

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KÜRESEL İYONOSFER HARİTALARININ PERFORMANSININ
TÜRKİYE ÜZERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

HAMZA YILDIRIM

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE JEODİFORMASYON MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜRESEL İYONOSFER HARİTALARININ PERFORMANSININ
TÜRKİYE ÜZERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

HAMZA YILDIRIM

Doç.Dr. Murat Selim ÇEPNİ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç.Dr. Mustafa Tevfik ÖZLÜDEMİR
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç.Dr. Aydın ÜSTÜN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 10.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Türkiye’de iyonosfer ile ilgili yapılan çalışmalarda iyonosfere ilişkin verilerin temin edildiği Küresel İyonosfer Haritalarının (KİH) performansları ve güvenilirliklerinin yaygın bir metodoloji ile test edilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmamda motivasyonumun düştüğü her aşamada, yönlendirmeleriyle değerli desteklerini her zaman yanımda hissettiğim danışmanım Doç. Dr. Murat Selim ÇEPNİ’ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez Konumla ilgili Akademik bilgisini ve yardımlarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Erman ŞENTÜRK’e teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans eğitimimde, gerekli anlayışı gösteren işyeri amirim Kocaeli Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanı, Jeofizik Yük. Müh. Hasan ENDEŞ’e, mesai arkadaşım Dr. Aynur YAŞAR’a, Çevre Yük. Müh. Hatice Kübra KAYAPINAR CİCİGÜN’e teşekkür ediyorum.

Hayatımın her aşamasında sevgilerini ve desteklerini benden esirgemeyen Annem Mercan YILDIRIM’a, Babam Bektaş YILDIRIM’a ve kardeşlerime, eşim Nuray KAR YILDIRIM’a, kızım Bilge Su YILDIRIM’a bütün içtenliğimle teşekkür ediyorum.

Ocak – 2020

Hamza YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ.....	1
1. İYONOSFER	8
1.1. İyonosferin Yapısı	8
1.2. İyonosfer Tabakaları.....	9
1.3. Coğrafi Enleme Göre İyonosfer bölgeleri.....	11
2. GNSS SİSTEMLERİ	13
2.1. GPS Uydularının Sinyal Yapısı.....	17
2.2. GPS Ölçüleri	19
2.2.1. Pseudo uzunluk ölçüleri	19
2.2.2. Taşıyıcı faz ölçüleri	20
2.3. GPS Çözümlerinde Kullanılan Doğrusal Bileşimler.....	21
2.3.1. İyonosferden bağımsız doğrusal bileşim	21
2.3.2. Geometriden bağımsız doğrusal bileşim	22
3. GPS ÖLÇÜLERİ İLE İYONOSFER BELİRLEME	23
3.1. Toplam Elektron İçeriği Parametresinin Elde Edilmesi.....	25
3.2. İyonosfer Etkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Modeller	28
3.2.1. İstasyon temelli TEİ modeli	29
3.2.2. Bölgesel İyonosfer modeli	30
3.2.2. Küresel İyonosfer modeli	31
4. UZAY İKLİM KOŞULLARI VE İYONOSFERE ETKİSİ	35
4.1. Güneş Aktivite İndisleri.....	35
4.1.1. Güneş lekesi sayısı (R)	36
4.2. Manyetik Aktivite İndisleri	39
4.2.1. K ve Kp aralık indisleri.....	40
4.2.2. Dst ve Asym ekvatoryal fırtına indisleri.....	40
4.2.3. Auroral (kutupsal) elektrojet indisi (AE)	41
4.2.4. Gezegenler arası manyetik alan indisi (IMF)	42
5. UYGULAMA	44
5.1. 2013 ve 2018 Yılları İçin Uzay İklim Koşulları	46
5.2. GPSTEİ ve KIHTeİ Verilerinin Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi	47
5.2.1. En Büyük ΔTEİ Farkları Dağılımının İncelenmesi.....	52
5.3. ΔTEİ Farkları ile RMS Değerleri Hesabı ve Değerlendirilmesi	55
5.4. GPS/GNSS İstasyonları RMS Değerleri ve Korelasyonu	57
5.4.1. ANKR İstasyonu RMS Değerleri ve Korelasyonu	60
5.4.2. ARUC İstasyonu RMS ve Korelasyonu	60
5.4.3. CRAO İstasyonu RMS ve Korelasyonu	61
5.4.4. DYNG İstasyonu RMS ve Korelasyonu	62
5.4.5. NICO İstasyonu RMS ve Korelasyonu	63
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	72

EKLER.....	77
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	94
ÖZGEÇMİŞ	95



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İyonosferde sıcaklık değişimi.....	9
Şekil 1.2.	İyonosfer tabakaları.....	10
Şekil 1.3.	Coğrafi enleme göre iyonosfer bölgeleri.....	11
Şekil 2.1.	GPS uzay bölümü.....	14
Şekil 2.2.	Eski ve yeni nesil uydular.....	15
Şekil 2.3.	GPS sistemi yer anteni.....	16
Şekil 2.4.	GPS sistemi kontrol bölümü.....	16
Şekil 2.5.	GPS kullanıcı bölümü.....	17
Şekil 3.1.	Toplam elektron içeriğinin grafiksel gösterimi.....	25
Şekil 3.2.	Tek tabaka modeli.....	28
Şekil 3.3.	İstasyon temelli TEİ modeli.....	30
Şekil 3.4.	Küresel iyonosfer model (25 Nisan 2019).....	33
Şekil 3.5.	Türkiyede'ki CODE-GIM ızgara noktaları.....	33
Şekil 4.1.	Uzay iklim koşulları.....	35
Şekil 4.2.	Güneşin yapısı.....	36
Şekil 4.3.	Güneş lekesi sayısı.....	37
Şekil 4.4.	F10.7 radyo akısı grafiği.....	38
Şekil 4.5.	Güneş fırtınaları.....	39
Şekil 4.6.	Manyetik aktivite.....	39
Şekil 4.7.	K index grafiği.....	40
Şekil 4.8.	Ocak 2019 Dst grafiği.....	41
Şekil 4.9.	1 Ocak 2019 tarihli, 1 günlük AU, AL, AE grafiği.....	42
Şekil 4.10.	2019 Ocak ayı IMF değerleri grafiği.....	43
Şekil 5.1.	Yer küre üzerine yayılmış GPS/GNSS istasyonları.....	44
Şekil 5.2.	Çalışmada kullanılan GPS/GNSS istasyonları.....	45
Şekil 5.3.	24. Güneş Çevrimi ve F10.7 İndis Değerleri.....	47
Şekil 5.4.	ANKR İstasyonu 2013 hareketli yılı için ΔTEI grafiği.....	49
Şekil 5.5.	ANKR İstasyonu 2018 sakin yılı için ΔTEI grafiği.....	51
Şekil 5.6.a	ANKR istasyonu 2013 yılı RMS değerleri.....	55
Şekil 5.6.b	ANKR istasyonu 2018 yılı RMS değerleri.....	55
Şekil 5.7.	ANKR. İstasyonu 2018-2013 Yılı RMS GPS-GIM (TECU) değerleri.....	57
Şekil 5.8	2013 Yılı ANKR istasyonu GPS-TEİ ve KİH-TEİ korelasyonu.....	58
Şekil 5.9	2018 Yılı ANKR istasyonu GPS-TEİ ve KİH-TEİ korelasyonu.....	59
Şekil A.1.	2018 yılı (düşük solar aktivite) ΔTEI (KİHTEİ ve GPSTEİ farkları).....	78
Şekil A.2.	2018 yılı (Düşük Solar Aktivite) RMS değerleri.....	79
Şekil A.3.	2018 yılı (Düşük Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerleri.....	79
Şekil A.4.	2018 Yılı (Düşük solar aktivite) KİHTEİ ve GPSTEİ korelasyon grafiği.....	80
Şekil B.1.	2018 yılı (Düşük solar aktivite) ΔTEI (KİHTEİ ve GPSTEİ farkları).....	81
Şekil B.2.	2013 yılı (düşük solar aktivite) ΔTEI (KİHTEİ ve GPSTEİ farkları).....	82
Şekil B.3.	2018 yılı (Düşük solar aktivite) RMS değerleri.....	82
Şekil B.4.	2013 yılı (Yüksek solar aktivite) RMS değerleri.....	83
Şekil B.5.	2018 yılı (Düşük Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerleri.....	83
Şekil B.6.	2013 yılı (Yüksek Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerler.....	84

Şekil B.7.	2018 Yılı (Düşük solar aktivite) KİHTEİ ve GPSTEİ korelasyon grafiği	84
Şekil B.8.	2013 Yılı (Yüksek solar aktivite) KİHTEİ ve GPSTEİ korelasyon grafiği	85
Şekil C.1.	2018 yılı (Düşük solar aktivite) Δ TEİ (KİHTEİ ve GPSTEİ farkları)	86
Şekil C.2.	2013 yılı (yüksek solar aktivite) Δ TEİ (KİHTEİ ve GPSTEİ farkları)	87
Şekil C.3.	2018 yılı (Düşük solar aktivite) RMS değerleri	87
Şekil C.4.	2013 yılı (Yüksek solar aktivite) RMS değerler.....	88
Şekil C.5.	2018 yılı (Düşük Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerleri	88
Şekil C.6.	2013 yılı (Yüksek Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerleri	89
Şekil C.7.	2018 Yılı (Düşük solar aktivite) KİHTEİ ve GPSTEİ korelasyon grafiği	89
Şekil C.8.	2013 yılı (Yüksek Solar Aktivite) KİHTEİ ve GPSTEİ korelasyon grafiği	90
Şekil D.1.	2013 yılı (yüksek solar aktivite) Δ TEİ (KİHTEİ ve GPSTEİ farkları)	91
Şekil D.2.	2013 yılı (Yüksek solar aktivite) RMS değerler.....	92
Şekil D.3.	2013 yılı (Yüksek Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerler.....	92
Şekil D.4.	2013 Yılı (Yüksek solar aktivite) KİHTEİ ve GPSTEİ korelasyon grafiği	93

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. İyonosfer tabakalarında elektron yoğunluğu	11
Tablo 2.1. Küresel navigasyon sistemleri	14
Tablo 2.2. GPS sinyallerinin bölümleri	17
Tablo 2.3. GPS uyduları temel sinyal özellikleri	19
Tablo 2.4. Doğrusal bileşimler.....	21
Tablo 3.1. IGS analiz merkezi kod ve özelliği	34
Tablo 5.1. GPS/GNSS istasyon noktaları coğrafi enlem ve boylamları.....	45
Tablo 5.2. GPS/GNSS istasyon noktaları 2013 ve 2018 veri durumu.....	46
Tablo 5.3. ΔTEI Farklarının Yüzdeleri Dağılımı	53
Tablo 5.4. ΔTEI maksimum değerleri ve tekrar sıklığı (frekansı) ($f = \Delta TEI_{max} - \Delta TEI_{min} - 0.25$ toplam ölçü sayısı)	54
Tablo 5.5. ANKR 2013 ve 2018 yılları TEİGPS-TEİKİH karşılaştırma sonuçları	60
Tablo 5.6. ARUC 2018 yılı TEİGPS-TEİKİH karşılaştırma sonuçları	61
Tablo 5.7. CRAO 2013 ve 2018 yılları TEİGPS-TEİKİH karşılaştırma sonuçları.....	62
Tablo 5.8. DYNG 2013 ve 2018 yılları TEİGPS-TEİKİH karşılaştırma sonuçları.....	63
Tablo 5.9. NICO 2013 yılı TEİGPS-TEİKİH karşılaştırma sonuçları.....	64
Tablo 5.10. 2013 ve 2018 yılları bütün TEİGPS-TEİKİH farkları RMS sonuçları.....	64
Tablo D.1. ΔTEI maksimum değerleri	93

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c	: Işık hızı, (m/sn)
f_0	: Temel frekans
f_1, f_2	: GPS frekansları
L_1, L_2	: Taşıyıcı dalgalar
L_3	: İyonosferden bağımsız doğrusal bileşim
L_4	: Geometriden bağımsız doğrusal bileşim
λ	: Dalga boyu
Φ	: Faz sayısı
nT	: nanoTesla, (10^{-9} Tesla)
ε	: Uydu yükselme açısı, (Derece)
α	: Uydu azimut açısı, (Derece)

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
C/A CODE	: Clear/Coarse Acquisition Code (Serbest Edinim Kod)
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems (Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GQP ⁽ⁱ⁾	: Geometrical Quality Parameter (Geometrik Kalite Parametresi)
IGS	: International GNSS Service (Uluslararası GNSS Servisi)
İAN	: İyonosfer Alt Noktası
LC	: Linear Combination (Doğrusal Bileşim)
MHz	: MegaHertz (Değeri Bir Milyon Hertz Olan Frekans Birimi)
P CODE	: Protected/Precise Code (Korumalı/Hassas Kod)
SIP	: Sub-Ionospheric Point (İyonosfer Alt Noktası)
STEC	: Slant Total Electron Content (Eğik Toplam Elektron İçeriği)
TEC	: Total Electron Content (Toplam Elektron İçeriği)
TEİ	: Toplam Elektron İçeriği
VTEC	: Vertical Total Electron Content (Düşey Toplam Elektron İçeriği)

KÜRESEL İYONOSFER HARİTALARININ PERFORMANSININ TÜRKİYE ÜZERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Farklı ülkelerdeki araştırma kuruluşları tarafından üretilen Küresel İyonosfer Haritaları (KİH) önemli sayıda kullanıcıya günlük iyonosfer bilgisini sağlamaktadır. 2019 yılı itibariyle, dünya çapına yayılmış 400'ün üzerinde GNSS istasyonundan toplanan gözlem verilerini ve okyanus boşluklarında modele katkı sağlayacak uydu altimetre TEİ değerlerini işleyen analiz merkezleri, $2,5^{\circ} \times 5^{\circ}$ mekânsal, 1 saat zamansal çözünürlükteki küresel model kestirimini gerçekleştirmektedir. İstasyon bazlı iyonosfer hesabına göre erişimi ve elde edilmesi oldukça kolay olan küresel modellerin giderek yaygınlaşan bir kullanım ağı ve kitlesi mevcuttur.

Bu tez çalışmasında, uygulama bölgesi olarak seçilen Türkiye coğrafi sınırları üzerinde Küresel İyonosfer Haritalarının performansları hakkında değerlendirmelerde bulunulması amaçlanmaktadır. Bu amaçla uygun konumlu 5 IGS istasyonundaki istasyon bazlı TEİ hesapları 7 farklı servise ait 12 Küresel İyonosfer Haritasından elde edilen TEİ değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma iyonosferin hareketli ve sakin olarak nitelendiği 2013 ve 2018 yılları için tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş, istasyon bazlı TEİ hesabı sonuçlarına göre oluşan farklar üzerinden irdelemelerde bulunulmuştur.

Uygulamalarda, KİH-GNSS verisi korelasyonu, $TEİ_{KİH}$ ve $TEİ_{GPS}$ arasındaki farkların analizi, hızlı ve final KİH'ler arasındaki değişim ve KİH modellerinin sağlayabildikleri ortalama doğruluklar gibi başlıklarda görüş oluşturmaya yeterli sonuçlar elde edilebilmiştir.

Sonuçlar, Küresel İyonosfer Haritalarının -uygulama bölgesini temsil eden özellikler itibari ile- anakara bölgelerinde ve orta enlem kuşağında başarılı olduklarına işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: İyonosfer, KİH, KİH Performansı, TEİ Hesabı.

EVALUATION OF PERFORMANCE OF GLOBAL IONOSPHERE MAPS OVER TURKEY

ABSTRACT

Global Ionospheric Maps (GIMs) produced by worldwide research centers provide daily ionosphere information to significant number of users. The analysis centers realize to spherical model estimation with $2,5^{\circ} \times 5^{\circ}$ spatial and 1 hour temporal resolution by processing observation data collected from over 400 GNSS stations around the world and satellite altimeter TEC values that contribute to the model in ocean gaps. The use of global ionospheric models, which makes access to knowledge of ionosphere much easier, is also becoming increasingly common.

In this thesis, it is aimed to make the assessment about the performance of GIMs and Turkey's location was selected as test site. For this purpose, station based TEC estimations on 5 suitable located IGS stations were compared with TEC values obtained from Global Ionospheric Maps. The comparison was also made for 12 spherical models produced by 7 different services.

The practices were conducted repeatedly for 2013 and 2018 with low and high solar activities and the results has been evaluated according to differences with station based TEC calculations.

In implementations, it was possible to obtain sufficient conclusions on topics such GIMs and GNSS data correlation, analysis of differences between TEIGIM and TEIGPS, rapid and final products of GIMs, and mean accuracy provided from spherical models.

The results indicate that the Global Ionospheric Maps are successful in the mainland regions and the middle latitude zones in terms of the characteristics of the test site.

Keywords: Ionosphere, GIMs, Performance of GIMs, TEC Calculations.

GİRİŞ

İyonosfer tabakası, yeryüzünden atmosfere doğru yaklaşık 50-2000 km yükseklikteki bölgeyi kapsayan, zamana bağlı değişken ve karmaşık bir fiziksel sistem olan üç boyutlu bir iyon ve serbest elektron alanıdır. İyonize olmuş gazların oluşturduğu iyonosfer tabakasındaki iyonlaşmanın ana kaynağı güneş aktivitesidir. Bu atmosfer tabakası yüksekliğe göre değişen yüksüz gaz ve iyonize bileşenlerin termal ve kimyasal özelliklerine göre D, E, F (F1 ve F2) olmak üzere 3 farklı bölüme ayrılmıştır. İyonosfer, günlük, 27 günlük, mevsimsel, yarıyıllık, yıllık ve 11 yıllık düzenli değişimlere sahipken, kısa zamanlı (kuvvetli fırtınalar, gezici iyonosferik bozucu etki, iyonosferik kabarcıklar), uzay-iklim koşulları kaynaklı (güneşsel aktivite, jeomanyetik aktivite), yeryüzü kaynaklı (deprem, tsunami, volkanik patlamalar) ve insan kaynaklı (roket fırlatmaları, nükleer patlamalar) olaylar nedeniyle bazı düzensiz değişimlere de sahiptir.

Uydulardan yeryüzüne gönderilen sinyaller atmosferden geçerken iyonosfer katmanında sinyalin frekansına bağlı olarak yansıma veya gecikmeye uğrarlar. Bu durum uydu sistemleri için düzeltilmesi gereken temel hata kaynaklarından biridir. Uydu sinyallerinde iyonosfer nedeniyle oluşan hatanın en önemli bölümü iyonosferin F katmanı olarak ifade edilen bölgede gerçekleşir. İyonosferin uydu sinyallerine etkisi içerisinde barındırdığı serbest elektron miktarına bağlıdır. İyonosferdeki serbest elektronların miktarı ise zaman, iklim koşulları, coğrafi konum, güneş ve jeomanyetik değişim, tektonik, volkanik ve insan kaynaklı birçok etmene göre değişkenlik gösterir. Serbest elektron miktarı günlük olarak en yüksek seviyeye yerel saate göre 14.00 civarında ulaşır. Geceleri ise elektronlar iyonlar ile birleştiğinden serbest elektron miktarı azalır. Elektron sayısının artışı yüksek frekans (HF) radyo dalgalarının yansıma kalitesini artırırken, GPS/GNSS ölçülerinde, doğruluk ve güvenilirlik kaybına yol açan mesafe hataları, hızlı faz ve genlik dalgalanmalarına neden olurlar. Bu nedenle iyonosfer tabakasındaki değişimin doğru ve hassas bir şekilde modellenmesi başta uydu-haberleşme teknolojileri olmak üzere birçok farklı disiplin ve çalışma alanı açısından oldukça önemlidir.

İyonosferin yapısı gereği sinyal yolunda meydana gelen gecikmenin frekans bağımlı olması, birden fazla frekansa sahip GNSS alıcıları ile Toplam Elektron İçeriği değerinin belirlenmesini olanaklı kılmaktadır. TEİ, iyonosfer karakteristiğini ifade eden en önemli parametrelerden biridir. TEİ değeri TECU biriminde ifade edilmekte ve 1 TECU 10^{16} el/m²'ye karşılık gelmektedir. Sinyalin iyonosferde kat ettiği yol boyunca hesaplanan TEİ değeri Eğik Toplam Elektron İçeriği olarak tanımlanmıştır [1]. ETEİ değeri bir haritalama fonksiyonu yardımıyla Düşey Toplam Elektron İçeriği değerine dönüştürülür. Bu dönüşüm Küresel İyonosfer Modellerinin giriş verisini oluşturan DTEİ değerlerinin elde edilmesi için gereklidir.

Küresel İyonosfer Modelleri, dünya üzerine yayılmış 400'ün üzerinde sabit GNSS istasyonundan toplanan verilerin küresel harmonik seriler ile enlem ve boylama bağılı olarak modellenmesi ilkesine göre oluşturulur. Okyanuslar dolayısıyla oluşan büyük boşluklar modellemenin en önemli sorunudur. Altimetre uydularından elde edilen TEİ verileriyle bu sorun önemli ölçüde giderilmektedir. Günümüzde, IGS (International GNSS Service), CODE (Centre for Orbit Determination in Europe), ESA (European Space Agency), JPL (Jet Propulsion Laboratory) ve UPC (Universidad Politecnica de Cataluna) gibi bazı kuruluşlar sabit GNSS istasyonlarından elde ettikleri verilerle farklı kestirim yöntemlerini kullanarak oluşturdukları küresel iyonosfer haritalarını günlük olarak yayınlamaktadır [2]. Analiz merkezleri genellikle 2 saat zamansal çözünürlükte 5⁰ boylam x 2,5⁰ enlem halinde gridlenmiş TEİ verisi üretir ve bunu IONEX formatında yayınlar. Günümüzde bu haritaların zamansal çözünürlüğü 15 dakikaya kadar inmiştir.

IONEX dosyaları <ftp://cdis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/> adresinden elde edilebilir. Bir IONEX dosyasını elde edebilmek için YYYY/DDD/AAAgDDD#.YYi.Z şeklinde bir tanımlama yapılmalıdır. YYYY IONEX dosyasının yılını, DDD yılın gününü, AAA analiz merkezinin kodunu, # ilgili gündeki dosya numarasını, YY ilgili yılın son 2 hanesini ifade eder.

