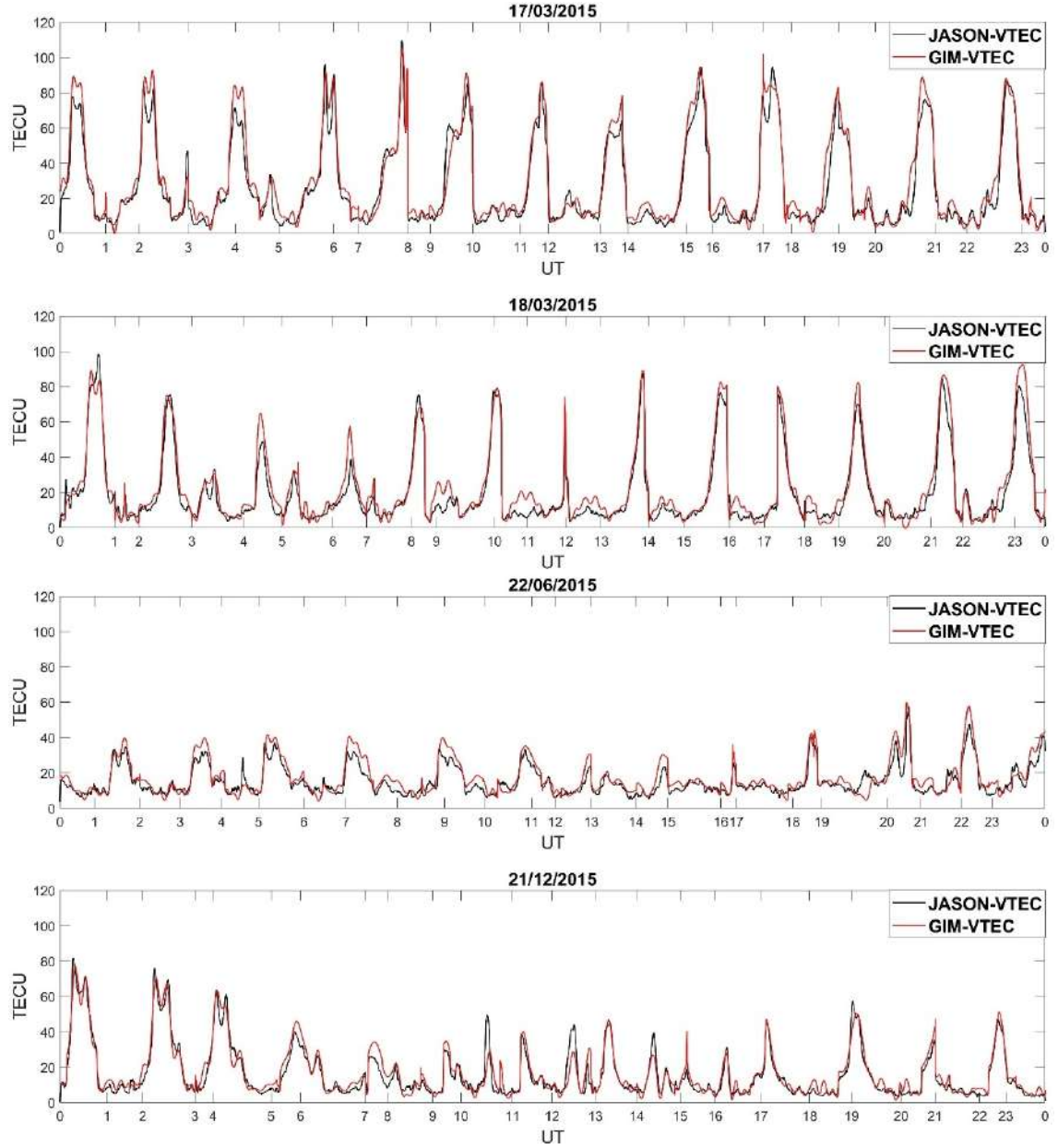


Şekil Ek 2. 52. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN23 / PRN24 / PRN26 / PRN27

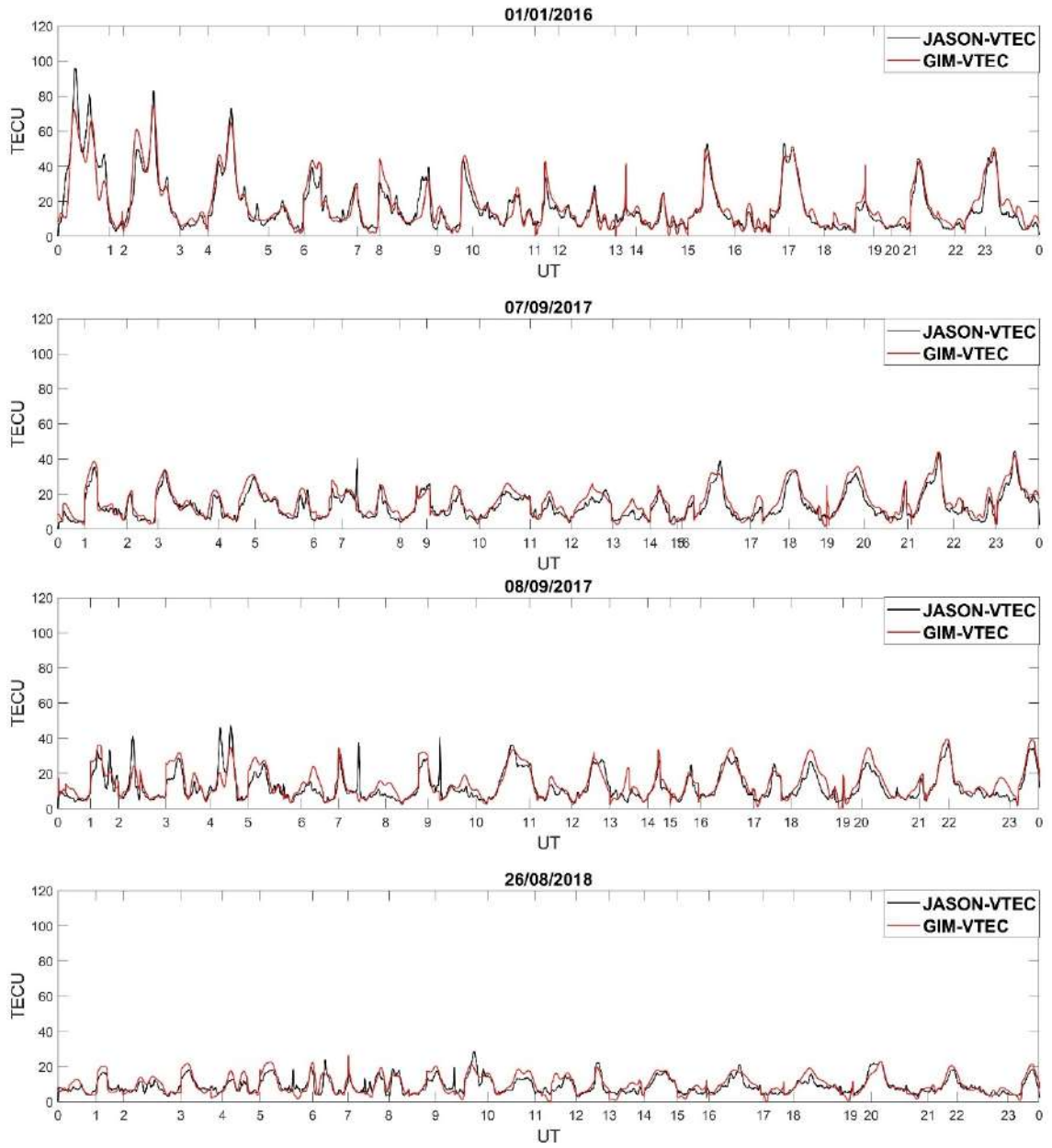


Şekil Ek 2. 53. FY3C RO VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 PRN29 / PRN30 / PRN31 / PRN32

EK- 3 JASON VTEC değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve Şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler

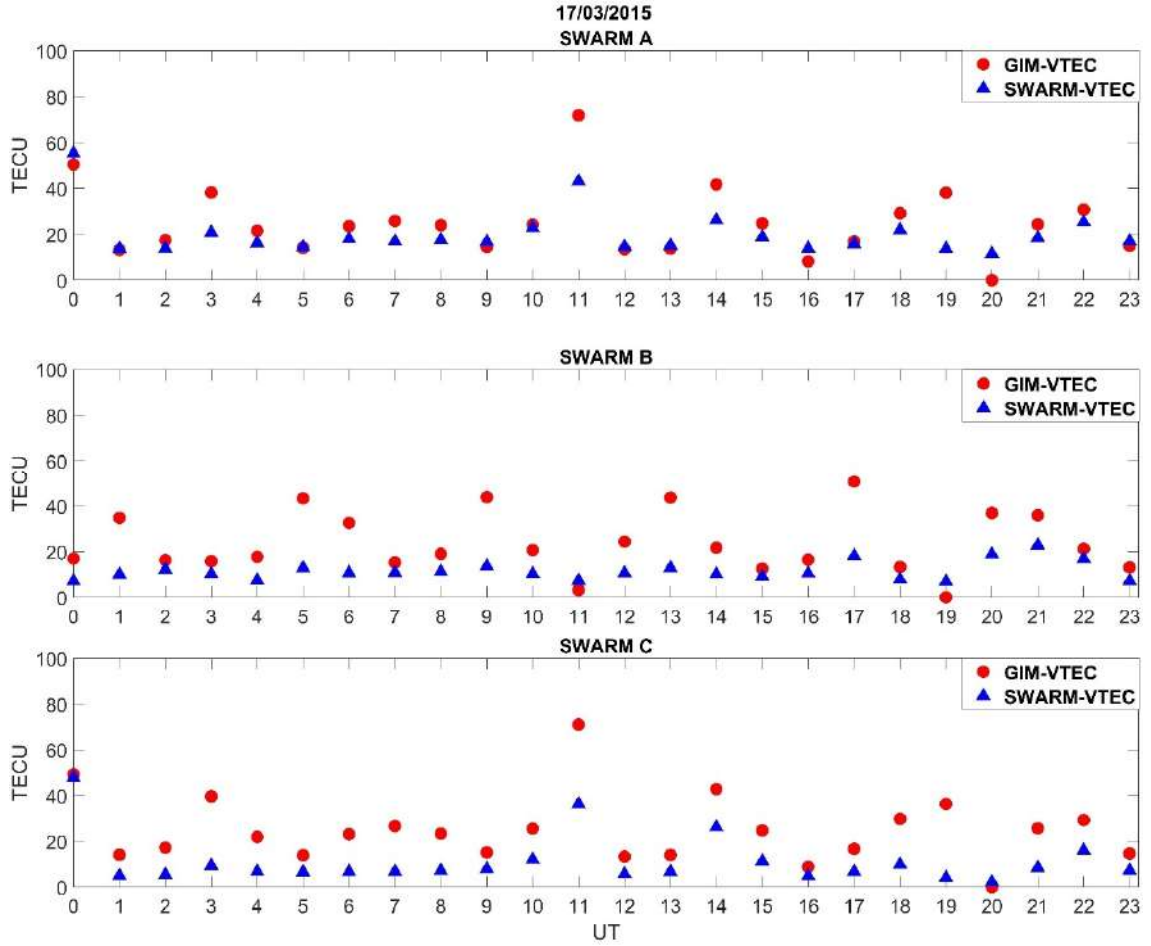


Şekil Ek 3. 1. JASON VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015 – 18/03/2015 – 22/06/2015 – 21/12/2015

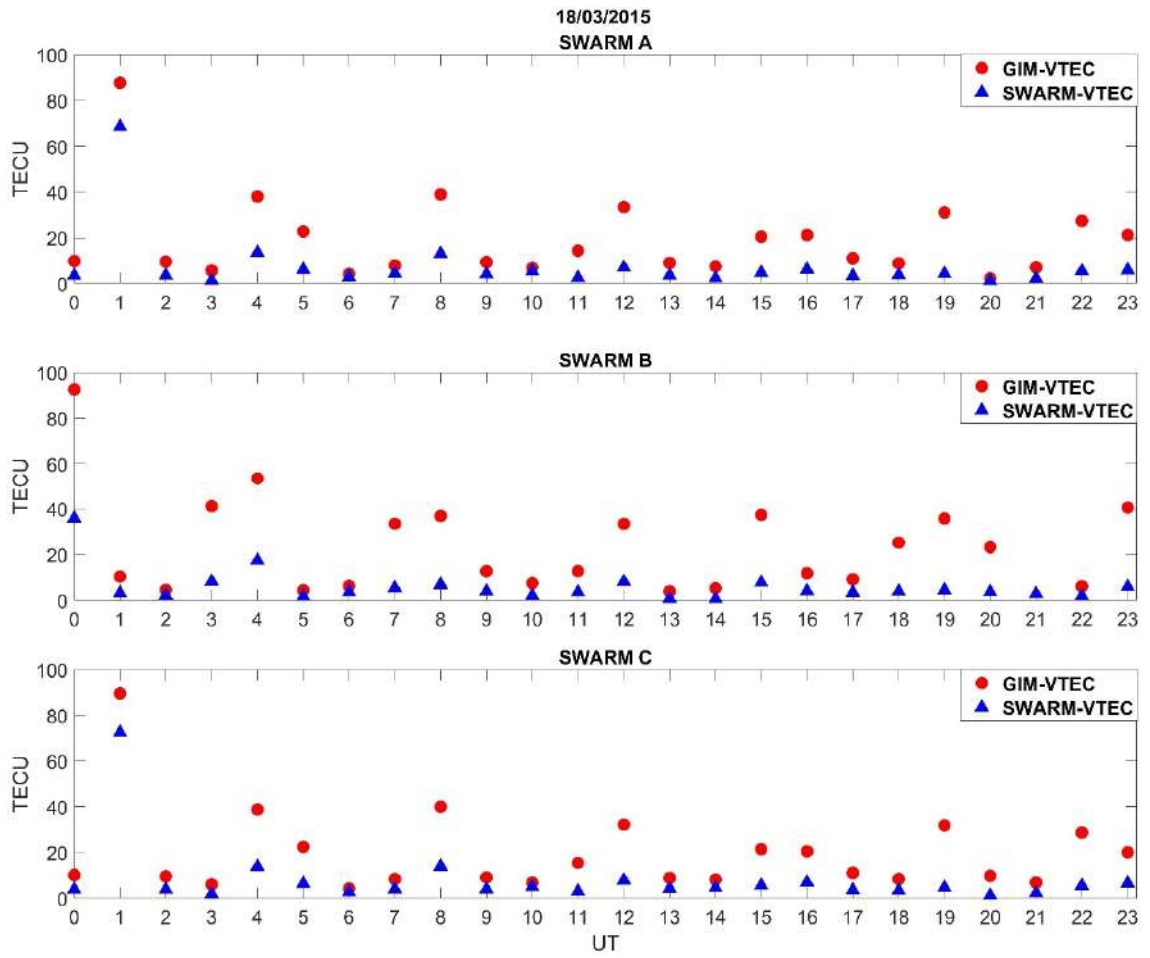


Şekil Ek 3. 2. JASON VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016 – 07/09/2017 – 08/09/2017 – 26/08/2018

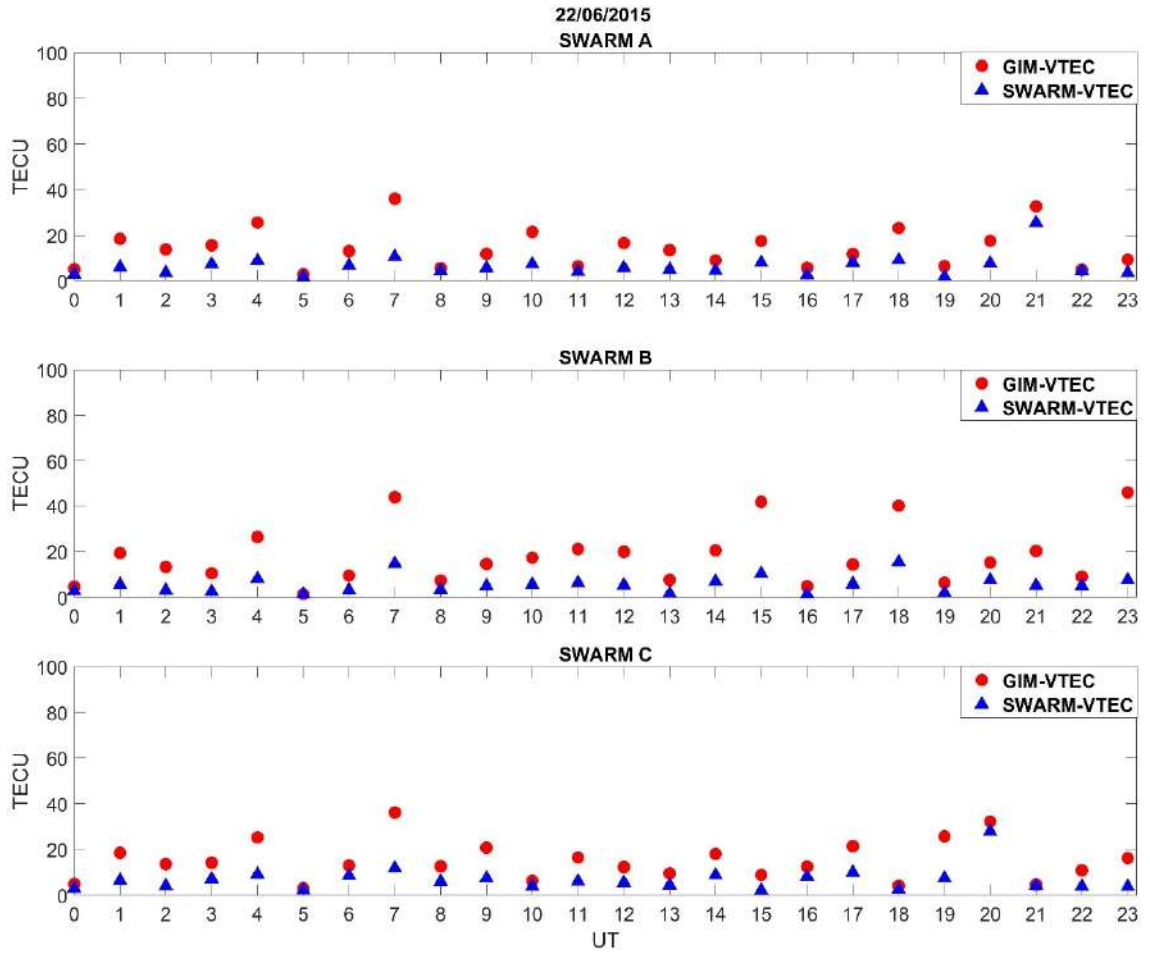
EK- 4 SWARM VTEC değerleri; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018), ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) ve Şiddetli (22/06/2015 ve 08/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



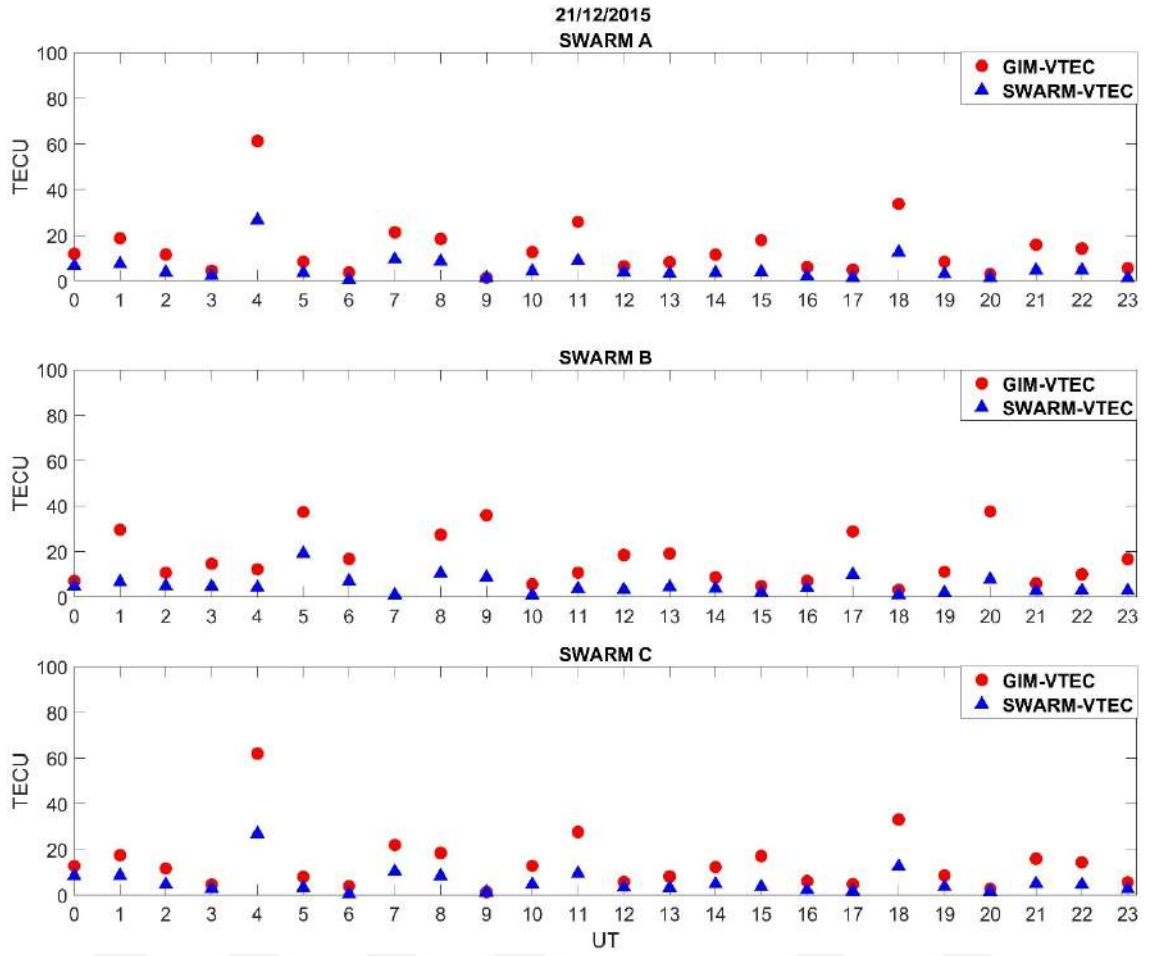
Şekil Ek 4. 1. SWARM VTEC ve GIM VTEC 17/03/2015



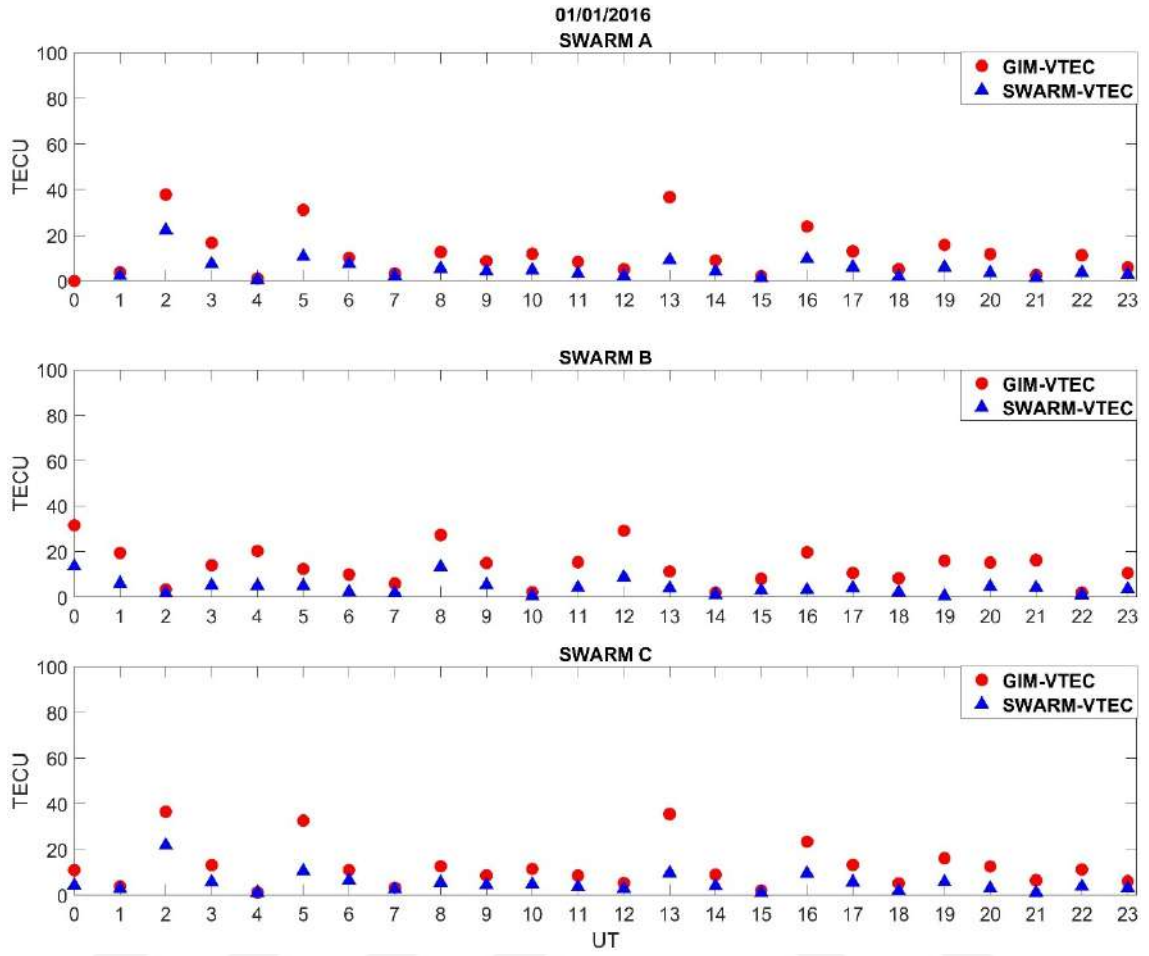
Şekil Ek 4. 2. SWARM VTEC ve GIM VTEC 18/03/2015