İyonosfer küresel ve bölgesel olmakla birlikte tek bir istasyon için de belirlenebilmektedir. Bu durumda tüm elektronların sonsuz incelikte bir tabakada yer aldığı varsayımıyla (tek tabaka modeli), istasyonun ölçüm anında sinyal aldığı tüm uydular için hesaplanan DTEİ değerlerinin bir ağırlıklandırma fonksiyonu yardımıyla ağırlıklı ortalaması alınarak Toplam Elektron İçeriği (TEİ) değeri elde edilir [58]. TEİ ölçüm anında istasyonun zenit doğrultusundaki serbest elektron miktarının nicel büyüklüğünü temsil etmektedir.

Küresel iyonosfer haritası üreten kurum/kuruluşların ürettikleri haritalarda oluşan temel farklılık, kullandıkları yaklaşım ve hesaplama teknikleridir. Bu farklı hesaplama teknikleri nedeniyle iyonosfer haritaları arasında doğruluk açısından farklılıklar meydana gelmektedir. Bu doğruluk farklılığı, dünya üzerindeki konuma ve iyonosferin ana kaynağı olan güneşin aktivitesine doğrudan bağlıdır. Daha önce bazı bilimsel çalışmalarda, çeşitli iyonosferik modellerin doğruluk analizleri dünyanın farklı bölgeleri, zaman dilimleri ve uzay-iklim koşullarını içerecek şekilde ele alınmıştır.

Ho ve diğerleri, TEİ 'nin belirlenmesinde KİH'in doğruluğunu, TOPEX altimetre tarafından doğrudan iyonosferik ölçümler ve Bent modeli ile karşılaştırarak incelemiştir. Sonuçlar, KİH tekniğinin, TEİ ölçümlerinde TOPEX ile Bent model tahminlerine kıyasla daha iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir. TEİ ölçümlerinde KİH ve TOPEX arasındaki RMS değerlerinin, bir referans GPS istasyonundan 1500 km'lik bir aralıkta ortalama 1,5 TECU olduğu saptanmıştır. RMS değerleri istasyondan uzaklaştıkça kademeli olarak artarken, Bent modelinde istasyonun konumu ile ilgili olmayan sabit bir RMS değeri görülmektedir. Ayrıca bir GPS istasyonuna 1000 km'lik bir mesafe içinde (yükseklik açısı $> 25^{\circ}$), KİH-TEİ değerleri TOPEX verileri ile yüksek dereceden bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir ($R > 0.93$). Sonuç olarak KİH tekniğinin, GPS kaynaklı TEİ ölçümlerinin mekânsal ve zamansal bir ekstrapolasyonu yoluyla, küresel iyonosferik özellikleri gerçek zamanlı olarak izlemek için güçlü bir araç olduğuna karar verilmiştir [4].

Orus ve diğerleri, farklı Küresel İyonosfer Haritalarının performansını analiz edebilmek için, okyanuslar ve denizler üzerinde bağımsız ve kesin (birkaç TECU düzeyinde) düşey TEİ belirlenmesini sağlayan TOPEX ile Küresel Konum Belirleme (GPS) ve Uluslararası Referans İyonosfer (IRI) verilerini birlikte kullanmıştır. Buna göre, küresel görece hata açısından elde edilen doğruluklar, GPS modeline göre %54- " ten, IRI modeline göre yaklaşık %41-" den ve GPS verisine dayalı modellere göre %30-"dan daha az bir oranda değişmektedir. Sonuçlar, CODE tarafından üretilen KİH'lerin, TOPEX ile ilgili bias (gecikme) değerini birkaç TECU-"ya düşürdüğünü ve UPC tarafından üretilen KİH'lerin, eşzamanlı bir jeodezik hesaplama yardımcı olan iyonosferin gerçek zamanlı bir modellenmesini sağlayarak TOPEX 'e kıyasla hatayı % 20'nin altına düşürdüğünü göstermiştir [5].

Feltens ve diğerleri, Avrupa Uzay Ajansı tarafından üretilmekte olan 4 farklı iyonosferik modeli (EDAM, IONMON v2, TOMION ve NTCM) yüksek güneş

aktivitesinin görüldüğü 2002 ve düşük güneş aktivitesinin görüldüğü 2006 yıllarındaki eğik TEİ değerlerinin farklarına bağlı bir modelleme yoluyla karşılaştırmıştır. Buna göre modellerin üçü (EDAM, TOMION ve NTCM), Aralık 2006 için ~1 TECU ve Mayıs 2002 için ~1.5 TECU aralığında eğik TEİ farklarına ait standart sapma sonuçları üretmiştir. Tüm modeller içerisinde en düşük standart sapma değeri 0.99 TECU olarak EDAM'da 2006 yılının Aralık ayında elde edilmiştir. Bununla birlikte, genel olarak en iyi eğik TEİ farkları performansına sahip model, 52 test vakasından 28'inde en düşük standart sapmaya sahip olan TOMION 'dur [6].

Luo ve diğerleri, 5 farklı iyonosfer modelinin performansını orta seviyeli güneş aktivitesinin olduğu 2010-2011 yılları arasında Çin'in düşük ve orta enlem bölgelerinde incelemiştir. Bu modeller Küresel İyonosferik Harita, Uluslararası Referans İyonosfer, Parametrelenmiş İyonosferik Model, Klobuchar ve NeQuick 'dir. Sonuçlar, modellerin düşük enlem bölgesinde orta enlem bölgesine göre daha zayıf bir performans sergilediklerini göstermiştir. Genel olarak, tüm iyonosferik modeller günlük iyonosferik varyasyon eğilimini doğru ve hassas olarak ortaya koyabilmektedir. KİH modelleriyle en iyi uyumu Uluslararası Referans İyonosfer, en düşük uyumu ise NeQuick modeli göstermiştir. Kullanılan modeller içerisinde hem düşük hem de orta enlem bölgesinde en iyi performans Parametrelenmiş İyonosferik Model-'e aittir. Orta enlemde, PIM modelini kullanan günlük tek frekanslı PPP doğruluğu yatayda ~ 10 cm ve düşeyde ~ 20 cm'dir. Düşük enlem bölgelerinde, PIM modelini kullanan PPP hatası kuzeyde 10-20 cm, doğuda 30-40 cm ve yukarı bileşeninde ~ 60 cm'dir. Buna ek olarak tek frekanslı PPP çözümleri, NeQuick modelinin Çin'in hem düşük hem de orta enlem bölgelerinde tüm modeller arasında en düşük doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir [7].

Xiang ve diğerleri, 2003 yılı yüksek solar aktivite ve 2009 yılı düşük solar aktivite dönemini içeren 10 yıllık bir GNSS kaynaklı TEİ verisi kullanarak, Çin ve komşu bölgelerinde dört farklı UGS-IOAM tarafından üretilen KİH'lerin performansını araştırmıştır. Sonuçlar, düşük solar aktivite durumunda orta enlem bölgesinde doğruluk açısından KİH'ler arasında anlamlı bir farklılaşmanın görülmediğini göstermiştir. Buna karşın iyonosferik değişimin baskın olduğu zaman dilimlerinde Katalonya Teknik Üniversitesi tarafından üretilen KİH'lerin performansının diğerlerine görece daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda çalışmada, UPC KİH-'lerin solar maksimumda ve düşük enlem bölgesinde diğerlerine göre tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir [8].

Rovira-Garcia ve diğeri, son güneş çevriminin en yüksek solar aktivitesine sahip 2014 yılının tamamında GNSS sinyallerindeki iyonosfer kaynaklı gecikme düzeltmesini farklı iyonosfer modellerinden elde ettikleri TEİ değerleriyle modellemiştir. Buna göre, GNSS verilerine dayanan ve bir ızgarada (IGS KİH-“ ler veya SBAS) temsil edilen iyonosferik modeller, toplam iyonosferik gecikmenin yaklaşık % 85'ini doğrularken, GPS ve Galileo'nun navigasyon mesajlarında yayınlanan iyonosferik modeller GNSS ölçmelerindeki iyonosfer kaynaklı gecikmenin sadece % 70'ini doğrulayabilmiştir. Buna karşın gAGE tarafından üretilmekte olan KİH 'in gecikmeyi %95 oranında düzelttiği tespit edilmiştir [9].

Luo ve diğeri, güney yarım küredeki okyanuslar üzerinde farklı enlemler boyunca CODE KİH performansını dinamik gözlem verisi ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Doğrulama sonuçları, küresel iyonosferik modelin güney okyanusları üzerindeki doğruluğunun ölçülen iyonosferik TEİ 'den yaklaşık ± 0.6 TECU sapmayla 5 TECU civarında olduğunu göstermiştir [10].

Roma-Dollase ve diğeri, IGS altında KİH üreten kurumların performanslarını karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 7 farklı UGS-IOAM tarafından üretilen KİH'ler kullanılmış ve altimetre uydularında elde edilen düşey TEİ değerleri ile bağımsız GPS istasyonlarının eğik TEİ fark değerleri karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Karşılaştırma 2001- 2016 yılları arasında 1 tam güneş çevrimini içerecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, Katalonya Teknik Üniversitesi tarafından üretilen UQRG modelinin diğer KİH' lere göre karşılaştırılan TEİ verileriyle daha uyumlu olduğunu göstermiştir [11].

Bu tez çalışmasında orta enlem bölgesinde yer alan Türkiye'de düşük ve yüksek güneş aktivitesi altında 7 farklı kurum/kuruluş tarafından üretilen 12 farklı KİH'nin performansları IGS'ye ait ANKR istasyonu GPS_{TEİ} değerleriyle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Anlamlı bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla, ANKR istasyonu konumundaki (39.8875° K, 32.7586° D) KİH_{TEİ} değerleri tüm KİH modellerinde en yakın 4 ızgara noktasından basit 4 noktadan iki değişkenli kestirim yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. TEİ değerleri, 2013 (hareketli) ve 2018 (sakin) yıllarında günlük 2 saat zaman diliminde elde edilmiştir. Bu sayede; Güneş aktivitesinin hareketli ve sakın olduğu yıllarda farklı KİH'lerin Türkiye'deki performansları ANKR istasyonu verileri ile test edilmiştir. Karşılaştırmada GPS_{TEİ} ve KİH_{TEİ} değerlerinin birbirlerine görece farklarını temel alan RMS değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca bias,

mutlak fark (ΔTEI) ve korelasyon değerleri de karşılaştırma amacıyla kullanılan diğer yaklaşımlardır.

Bu amaçla, tezin giriş bۆlümünde konu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar derlenmiş ve tezin amacı aktarılmaya çalışılmıştır.

Birinci bۆlümde, İyonosfer tabakasının yapısı, foto kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan ve İyonosferin ana unsuru olan, elektron oluşum sۆreleri, İyonosfer bۆlgeleri ve bu bۆlgelerdeki elektron yoğunluklarına değinilmiştir.

İkinci bۆlümde, bۆlgesel ve kۆresel bazlı uydu konumlama sistemleri, bu sistemlerde kullanılan sinyaller ve ۆzellikleri, GPS sistemi ve GPS uydularında kullanılan sinyallerin yapısı, ortak nitelikteki hataların giderilmesinde kullanılan doğrusal bileşenlere değinilmiştir.

Üçüncü bۆlümde, GPS ۆlüleri ile İyonosfer modelleme TEI parametresinin belirlenmesi için kullanılan yۆntemler, İstasyon bazlı TEI hesabı, bۆlgesel ve kۆresel modeller, KİH üreten kurum ve kuruluşlar ve KİH üretim yۆntemlerine değinilmiştir.

Dۆrdüncü bۆlümde, Uzay iklim koşulları altında İyonosferdeki değişimler ve etkileri belirleyen, Gۆneř aktivite indisleri ve manyetik aktivite indislerine değinilmiştir.

Beşinci bۆlümde, farklı IGS ortak analiz merkezleri tarafından üretilmekte olan kۆresel İyonosfer haritalarının farklı uzay iklim koşulları altında Tۆrkiye İyonosferindeki performansı, GPS/GNSS İstasyonlarında üretilen GPS_{TEI} verileriyle karşılaştırmak suretiyle değerlendirilmiştir.

IGS'ye bağlı CRAO00UKR, ARUC00ARM, NICO00CYP, DYNG00GRC, ANKR00TUR kodlu GPS/GNSS noktalarında GPS_{TEI} verileri elde edilmiş, yine aynı noktalara ait farklı IGS ortak analiz merkezleri tarafından üretilmekte olan kۆresel İyonosfer haritalardan $KİH_{TEI}$ verileri hem 2013 (Solar aktivite yۆksek) hem de 2018 (Solar aktivite dۆřük) yılları için hesaplanmıştır. Her GPS/GNSS İstasyonu için $KİH_{TEI}$ ve GPS_{TEI} veri setlerinin 2013 ve 2018 yılları için farklarından elde edilmiş ve bu yıllar için ΔTEI grafiği oluşturulmuştur.

Her İstasyon için 2013 ve 2018 yıllarında, ΔTEI farklarının RMS (karekۆk ortalama değerleri toplamı) ve $KİH_{TEI}$ ve GPS_{TEI} verileri korelasyonu uygun matematik model kullanılarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar neticesinde farklı IGS ortak analiz merkezleri tarafından üretilmekte olan küresel iyonosfer haritalarının, farklı uzay iklim koşulları altında Türkiye iyonosferindeki performansı değerlendirilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde ise, tez çalışmasında elde edilen sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir. Tüm uygulamalar MATLAB programlama dili kullanılarak hazırlanan yazılımlar üzerinde geliştirilmiştir.



1. İYONOSFER

İyonosfer, Güneş'ten gelen Ultraviyole (UV) ışınımının, Atmosferdeki atom ve moleküller tarafından soğurulması ile iyonların ve elektronların açığa çıktığı, yaklaşık 50 km – 2.000 km arasında şekillenen doğal bir plazma tabakasıdır.

İyonosferdeki iyonlaşma; konum, güneş aktivitesi, mevsim, gün saati ve yükseklik ile değişim gösterir. Yükseklik arttıkça iyonlaşmada artar bunun nedeni; iyonosfer tabakasında belirli yüksekliklerde belirli atomların hakim olmasıdır. Yerkürenin; Kutup, Orta Enlem, Ekvator bölgelerinde iyonlaşma farklıdır, Güneş'e olan mesafe, gece-gündüz de iyonlaşma sürecini ve elektron miktarını etkileyen unsurlardır [12].

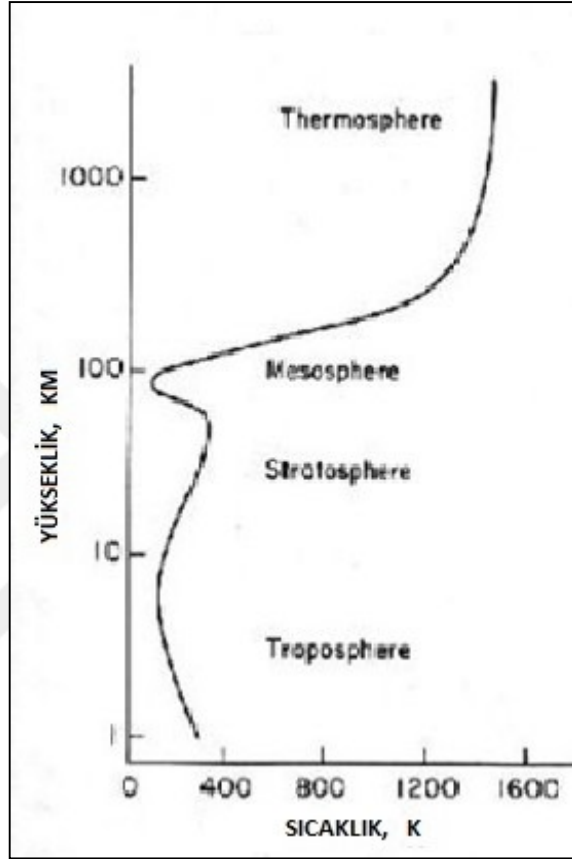
İyonosfer tabakasında iyonizasyon sonucu ortaya çıkan serbest elektronların miktarı, Ultraviyole ışınımının şiddeti, iklim, coğrafik konum, jeomanyetik fırtınalar gibi çok farklı parametreye bağlı olması sebebiyle, İyonosfer modeli oluşturmak oldukça güçtür.

İyonosfer' de heterojen dağılım gösteren elektronların yoğunluğunu tarif eden parametre TEİ' dir (Toplam Elektron İçeriği) ve 1m^2 tabanlı silindir içerisindeki toplam elektron sayısıdır. Birimi TECU'dur. 1 TECU, $10^{16}\text{el}/\text{m}^2$ dir [13, 14].

1.1. İyonosferin Yapısı

İyonosfer tabakası telekomünikasyon açısından çok önemlidir. İyonosfer belirli frekanslara kadar elektro manyetik dalgaları iletmekte, yüksek frekansları ise geçirmektedir, bu sınır değere ise kritik frekans denmektedir. İyonosferin büyük bir kısmı elektriksel olarak tarafsızdır (nötr), fakat Ultraviyole ışınımının etkisiyle iyonlaşma oluşur ve elektron açığa çıkar. İyonlaşma 12.00-14.00 arası maksimum seviyeye ulaşır, gece ise Elektronlar iyonlarla birleşerek, elektron kaybına sebep olur. Kesin tabaka kalınlıkları söylenmemekle birlikte, yaklaşık olarak İyonosferi, D, E ve F olmak üzere üç bölgeye ayırmak mümkündür. Yere en yakın

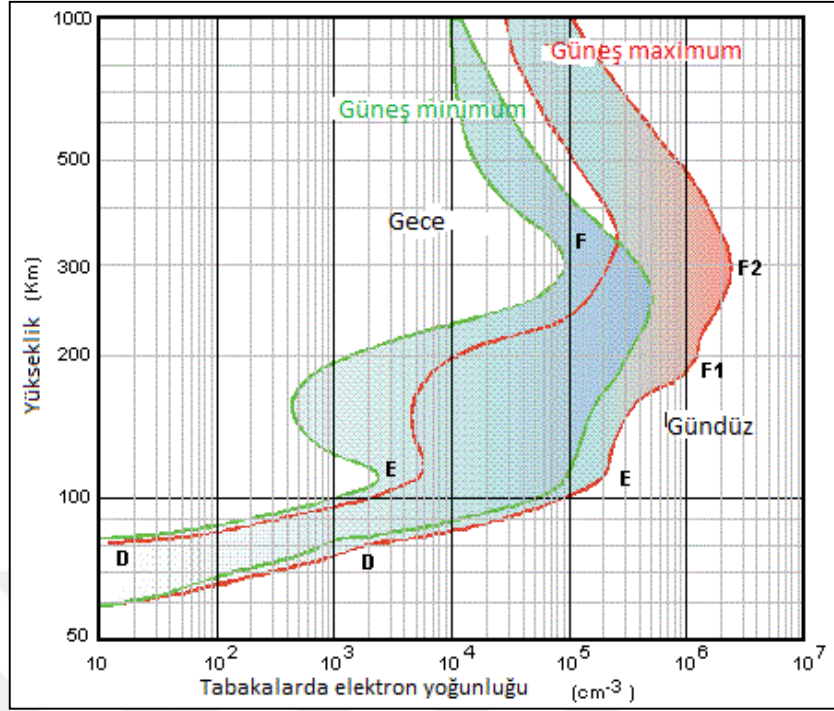
olan D tabakası 60 km – 90 km yüksekliğinde konumlanır. E tabakası 90 km - 150 km yüksekliğindedir ve, F tabakası, E katmanının üst kısmını oluşturur. F tabakasını kendi içinde F₁ ve F₂ olarak iki kısma ayırabiliriz. İyonosfer'in en üst sınırı kesin bir çizgi olmamakla birlikte 1.100 km olarak kabul edilir [15]. Bu bölgelerin yaklaşık yükseklikleri ve sıcaklık değerleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir [16].



Şekil 1.1. İyonosferde sıcaklık değişimi

1.2. İyonosfer Tabakaları

Daha önce de vurgulandığı gibi iyonosfer tabakaları yükseklik değerine göre; D,E,F tabakaları olarak adlandırılır. Bu tabakalardaki elektron yoğunluğu Şekil 1.2' de gösterilmiştir [17].



Şekil 1.2. İyonosfer tabakaları

D- Tabakası, yeryüzüne en yakın tabakadır, gündüz saatlerinde Ultraviyole (UV) ışınlar ile azot monoksit (NO) molekülleri NO^+ iyonuna dönüşerek elektron açığa çıkar, ışımının olmadığı gece ise; elektronlar atomlara ve moleküllere tutunarak negatif iyon oluştururlar böylelikle elektron kaybı oluşur. Gece-Gündüz elektron değişimi aynıdır ve yaklaşık 30 km kalınlığında bir iyonosfer tabakasıdır. E Tabakası, bu bölgedeki elektron yoğunluğu, güneş işlekliliği ve geliş açısına bağlıdır. Güneşin mor ötesi radyasyon salınımı ile iyonizasyon gerçekleşir ve elektron açığa çıkar. açığa çıkan elektron miktarı, mevsim ve günlük değişimlere göre şekillenir. Bu bölgede elektronlar geceleri tamamen kaybolmaz ancak hesap kolaylığı için sıfır kabul edilebilir. O_2 ve N_2 molekülleri, O_2^+ ve NO^+ iyonlarına dönüşerek elektron çıkışı olur. Bazı yüklerin metal atomlarına bağlanması ise bölgenin iyonik olmasını sağlar. Yaklaşık 50 km kalınlığında bir tabakadır [18]. F-Tabakası, yaklaşık 210 km kalınlığında bir tabakadır. İyonizasyon güneşin mor-ötesi ışınmasıyla gerçekleşmektedir. Bu katman; F_1 ve F_2 olmak üzere iki katmanda incelenebilir. GPS (Global Positioning System) sinyalinin gecikmesinin yaklaşık % 10'u F_1 katmanından kaynaklıdır. Yapısı düzenlidir, ortalama 60 km kalınlığındadır. F_2 -Tabakası, GPS ölçülerine en çok etki eden tabakadır, elektron yoğunluğu, mevsime, güneş parlamasına, mesafe ve coğrafi konuma göre farklılık gösterir. Elektron yoğunluğunun en fazla olduğu yükseklik değeri, yaklaşık 350 km'dir. İyonosfer tabakasına ait özellikler Tablo 1.1.' de verilmiştir [19].