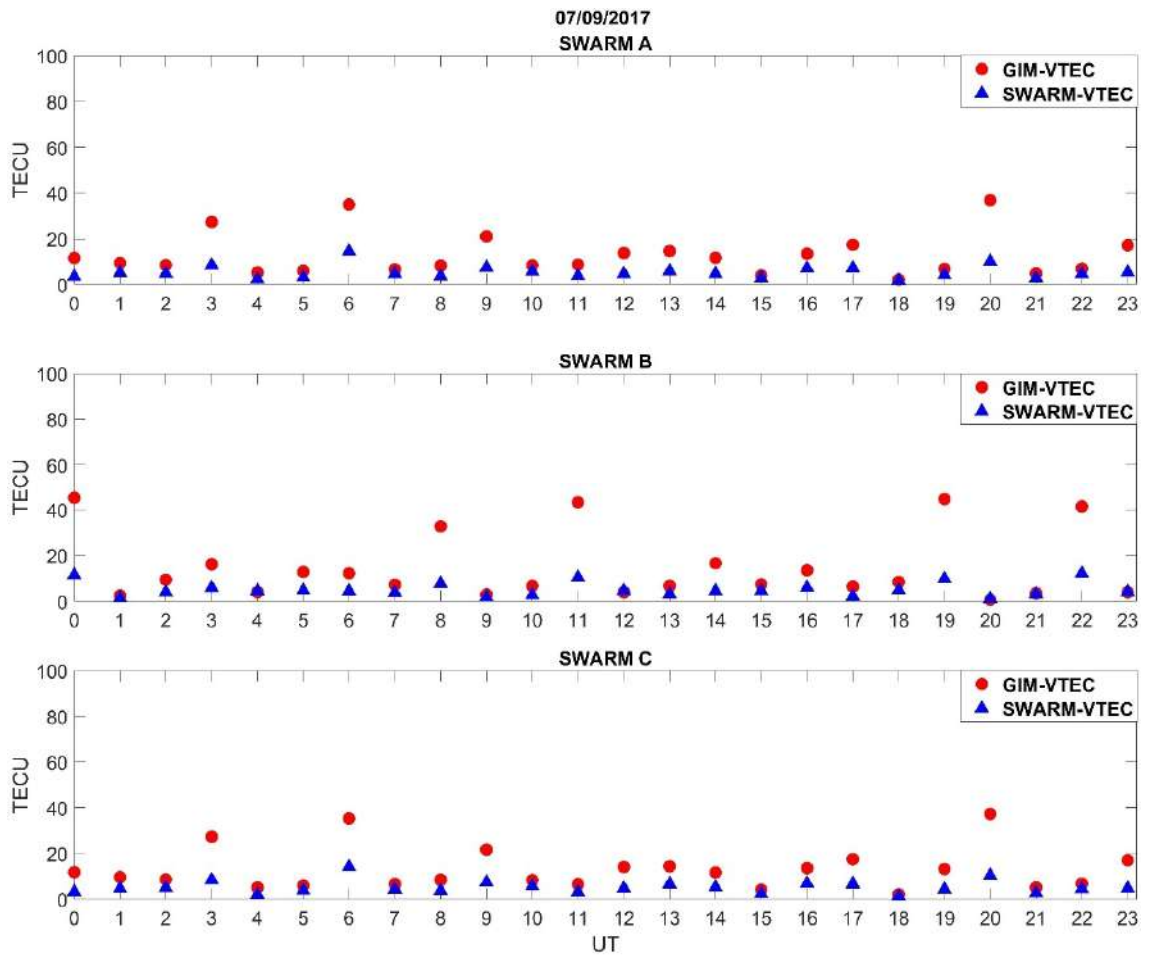
Şekil Ek 4. 3. SWARM VTEC ve GIM VTEC 22/06/2015



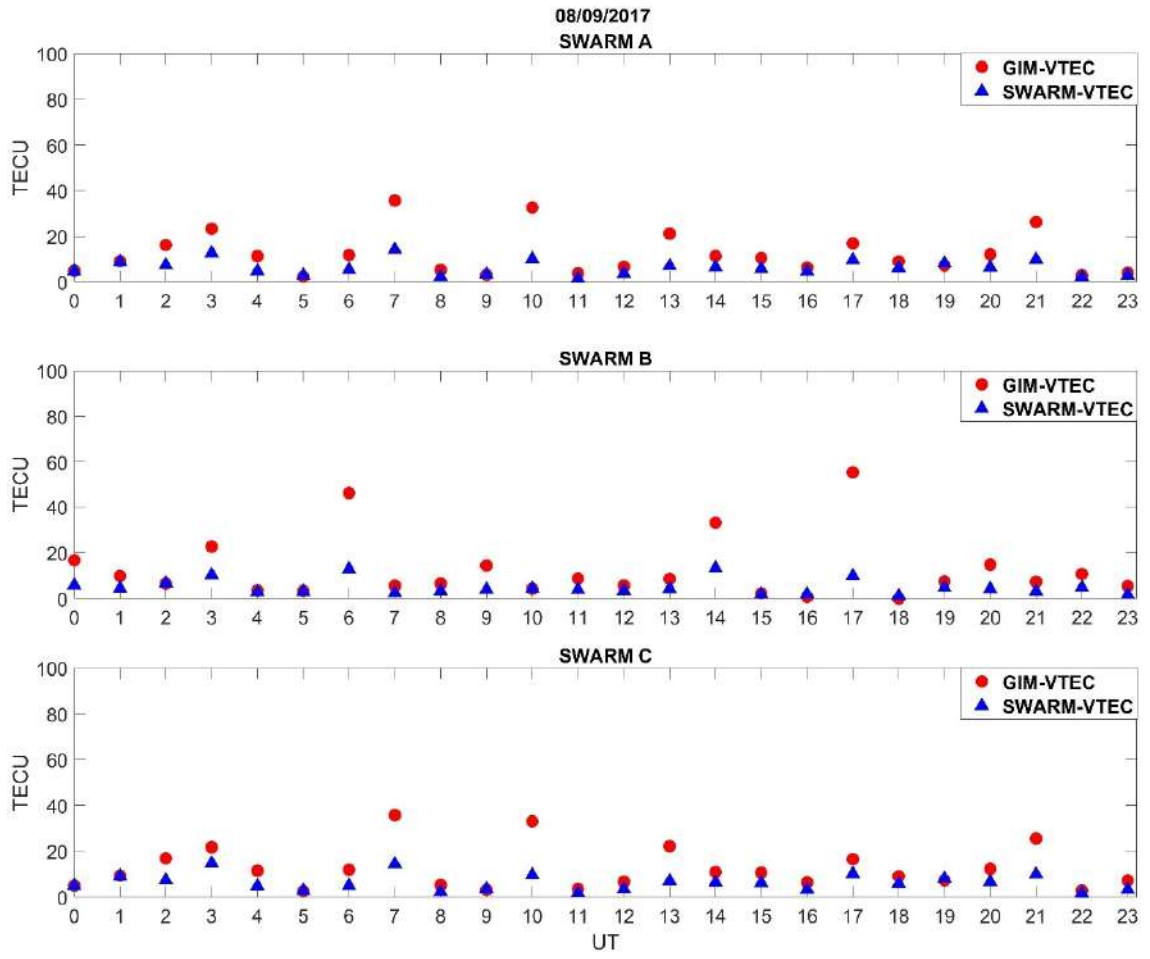
Şekil Ek 4. 4. SWARM VTEC ve GIM VTEC 21/12/2015



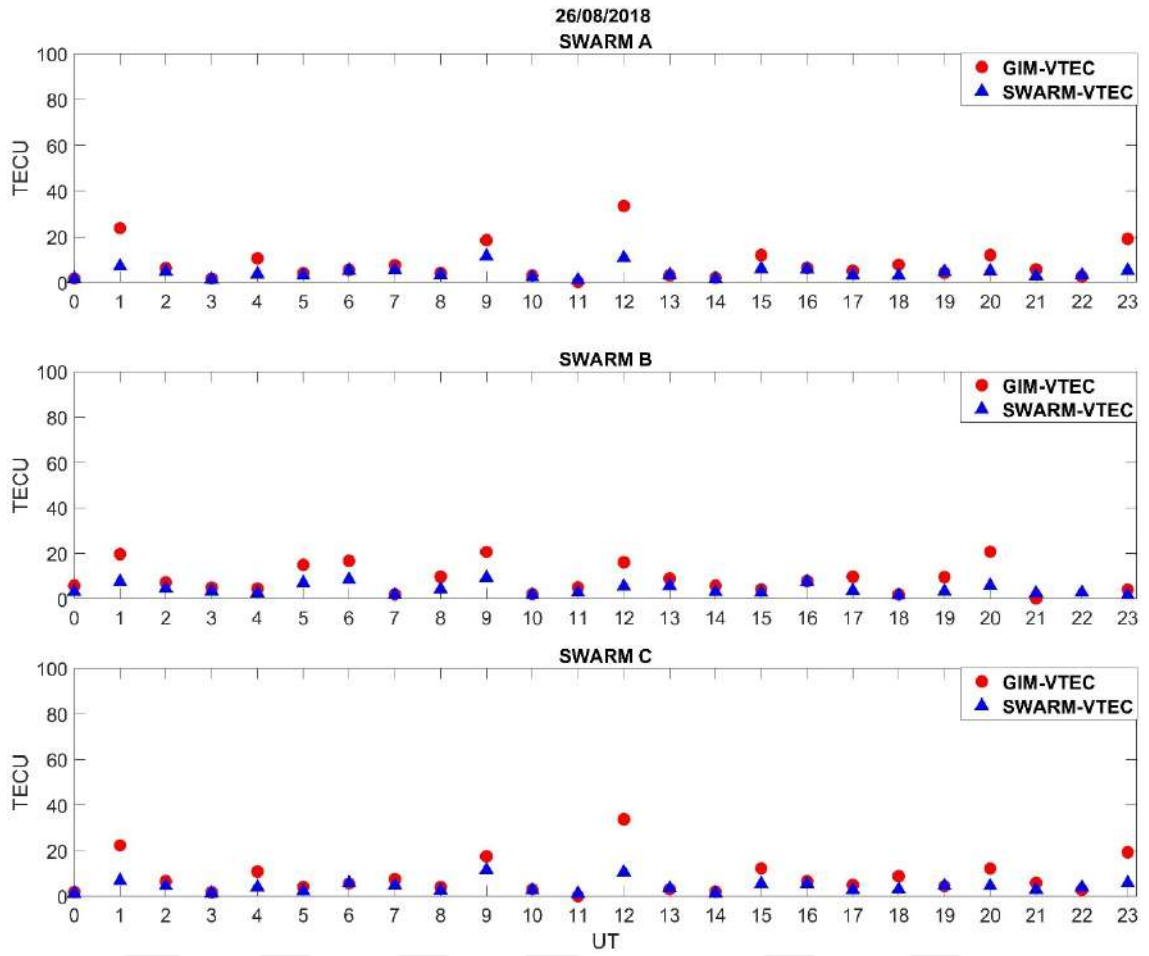
Şekil Ek 4. 5. SWARM VTEC ve GIM VTEC 01/01/2016



Şekil Ek 4. 6. SWARM VTEC ve GIM VTEC 07/09/2017

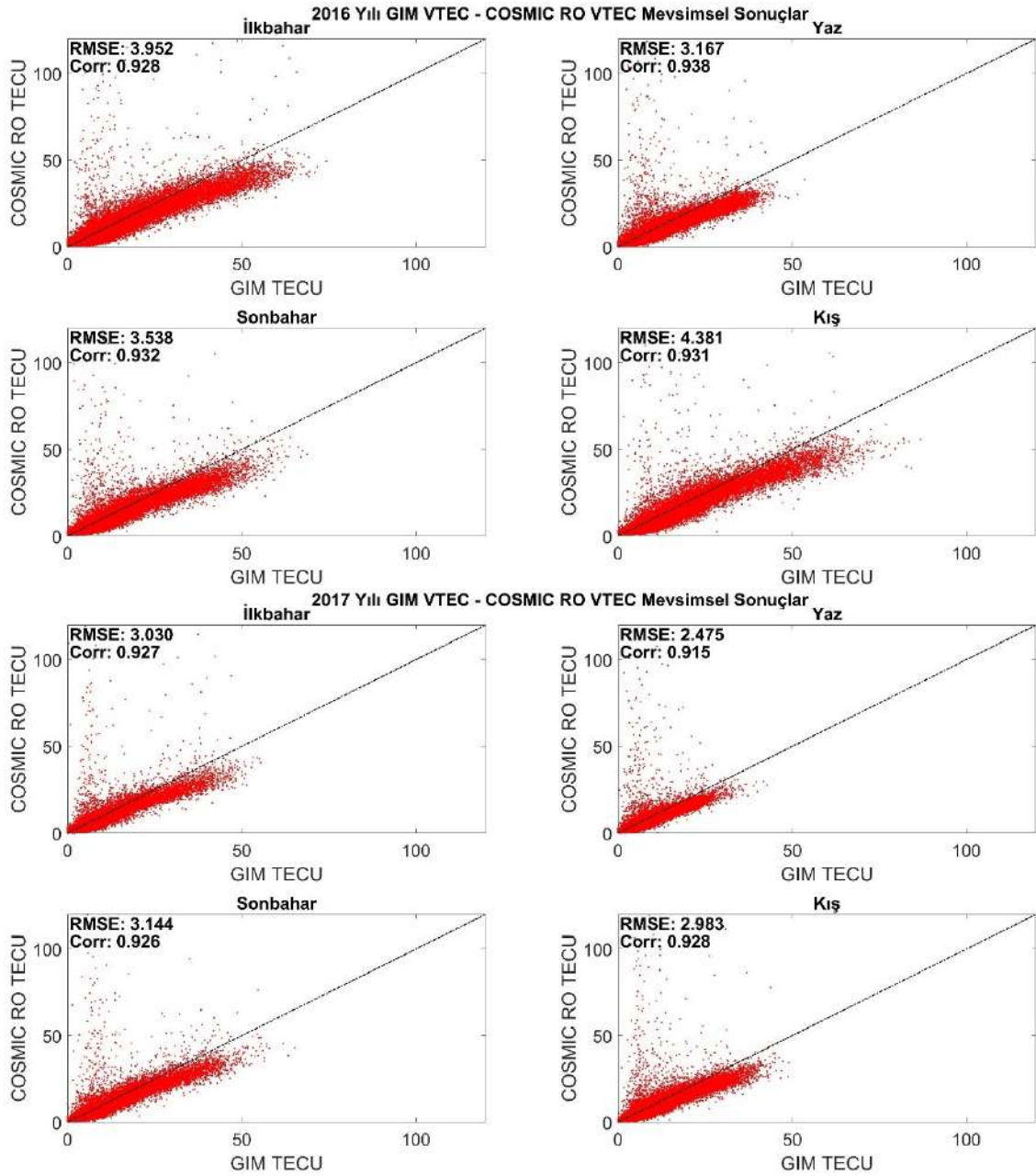


Şekil Ek 4. 7. SWARM VTEC ve GIM VTEC 08/09/2017

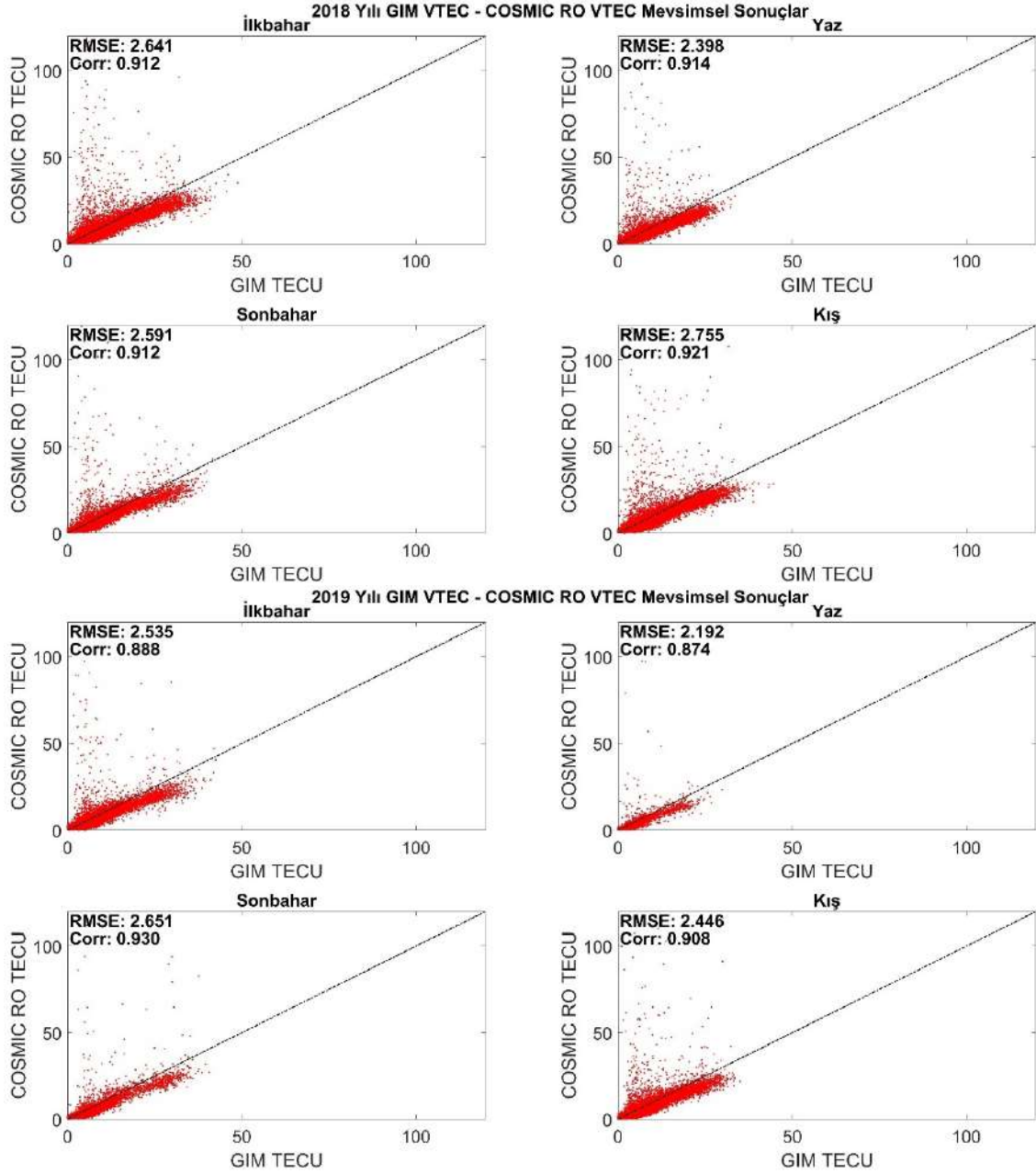


Şekil Ek 4. 8. SWARM VTEC ve GIM VTEC 26/08/2018

EK- 5 COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2016, 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

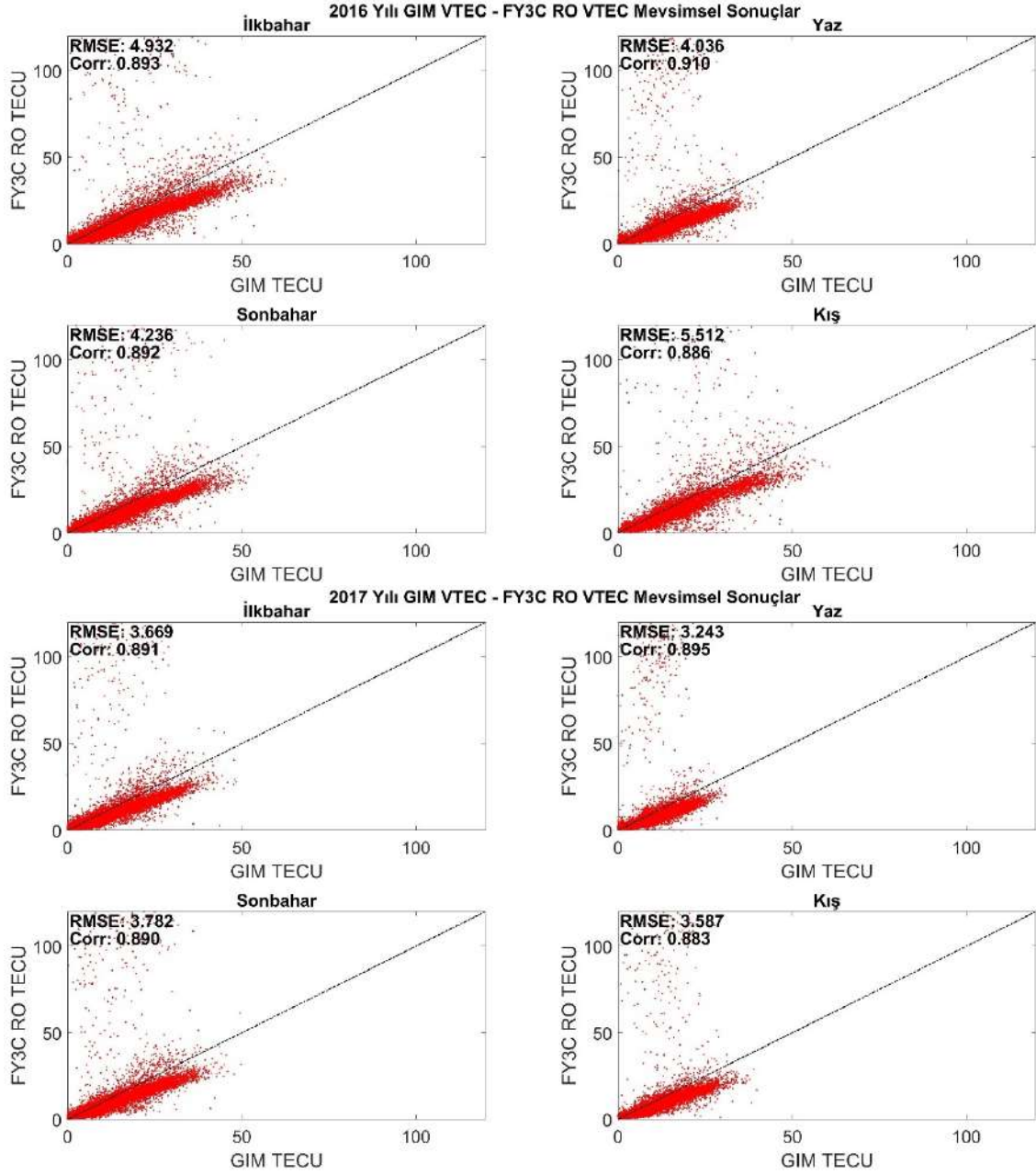


Şekil Ek 5.1. 2016 – 2017 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

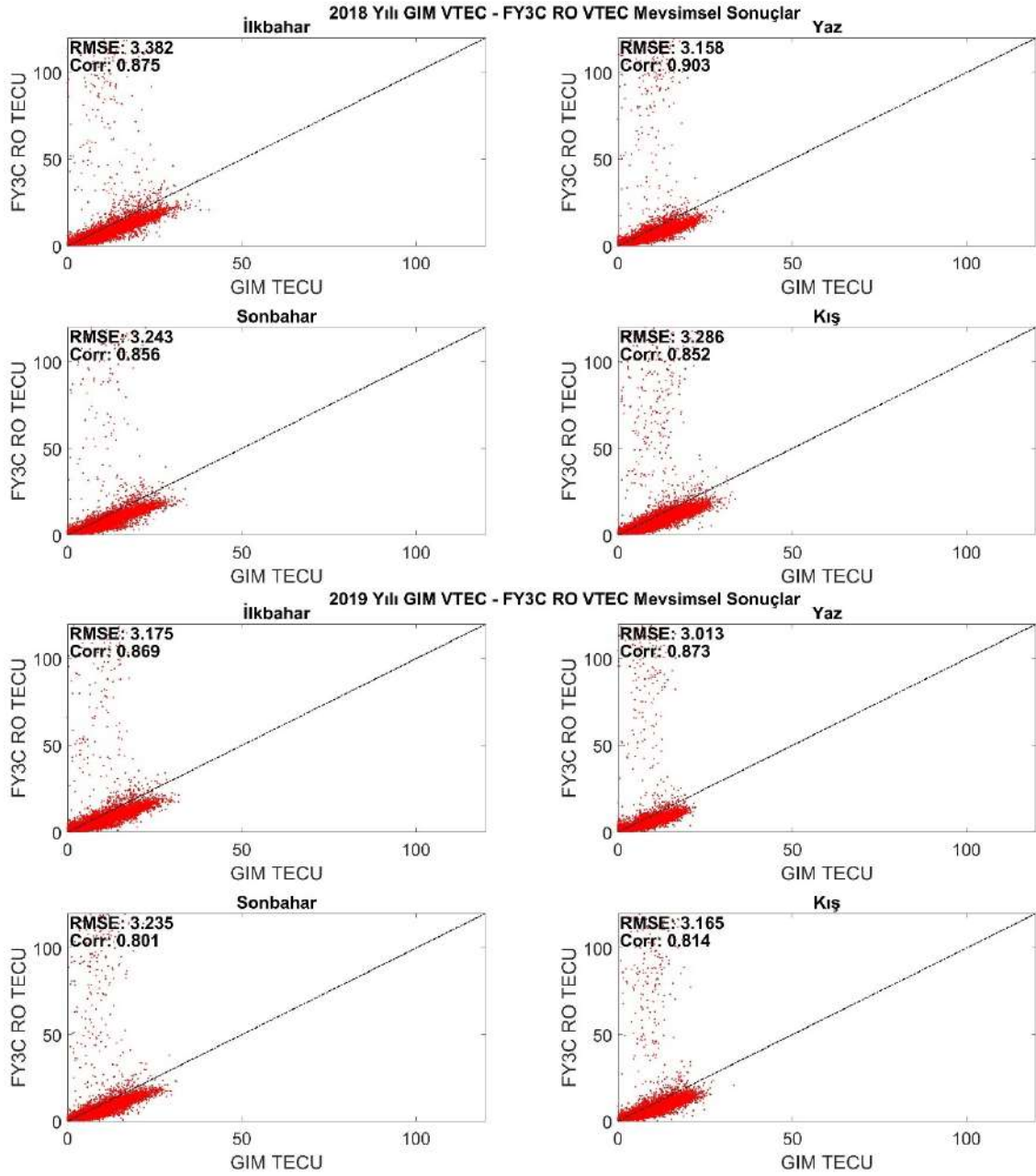


Şekil Ek 5.2. 2018 – 2019 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

EK- 6 FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2016, 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