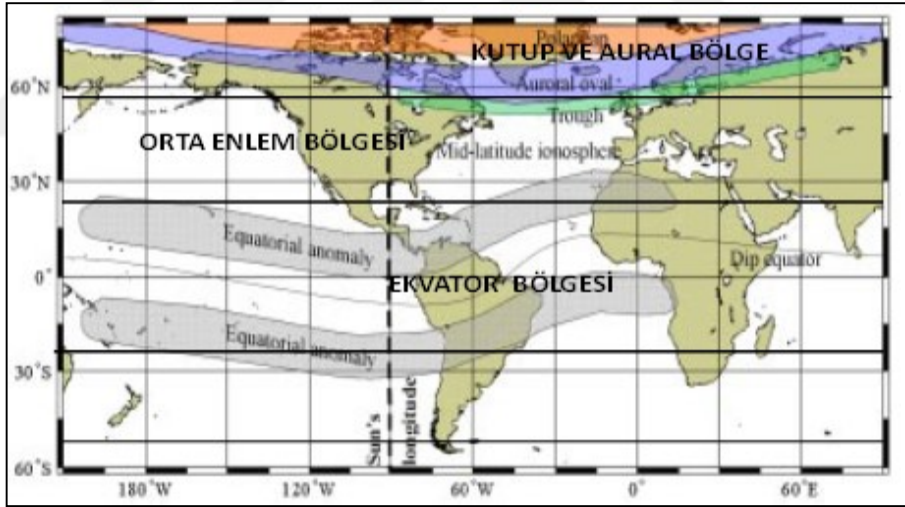
Tablo 1.1. İyonosfer tabakalarında elektron yoğunluğu

Tabakalar	Yükseklik (km)	Elektron Yoğunluğu (1/cm ³)		Nötr gaz yoğunluğu (1/cm ³)
		Gece-Gündüz		
D	60-90	10 ² -10 ⁴	----	10 ¹⁵
E	90-140	10 ⁵	2.10 ³	2.10 ¹²
F1	140-200	3.10 ⁵	10 ³	10 ¹⁰
F2	200-1000	5.10 ⁵	3.10 ³	10 ⁶ -10 ¹⁰

1.3. Coğrafi Enleme Göre İyonosfer bölgeleri

İyonosfer, Şekil 1.3'de görüldüğü gibi; Kutup ve auroral bölge, orta enlem bölgesi, Ekvator bölgesi olmak üzere üç temel bölgede incelenebilir [20].

Yüksek enlem bölgesi, kutup ve auroral bölge olarak da bilinir. Elektron yoğunluğu ekvator bölgesine oranla daha düşüktür, iyonosferik değişimler ise kısa dönemli ve daha fazladır [21, 22].



Şekil 1.3. Coğrafi enleme göre iyonosfer bölgeleri

Uzayda hızlı bir şekilde ilerleyen elektronların, İyonosfer tabakasında yer alan Nitrojen ve Oksijen ile çarpışması sonucu Aurora oluşur. Dünyanın manyetik alanı tarafından kontrol edilen Manyetosfer'den gelen elektronlar enerjilerini Oksijen ve Nitrojen atomları ve moleküllerine aktararak uyarılmalarına sebep olur, uyarılan bu gazlar normal enerji seviyelerine döndüğünde foton salınımı görülür. Yüksek sayıda ve şiddette elektron geldiğinde ise Oksijen ve Nitrojen, gözle görülebilir ölçüde ışık salınımı yaparlar buna Aurora denir. Bu ışınım, yaklaşık 100 km-400 km arasında oluşur, ışımın rengi ise, hangi gazın ne ölçüde uyarıldığıyla ilgilidir. Aurora

genellikle Dünya'nın manyetik kutupları çevresinde 400 km civarında çapa sahip olan bir yüzük Şeklinde görülür. Kuzeyde; Alaska, Kanada, İzlanda, Kuzey İskandinavya ve Rusya hattında bir yol izler. Güneyde ise Antarktika'yı daire içine alır, bu tür değişimler manyetik fırtınanın belirtisidir ve İyonosfer'deki elektron miktarında düzensiz değişimlere neden olurlar [23].

Auroral bölge yaklaşık 55° ile 65° coğrafi enlemleri arasında konumlanır, yaklaşık olarak 5° ile 7° geniŐlięindedir. Auroral bölgenin üzerindeki enlemlerde bulunan kutup bölgesi 50 km-1000 km uzunluğunda ve 250 km- 400 km yükseklikte, yoğun elektron gruplarının oluştuğu bölgedir [24].

Bilimsel araştırma yapan kuruluşların yoğun olduğu ve ülkemizin de konumlandığı Orta enlem bölgesi İyonosfer anlamında en iyi bilinen bölgedir. Bu bölge, güçlü güneş radyasyonuna maruz kalması sebebiyle yüksek İyonlaşmanın olduğu bir bölgedir. Dünya'nın manyetik alanı etkisiyle elektronlar ekvatorial bölgeye kümelenerek elektron yoğunluğunun artmasına sebep olur. Bu bölgede oluşan İyonosferik aktiviteye Ekvatorial anomali denir.

2. GNSS SİSTEMLERİ

Amerika Birleşik Devletleri Ordusu'nun askeri amaçlar için geliştirdiği uydu temelli ilk konum belirleme sistemi 6 uydudan oluşan Transit sistemidir. İyi bir konum doğruluğu elde edebilmek için çok uzun süreli gözlem yapılması gereken bu sistemin yerini zamanla GPS almıştır.

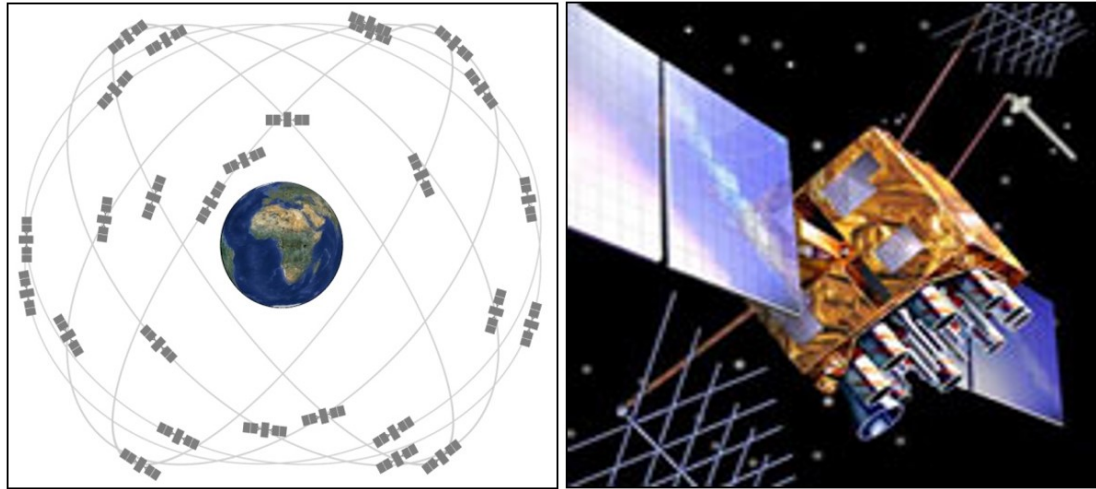
İlk GNSS (Global Navigation Satellite System) sistemi olan GPS 1974 yılında yine Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilmiştir. Yörüngede 24 uydunun bulunduğu ve 1994'de tamamlanan ağ da uydu sayısı 2018 yılında 31' e ulaşmıştır. Askeri amaçlar için geliştirilen bu sistem zamanla sivillerin de kullanımına açılmış olup, bilimsel ve ticari amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde; Rus küresel uydu sistemi olan GLONAS, BEIDOU (Çin), GALILEO (Avrupa Birliği), NAVIC (Hindistan), QZSS (Japonya) gibi bölgesel ve küresel bazlı bir çok uydu sisteminin eklenmesiyle güçlü bir GNSS sisteminin oluşması sağlanmıştır. Bu uydu konumlama sistemleri Tablo 2.1'de detaylı olarak görülmektedir [25, 26].

GPS sistemi; her hava koşulunda, küresel bir koordinat sisteminde, yüksek doğrulukta, askeri ve sivil alanlarda çok yönlü olarak kullanılır. Tarımda verimliliği arttırmak, havayolu, karayolu, deniz taşımacılığında hareket takip sistemi olarak, deniz altı güncel veri elde etmek ve her türlü mühendislik yapılarına altlık oluşturacak haritaları üretmek için kullanılmakta olup klasik ölçme yöntemlerine göre çok avantajlı, ekonomik bir navigasyon sistemidir. Sistem, uzay bölümü, kontrol bölümü, kullanıcı bölümü olmak üzere üç temel bölümden oluşur.

Tablo 2.1. Küresel navigasyon sistemleri

PARAMETRE	GPS	GALILEO	GLONAS	BEIDOU
Ülke	Amerika	Avrupa Birliği	Rusya	Çin
Kapsam	Küresel	Bölgesel	Küresel	Bölgesel
Kodlama	CDMA	CDMA	FDMA	CDMA
Yükseklik	20,180	23,222 km	19,130 km	21,150 km
Periyot(h)	11,97 (h)	14,08 (h)	11,26 (h)	12,63 (h)
Uydular	24 uydu 2018' de 31 uydu	Yörüngede 27 uydu 3 yedek uydu	24 uydu tasarlanmış 24 uydu kullanıma hazır 1 uydu uçuş testinde	Yörüngede 23 uydu (2020'de planlanan 35 uydu)
Frekans	1,563 GHz (L1)- 1,587 GHz (L1) 1,215 GHz (L2)- 1,2396 GHz(L2) 1,164 GHz ((L5)- 1,189 GHz (L5)	1,559 GHz(E1)- 1,592 GHz (E1) 1,164 GHz(E5a/b)- 1,215 GHz(E5a/b) 1,260 GHz(E6)- 1,300 GHz(E6)	1,593 GHz(G1)- 1,610 GHz(G1)- 1,237 GHz(G2)- 1,254 GHz(G2)- 1,189 GHz(G3)- 1,214 GHz(G3)	1,561098 GHz (B1)- 1,589742 GHz (B1-2) 1,20714 GHz (B2) 1,26852 GHz (B3)
Durum	Güncel ve kullanıma hazır	2016'dan beri hazırlanıyor 2020'de tamamlanacak	Güncel ve kullanıma hazır	2018 yılı sonuna temel konumlama hizmeti ve 2020' de tamamlanması
Duyarlılık	15.00 m (diferansiyel GPS olmaksızın)	1.00 m (kullanıma açık) 0.01 m (Sağlanabilen)	4,5 m-7,5 m	10.00 m (kullanıma açık) 0.1 m (Sağlanabilen)

Uzay bölümü, yeryüzünden 20.200 km yükseklikte orta yörüngede kullanıma hazır 24 uydudan oluşur. Saatte 7.000 mil hızla, dairesel yörüngede hareket eden bu uydular günde 2 kez Dünyanın etrafını dönerler. Uyduların yörünge düzlemleri 6 eşit aralıklı olarak konumlanması sayesinde, Yeryüzünün her hangi bir yerinde en az 4 uydudan sinyal alınması sağlanmıştır. Bu dağılım Şekil 2.1'de görülmektedir [27].



Şekil 2.1. GPS uzay bölümü [27]

GPS uydularını tanımlamada, yörüngeye yerleşme sırası, uydu PRN (Peseudo Random Noise) kod numarası, NASA katalog numarası vb. bilgileri kullanabilir, eski ve modern uydular olarak sınıflandırılarak, uydu ve özelliklerini Şekil 2.2'de gösterildiği gibi detaylı bir şekilde görebiliriz [27].

ESKİ UYDULAR		MODERN UYDULAR		
BLOK IIA	IIR BLOK	IIR-M BLOK	IIF BLOĞUNU	GPS III / IIIF
1 operasyon	11 operasyonel	7 operasyon	12 operasyonel	Üretimde
<ul style="list-style-type: none"> Sivil kullanıcılar için L1 frekansında kaba alım (C / A) kodu Askeri kullanıcılar için L1 & L2 frekanslarında kesin P (Y) kodu 7.5 yıllık tasarım ömrü 1990-1997'de başladı Sonuncusu 2016'da hizmet dışı bırakıldı 	<ul style="list-style-type: none"> L1 üzerindeki C / A kodu L1 & L2'deki P (Y) kodu Yerleşik saat izleme 7.5 yıllık tasarım ömrü 1997-2004'de başladı <p><i>AF.MIL ŞİRKETİNDE GPS IIR HAKKINDA DAHA FAZLA BILGI EDININ →</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Tüm eski sinyaller L2 (L2C) üzerindeki 2. sivil sinyal <i>DAHA FAZLA BILGI EDININ →</i> Gelişmiş reçel direnci için yeni askeri M kodu sinyalleri Askeri sinyaller için esnek güç seviyeleri 7.5 yıllık tasarım ömrü 2005-2009'da başladı <p><i>AF.MIL ŞİRKETİNDE GPS IIR-M HAKKINDA DAHA FAZLA BILGI EDININ →</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Tüm Blok IIR-M sinyalleri L5 frekansında 3. sivil sinyal (L5) <i>DAHA FAZLA BILGI EDININ →</i> Gelişmiş atomik saatler Geliştirilmiş doğruluk, sinyal gücü ve kalite 12 yıllık tasarım ömrü 2010-2016'da başladı <p><i>GPS IIF HAKKINDA DAHA FAZLA BILGIYI AF.MIL ADRESİNDEN EDINEBİLİRSİNİZ. →</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Tüm Blok IIF sinyalleri L1'deki 4. sivil sinyal (L1C) <i>DAHA FAZLA BILGI EDININ →</i> Gelişmiş sinyal güvenilirliği, doğruluk ve bütünlük Seçici Uygunluk Yok <i>DAHA FAZLA BILGI EDININ →</i> 15 yıllık tasarım ömrü IIIF: lazer reflektörler; arama ve kurtarma yükü 2018'de ilk lansman <p><i>GPS III HAKKINDA DAHA FAZLA BILGIYI AF.MIL ADRESİNDEN ÖĞRENEBİLİRSİNİZ.</i></p>

Şekil 2.2. Eski ve yeni nesil uydular [27]

GPS uyduları; zaman sinyallerini, diğer uydulara ait konum bilgilerini, kontrol bölümü tarafından yayınlanan bilgileri alır ayrıca yörünge parametrelerine ait bilgileri 2 taşıyıcı frekanstan (L1,L2/L2C) yayınlar (Block IIR-M ve Block IIF uydularında L1/L1C, L2/L2C ve L5) frekanslarında sivil sinyal yayınlar [28].

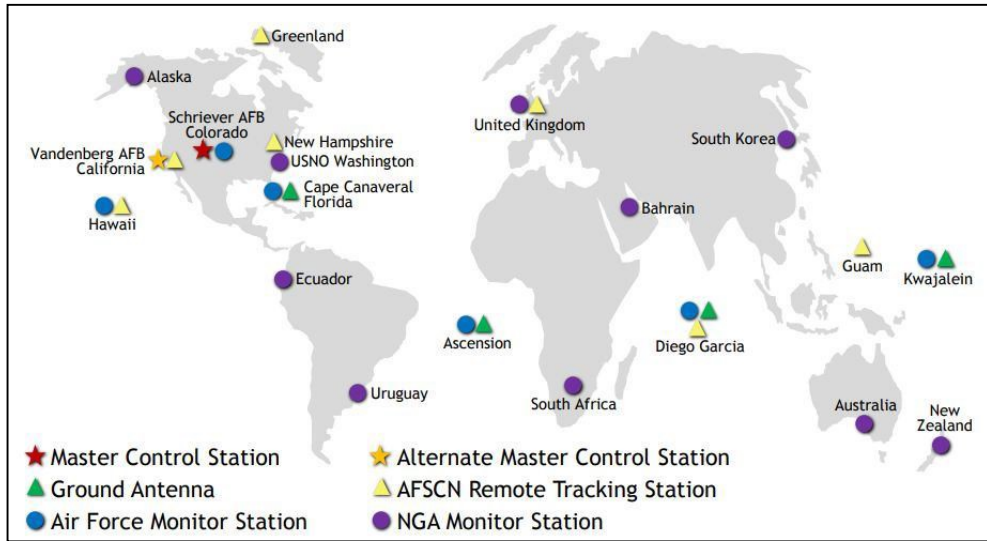
Şekil 2.3'te görüldüğü gibi sistemin uzay bölümü uydulardan oluşmaktadır, tasarım ömrünü tamamlayan uyduların yerini, teknolojileri geliştirilen yeni uydular almakta ve böylelikle sistem yenilenerek, sürdürülebilirliği sağlanmaktadır.

GPS uydularını aralıksız olarak, bir işletim sistemi vasıtasıyla izleyen Kontrol Bölümünün amacı, uyduların sorunlarını sürekli bir şekilde belirleyerek gereken düzenlemeleri yapmak, verileri analiz etmek, uydu yörüngelerini belirlemek, uydu saat düzeltmelerini yapmak ve verilerin uydulara yüklenmesini sağlamaktır.

Bu bölüm, bir ana kontrol istasyonu, bir yedek ana kontrol istasyonu, 11 komuta ve yer anteni Şekil 2.3' te görülmekte, 16 izleme istasyonundan oluşmaktadır. Ana kontrol istasyonu Colorado'da, alternatif ana kontrol istasyonu ise yakınındaki California'da bulunmaktadır. Kontrol bölümünün konumları Şekil 2.4' te gösterilmektedir [27].



Şekil 2.3. GPS sistemi yer anteni [27]



Şekil 2.4. GPS sistemi kontrol bölümü [27]

Kullanıcı bölümü, herhangi bir GPS alıcısı ve anteninden oluşur. Şekil 2.5'de gösterilen bu bölüm L bandında sinyalleri alıp çözümleyerek alıcının konumunu belirleyen bölümdür. [29].



Şekil 2.5. GPS kullanıcı bölümü [29]

2.1. GPS Uydularının Sinyal Yapısı

GPS sistemi ile konum belirleme amaçlı veri transferleri, uyduların yayınladığı, değişik frekanslara sahip elektro-manyetik dalgalar sayesinde olmaktadır. Bu amaç için $f_0=10.23$ MHz temel frekansı olmak üzere, bundan türetilen $L_1=1575,42$ MHz ve $L_2=1227,60$ MHz sinyalleri kullanılmaktadır (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. GPS sinyallerinin bölümleri [30]

Uydu Sinyallerinin Bölümleri	Çarpanlar	Frekans (MHz)	Dalga Boyu (cm)	Hata (m)
Temel Frekans	f_0	10,23		0,3
L_1 Taşıyıcı Dalga	$154f_0$	1575,42	19,05	1,9
L_2 Taşıyıcı Dalga	$120f_0$	1227,60	24,43	2,4
P Kodu (L_1 ve L_2 üzerinde)	f_0	10,23	≈ 2933	0,3
C/A Kodu (L_1 üzerinde)	$f_0/10$	1,023	≈ 29326	3
Navigasyon Verisi	$f_0/204600$	50×10^{-6}		

İyonosferik etkilerin daha az olması sebebiyle veri transferinde (1-2) GHz frekans aralığındaki L bandının kullanımı daha uygundur, yaklaşık (1,7-2,2) GHz aralığındaki S bandı ise kontrol ve uydular arasındaki veri akışında kullanılmaktadır. Güncel olarak bakılırsa; L1 (C/A), L1P(Y), L1M, L2C, L2P(Y), L2M ve L5 olmak üzere toplamda 7 değişik GPS sinyalinin söz edilebilir [28].

Modernizasyon programı kapsamında geliştirilen L1C sivil sinyali, GPS ile diğer GNSS sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak amaçlı tasarlanmıştır, 2020 yılına kadar 24 GPS uydusunda çalışması planlanmaktadır. Ticari amaçlar için tasarlanan L2C sivil sinyali güvenilirliği, geniş menzili ve hızlı sinyal yapısı ile avantaj sağlamaktadır, 2005 yılında GPS blok IIR-M uydusu ile deneysel olarak başlatılan çalışma ilk mesaj yayınını 2014 Nisan ayında yaptı. L5 sivil sinyali daha fazla güç ve bant genişliği ile gelişmiş bir sinyal yapısı özelliğine sahip olmasından dolayı, yüksek performans gerektiren uygulamalar için tasarlanmıştır. L5 sinyali L1C/A ve L2C ile birlikte kullanıldığında sağlam sonuçlar elde edilmekte ve çok uzun menzilli operasyonlar yapılabilmektedir. ABD Hava Kuvvetleri tarafından 2009 yılında GPS IIR-20(M) uydusunda ilk yayını deneysel olarak yapılabilmiş ve 2014 yılında ilk L5 sivil sinyali yayınlanmaya başlanmıştır [27].

Uydu sinyallerinin zamanlanması hassas atom saatleri kullanılır. Uydular alıcının sinyalleri çözmesine yarayan iki adet yapay kod (pseudo-random code) ve navigasyon mesajı yayınlar. Bu kodlar Korunmalı (Protected P code) kod ve Coarse/Acquisition kodudur. (C/A code) C/A kodu sinyale ilk kilitleme için uygunken P kodu hassas konumlama için uygundur [3]. C/A kodu L1 taşıyıcı dalga üzerine modüle edilmiştir, C/A kod periyodunun düşük seçilmesinin amacı, alıcıların uydulara mümkün olan en kısa sürede kilitlemesini sağlamaktır. Her uydunun kendine tahsis edilmiş farklı bir C/A ve PRN kodu vardır. P kodu L1 ve L2 sivil sinyallerin her ikisi için de modüle edilmiştir. P kodunun periyodu uzundur bu sebeple alıcılar tarafından desteksiz olarak alınması zordur. arada geçen zamanı azaltmak amacıyla Z-sayacı tanımlanmıştır. Uyduların sinyal yapıları detaylı olarak Tablo 2.3'te görülebilir.