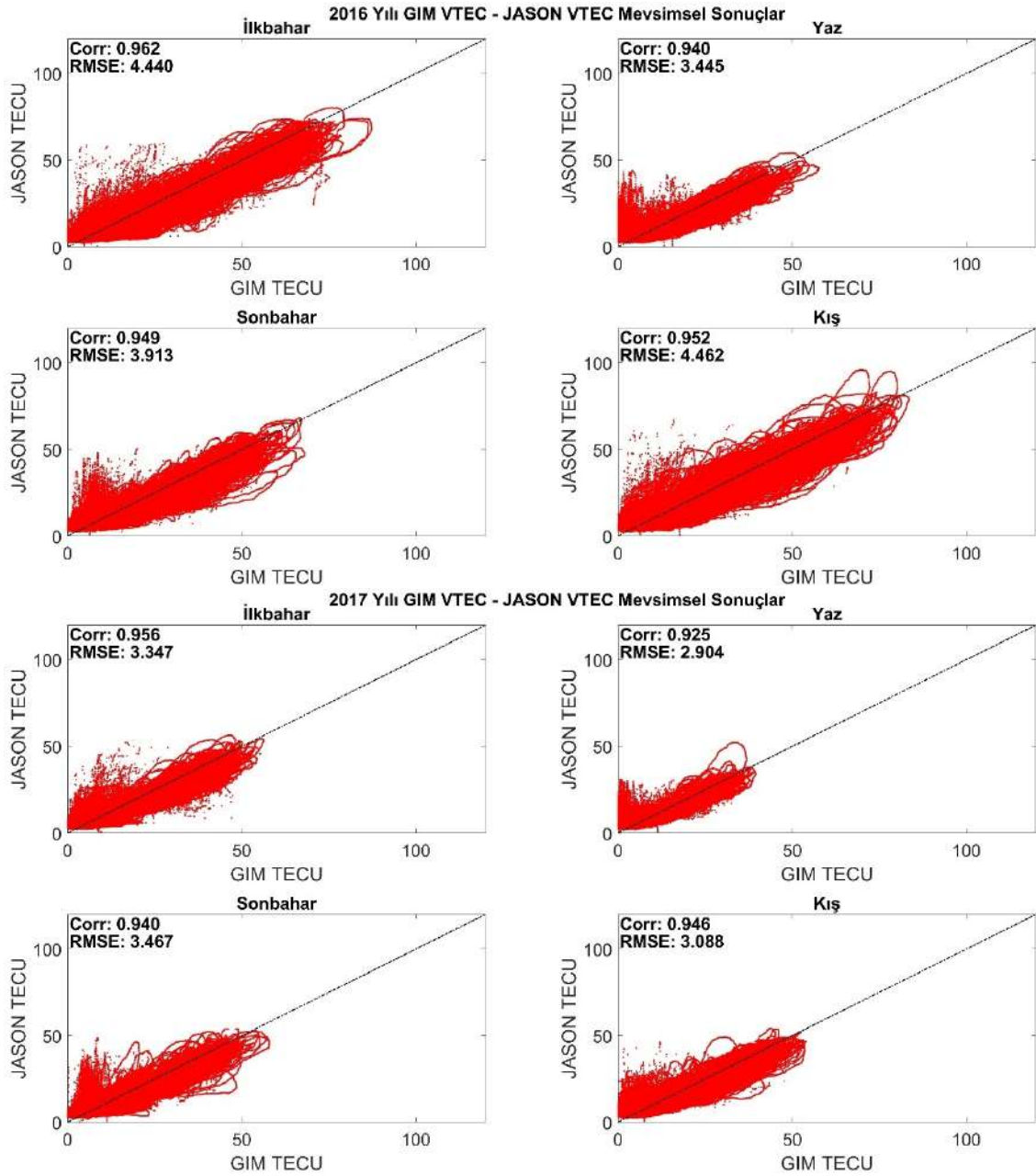


Şekil Ek 6. 1. 2016 – 2017 yılı FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

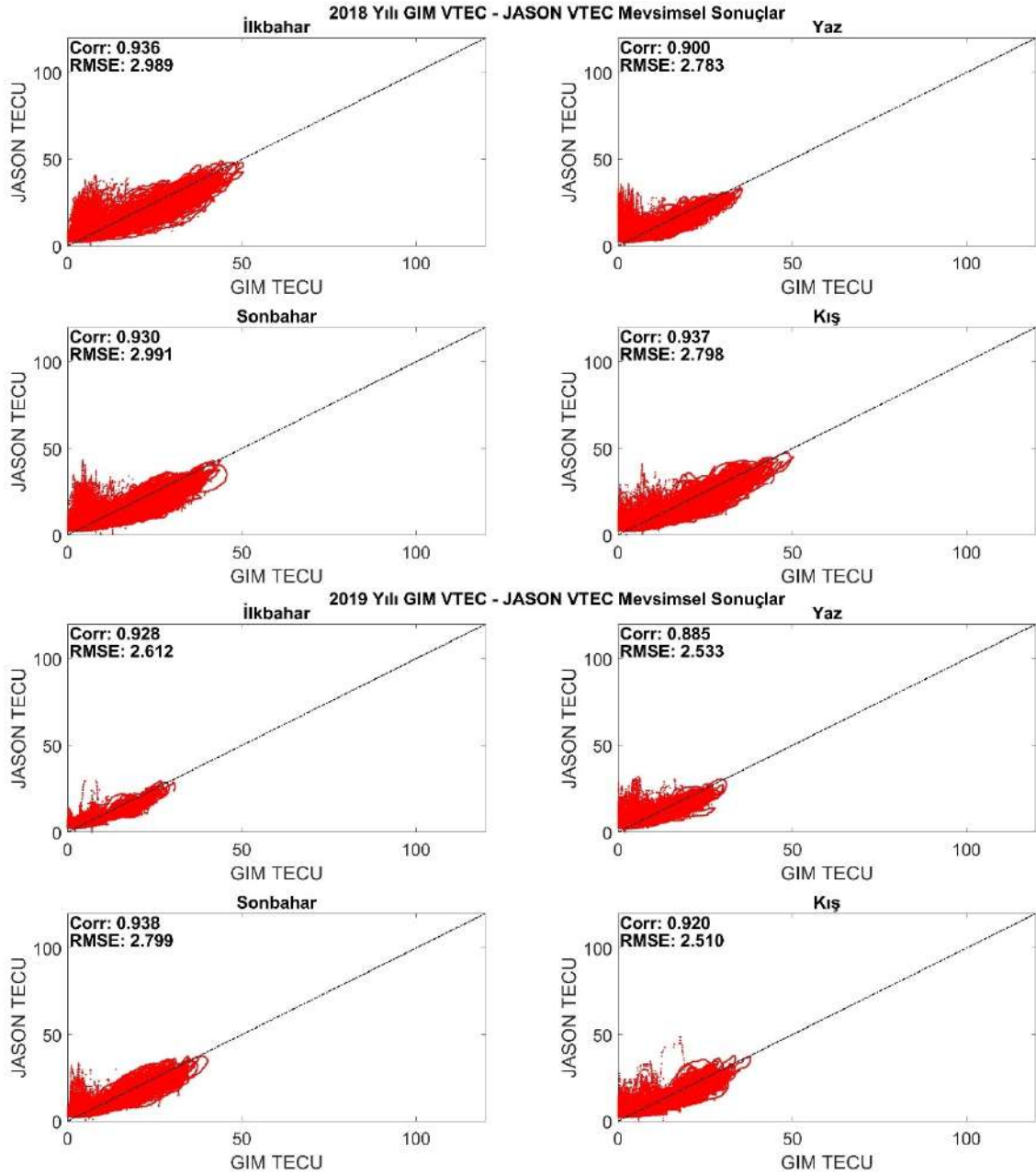


Şekil Ek 6. 2. 2018 – 2019 yılı FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

EK- 7 JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2016, 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

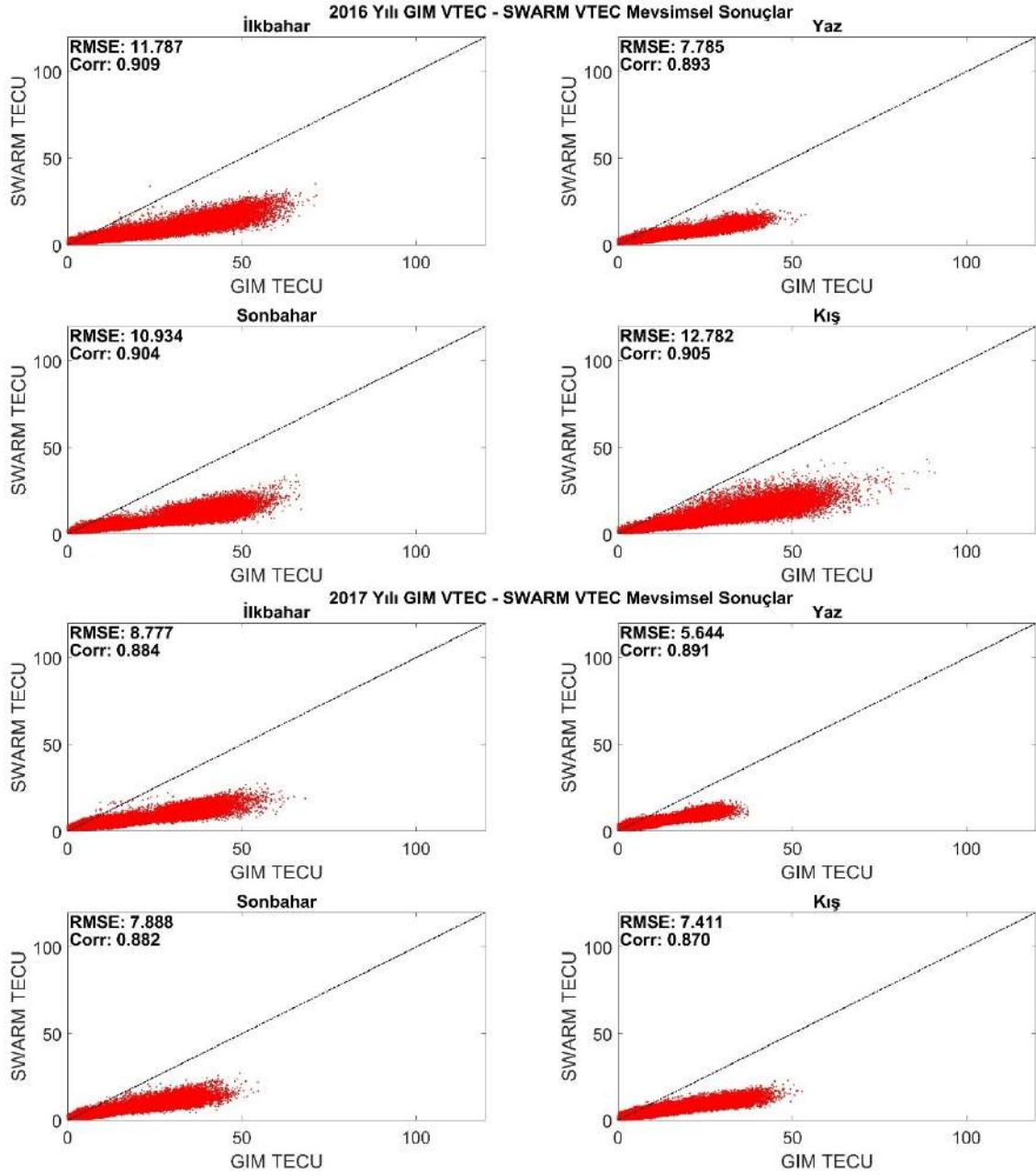


Şekil Ek 7. 1. 2016 – 2017 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

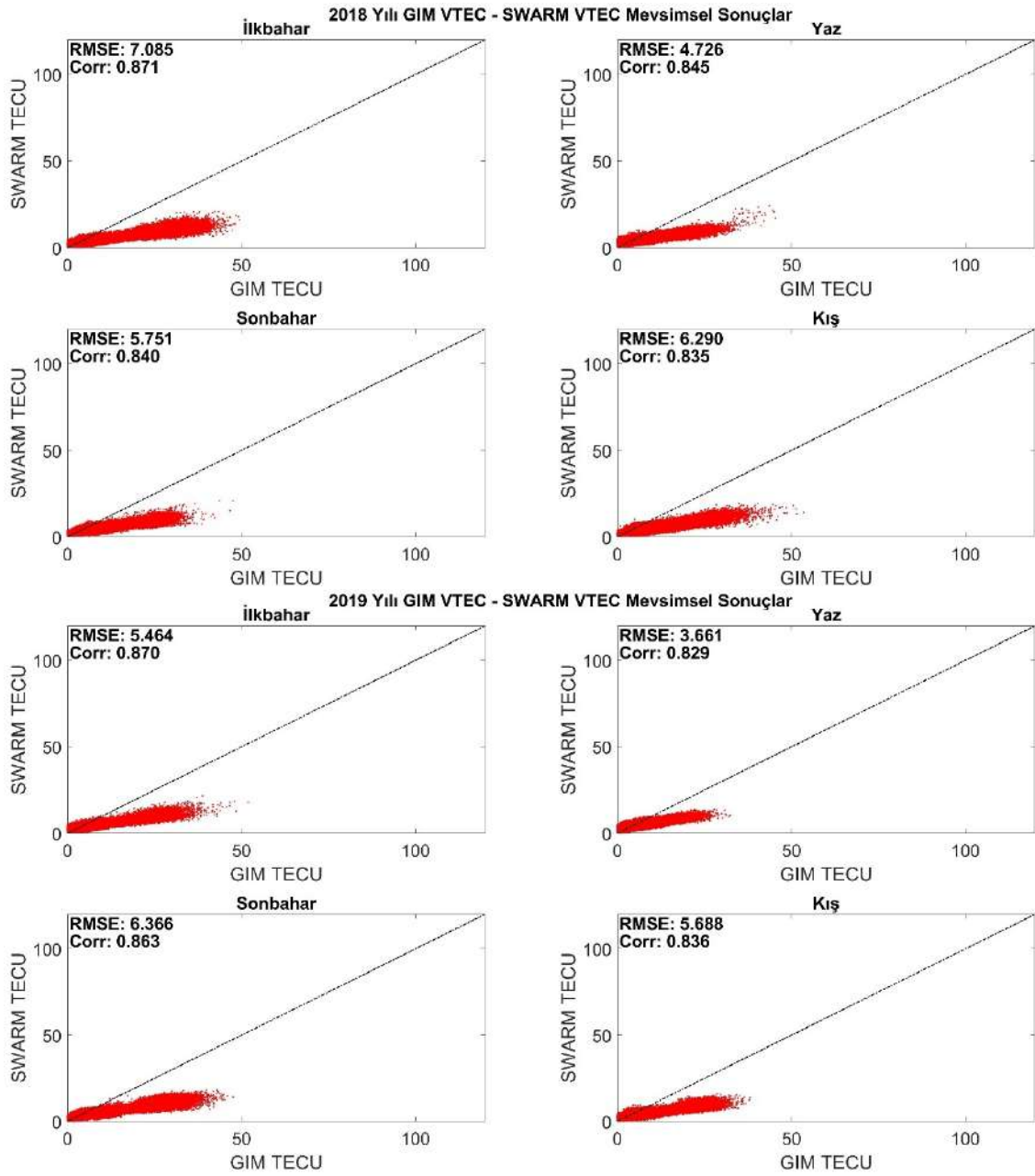


Şekil Ek 7. 2. 2018 – 2019 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

EK- 8 SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2016, 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

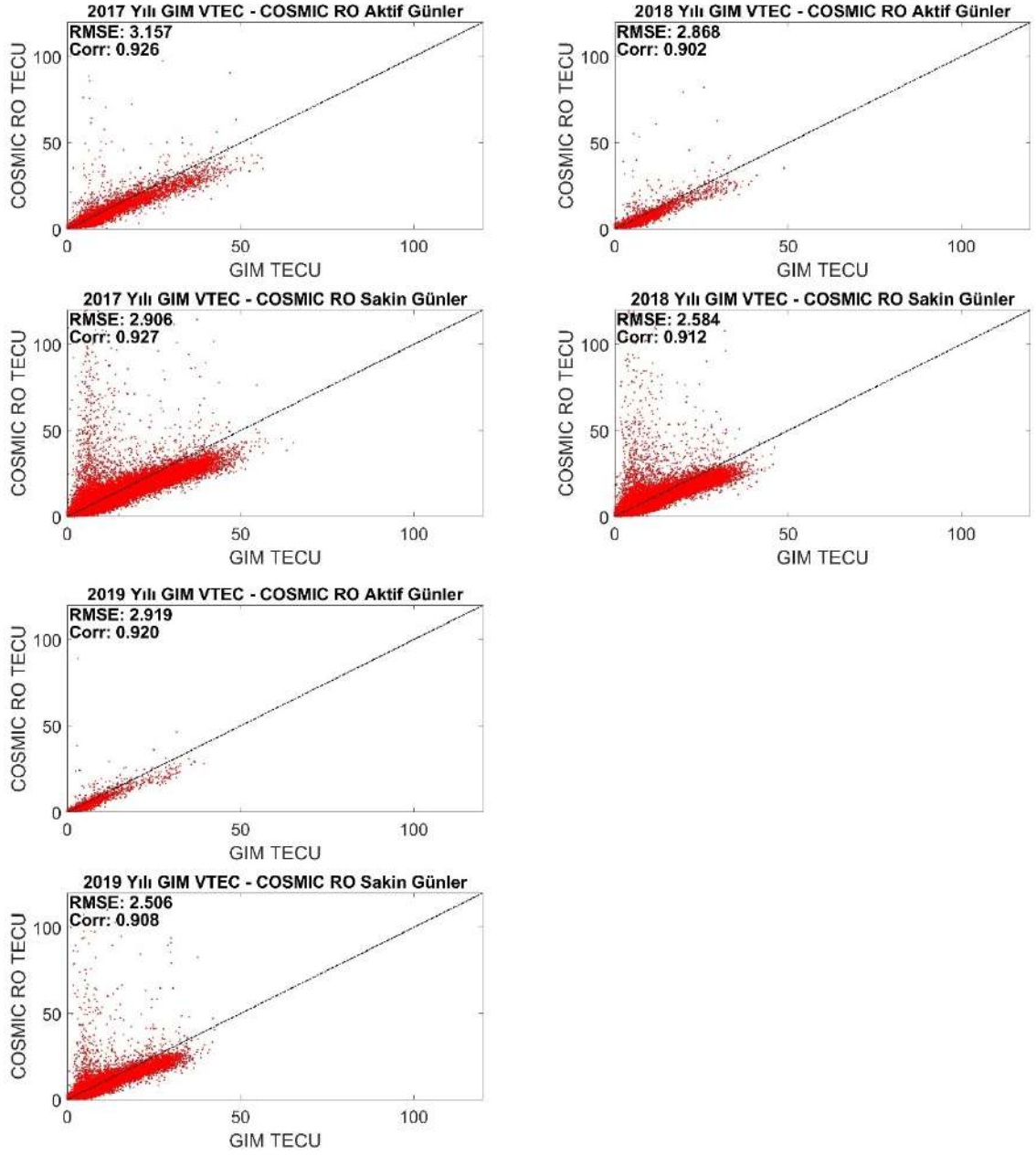


Şekil Ek 8. 1. 2016 – 2017 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri



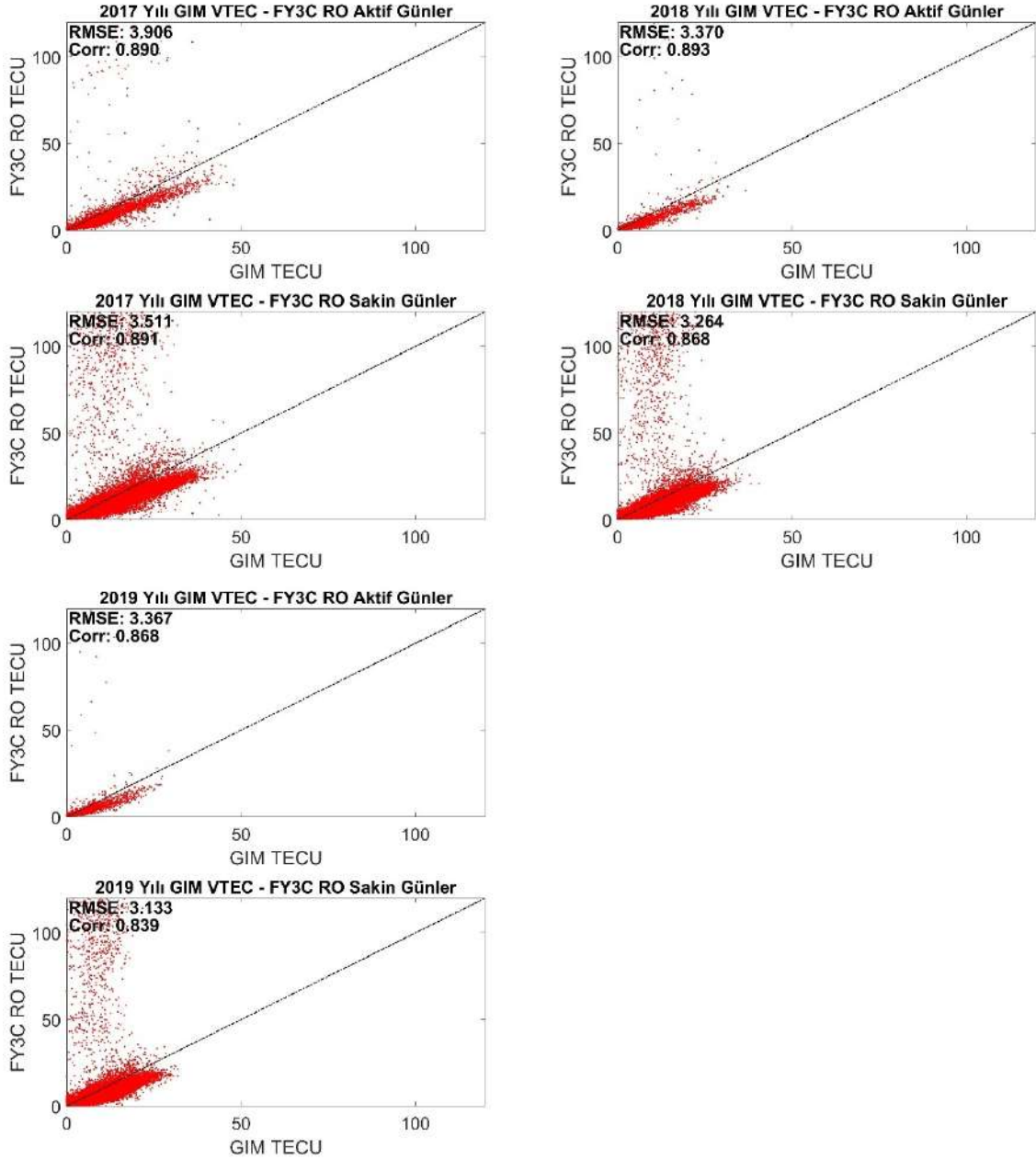
Şekil Ek 8. 2. 2018 – 2019 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin mevsimsel (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dağılım grafikleri

EK- 9 COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki yıllık (aktif günler ve sakin günler) dağılım grafikleri