Tablo 2.3. GPS uyduları temel sinyal özellikleri [28, 31]

Bileşenin Adı	Sinyal	Frekans (MHz)	Dalga Boyu (λ)
Temel Frekans		$F_0=10,23$
L1 Taşıyıcı dalga	C/A	$154 \times F_0=1575,42$	~19,0 cm
	P(Y)		
	L1C		
	M		
L2 Taşıyıcı dalga	P(Y)	$120 \times F_0=1227,60$	~24,4 cm
	L2C		
	M		
L5 Taşıyıcı dalga		$115 \times F_0=1176,45$	
P-Kod		$F_0=10,23$	29,3 m
C/A-Kod		$F_0/10=1,023$	293,0 m
W-Kod		$F_0/20=0,5115$
Navigasyon Mesajı		$F_0/204600=50 \times 10^{-6}$
L5 Taşıyıcı dalga		$F_0 \times 115$

P kodundaki bilgi, sinyalin uydudan gönderiliş zamanını içerir ancak C/A koduna göre 10 kat daha hassastır. L₁ bandı navigasyon verisi ile birlikte C/A ve P kodunu, L₂ bandı ise sadece P kodunu ve navigasyon verisini içermektedir. (Şekil 2.6). Sinyallerin temel işlevi sinyalin alıcıya geliş süresini ölçmektir. Uyduya olan mesafe, sinyalin geliş süresi ile ışık hızının çarpımına eşittir. Sinyal, uydunun yörünge bilgisi, saat bilgisi, genel sistem durum bilgisi ve iyonosferik gecikme bilgisini içerir.

2.2. GPS Ölçüleri

GPS sisteminde kod ve faz ölçüleri olmak üzere iki tür ölçüden söz edilir. Kod ölçüleri navigasyon amaçlı kullanılırken faz ölçüleri yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda kullanılır, buradaki temel amaç uydu ile alıcı arasındaki mesafenin hesaplanabilmesidir, bu hesap kod ölçüleri için sinyalin çıkış zamanı ile alıcıya varış zamanının belirlenmesi şeklinde olurken, faz gözlemlerinde ise uydudan gelen sinyal ile alıcıda üretilen sinyalin fazlarının karşılaştırılması şeklindedir.

2.2.1. Pseudo uzunluk ölçüleri

GPS sinyalinin uydudan çıkış anı ve alıcıya varış anı arasındaki fark, alıcı ve uydunun ürettiği PRN (Pseudorange) kodların karşılaştırılması ile bulunur. Uyduda yayınlanan kodun aynısı alıcıda da üretilir, alıcı içindeki izleme lupu (Code Tracking

loop) alıcıda türetilen PRN kod ile uydudan çıkan PRN kod arasındaki korelasyon maksimum oluncaya kadar alıcıda ki kodu kaydırır ve böylelikle aradan geçen zaman bulunmuş olur. Diğer dış hataların yok olduğu kabul edilirse, zamanın ışığın boşluktaki hızı c ile çarpılması ile mesafe elde edilir [28]. İki farklı frekans için Pseudo uzunluk aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion1,u}^m + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \alpha \quad (2.1)$$

$$P_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion2,u}^m + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \alpha \quad (2.2)$$

formüllerdeki, m uydu numarası, u alıcı numarası, $d_{ion1,u}^m$ ve $d_{ion2,u}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonosfer kaynaklı grup gecikmesi, $d_{trop,u}^m$, troposferden kaynaklanan grup gecikmesi, Δt^m ve Δt_u , uydu ve alıcıların saat hataları, $P_{1,u}^m$ ve $P_{2,u}^m$, f_1 ve f_2 frekanslarına göre yapay uzunluk, ρ_u^m , uydu ile alıcı arasındaki mesafe, ε_1^m ve ε_2^m , f_1 ve f_2 frekanslarına göre uydu yanlılığı, $\varepsilon_{1,u}$ ve $\varepsilon_{2,u}$, f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcı yanlılığı, α ölçümlerden gelen artık hatalardır [12].

2.2.2. Taşıyıcı faz ölçüleri

Faz ölçmelerinde, uydudan alıcıya gönderilen fazın aynısı, alıcıda da üretilmektedir, Faz gözlemi uydudan yayınlanan sinyalin taşıyıcı fazı ile alıcıda üretilen sinyalin fazının karşılaştırması ile yapılır. Alıcı, uydudan gelen sinyalin faz kesrini kaydeder ancak sinyalin kaç tur attığını belirleyemeyiz, uydudan alıcıya gelen sinyalin faz değişimini belirlemek için alıcının kaydettiği faz değerine bir N^m tamsayı değeri eklenir. Faz sayısının (Φ), dalga boyu (λ) ile çarpımı alınan yolu verir. Faz sayısı için kurulacak model,

$$\lambda_1 \Phi_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m + \lambda_1 \Phi_{trop,u}^m + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \lambda_1 N_1^m + \alpha \quad (2.3)$$

$$\lambda_2 \Phi_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m + \lambda_2 \Phi_{trop,u}^m + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \lambda_2 N_2^m + \alpha \quad (2.4)$$

gibidir. Burada, m uydu numarası, u alıcı numarası, $\Phi_{ion1,u}^m$ ve $\Phi_{ion2,u}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonosferden kaynaklanan faz gecikmesi, $\Phi_{trop,u}^m$, troposferden kaynaklanan faz gecikmesi, $\Phi_{1,u}^m$ ve $\Phi_{2,u}^m$, f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcının kaydettiği faz değeri, N_1^m ve N_2^m , f_1 ve f_2 frekanslarına göre m uydusundan alınan işaretteki ilk faz belirsizliğidir [12].

Faz gözlemlerinde, iyonosferden kaynaklı düzeltme eksi işaretlidir, nedeni iyonosferin sinyali hızlandırmasıdır.

2.3. GPS Çözümlerinde Kullanılan Doğrusal Bileşimler

GPS sisteminde gözlemlenen kod ve faz gözlemlerinin lineer kombinasyonlarının oluşturulması, gözlemlerin değerlendirilmesinde fayda sağlamaktadır. Bu farklar; alıcılar, uydular ve frekanslar arasında yapılmaktadır. Alıcı ve uydu saat hataları, faz başlangıç belirsizliği gibi ortak nitelikli hatalar, bu yöntemle giderilebilmektedir. L1 ve L2 frekansları arasındaki doğrusal bileşimler Tablo 2.4'te görülmektedir [32, 33].

2.3.1. İyonosferden bağımsız doğrusal bileşim

İyonosferden bağımsız doğrusal bileşimler için, L3 tanımlanmıştır

$$L_3 = \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2) \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.5)' de uydu ve alıcıyı tanımlayan indisler göz ardı edildiğinde,

$$L_3 = p \cdot \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 \lambda_1 n_1 - f_2^2 \lambda_2 n_2) \quad (2.6)$$

Olur. Buradaki p terimi, uydu ve alıcı arasındaki uzaklığı, troposferik gecikmeyi ve uydu alıcı saat hatalarını içermektedir [32].

Tablo 2.4. Doğrusal bileşimler

Doğrusal Kombinasyon	Açıklama	λ (m)	Doğrusal Kombinasyon Çarpanı	
			$K_{1,1}$	$K_{1,2}$
L ₁	L ₁ orijinal	0,19	1	0
L ₂	L ₂ orijinal	0,24	0	1
L ₃	İyonosferden bağımsız	-	$\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} = 2,5$	$-\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} = -1,5$
L ₄	Geometriden bağımsız	-	1	-1
L ₅	Geniş aralık	0,86	$\frac{f_1}{f_1 - f_2} = 4,5$	$-\frac{f_2}{f_1 - f_2} = -3,5$
L _{nl} (n ₅ ile L ₃)	Dar aralık	0,107	$\frac{f_1}{f_1 + f_2} = 0,56$	$\frac{f_2}{f_1 + f_2} = 0,44$

2.3.2. Geometriden bağımsız doğrusal bileşim

L_1 ve L_2 faz ölçülerinin farkının alınmasıyla geometriden bağımsız L_4 doğrusal bileşim aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [32].

$$L_4 = L_1 - L_2 \quad (2.7)$$

Eşitlik (2.7)'de alıcı saat hataları, yörünge ve istasyon koordinatları gibi geometrik değerlerden bağımsız hale getirilerek,

$$L_4 = \left(\frac{f_1^2}{f_2^2} - 1 \right) I_1 + (\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2) \quad (2.8)$$

doğrusal bileşim elde edilir [14, 32, 60].

Tanımlanan doğrusal bileşim ile iyonosfer kaynaklı gecikmenin, TEİ hesabıyla elde edilmesi sağlanır.

3. GPS ÖLÇÜLERİ İLE İYONOSFER BELİRLEME

İyonosfer, içinde barındırdığı serbest elektronlar sebebiyle 30 MHz'nin altındaki elektromanyetik dalgaları yansıtır, bu kritik frekansın üzerindeki dalgaları ise gecikmeye uğratarak geçirir [14]. Uydularda üretilen L1 ve L2 frekanslı dalgalar İyonosferden geçerken sinyal gecikmesine uğrar ve Mezofosfer, Stratosfer, Troposfer tabakalarından geçerek alıcıya ulaşırlar. Elektromanyetik dalganın ortamdaki yayılımını gösteren kırılma indisi

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.1)$$

eşitliği ile verilir. Burada; n, ortam kırılma indisi, c, ışığın boşluktaki hızı, v, elektromanyetik dalganın ortamdaki hızıdır.

GPS ile gözlemlenen kod ve faz ölçülerinin hızları farklıdır. Faz ölçüleri için sinyal hızı v_p ve kod ölçüleri için sinyal hızı v_g kabul edildiğinde, kırılma indisleri de n_p ve n_g olmaktadır, bu kırılma indislerine göre alt atmosfer (troposfer) için $n_p > 1$, üst atmosfer (iyonosfer, magnetosfer) için $n_p < 1$ ' dir. İyonosferdeki kırılma indisi n frekansa bağlıdır. Kırılma indisine bağlı iyonosferik etki çift frekanslı sinyallerin kombinasyonları kullanılarak giderilebilmektedir [33].

ω açısal frekansta iyonosferik kırılma indisi n,

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \frac{Y_T^2}{2(1-X-iZ)} \pm \sqrt{\left(\frac{Y_T^2}{4(1-X-iZ)} + Y_L^2\right)}} \quad (3.2)$$

biçiminde yazılabilir. Bu eşitlikte,

$$X = \frac{N_e e^2}{\epsilon_0 m_e \omega^2}, \quad Y_L = \frac{e B_L}{m_e \omega}, \quad Y_T = \frac{e B_T}{m_e \omega} \quad \text{ve} \quad Z = \frac{v}{\omega} \quad (3.3)$$

eşitlikleri yazılabilir. Ayrıca N_e elektron yoğunluğu (e/m^3), e elektron yükü ($1,602 \times 10^{-31}$), m_e elektron kütlesini, ϵ_0 serbest uzaydaki dielektrik sabitini ($9,107 \times 10^{-31}$ kg), v elektron çarpışma frekansı, B dünyanın manyetik alanının akı yoğunluğunu

(Tesla), θ gelen dalganın ilerleme yönü ile manyetik alan arasındaki açığı göstermektedir [34].

L1 ve L2 frekansları için terimlerin bir kısmı ihmal edildiğinde kırılma indisi,

$$n=1-\frac{X}{2(1\pm Y_L)} \quad (3.4)$$

olur. Dünyanın manyetik alanının boylamsal etkileri (Y_L) ihmal edilerek düzenlemeler yapılırsa faz ölçüleri için kırılma indisi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$n_p=1-\frac{40.3}{f^2} N_e \quad (3.5)$$

Aynı işlemler kod ölçüleri için yapıldığında kod ölçüleri kırılma indisi,

$$n_g=1+\frac{40.3}{f^2} N_e \quad (3.6)$$

eşitlikleri elde edilir.

Eğer iyonosferin kırılma indisi bilinirse, Bu tabakadan kaynaklanan grup gecikmesi, faz ilerlemesi, Doppler kayması gibi etkiler hesaplanabilir [35]. Yeryüzündeki k alıcısı ve i uydusu arasındaki gerçek uzunluk S için,

$$S=\int_k^i n_p ds \quad (3.7)$$

eşitliği yazılabilir.

Bu GPS gözlemleri için iyonosferik gecikme değeri ise;

$$I_{FK}^i=\frac{\alpha E}{f_F^2} \quad (3.8)$$

Formülüyle bulunur. Bu eşitlikte

E, sinyal yolu boyunca toplam elektron içeriği; $\alpha=4,03 \cdot 10^{17} \text{ m s}^{-2} \text{ TECU}^{-1}$ sabit katsayıdır (F=1,2) [33].

Çift frekanslı alıcılar kullanılarak iyonosferik hata giderilebilmektedir. Tek frekanslı alıcılar için iyonosfer büyük bir hata kaynağıdır. Tek frekanslı alıcılardan elde edilen veriler değerlendirilirken çeşitli modeller kullanılarak bu etki giderilmeye çalışılır [61].

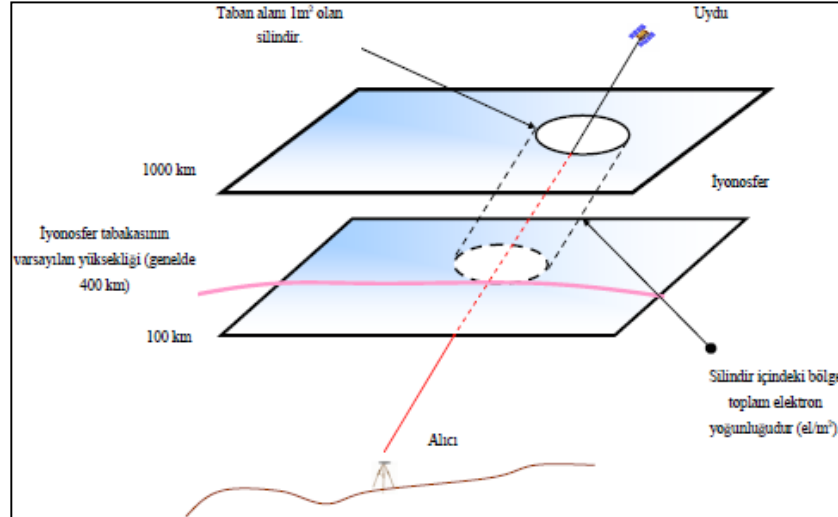
L1 ve L2 taşıyıcı dalgaları için faz gözlemlerinde hızlanma kod gözlemlerinde ise yavaşlama etkisi vardır bir başka deyişle, İyonosferik gecikme kod gözlemlerine “+” ve faz gözlemlerine “-” işaretli olarak eklenir. İyonosferden düşük frekanslı dalgalar, yüksek frekanslı dalgalara göre daha çok etkilenir L1 sinyali frekansı L2 sinyalinden daha yüksek olmasından dolayı, İyonosferden daha az etkilenir [15].

3.1. Toplam Elektron İçeriği Parametresinin Elde Edilmesi

TEİ, İyonosferdeki 1 m² kesitli silindir boyunca toplam elektron miktarıdır, TECU biriminde gösterilir ve 1 TECU = 10¹⁶ el/m² dir.

İyonosferin varlığı, GPS uydularından gelen sinyallerin alıcıya varış zamanını arttırmakta, böylelikle yapay uzunluk değerini de yükseltmektedir. Ayrıca, faz ilerlemesi nedeniyle de taşıyıcı faz ölçüm değerlerini azaltmaktadır. Ölçümlerin doğrusal bileşimleri oluşturularak taşıyıcı faz ve yapay uzunluk ile TEİ hesaplanabilmektedir [13].

Alıcı ile uydu arasındaki eğik hat boyunca hesaplanan toplam serbest elektron miktarı STEC (Slant Total Electron Content), alıcının yerel zeniti doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarı VTEC'dir (Vertical Total Electron Content).



Şekil 3.1. Toplam elektron içeriğinin grafiksel gösterimi [36]

Çift frekanslı elektromanyetik dalgalar ile kod ve faz gözlemleri yapılabilmektedir. Yapay uzunluk, faz ölçümleri ve ikisinin bileşiminden oluşan karma yöntemler kullanılarak üç farklı şekilde TEİ değeri hesaplanabilir. Yapay uzunluk verileri kullanılarak yaklaşık 1-5 TECU doğruluğunda TEİ değeri hesaplanabilmektedir, faz

verileri kullanılarak hesaplanan TEİ değerinin doğruluğu daha yüksektir ancak yöntemin en büyük dezavantajı tam sayı faz belirsizliğinin tam olarak giderilmesindeki zorunluluktur. TEİ elde edilmesinde bir diğer yöntem ise kod ölçülerinin faz ölçüleri ile yumuşatılarak, yumuşatılmış kod ölçüleri yardımıyla TEİ elde edilmesidir. TEİ hesabında karma yöntem, doğruluk açısından en avantajlı yöntem olmamasına rağmen kullanım pratikliği açısından tercih edilmektedir [37].

TEİ değerinin belirlenmesi için kod denklemleri şu şekilde yazılabilir;

$$P_{1,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) + d_{trop,a}^u + d_{ion1,a}^u + d_1^u + d_{1,a} + \varepsilon_{1,a}^u \quad (3.9)$$

$$P_{2,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) + d_{trop,a}^u + d_{ion2,a}^u + d_2^u + d_{2,a} + \varepsilon_{2,a}^u \quad (3.10)$$

$P_{1,a}^u, P_{2,a}^u$; yapay uzunluk, ρ_a^u ; uydu ve alıcı arasındaki gerçek uzunluk, $d_{trop,a}^u, d_{ion1,2,a}^u$; troposfer ve iyonosfer hataları, $d_{1,2}^u, d_{1,2,a}$; uydu ve alıcı kod gecikmesi ve $\varepsilon_{1,a}^u$ artık hatalardır. Yapay uzunluk ölçülerine geometriden bağımsız doğrusal bileşen (L_4) uygulanırsa troposferik hata, uydu- alıcı arası gerçek uzunluk ve saat hataları giderilir ve denklem aşağıdaki şekli alır.

$$P_{4,a}^u = P_{1,a}^u - P_{2,a}^u = d_{ion1,a}^u - d_{ion2,a}^u + DCB^u + DCB_a \quad (3.11)$$

TEİ değerinin belirlenmesi için faz denklemleri ise; şu şekilde yazılabilir;

$$L_{1,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) - d_{ion1,a}^u + d_{trop1,a}^u - \lambda(b_{1,a}^u + N_{1,a}^u) \quad (3.12)$$

$$L_{2,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) - d_{ion2,a}^u + d_{trop2,a}^u - \lambda(b_{2,a}^u + N_{2,a}^u) \quad (3.13)$$

$b_{1,2,a}^u$; Uydu ve alıcı faz donanım ilerlemesidir.

$N_{1,2,a}^u$; Tamsayı faz belirsizliğidir.

Faz gözlemleri için geometriden bağımsız doğrusal bileşenler (L_4) uygulandığında;

$$L_{4,a}^u = -(d_{ion1,a}^u - d_{ion2,a}^u) - \lambda(b_{1,a}^u - b_{2,a}^u) - \lambda(N_{1,a}^u + N_{2,a}^u) \quad (3.14)$$

ΔN_m için aşağıdaki denklem yazıldığında,

$$\Delta N_m = \lambda_1 N_1^u - \lambda_2 N_2^u \quad (3.15)$$

Uydudan gönderilen sinyal, iyonosfer' de kod gözlemlerinin (+) , faz gözlemlerinin (-) olarak zıt yönlü etkilenmesi sebebiyle;

$$d_{ion,a}^u \sim A \frac{STEC_a^u}{f^2} \quad (3.16)$$

Olarak yazılır

Bu eşitlikte $A=40.3 \text{ m}^3/\text{sn}^2$ ve

$STEC_a^u$; uydu ve alıcı arasında eğik hat boyunca toplam elektron miktarıdır.

Kod ve faz gözlemleri için denklem aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$P_{4,a}^u = A \left(\frac{f_2^2 - f_1^2}{f_1^2 f_2^2} \right) STEC_a^u + (DCB^u + DCB_a) \quad (3.17)$$

(3.17) denkleminde, $STEC_a^u$ yalnız bırakılırsa, denklem aşağıdaki gibi olur;

$$STEC_a^u = - \frac{f_1^2 f_2^2}{40.3(f_2^2 - f_1^2)} P_{4,a}^u - c(DCB^u + DCB_a) \quad (3.18)$$

Eşitlik (3.18)'de elde edilen STEC değerleri iyonosfer haritalarına veri olması için düşey STEC bileşeninin hesaplanması gerekir.

STEC değerinden yola çıkarak bir fonksiyon yardımı ile VTEC değeri hesaplanabilir [38].

$$VTEC_n^m(n) = \frac{STEC_u^m(n)}{M(\epsilon_m(n))} \quad (3.19)$$

$$M(\epsilon_m(n)) = \left[1 - \left(\frac{R \cos \epsilon_m(n)}{R+h} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (3.20)$$

Eşitlikteki ϵ ; uydu yükselme açısı

n ; Ölçüm anı

$R=6.378.137 \text{ m}$ (Dünya'nın yarıçapı)

$h \sim (300-450 \text{ km})$; Serbest elektron yoğunluğu en fazla olduğu yüksekliktir.

3.2. İyonosfer Etkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Modeller

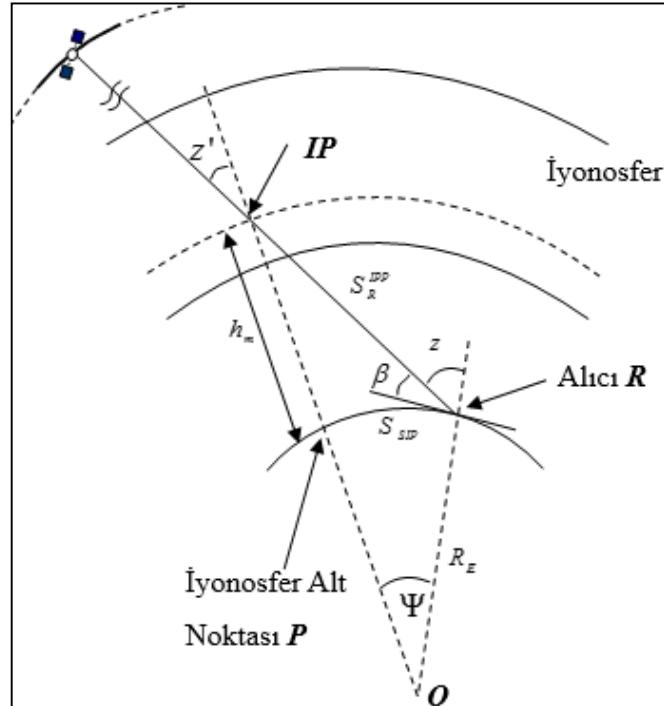
İyonosferi en iyi tanımlayan parametre olan TEİ'nin hesaplanması için yararlanılan GNSS sistemleri, düşük maliyet, yüksek doğruluk, süreklilik ve gerçek zamanlı veri elde edebilme avantajları ile kullanılmaktadır. Bu sistemlerle elde edilen eğik toplam elektron içeriği (ETİ), alıcı ve uydu arasında eğik yol boyunca hesaplanan değerdir. İstasyon noktasına ait TEİ değerini daha anlamlı tanımlayabilmek ve elde edilen TEİ değerlerini bir haritaya aktarabilmek için, düşey toplam elektron içeriği (DETİ) gerekmektedir. Bu amaca dönük olarak; uydu ve alıcı arasındaki yol boyunca, serbest elektronların, sonsuz incelikteki tek bir tabakaya yoğunlaştığı Tek Tabaka Modeli ve geometrik bir fonksiyon kullanılarak düşey toplam elektron içeriği (DETİ) hesaplanabilmektedir (Şekil 3.2).

$$F_1(z) = \frac{E}{E_v} = \frac{1}{\cos z} \quad (3.21)$$

$$\sin z' = \frac{R_E}{R_E + h_m} \sin z \quad (3.22)$$

$$I_{Fk}^i = \frac{\alpha E}{f_F^2} \quad (3.23)$$

Burada, E, eğik elektron yoğunluğu, E_v , düşey elektron yoğunluğu, z' , sinyalin iyonosfere giriş açısı, z ; alıcı başucu eksenini ile sinyal yolu arasındaki açı, R_E , yeryuvarının ortalama yarıçapıdır.



Şekil 3.2. Tek tabaka modeli [39]

Elde edilen DTEİ değerlerinin farklı şekillerde modellenmesiyle; istasyon temelli TEİ modeli, bölgesel ve küresel modellerden söz edilebilir.

3.2.1. İstasyon temelli TEİ modeli

TEİ değeri, farklı uydulardan, farklı yükselme açıları ile toplanır. Bu değerler ionosferin farklı yerlerinden elde edilmektedir. ETİ değerlerini analiz edip bir ionosfer modeli tanımlamak için, elektron miktarı açısından ağırlıklı bir yükseklik ile DTEİ değerlerine dönüştürülmesi zorunludur. Bu amaçla; uydu ve alıcı arasında dünyadan yaklaşık 300 - 450 km bir yükseklikte yatayda elektron miktarı göz ardı edilerek ve sonsuz incelikte bir tabaka olduğu kabul edilerek tek tabaka modeli tanımlanmıştır [37].

İstasyon temelli TEİ hesabı; kod gözlemleri, faz gözlemleri ve her iki gözlemin birleşimi için yapılabilir. TEİ parametresinin hesabında, L1 ve L2 sinyallerinin geometriden bağımsız doğrusal bileşimi L4 (L1-L2) kullanılmaktadır [40].

Kod gözlemleri için P4 şu şekilde yazılabilmektedir;

$$P4 = P1 - P2 = \beta ETEİ + c(\Delta b^k - \Delta b_i) \quad (3.24)$$

Faz gözlemleri için L4 şu şekilde yazılabilir;

$$L4 = L1 - L2 = -\beta ETEİ + \lambda_1 B_{1,i}^k - \lambda_2 B_{2,i}^k \quad (3.25)$$

Kod+Faz gözlemleri için L4 şu şekilde yazılır;

$$L4 = L4 + \langle L_{4,arc} + P4 \rangle_{arc} = \beta ETEİ + b_4^k + b_{4,i} + B_4 \quad (3.26)$$

$$B_4 = \lambda_1 \delta N_1 - \lambda_2 \delta N_2 \quad (3.27)$$

$$\beta = 40.3 \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) \quad (3.28)$$

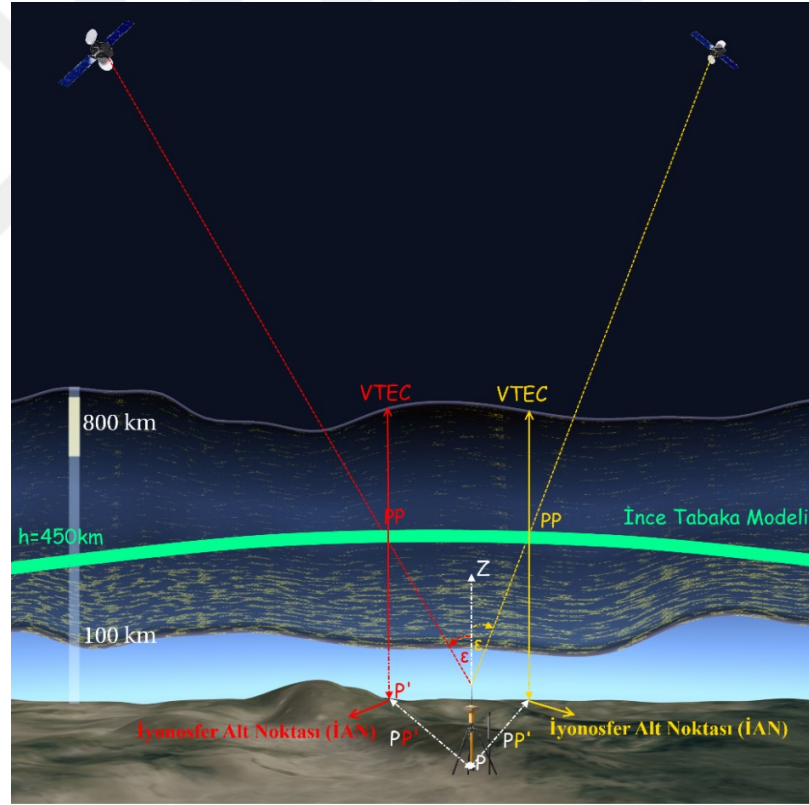
Uydu yükselme açısı ε olmak üzere;

$$DTEİ = ETEİ \sqrt{1 - \left(\sin \varepsilon \frac{R_E}{R_E + h_m} \right)^2} \quad (3.29)$$

Yukarıdaki eşitliklere dayanarak ETEİ (Eğik Toplam Elektron İçeriği) değerleri istasyon temelli model ile DTEİ (Düşey Toplam Elektron İçeriği) değerlerine dönüştürülür.

DTEİ, her hangi bir zamanda, GNSS istasyonunda, sinyal alınan her uydu için hesaplanır. Bu değer alıcıya gelen sinyalin iyonosferi kestiği noktanın, yeryüzündeki izdüşümüne rastlayan elektron yoğunluğudur. Alıcının düşeyindeki TEİ değerinin hesabı için; birden fazla ölçü olduğundan, bir ağırlık fonksiyonu kullanılıp, yüzey kestirimi ile TEİ değeri hesaplanır. Ağırlık fonksiyonu için uydu yükselme açıları kullanılabilir ancak çok düşük uydu yükselme açısına sahip uydulardan elde edilen değerler, ihmal edilmelidir [40].

$$TEİ = \frac{\sum w(\varepsilon)DTEİ}{w(\varepsilon)} \quad (3.30)$$



Şekil 3.3. İstasyon temelli TEİ modeli [34]

3.2.2. Bölgesel iyonosfer modeli

Küresel iyonosfer haritalarında, TEC değerleri için oluşturulan kareyaj aralıklarının çok geniş olması sebebiyle, yerin küreselliği ihmal edilerek düzlemde, değişik enterpolasyon teknikleri kullanılarak oluşturulan bölgesel bir modeldir.

Bu iyonosfer modelinde $E_v(\beta, s)$ düşey elektron yoğunluğu bileşeni Taylor serisine açılırsa;

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^{m_{\max}} E_{nm} (\beta - \beta_0)^n (s - s_0)^m \quad (3.31)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikteki parametreler aşağıdaki gibidir;

n_{\max} ve m_{\max} ; enlem ve boylama göre iki boyutlu Taylor serisinin en büyük derecesi.

E_{nm} ; Taylor serisi bilinmeyenleri.

(β_0, s_0) ; bölgeyi ortalama olarak temsil eden, Taylor açılım merkezinin koordinatları;

(β, s) ; TEİ değeri hesaplanmak istenen, iyonosfer geçiş noktasının enlem ve boylam değerleridir [19].

3.2.2. Küresel iyonosfer modeli

Küresel anlamda bir iyonosfer haritasının oluşturulması düşünüldüğünde, Taylor açılımının yetersiz olacağı görülmektedir. Bu sebeple, GNSS istasyonlarından elde edilen DTEİ bileşeninin küresel harmonik seriye açılması uygun bir yöntem olarak gözlemlenmektedir [41]. Seriyeye açılmış denklem aşağıdaki gibidir;

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm} (\sin \beta) (\tilde{C}_{nm} \cos(ms) + \tilde{S}_{nm} \sin(ms)) \quad (3.32)$$

(3.32) Eşitliğindeki parametreler aşağıdaki gibidir;

$E_v(\beta, s)$: Düşey Toplam Elektron miktarı

B : Coğrafi enlem

$s = \lambda - \lambda_0$: İyonosfer geçiş noktasının güneş sabit boylamı

λ_0 : Güneşin boylamı

λ : İyonosfer geçiş noktasının boylamı

n_{\max} : Küresel açılımın en büyük değeri

$\tilde{P}_{nm} = N_{nm} P_{nm}$: Legendre fonksiyonu

N_{nm} : Normlandırma fonksiyonu

P_{nm} : Normlandırılmış Legendre fonksyonu

\tilde{C}_{nm} ve \tilde{S}_{nm} : Küresel harmonik açılımın bilinmeyen katsayılarıdır [40].

Dünyada Global iyonosfer haritaları (GIM) üreten uluslararası kurumlar aşağıda yazılmıştır;

CAS : Çin Bilimler Akademisi

IGS : Uluslar arası GNSS servisi

WHU :Wuhan Üniversitesi

CODE : Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi, Bern, İsviçre,

DLR : Fernerkundungsstation Neustrelitz, Almanya, 34

ESA/ESOC : Avrupa Uzay Operasyon Merkezi, Darmstadt, Almanya,

JPL : Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, ABD,

NOAA : Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, Silver Spring, U.S.A.,

NRCan : Doğal Kaynaklar, Ottawa, Ontario, Kanada,

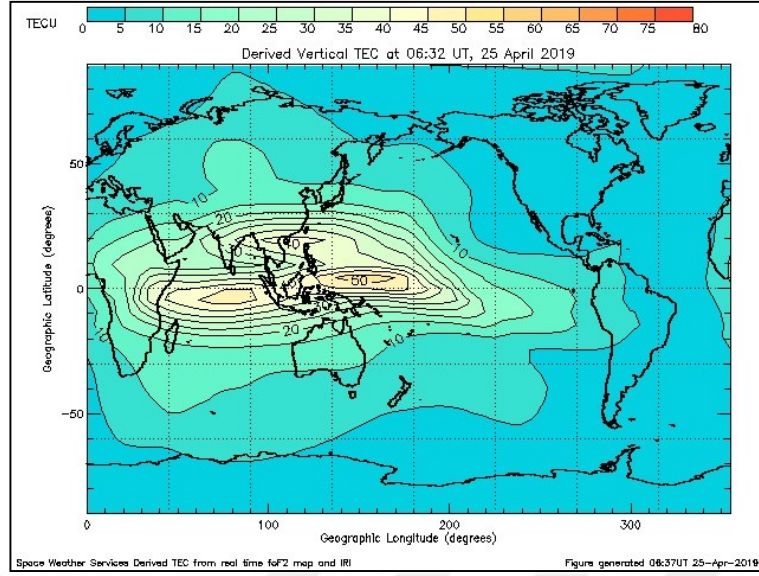
ROB : Belçika Kraliyet Gözlemevi, Brüksel, Belçika,

UNB : New Brunswick Üniversitesi, Fredericton, N.B., Kanada,

UPC : Katalonya Politeknik Üniversitesi, Barselona, İspanya,

WUT : Varşova Teknoloji Üniversitesi, Varşova, Polonya.

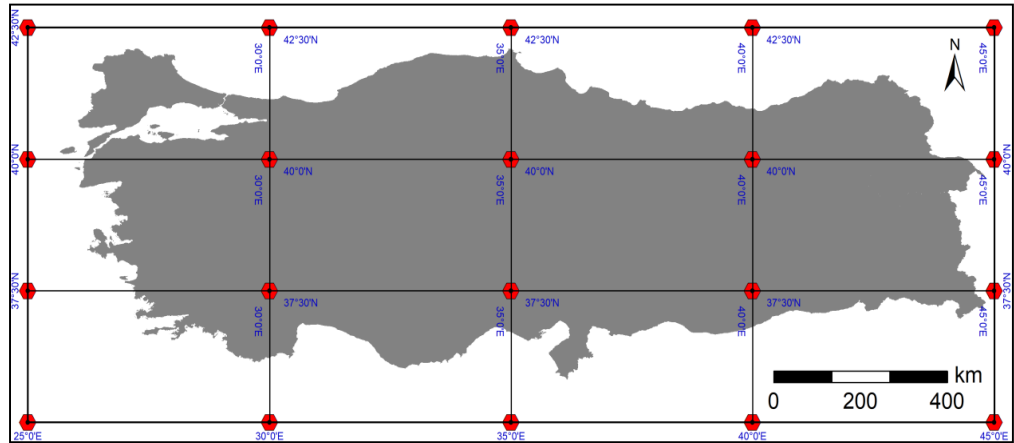
Aşağıda küresel iyonosfer model ile üretilmiş, 25 Nisan 2019 tarihli güncel TEC haritası görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Küresel iyonosfer model (25 Nisan 2019) [42]

KIH haritaları IONEX (IONosphere map EXchange) formatı ile yayınlanır. Bu haritalar UTC zamanında 2 saatlik aralıklarla üretilir. Harita için açılan her bir kare, enlemde 2.5°, boylamda ise 5°'lik artışlar ile oluşturulur. Türkiye'yi kapsayan Küresel İyonosfer Haritası Şekil 3.5'te görülmektedir. Her kare için doğruluğu yaklaşık 2-8 TECU civarındadır.

Yukarıda söz edilen IGS ortak analiz merkezleri final, hızlı, tahmini olarak 3 farklı şekilde IONEX dosyası yayınlar. Hızlı IONEX dosyası 24 saat aralığında gün sonu, final IONEX dosyası 1-2 hafta sonrasında yayınlanır. Tahmini dosya ise enterpolasyon teknikleri kullanılarak 1 ve 2 günlük tahminleri içerir şekilde yayınlanır [19]. Aşağıda analiz merkezlerinin yayınladığı kod ve özellikleri tablo (3.1)'de görülebilir.



Şekil 3.5. Türkiye'de ki CODE-KİH izgara noktaları

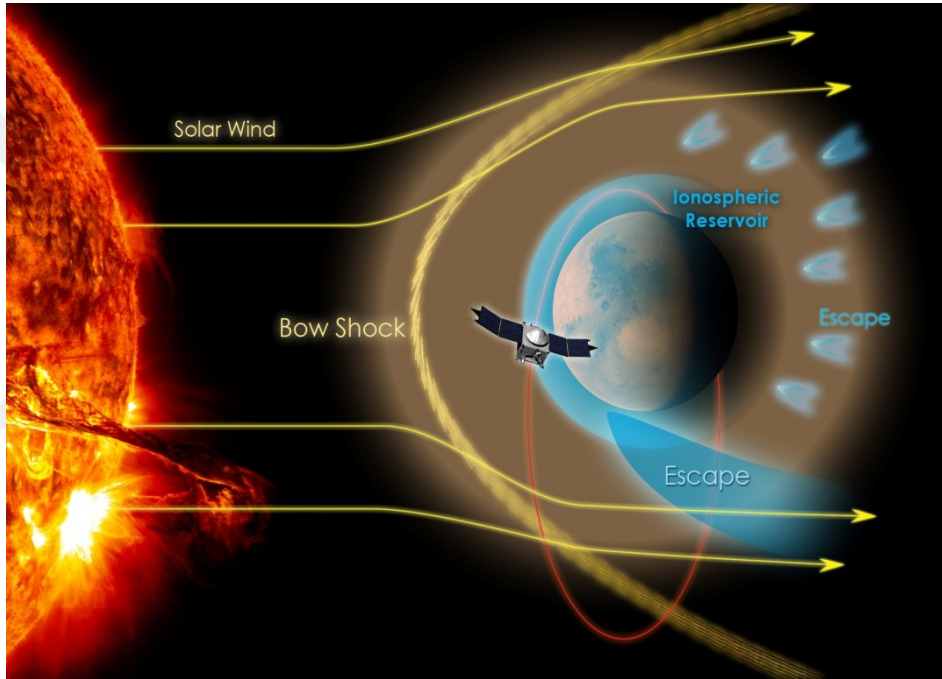
Tablo 3.1. IGS analiz merkezi kod ve özelliği [43]

KODU	ÖZELLİĞİ	KODU	ÖZELLİĞİ
car	Hızlı (CAS)	i2p	2-gün tahmin edilen (IGS kombine)
cas	Final (CAS)	igr	Hızlı (IGS kombine)
c1p	1-gün tahmin edilen (CODE)	igs	Final (IGS kombine)
c2p	2-gün tahmin edilen (CODE)	jpl	Final (JPL)
cod	Final (CODE)	jpr	Hızlı (JPL)
cor	Hızlı (CODE)	u2p	2-gün tahmin edilen (UPC)
e1p	1-gün tahmin edilen (ESA)	upc	Final (UPC)
e2p	2-gün tahmin edilen (ESA)	uhr	1 saat zaman aralıklı Hızlı (UPC)
ehr	1 saat zaman aralıklı Hızlı (ESA)	upr	Hızlı (UPC)
esa	Final (ESA)	uqr	15 dakika zaman aralıklı Hızlı (UPC)
esr	Hızlı (ESA)	whr	Hızlı (WHU)
emr	Hızlı (NRCan)	whu	Final (WHU)
ilp	1-gün tahmin edilen (IGS kombine)		

Analiz merkezleri tarafından üretilen küresel iyonosfer haritalarda farklı üretim yöntemleri kullanılmaktadır; küresel harmonik ve üçgen serileri, ağırlıklı ortalama, üç kabuk modeli, Spline ile tomografik, küresel harmonik ve değişken kısıtlı en küçük kareler, $\text{std}(d\text{TEC}/dt)$ gibi yöntemler örnek olarak verilebilir..

4. UZAY İKLİM KOŞULLARI VE İYONOSFERE ETKİSİ

İyonosfer’de meydana gelen değişimlerin birçok nedene bağlı olduğu bilinmekle birlikte uzay iklim koşullarının dâhil olduğu güneşsel ve manyetik aktiviteler etki gücü bakımından öne çıkmaktadır. Bu etkilenmeleri ve değişimleri belirleyebilmek için, onları ortaya koyan indislerin iyi açıklanması gerekir. Genel olarak Güneş kaynaklı iyonosfere etkiler Şekil 4.1’de görülmektedir.

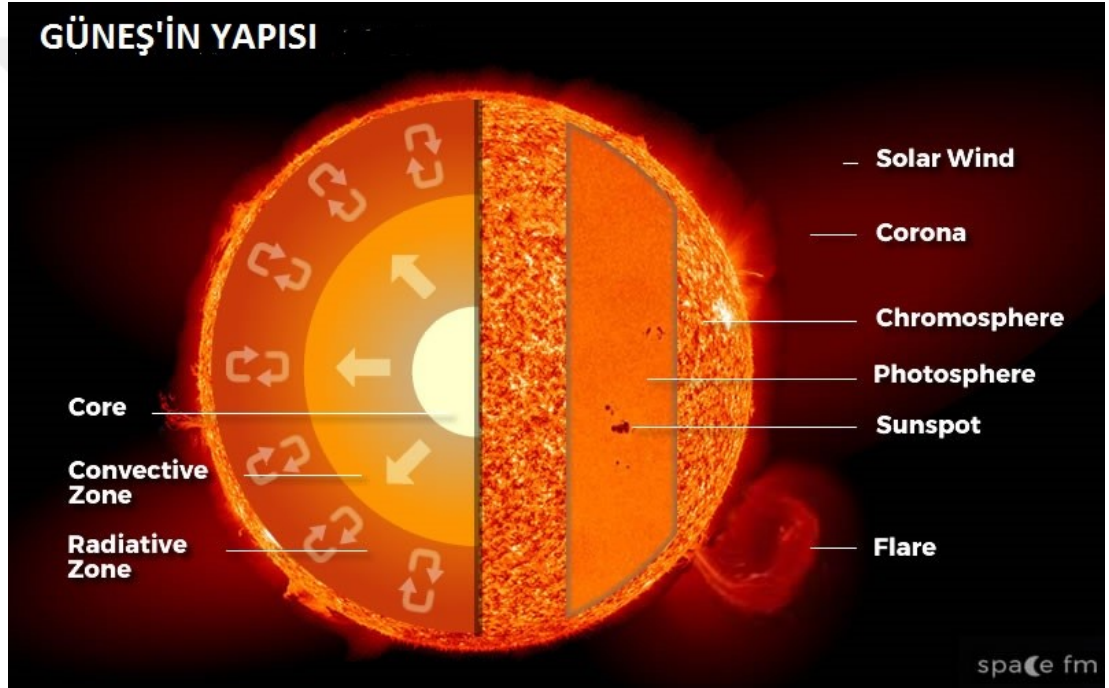


Şekil 4.1. Uzay iklim koşulları [44]

4.1. Güneş Aktivite İndisleri

İyonosfer’de meydana gelen iyonizasyonun temel kaynağı yaklaşık 5 milyar yaşındaki Güneş’tir. Güneş’te oluşan yüksek enerjinin sebebi çekirdekteki nükleer füzyon ile hidrojenin helyuma dönüşmesidir. Uzay iklim koşullarında belirleyici etkiye sahip olan Güneş’in yapısının bilinmesi gerekir. Bu yapı Şekil 4.2’de detaylı olarak görülmektedir. Güneş’in yapısı, çekirdekten dışa doğru; çekirdek (Core), Convective ve Radiative alan olmak üzere 3 kısımdan oluşur, Güneş atmosferi ise;

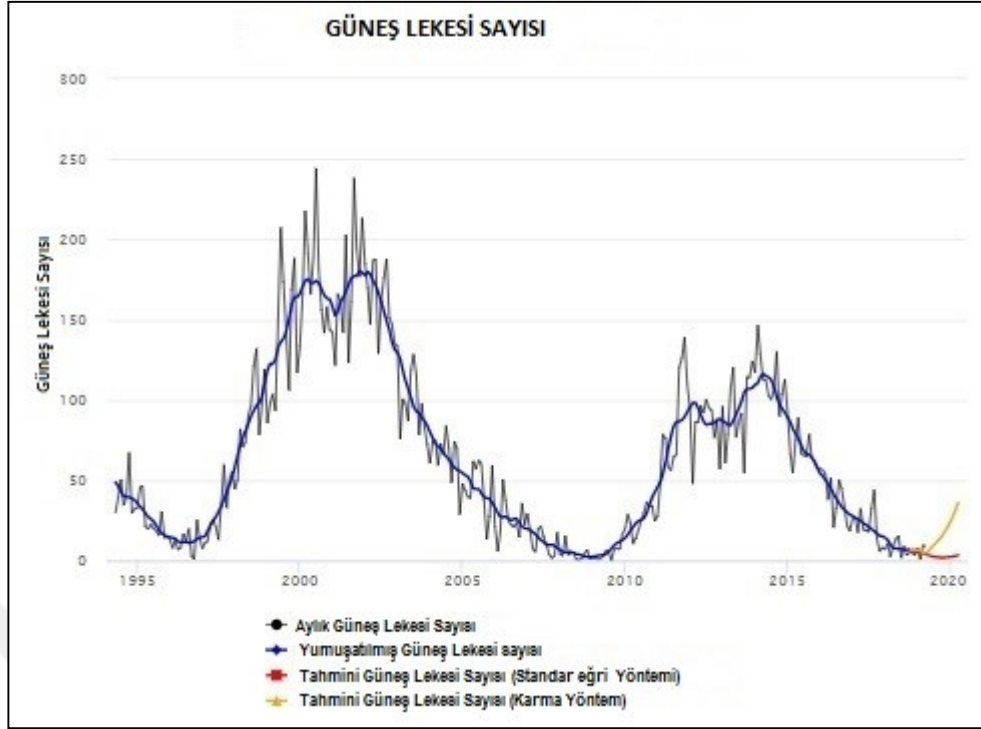
güneş rüzgarı (solar wind), taç küre (corona), renk küre (chromosphere), ışık küre (photosphere) ve güneş lekesi (Sun Spote) bölümlerinden oluşur. Işık küre, güneş'in sarı renkli görülen kısmı olan ve güneş lekelerinin de bulunduğu, kalınlığı 500-700 km arası değişen tabakadır. Bu tabakada yüzey yarıçapları 700-1.100 km arasında olan ve birkaç dakikada oluşup sonlanan konveksiyon hücreleri bulunur. Güneşin göreli olarak en soğuk katmanıdır ve tabaka sıcaklığı yaklaşık 5.778°K ' dir. Renk küre, ışık Kürenin üzerinde yer alan, güneş tutulması anında gözlemlenebilen ve kalınlığı 2.000-2.500 km arası olan katmandır ve tabaka sıcaklığı yaklaşık 20.000°K ' dir. Taç küre, renk kürenin üzerinde bulunan güneş atmosferinin en dış tabakasıdır ve tabaka sıcaklığı yaklaşık $1.000.000^{\circ}\text{K}$ ' dir [18].