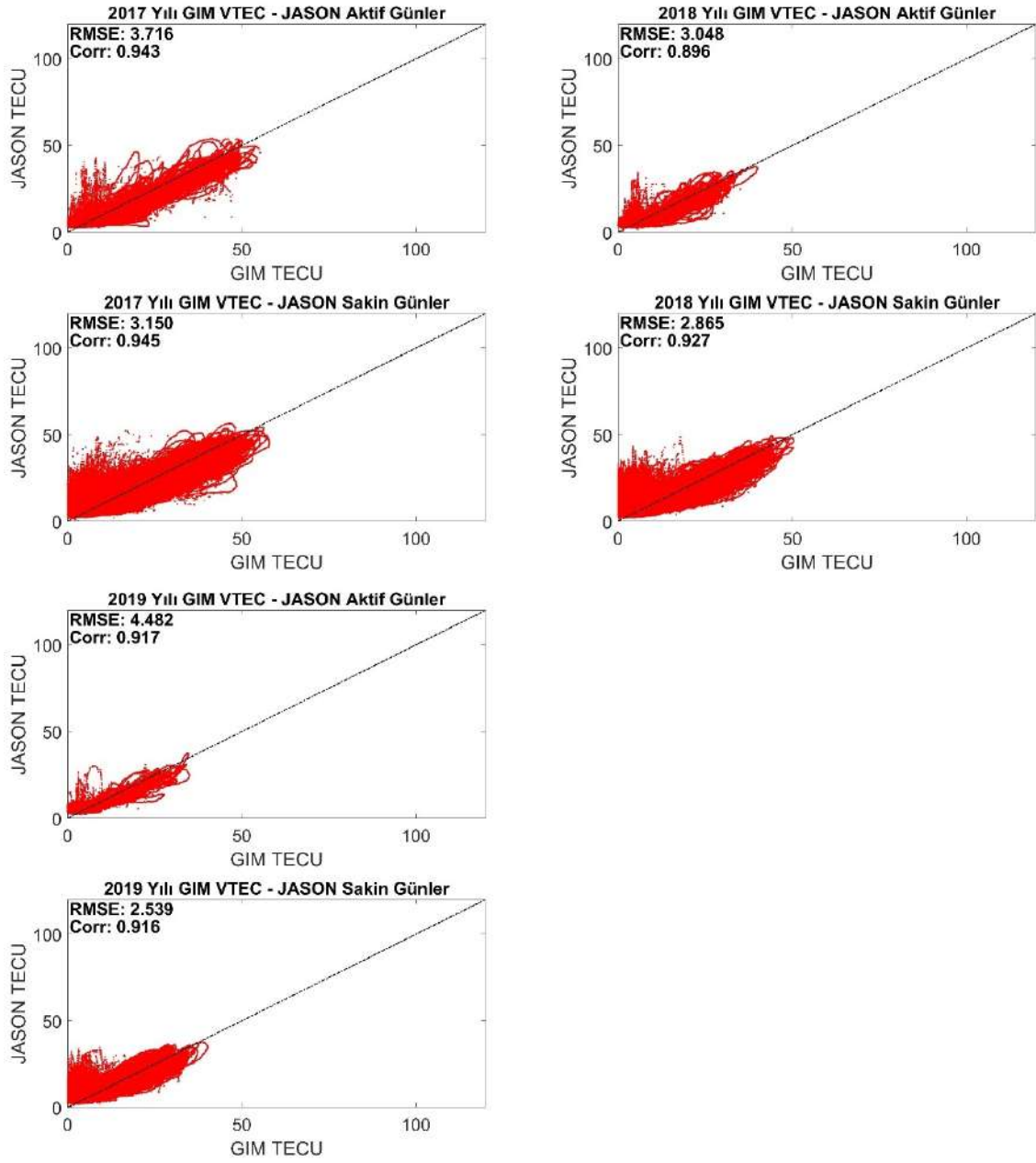
Şekil Ek 9. 1. 2017 – 2018 – 2019 yılı COSMIC RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri

EK- 10 FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki yıllık (aktif günler ve sakin günler) dağılım grafikleri



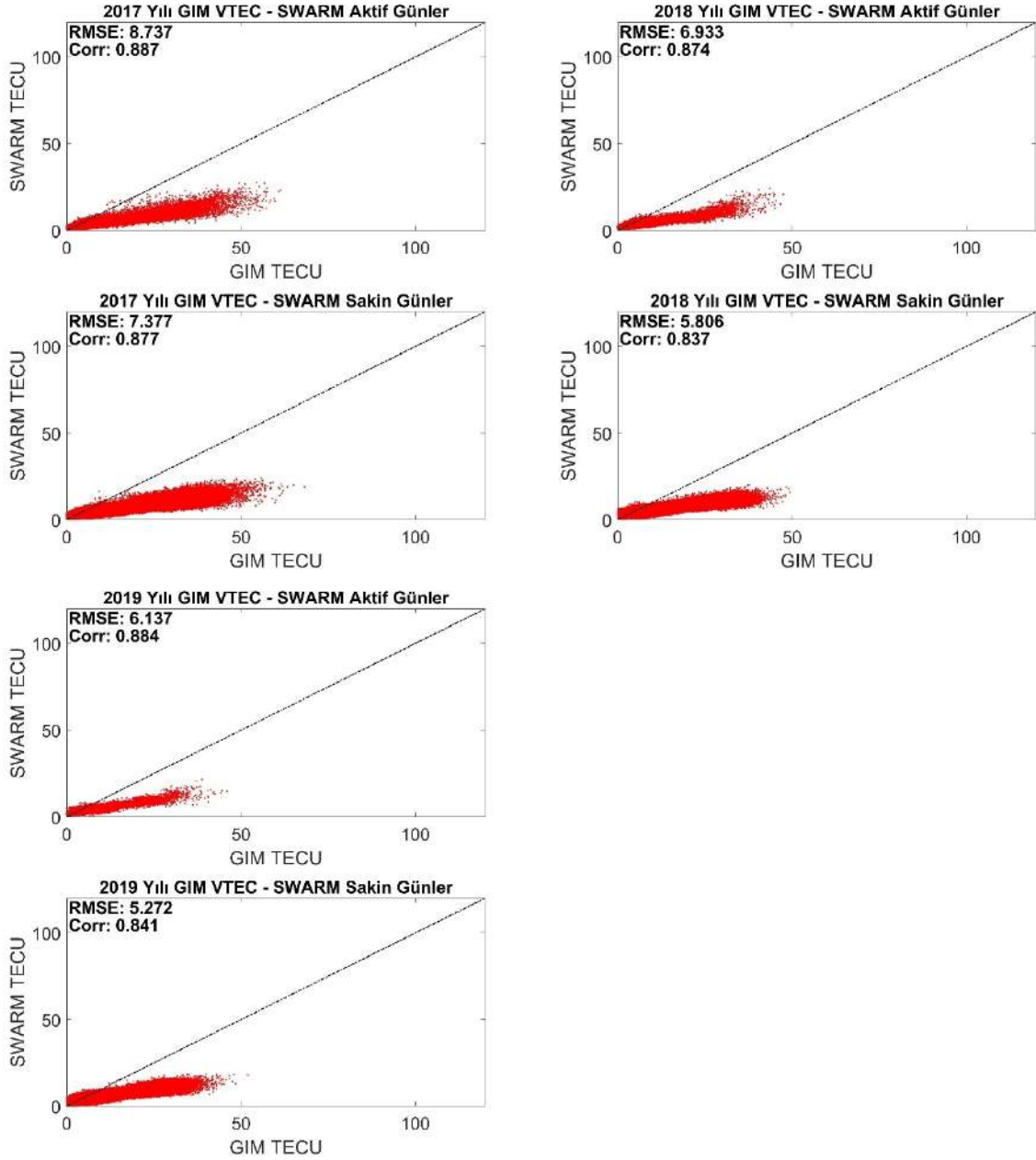
Şekil Ek 10. 1. 2017 – 2018 – 2019 yılı FY3C RO VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri

EK- 11 JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki yıllık (aktif günler ve sakin günler) dağılım grafikleri



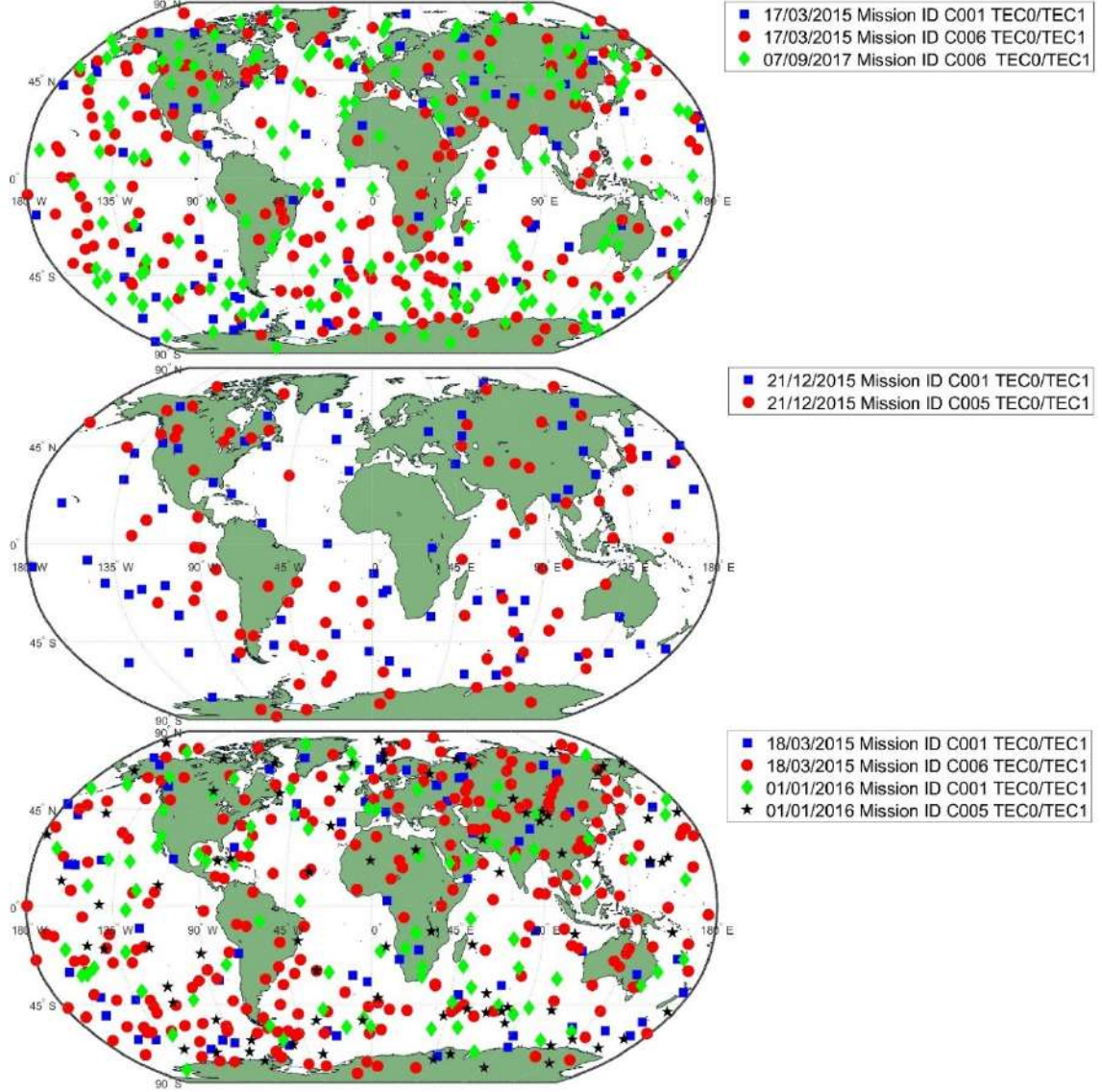
Şekil Ek 11. 1. 2017 – 2018 – 2019 yılı JASON VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri

EK- 12 SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin 2017, 2018 ve 2019 tarihlerindeki yıllık (aktif günler ve sakin günler) dağılım grafikleri



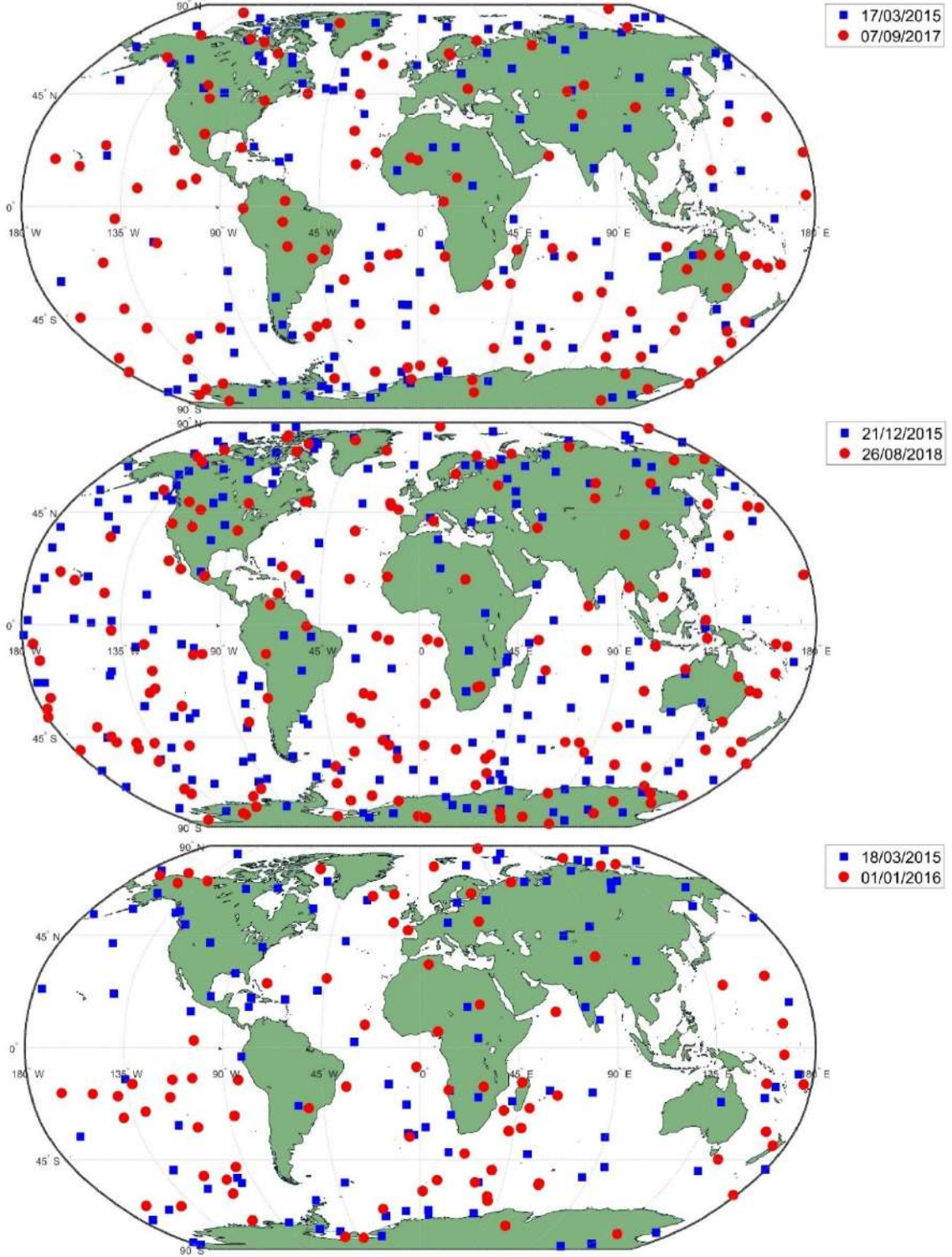
Şekil Ek 12. 1. 2017 – 2018 – 2019 yılı SWARM VTEC – GIM VTEC değerlerinin aktif ve sakin günlerdeki dağılım grafikleri