Şekil 4.2. Güneşin yapısı [45]

4.1.1. Güneş lekesi sayısı (R)

İlk kez, 1848 yılında Rudolph Wolf tarafından ortaya konan, güneş lekesi sayısı indisi, güneş döngülerini sayısal olarak tanımlamak için kullanılır. Wolf sayısı da denen bu indis $R = k (f+10g)$ formülüyle hesaplanır. Burada f, gözlemlenen toplam leke sayısı, g, deformasyona uğramış bölge sayısı, k, gözlem yapılan alet için duyarlılık ifade eden katsayıyı tanımlamaktadır. Yaklaşık olarak güneş ekvatorial bölgede oluşan bu lekelerin % 90' lık kısmı hemen hemen 2 gün süreyle oluşur ve yok olur, sadece % 10' luk kısmı 11 günden daha fazla sürer [46]. 1995-2020 yılları arasında kaydedilen, güneş lekeleri grafiği Şekil 4.3'te gösterilmektedir..



Şekil 4.3. Güneş lekesi sayısı [47]

4.1.2. Güneş radyo akısı ($F_{10.7}$)

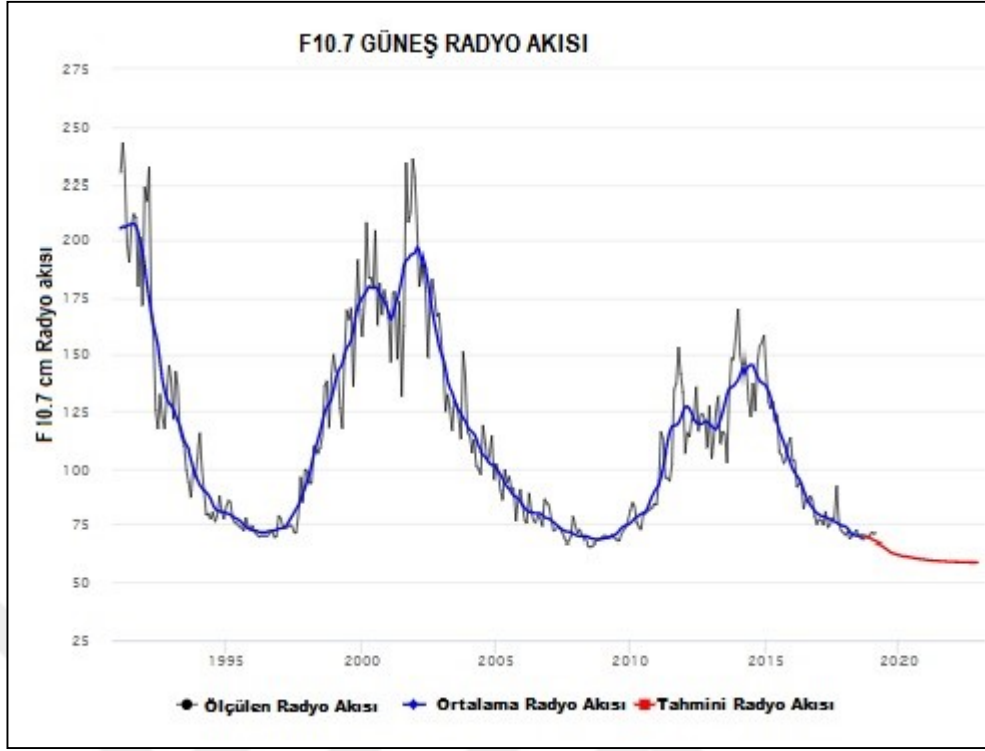
Güneş radyo akısı indisi, temel olarak UV ve X-ışınlarının miktarının belirlenmesinde kullanılır. Bu indis Dominion Radyo Astrofizik Gözlemevi (DRAO) Pentiction Kanada'da bulunan üç adet teleskop ile ölçülmektedir. Güneş akısı araştırmalarında 'ölçülen' ve 'kestirilen' olmak üzere iki farklı veri kullanılır. Ölçülen veri; teleskop ile direkt alınır, diğer veri ise; Dünya-Güneş arasındaki mesafe modele eklenerek kestirilir [18].

Güneş lekeli sayısı indisi ile güneş radyo akısı indisi arasında bir ilişki söz konusudur. Bu iki indis arasındaki dönüşüm aşağıdaki şekilde yapılır [46].

$$F_{10.7} = 67 + 0,572R + (0,0575R)^2 - (0,0209R)^3 \quad (4.1)$$

$$R = 1,61(F_{10.7} - 67) - (0,0733[F_{10.7} - 67])^2 + (0,0240[F_{10.7} - 67])^3 \quad (4.2)$$

Güneş aktivite indislerinin ani değişimleri iyonosferdeki değişim için belirli sınır değerlerde olmasından daha anlamlıdır. $F_{10.7}$ indisinin 70 değerinin altında olması aktivitenin sakin olduğu anlamına gelir [46]. 1995-2020 yılları arasında kaydedilen, $F_{10.7}$ radyo akısı indisi grafiği Şekil 4.4' te sunulmaktadır.



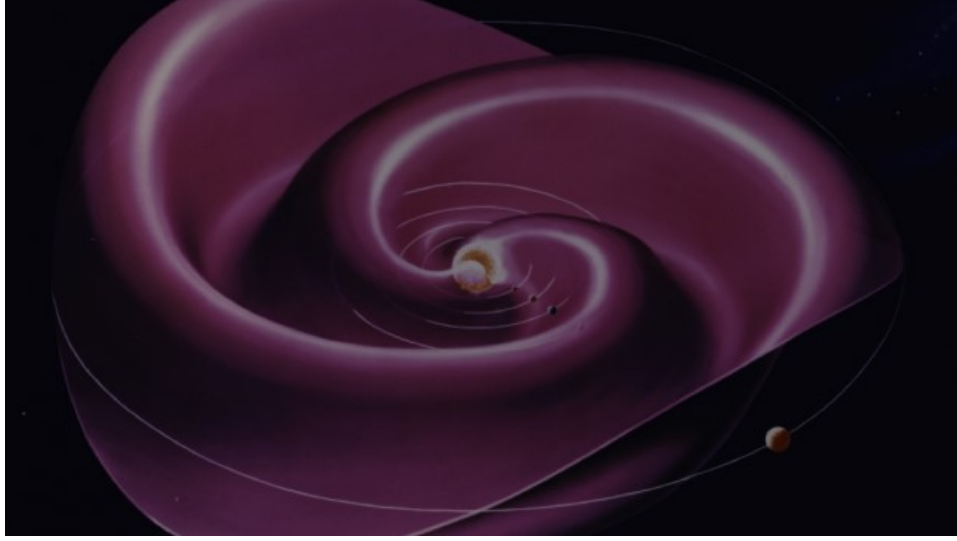
Şekil 4.4. F10.7 radyo akısı grafiği [47]

4.1.3. Aşırı morötesi akısı (EUV)

İyonosfer tabakasında, iyonlaşmanın temel kaynağı olan bu indis elektromanyetik spektrumun 10-120 nm dalga boylarını kapsayan Güneş radyasyonudur. EUV fotonlarının Dünya'ya 80 km kala atmosfer tarafından tamamen emilmesi sebebiyle yeryüzünden ölçümü yapılamamakta, ancak roketler ve uydular tarafından ölçülebilmektedir [48].

4.1.4. Güneşsel rüzgar hızı (V_{sw})

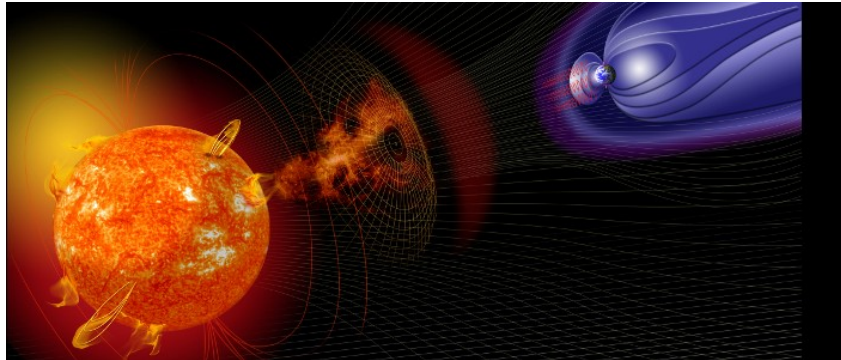
Güneşten dışarıya çıkan ve buradan uzay boşluğuna yaklaşık 400 km/s-800 km/s arasında değişen hızlar ile sürekli olarak yayılan, sıcak plazmaya Güneş rüzgarı denmektedir [40]. Güneş rüzgarı Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Güneş'ten gelen bu akı gezegenler arası manyetik alanı da etkiler güneşin manyetik alanı göz önüne alınırsa, manyetik alan ve güneş rüzgârları, güneşin yarıçapı boyunca simetrik olarak genişlemektedir. Güneşin dönmesi sonucu dairesel alan etkisinden dolayı spiral forma dönen manyetik alanın yoğunluğu mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır [18]. Hızlı ve düşük plazma akışlarının etkileşimi sonucunda oluşan değişimler dünyanın manyetosferinde fırtınalara sebep olabilir [40].



Şekil 4.5. Güneş fırtınaları [48]

4.2. Manyetik Aktivite İndisleri

Güneş aktiviteleri sonucunda oluşan manyetik alan çizgileri, güneşsel rüzgârlar etkisi altında Dünyaya doğru uzar ve sonuç olarak, Dünyanın etrafında gözyaşını andıran özel şekil oluşur. Güneşin manyetik alanı dünyanın manyetik alanından yaklaşık 100 kat büyüktür. Güneş aktivitesinin fazla olduğu dönemlerde güneş lekeleri görünür hale gelir, bu durumda güneş lekeleri çok sayıda manyetik alan çizgileriyle doludur [18]. Bu etkileşimler Şekil 4.6'da görülmektedir.



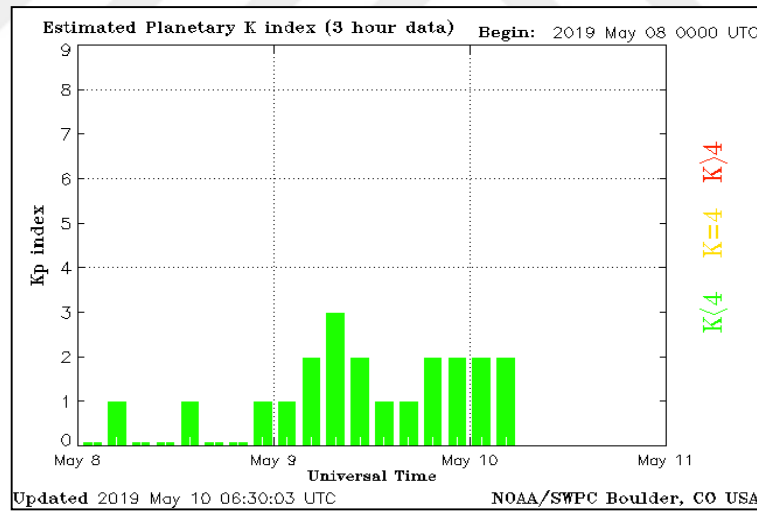
Şekil 4.6. Manyetik aktivite [49]

Güneşsel aktivitelerle iyonosferik plazma deformasyona uğrar ve dünya üzerinde iyonosferik ve termosferik değişimler oluşur. Kuzey enlemlerinde kutup bölgesinde negatif yönlü iyonosferik elektron yoğunluğu değişimi, güney enlem bölgesinde ise kutuptan uzak bölgelerde pozitif yönlü elektron yoğunluk değişimi görünür [40].

Güneşsel aktivitelerden Dünya'nın manyetik alanı etkilenmektedir. Bu etkilenme ise iyonosfer tabakasında değişimlere sebep olmaktadır. Genel olarak değinilen bu değişimler özel anlamda birçok kritere ayrılmıştır. Aşağıda detaylı olarak açıklanacak bu kriterler; K ve K_p aralık indisleri, Dst ve A_{sym} Ekvatorial fırtına indisleri, Auroral (Kutupsal) elektrojet indisi, gezegenler arası manyetik alan indisleridir.

4.2.1. K ve K_p aralık indisleri

İlk olarak J. Bartels tarafından 1938 yılında, manyetik fırtına anında, düzenli ya da düzensiz değişimlerin bir ölçütü olarak K indisi adıyla ortaya atılmıştır. Bu indis 3 saat zaman aralıklı olarak tanımlanır ve 0, 1, 2, ...,9 aralığında bir kuasi-logaritmik tamsayı ile ifade edilir. K_p indisi ise; 44° ile 60° kuzey ya da güney enlemlerinde bulunan 13 farklı gözlemevinden hesaplanan ortalama K indisidir [50]. Gece saatlerinde manyetik sakinlik durumu için K_p ≤ 2 kabul edilebilir, manyetik fırtına durumları için K_p > 2 olmalıdır. Gündüz saatleri ise K_p < 3 manyetik fırtına açısından dinginlik, K_p ≥ 3 hareketliliği gösterir [15]. Şekil 4.7'de (8-11 Mayıs) 2019 tarihleri arasındaki K_p indis değerleri görülmektedir.

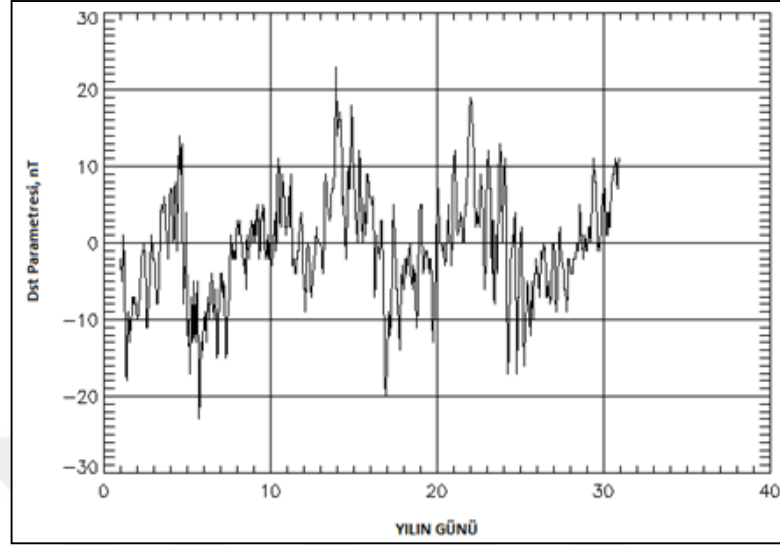


Şekil 4.7. K indis grafiği [47]

4.2.2. Dst ve A_{sym} ekvatoryal fırtına indisleri

Bir saat aralıklarla ölçülen Dst (Disturbance Storm Time) ölçümleri manyetik fırtınanın derecesini ifade eder [59]. Manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatorunda azalmasını gösteren Dst indisinin birimi nT (Nano Tesla) olup negatif olması jeomanyetik fırtınaya işaret eder [51]. Dst indisi bir aralık değer değildir. A_{sym} indisi, 4 farklı istasyondan elde edilen ölçümlerin sıralanmasıyla en düşük ve en

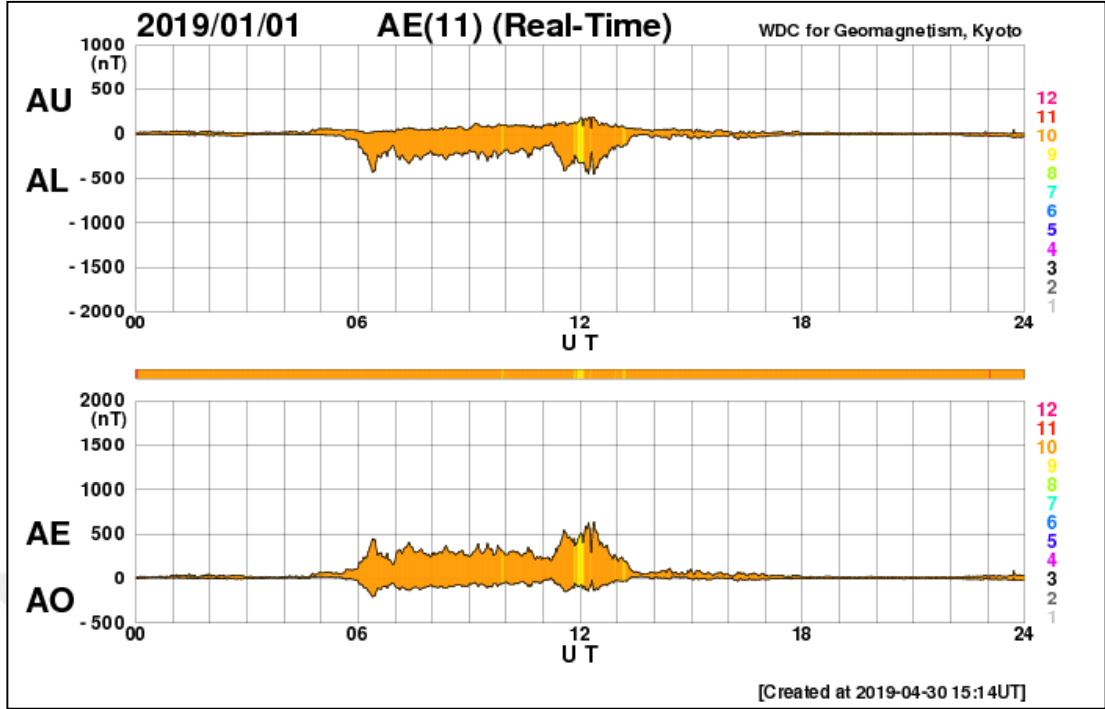
yüksek değerler arasındaki bağıl fark olarak tanımlanır [52]. Şekil 4.8'de 2019 yılı Ocak ayı için Dst parametresi grafiği görülmektedir.



Şekil 4.8. Ocak 2019 Dst grafiği [53]

4.2.3. Auroral (kutupsal) elektrojet indisi (AE)

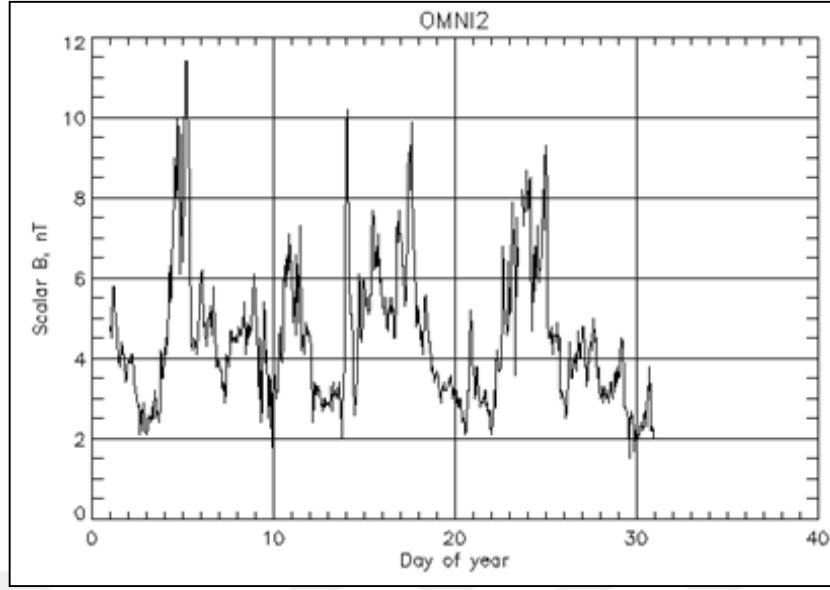
Kutup bölgesi iyonosferinde, yatay elektrik akımları tarafından üretilen, auroral bölge manyetik aktivitesine genel ve sayısal bir nicelik kazandırmak için ilk kez Davis ve Sigiura tarafından (1966) yılında ortaya konulan bu indis, Auroral bölgedeki değişimleri ifade etmektedir [50]. Auroral bölgenin iyonosferinde akan yatay elektrik akımlarına Auroral elektrojet denir. Küresel elektrojet aktivitesinin bir ölçütü olarak tanımlanan endeksler 61° kuzey ve 70° kuzey enlemleri arasında yer alan, 12 gözlemevi tarafından yapılan ölçümlerle türetilmiştir [54]. Bu gözlem istasyonlarından elde edilen 1 dakikalık veriler sıralanarak, bu verilerin en büyük değeri (AU) ile en küçük değeri (AL) arasındaki fark $AE=AU-AL$ indisi ve en büyük veri ile en küçük veri ortalaması alınarak $AO= 1/2(AU+AL)$ indisi olarak ifade edilir [18]. Şekil 4.9' da; AE, AU, AL değerlerini gösterir 1 günlük grafik görülmektedir.



Şekil 4.9. 1 Ocak 2019 tarihli, 1 günlük AU, AL, AE grafiği [53]

4.2.4. Gezegenler arası manyetik alan indisi (IMF)

Güneş'ten açığa çıkan ve sıcak plazma (güneş rüzgârı) tarafından uzay boşluğuna taşınan, güneş manyetik alanının bir parçası olarak adlandırılan indise IMF denir. Bu indis sarmal bir desen şeklinde dışarıya doğru ilerler. Güneş'in manyetik ekvator düzlemi boyunca ters yönde yönelmiş, açık manyetik alan çizgileri birbirine paralel olarak ilerler ve "güneşsel akım tabakası" olarak adlandırılan tabaka ile ayrılırlar, bu şekilde uzay boşluğuna yayılırlar. Dünyanın manyetik alanı, oluşan bu akım tabakasının bazen üzerinde, bazen de altında yer alır ve böylelikle IMF'nin kutuplaşmasında periyodik değişimlere sebep olur [40]. Şekil 4.10'da 2019 yılı Ocak ayı için IMF parametresi grafiği görülmektedir.



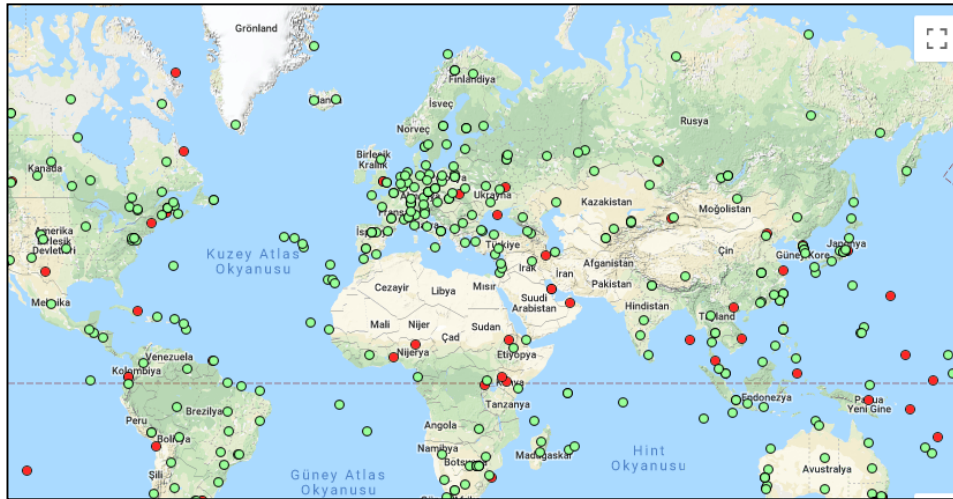
Şekil 4.10. 2019 Ocak ayı IMF değerleri grafiği [53]

5. UYGULAMA

Günümüzde birçok kurum/kuruluş, Eylül 2019 tarihi itibarı ile yerküre üzerine yayılmış 507 sabit GPS/GNSS istasyonunda küresel düzeyde ionosfer çalışmalarına altlık oluşturabilecek nitelikte veri toplamaktadır [55]. Toplanan bu veriler üzerinden; küresel harmonik seriler, ağırlıklı ortalama, üç kabuk modeli vb. yöntemler kullanılarak, coğrafi enlem ve boylama bağlı, yeryüzü için bir küresel ionosfer harita (KİH) oluşturmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, farklı IGS ortak analiz merkezleri tarafından üretilmekte olan küresel ionosfer haritalarının Türkiye ionosferindeki performansları, istasyon bazlı TEI (GPS_{TEI}) değerleriyle karşılaştırmalı olarak irdelenmeye çalışılmaktadır. Karşılaştırma sonuçları bölge düzeyinde seçilen GPS/GNSS istasyonlarında farklı uzay-iklim koşulları altında tekrarlanarak ortaya konulmaktadır.

Çalışmada kullanılan GNSS ölçü verilerinin tamamı www.igs.org adresinden elde edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde MATLAB programında yazar tarafından kodlanan fonksiyonlar kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Yer küre üzerine yayılmış GPS/GNSS istasyonları [55]

Uygulamanın başlangıç aşamasında, Ankara merkezde olmak üzere birçok GPS/GNSS istasyonu belirlenmiş ancak veri durumu değerlendirilerek, bunlardan 5

adedi uygulama için uygun bulunmuştur. Uygulamaya temel olacak 5 adet GPS/GNSS istasyonu ve konumları Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

Seçilen her istasyon Türkiye coğrafi sınırları üzerinde en uygun karşılaştırmayı yapabilecek şekilde belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Çalışmada kullanılan GPS/GNSS istasyonları

Bu istasyonlar IGS'e bağlı CRAO00UKR, ARUC00ARM, NICO00CYP, DYNG00GRC, ANKR00TUR kodlu GPS/GNSS noktalarıdır. Bu noktaların coğrafi enlem ve boylam değerleri Tablo 5.1' de görülmektedir.

Tablo 5.1. GPS/GNSS istasyon noktaları coğrafi enlem ve boylamları

İSTASYON	ENLEM(derece)	BOYLAM(derece)
CRAO00UKR	44.4132611	33.9909833
ANKR00TUR	39.8875111	32.7585778
DYNG00GRC	38.0785528	23.9324333
ARUC00ARM	40.2857222	44.0855833
NICO00CYP	35.1409806	33.3964333

Uygulama bölümünde ANKR00TUR GPS/GNSS istasyonu grafikler ve görselleri detaylı bir şekilde verilecek olup, CRAO00UKR, ARUC00ARM, NICO00CYP, DYNG00GRC, GPS-GNSS istasyonları için grafikler ve görseller ekler bölümünde yer alacaktır. Yapılacak bütün değerlendirmeler söz konusu 5 adet GPS/GNSS istasyonunun tümüne yönelik olacaktır.

Uygulamaya konu olacak bütün noktalar için 2018 ve 2013 yılları veri durumu, tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.2. GPS/GNSS istasyon noktaları 2013 ve 2018 veri durumu

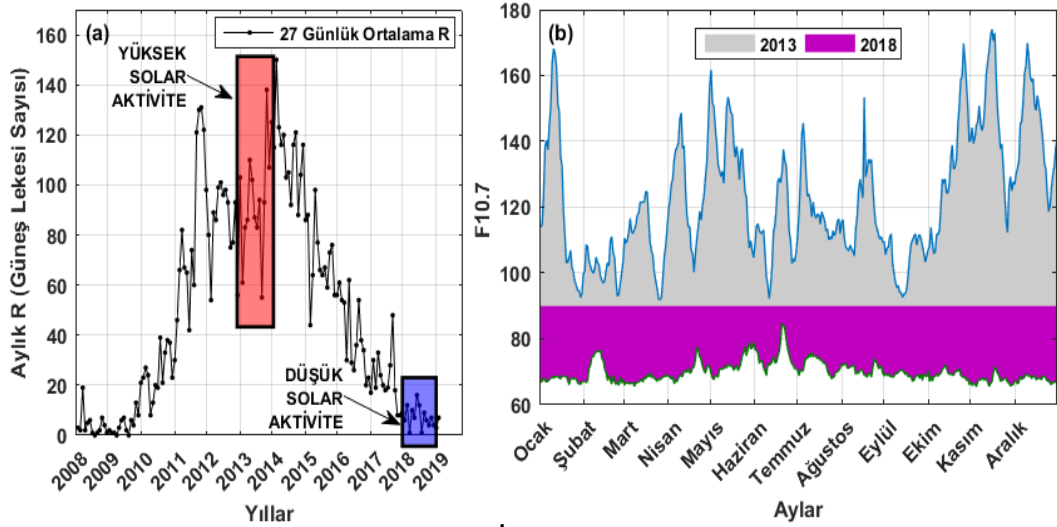
İSTASYON	2018 verisi(Gün)	2013 verisi(Gün)
CRAO00UKR	360	360
ANKR00TUR	365	276
DYNG00GRC	365	227
ARUC00ARM	365	Veri elde edilemedi
NİCO00CYP	Veri elde edilemedi	356

5.1. 2013 ve 2018 Yılları İçin Uzay İklim Koşulları

Çalışma kapsamında, uzay iklim koşullarının sakin ve hareketli olduğu dönemlerde uygulamanın gerçekleştirilmesi öngörülmüş ve özellikle sakin ve hareketli dönem tespit edilmiştir.

Güneşin aktivite düzeyini temsil eden güneş lekesi sayısı (R) ve $F_{10.7}$ güneş akısı en çok kullanılan atmosferik indislerdir. Yapılan bir çalışmada güneş aktivite ölçütü olarak $F_{10.7}$ indisi kullanılmıştır. Şekil 5.3'te görüldüğü gibi 27 günlük ortalama güneş lekesi sayısı (R) ele alındığında; 2013 yılının en yüksek ve 2018 yılının en düşük değerlere sahip yıllar olduğu tespit edilmiştir. Güneş akısı indisine ($F_{10.7}$) göre ise yine 2013 yılı hareketli, 2018 yılı sakin yıl olarak görülmektedir [56].

Tez çalışması içerisinde, Tablo 3.1' deki analiz merkezleri tarafından üretilmekte olan, küresel iyonosfer haritalarının Türkiye iyonosferindeki performansı, GPS/GNSS istasyonlarında üretilen GPS/TEİ verileriyle, 2013 (hareketli yıl) ve 2018 (sakin yıl) olmak üzere değerlendirilecektir.



Şekil 5.3. 24. Güneş Çevrimi ve F10.7 İndis Değerleri

5.2. GPS_{TEİ} ve KİH_{TEİ} Verilerinin Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi

Küresel İyonosfer Haritalarından belirlenen TEİ değerleri için karşılaştırılabilir bir ölçüt elde etmek gereksinimi ile GNSS verilerinin doğrudan değerlendirilmesi prosesi yardımıyla istasyon bazlı TEİ değerleri kestirilmiştir.

Bu kestirim için Bölüm 3.2’de verilen matematik model kullanılmış ve her epokta, her uydu için DTEİ değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama MATLAB programında yazılan GPS_{TEİ} kodlamaları kullanılmıştır. Tablo 5.2 ‘te verilen istasyonlarda GPS_{TEİ} değerleri 2013 ve 2018 yılları için hesaplanarak, KİH için karşılaştırma verisine ulaşılmıştır.

KİH_{TEİ} değerleri ise 2.5°X5° (enlem, boylam) çözünürlüğünde ızgaralardan oluşmak üzere MATLAB programında yazılan KİH_{TEİ} fonksiyonu kullanılarak, www.igs.org adresinden elde edilen veriler ile her istasyon için KİH_{TEİ} değerleri 2013 ve 2018 yılları için hesaplanmıştır.

Bütün GPS/GNSS istasyonlarında KİH_{TEİ} değerleri tüm küresel iyonosfer haritalarında, istasyonun içinde bulunduğu gride ait ızgara noktalarından iki değişkenli kestirim yöntemi ile aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$DTEI(\lambda_e, \beta_e) = \begin{bmatrix} 1-m & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DTEI_{00} & DTEI_{01} \\ DTEI_{10} & DTEI_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-n \\ n \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$m = |\lambda_e - \lambda_0| / \Delta\lambda_{KIH} \quad (5.2)$$

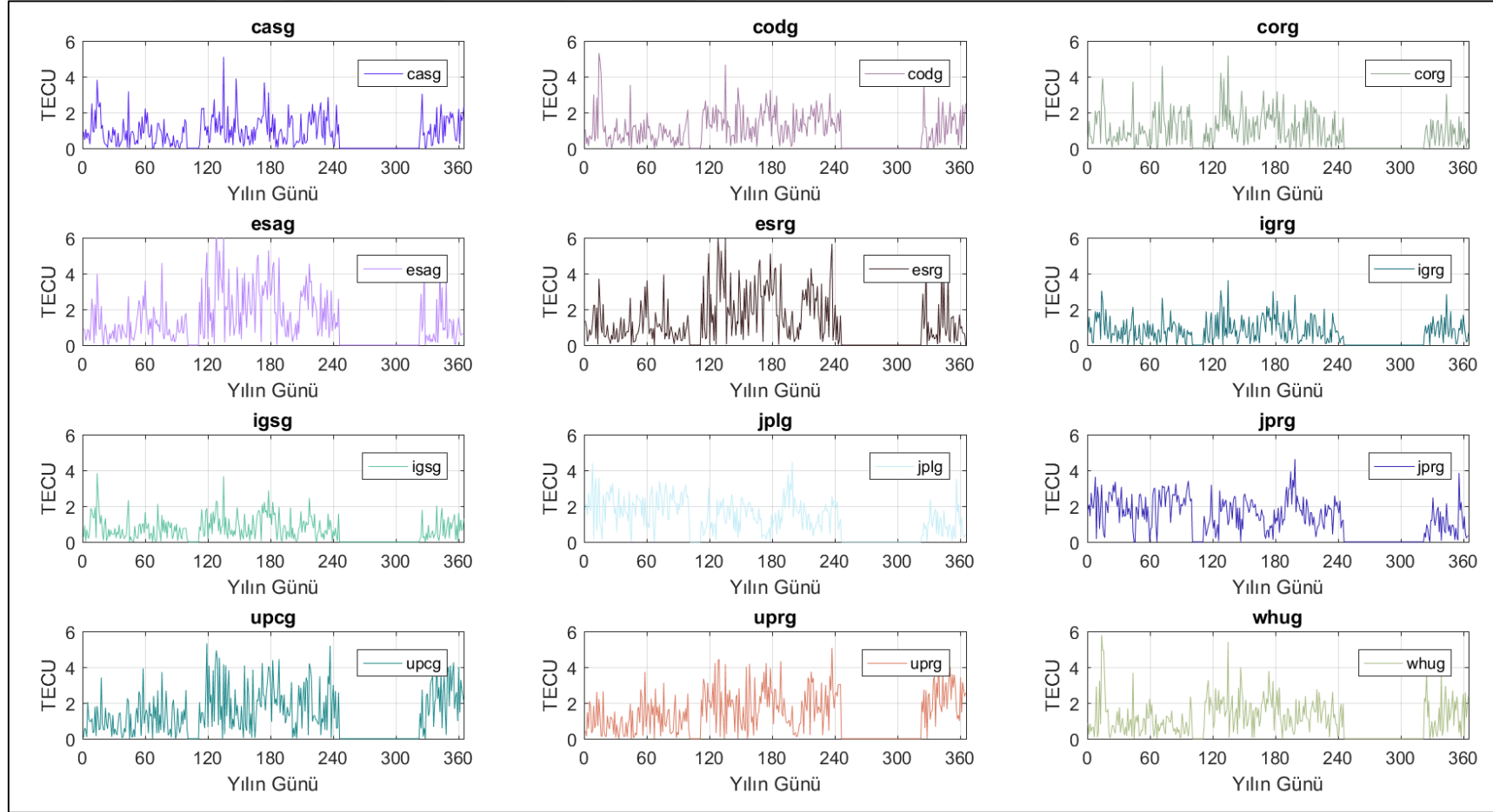
$$n = |\beta_e - \beta_0| / \Delta\beta_{KIH} \quad (5.3)$$

Formüllerde yer alan β_e ve λ_e ; DTEİ değeri elde edilmek istenen noktanın jeosantrik enlem ve boylamı, β_0 ve λ_0 ; noktaya en yakın ızgara noktasının jeosantrik enlem ve boylamı, $\Delta\beta_{KIH}$ ve $\Delta\lambda_{KIH}$; hesaplamada kullanılan küresel iyonosfer haritasının enlem ve boylam boyunca mekansal çözünürlüğü (örn: 2,5° enlem ve 5° boylam), DTEİ₀₀, DTEİ₀₁, DTEİ₁₀, DTEİ₁₁, hesaplamada kullanılan en yakın 4 ızgara noktasının DTEİ değerleridir [57].

IGS'e bağlı CRAO00UKR, ARUC00ARM, NICO00CYP, DYNG00GRC, ANKR00TUR kodlu GPS/GNSS istasyonları için KİH_{TEİ} ve GPS_{TEİ} veri setlerinden yararlanılarak, ANKR00TUR (ANKR) istasyonu için 2013(Hareketli) ve 2018(Sakin) yılları için farklarından elde edilmiş $\Delta TEİ$ grafikleri sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te sunulmaktadır.

$$\Delta TEİ = |TEİ_{GPS} - TEİ_{KIH}| \quad (5.4)$$

Grafiklerde çizdirilen $\Delta TEİ$ farkları UTC 10:00'da ya da daha doğru bir söyleyişle yerel saat LT 13:00' te elde edilen değerlerdir. Yerel öğle saatleri güneş aktivitesine bağlı olarak atmosferdeki elektron içeriğinin en yüksek seviyede olduğu zaman dilimleridir.



Şekil 5.4. ANKR İstasyonu 2013 hareketli yılı için ΔTEI grafiği

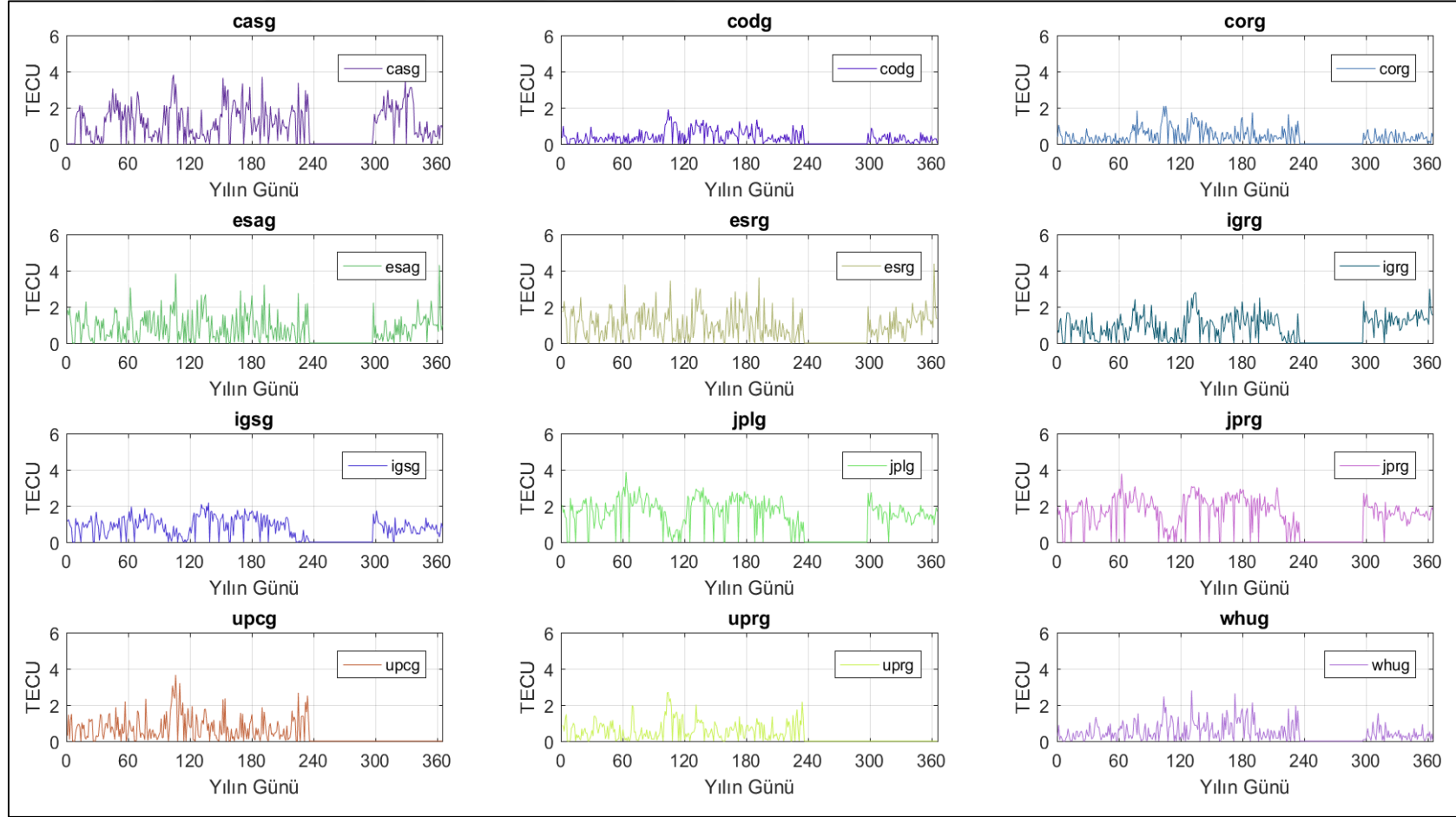
Şekil 5.4 ve 5.5' teki grafiklerde ΔTEI farkları yerel öğle saatinde çizdirilerek, iyonosferin en aktif ve yüksek elektron seviyesine sahip olduğu, iyonosferdeki değişimlerin ise en çok olmasının beklendiği saatteki farklar sergilenmeye çalışılmıştır. Böylece KİH' lerin yerel iyonosferik aktiviteyi temsil düzeylerinin yerel öğle saatlerinde incelenmesi, ΔTEI farklarının da olası en yüksek değerlerinde görüntülenmesi düşünülmüştür. Bir diğer söyleyişle, iyonosfer modellemenin en güç olduğu varsayılan gün içi saat seçilmiştir.