EK- 13 COSMIC RO VTEC değerleri konumları; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015) ve ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



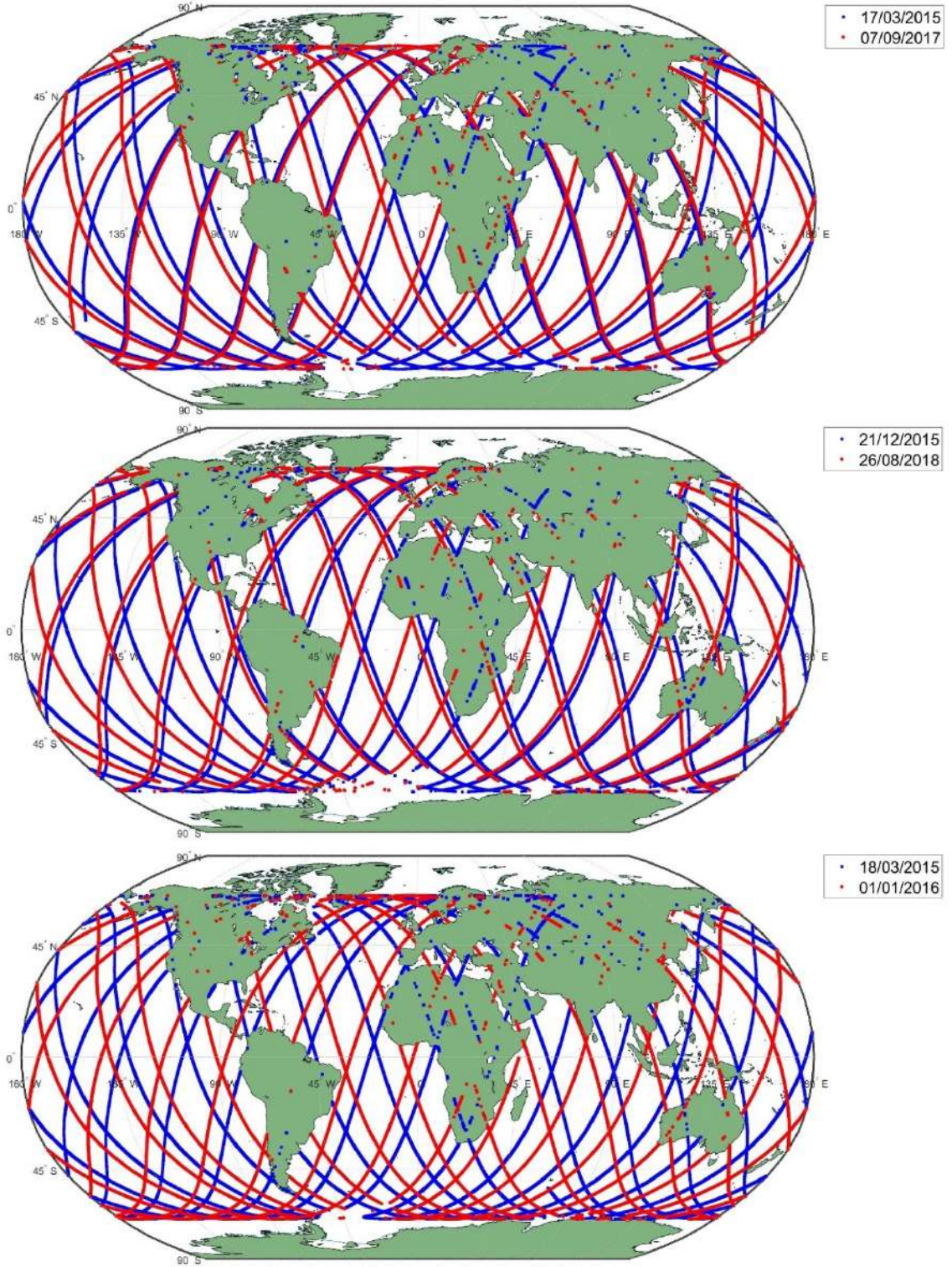
Şekil Ek 13. 1. Ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan COSMIC RO VTEC konumları

EK- 14 FY3C RO VTEC değerleri konumları; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018) ve ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



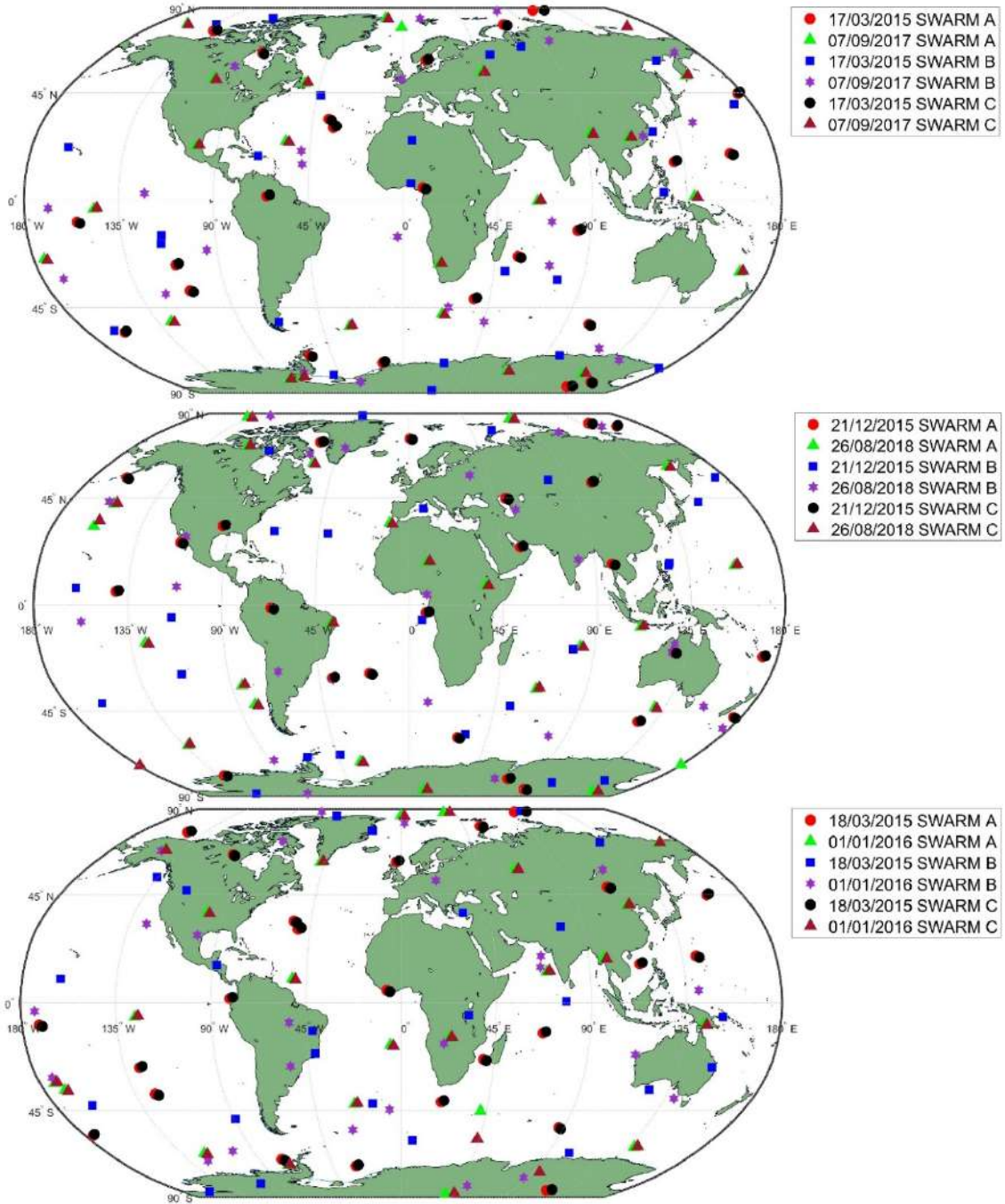
Şekil Ek 14. 1. Ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan FY3C RO VTEC konumları

EK- 15 JASON VTEC değerleri konumları; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018) ve ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



Şekil Ek 15. 1. Ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan JASON VTEC konumları

EK- 16 SWARM VTEC değerleri konumları; orta (18/03/2015 ve 01/01/2016), kuvvetli (21/12/2015 ve 26/08/2018) ve ağır (17/03/2015 ve 07/09/2017) jeomanyetik fırtınalı günler



Şekil Ek 16. 1. Ağır, kuvvetli ve orta jeomanyetik fırtınalı günler için kullanılan SWARM VTEC konumları

YAYINLAR

SCI / SCI EXPANDED dergilerde yayınlanan makaleler.

Alcay, S. ve Oztan, G., 2019, Analysis of global TEC prediction performance of IRI-PLAS model, *Advances in Space Research*, 63(10), 3200–3212. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.02.002>

Alçay, S., Oztan, G. ve Selvi, H. Z., 2017, Comparison of IRI_PLAS and IRI_2012 model predictions with GPS-TEC measurements in different latitude regions, *Annals of Geophysics*, 60(5), G0549-G0549. <https://doi.org/10.4401/ag-7311>

Ozdemir, B. N., Alcay, S., Ogutcu, S., Pekgor, A., Seemala, G. K. ve Oztan, G., 2024, GRIMS: global and regional ionosphere monitoring system *GPS Solutions*, 28(4), 1–24, 154. <https://doi.org/10.1007/S10291-024-01702-x>

Oztan, G., Duman, H., Alcay, S., Ogutcu, S. ve Ozdemir, B. N., 2024, Analysis of Ionospheric VTEC Retrieved from Multi-Instrument Observations, *Atmosphere*, 15(6), 697. <https://doi.org/10.3390/ATMOS15060697> **(Doktora Tezinden Yapılmıştır.)**

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceeding) basılan bildiriler.

Alcay, S. ve Oztan, G., 2016, Comparison of GPS-TEC Measurements with IRIPLAS and IRI-2012 Models Over a Mid-Latitude Station, MADR, Spain, *International Conference on Engineering and Natural Sciences-ICENS* 24-28 May. 2016, Sarajevo, 30–33. (Yüksek Lisans Tezinden Yapılmıştır.)

Alcay, S. ve Oztan, G., 2019, Comparison of GPS-TEC with IRI-2007, IRI-2012 and IRI-2016 TEC Predictions At ISTA Station, Turkey, *CISSET- 2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology*, 10-12 october 2019, Mersin, Türkiye, 30-34.

Oztan, G ve Alcay, S., 2022, Comparison Of JASON-3 TEC With Global Ionosphere Map (GIM), *International Conference on Engineering Technologies-ICENTE*, Oral, Virtual Hall II, 17-19 November 2022, Konya, Turkey. **(Doktora Tezinden Yapılmıştır.)**

Alcay, S., Ogutcu, S., Oztan, G. ve Ozdemir, B. N., 2022, Evaluation of the TEC prediction performance of NeQuick2 model, 5th Intercontinental Geoinformation Days-IGD, 74-77.

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler.

Alçay, S. ve Öztan, G., 2016, Manyetik fırtınalı ve fırtınasız günlerde IRI-PLAS ve IRI-2012 modellerinin TEC kestirim performanslarının incelenmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 131-140, 14-15 December 2022, New Delhi, India.

Kitap Bölümü

Alçay, S., Öğütçü, S. ve Öztan, G., 2024, Analysis Of TEC Prediction Performance Of The Latest Version Of The IRI Model (IRI-2020) Over A Turkish Station, *International Studies In Engineering*, Serüven Yayınevi, Basım Sayısı:1- Sayfa Sayısı:189 - ISBN:978-625-6644-80-9 - (Bölüm Sayfaları:1 - 12)