Dolayısıyla Şekil 5.4 ve 5.5' teki grafikler KİH'lerin yerel öğle saatlerindeki test edilmesi olarak da yorumlanabilir.

2013 yılı ΔTEI grafikleri incelendiğinde; uygulamaya giren bütün GPS/GNSS istasyonları için TEI farklarının en fazla 6 TECU civarında olduğu göze çarpmaktadır. Grafikler analiz merkezleri bazında ele alındığında, uluslararası GNSS servisi tarafından üretilen KİH'de (igsg) diğer KİH'lere göre daha düzenli ve mutlak değer olarak daha küçük farkların oluştuğu görülmüştür.

Şekil 5.5'te ANKR00TUR istasyonu için KİH- TEI ve GPS- TEI veri setlerinin farklarından elde edilmiş 2018 sakin yılı için ΔTEI grafiği oluşturulmuştur.

2018 yılı ΔTEI grafikleri incelendiğinde; TEI farklarının bu defa en fazla 4 TECU civarında kaldığı görülmüştür. Analiz merkezleri arasında ise GNSS servisi tarafından üretilen KİH' lerde (codg, corg, igsg) diğer KİH'lere göre daha düzenli ve mutlak değer olarak 2 TECU'nun altında kalan mutlak farklar izlenmektedir.



Şekil 5.5. ANKR İstasyonu 2018 sakin yılı için ΔTEI grafiği

5.2.1. En Büyük ΔTEI Farkları Dağılımının İncelenmesi

Tez çalışması uygulamasında, KİH-TEİ ve GPS-TEİ arasında gözlenen en büyük farklar KİH' lerde olası en büyük sapmaları izlemek ve KİH kullanıcılarına TEİ değerlerinin güvenlik sınırları hakkında fikir vermesi açısından önemlidir. Farkların yerel öğle saatinde kestirilen değerler olduğu ve en büyük fark tanımlaması ile uyumlu hareket edildiği tekrar hatırlatılmalıdır.

Bu kapsamda Tablo 5.3 ve 5.4 oluşturularak aşağıda sunulmaktadır. Tablo 5.3' te mevcut tüm veriler ile yapılan tüm uygulamalara göre yani 5 IGS istasyonunda 2013 ve 2018 verilerine göre ΔTEI farklarının aralıkları verilmektedir. Aralıklar, 0-2, 2-4 ve >4 TECU olarak üç sınıfa ayrılmış ve bu sınıflara düşen gerçekleşme sayılarına göre sonuçlar yüzdelikler ile verilmiştir.

Tablo 5.3 incelediğinde, farkların büyük bölümünün 0-2 TECU aralığında kaldığı görülebilmektedir. Tersine ise daha güçlü bir vurgu ile söylenebilir: 4 TECU' yu geçen farkların yüzdesi tüm servisler için %0 - %7 arasında değişmektedir. Bu sınıfın pek çok durumda 0 seviyesinde kalmış olması sonuç vurgusu açısından da belirleyicidir.

Birinci ve ikinci sınıf arasında (0-2 TECU ve 2-4 TECU) bir geçişkenlik olduğu, farklı istasyonlardaki sonuçlardan görülebilmektedir. Bu nedenle 3. sınıf üzerindeki değerlendirmelerin daha yerinde olacağı varsayılarak Tablo 5.3 izlendiğinde; kodu bu sınıftaki düşük yüzdesi ile az da olsa öne çıkmaktadır. igsg, casg ve whug modelleri de yine 4 TECU 'nun altındaki farkların çok düşük yüzde ile seyretmeleri dolayısıyla güvenilir bir izlenim vermektedir.

Tablo 5.4' te ise maksimum değerlerin tekrar sayıları verilmektedir. Aynı tabloda maksimum farkın tekrar sıklığı için en büyük fark ve en büyük farkın 0.25 TECU altı arası değerlerin sayısı esas alınmıştır. Maksimum farkların tekrar sayısının bindelik dilimde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.3. ΔTEİ Farklarının Yüzdelerik Dağılımı

İSTASYON/YIL	Aralık	casg%	codg%	corg%	esag%	esrg%	igr%	igsg%	jplg%	jprg%	upcg%	uprg%	whug%
ANKR 2013	0-2 TECU	86.9	81.4	83.2	68.3	69.0	94.2	95.3	65.3	63.6	64.2	63.7	78.8
	2-4 TECU	12.8	17.2	15.7	24.5	24.5	5.8	4.7	33.9	36.0	28.5	32.2	19.3
	> 4 TECU	0.4	1.5	1.1	7.3	6.6	0.0	0.0	0.7	0.4	7.3	4.0	1.8
ANKR 2018	0-2 TECU	77.9	100.0	99.3	91.7	89.1	94.9	99.3	60.7	58.1	92.8	97.1	98.6
	2-4 TECU	22.1	0.0	0.7	7.9	10.5	5.1	0.7	39.4	41.9	7.2	2.9	1.4
	> 4 TECU	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CRAO 2013	0-2 TECU	90.3	91.4	89.1	78.3	79.9	88.0	93.9	39.0	35.3	78.8	84.2	90.8
	2-4 TECU	9.2	8.1	10.9	18.9	18.6	12.0	6.1	56.3	58.0	19.8	13.8	8.4
	> 4 TECU	0.6	0.6	0.0	2.8	1.4	0.0	0.0	4.7	6.7	1.4	2.0	0.8
CRAO 2018	0-2 TECU	80.7	100.0	100.0	92.8	93.0	95.8	99.2	57.1	56.8	97.4	99.6	98.6
	2-4 TECU	19.0	0.0	0.0	7.0	6.7	3.9	0.8	42.9	43.2	2.6	0.4	1.4
	> 4 TECU	0.3	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DYNG 2013	0-2 TECU	74.3	76.1	61.5	55.3	64.7	67.1	67.3	29.7	26.1	79.2	81.5	77.0
	2-4 TECU	22.1	23.0	27.0	34.5	29.4	26.2	29.2	51.3	53.5	19.5	16.2	20.4
	> 4 TECU	3.5	0.9	11.5	10.2	5.9	6.7	3.5	19.0	20.4	1.3	2.3	2.7
DYNG 2018	0-2 TECU	90.5	95.1	97.5	83.6	83.2	86.2	79.7	43.6	39.5	98.0	98.9	92.9
	2-4 TECU	8.9	4.9	2.5	16.2	16.5	13.5	20.3	56.4	60.6	2.0	1.1	6.9
	> 4 TECU	0.6	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
ARUC 2018	0-2 TECU	90.8	99.2	91.8	69.0	51.7	55.7	71.2	25.8	23.6	90.5	97.2	98.1
	2-4 TECU	8.9	0.8	8.2	29.9	45.3	44.1	28.8	69.3	72.1	9.5	2.8	1.9
	> 4 TECU	0.3	0.0	0.0	1.1	3.0	0.3	0.0	4.9	4.4	0.0	0.0	0.0
NICO 2013	0-2 TECU	81.3	86.1	49.0	51.6	64.7	63.4	70.3	15.0	13.7	67.1	75.9	88.7
	2-4 TECU	18.1	13.9	40.5	27.2	23.3	32.4	25.8	57.2	57.0	24.9	20.4	11.3
	> 4 TECU	0.6	0.0	10.5	21.3	12.1	4.3	4.0	27.8	29.3	7.9	3.7	0.0

Tablo 5.4. ΔTEİ maksimum değerleri ve tekrar sıklığı (frekansı) ($f = \frac{|\Delta TEİ_{max} - (\Delta TEİ_{max} - 0.25)|}{\text{toplam ölçü sayısı}}$)

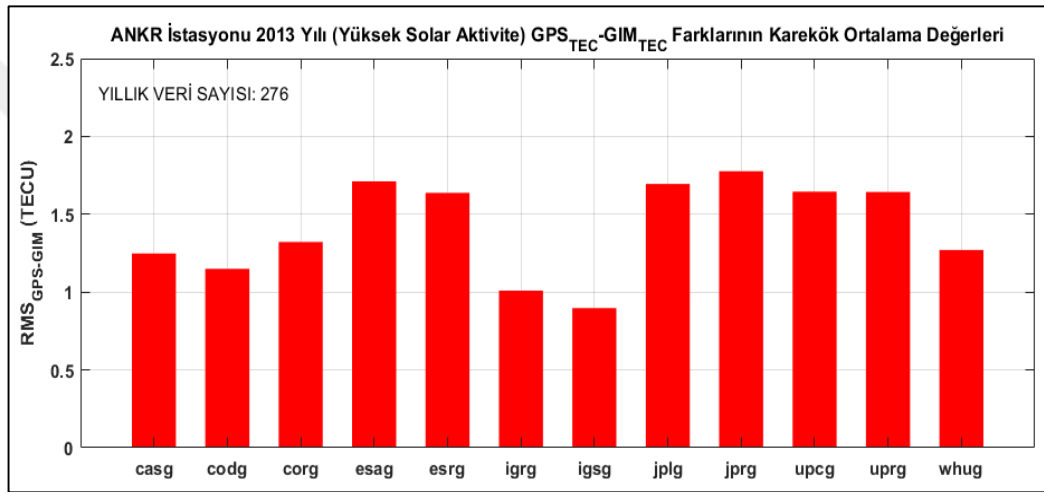
İSTASYON/YIL	casg ‰	codg ‰	corg ‰	esag ‰	esrg ‰	igr̄g ‰	igsg ‰	jplg ‰	jpr̄g ‰	upcg ‰	uprg ‰	whug ‰
ANKR 2013	4	4	4	7	7	4	7	7	7	7	4	4
ANKR 2018	11	3	5	3	3	8	11	3	3	3	5	5
ARUC 2018	3	22	3	8	11	8	22	5	5	5	3	3
CRAO 2013	3	6	8	6	3	8	3	11	14	3	6	6
CRAO 2018	3	8	11	3	3	3	3	8	3	6	3	17
DYNG 2018	3	3	8	3	3	3	19	11	8	5	3	3
DYNG 2013	4	4	9	4	4	4	4	4	4	4	4	9
NİCO 2013	3	3	3	3	3	3	6	3	6	3	3	6

5.3. ΔTEI Farkları ile RMS Değerleri Hesabı ve Değerlendirilmesi

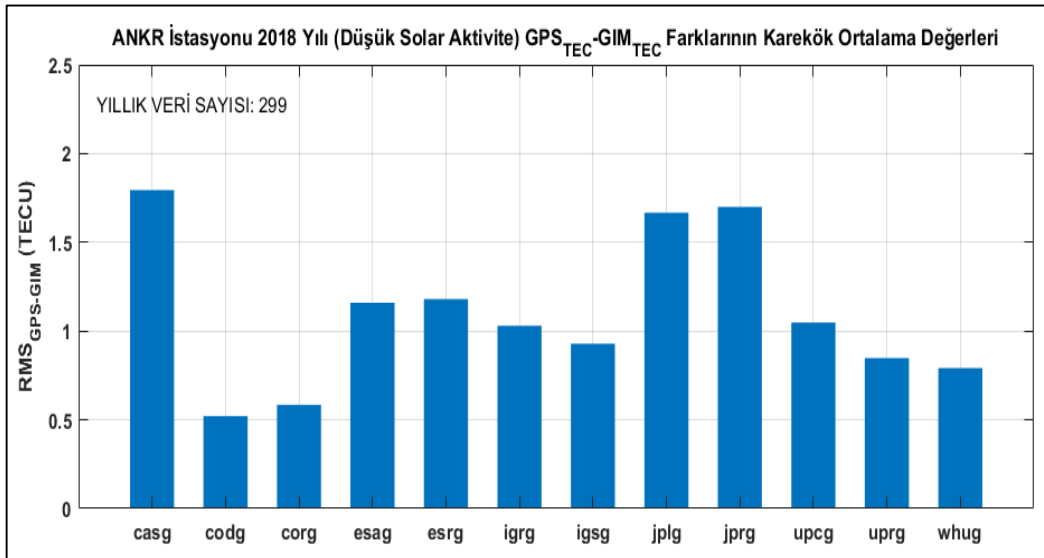
GPS_{TEI} ve KİH_{TEI} gibi iki farklı veri grubunun birbirlerine göre farklarının incelenmesi için karesel ortalama hata (Root Mean Square - RMS) değerleri hesaplanmıştır.

Bölüm 5.2'de hesaplanan ΔTEI değerleri ile aşağıdaki (5.5) formülü kullanılarak her istasyonda 2013 ve 2018 yıllarının tümü için ortalama alınarak RMS hesabı yapıp, ANKR istasyonu için Şekil 5.6.a,b grafikleri çizdirilmiştir.

$$RMS = \sqrt{\frac{[(GPS_{TEI} - KİH_{TEI})^2]}{n-1}} \quad (5.5)$$



Şekil 5.6.a ANKR istasyonu 2013 yılı RMS değerleri



Şekil 5.6.b ANKR istasyonu 2018 yılı RMS değerleri

ANKR istasyonu sonuçları üzerinden söylenecek olursa; 2013 yılı RMS değerlerinin 1.8 TECU ile 0.9 TECU, 2018 yılı RMS değerlerinin ise 1.8 TECU ile 0.5 TECU arasında kaldığı görülmüştür.

2013 yılı için Uluslararası GNSS servisi tarafından üretilen KİH' in (igsg) yaklaşık 0.9 TECU olan RMS değeri ile diğer KİH'lere göre daha iyi sonuç verdiği, yine GNSS servisinin hızlı ürününün (igr) 1 TECU RMS ortalamasına sahip olduğu izlenmektedir. 1 TECU 'nun biraz üzerinde çıkan RMS değerleriyle CODE servisinin (codg), CAS servisinin (casg) ve Wuhan Üniversitesi (whug) modellerinin de servisler ortalamasını yakaladıkları söylenebilir.

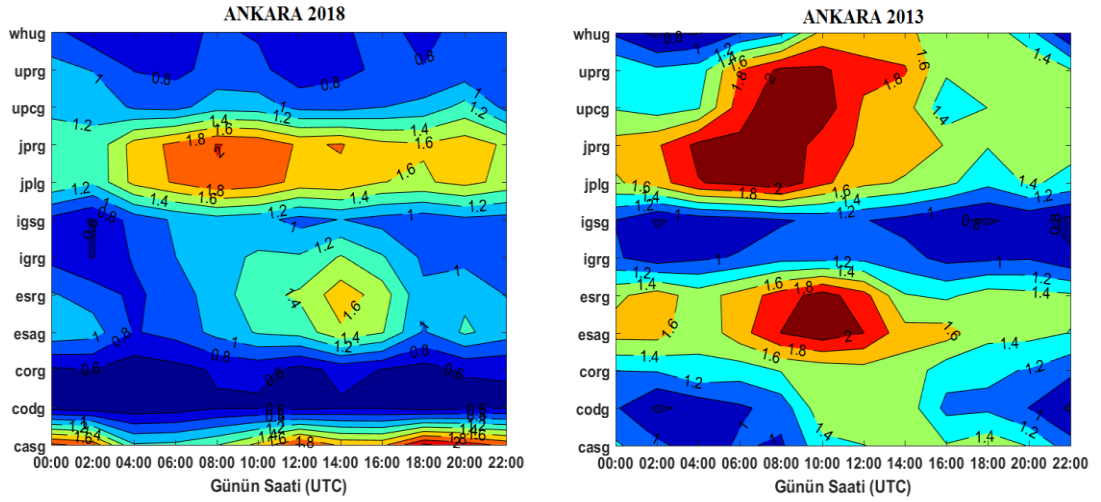
Uygulamada kullanılan diğer istasyonlar da değerlendirmeye alındığında, -2013 yılında- igsg ve codg KİH' lerinin en fazla 1.4 TECU olan RMS değerleri ile diğer servislere göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

2018 (sakin yıl) için hem ANKR istasyonu özelinde 0.5 TECU hem de uygulama kapsamındaki diğer 4 istasyonda en fazla 0.9 TECU değer ile CODE servisi final KİH' nin (codg) en iyi sonuca eriştiği gözlenmektedir.

Karşılaştırma yapılan KİH'lerden 2018 yılı ANKR istasyonu özelinde yalnızca CAS ve JPL servislerine ait olanların 1.5 TECU' nun üzerinde RMS değeri gördüğü, diğerlerinin 1 TECU civarında ve altında kaldıkları hazırlanan grafiklerden izlenebilmektedir.

JPL servisinin final ve hızlı ürünleri olan jplg ve jprg' nin ise farklı uzay iklim koşullarına sahip olmalarına rağmen her iki yıl içinde RMS değerlerinin yaklaşık aynı olduğu da dikkat çekmektedir.

ΔTEI farklarına ait RMS değerlerinin günün saati bazında incelenebilmesi amacıyla da grafikler çizdirilmiş ve ANKR hariç diğer istasyonlara ait grafikler ekler bölümünde sunulmuştur. Şekil 5.7.'de ise ANKR istasyonu için GNSS servisi tarafından üretilen KİH' lerin 2013 ve 2018 yılları için 2 saat aralıklı RMS değerlerine göre grafikleri görülebilmektedir.



Şekil 5.7. ANKR. İstasyonu 2018-2013 Yılı RMS GPS-GIM (TECU) değerleri

Şekil 5.7.'ye göre; 2013 ve 2018 yılları için beklendiği gibi öğle saatlerinde RMS değerlerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 5.7 a. ve b. incelendiğinde, 2013 yılında (hareketli yıl) igsg, 2018 yılında da codg haritalarının günün saatlerine göre değişiminin daha minimal olduğu görülebilmektedir. Yani, yerel öğle saatlerindeki RMS artışının en az gerçekleştiği KİH'lerin codg ve igsg olduğu söylenebilir.

Yine gün içi ΔTEI RMS farklılıklarının 2013 hareketli yılında çok daha fark edilebilir olduğu grafiklerden rahatlıkla görülebilmektedir. 2013 yılı gün içi ortalama RMS grafiklerinde yerel öğle saatlerinde (UTC 10:00) küresel iyonosferik modellerin iyonosferdeki değişimi temsil etmede görece biraz daha zorlandığı anlaşılmaktadır. Bu da iyonosferik değişimlerin özellikle yerel öğle saatlerinde tahmin edilmesinin zorlaşması olarak da yorumlanabilir.

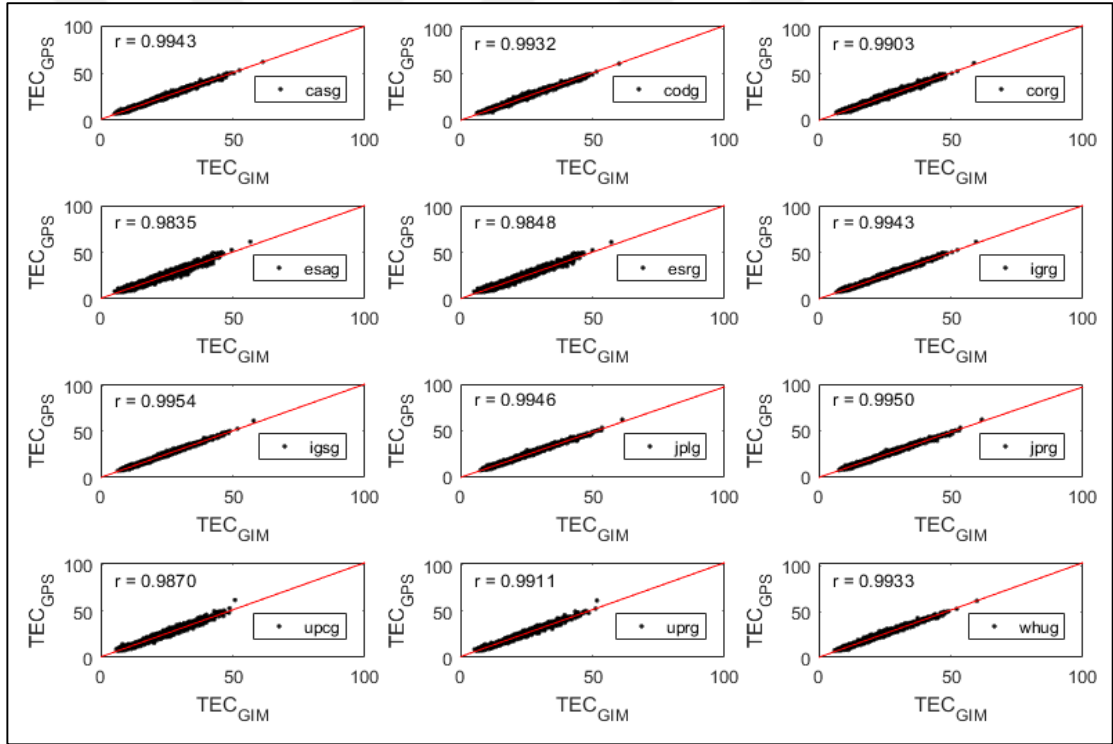
5.4. GPS/GNSS İstasyonları RMS Değerleri ve Korelasyonu

Orta enlem kuşağında yer alan Türkiye atmosferi için uygun KİH incelemesi amacıyla, 5 farklı GPS/GNSS istasyonunda, $GPS_{TEI}-KİH_{TEI}$ RMS değerleri ve korelasyonları her GPS/GNSS istasyonu bazında değerlendirilmiş, ANKR istasyonu dışındaki 4 istasyonun RMS ve korelasyon grafikleri ekler bölümüne konulmuştur. GPS/GNSS istasyonlarında hesaplanan GPS_{TEI} ve $KİH_{TEI}$ değerlerinin birbirlerine göre korelasyonu (5.6) formülü ile hesaplanarak her istasyon için korelasyon grafikleri oluşturulmuştur.

$$r = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (TEI_{GPS}^i - \mu_{TEI_{GPS}}) (TEI_{KIH}^i - \mu_{TEI_{KIH}})}{\sigma_{TEI_{GPS}} \cdot \sigma_{TEI_{KIH}}} \quad (5.6)$$

ANKR IGS istasyonunda elde edilen 2013 yılı için GPS-TEİ ve KİH-TEİ değerlerinin korelasyonu Şekil 5.8'de görülmektedir.

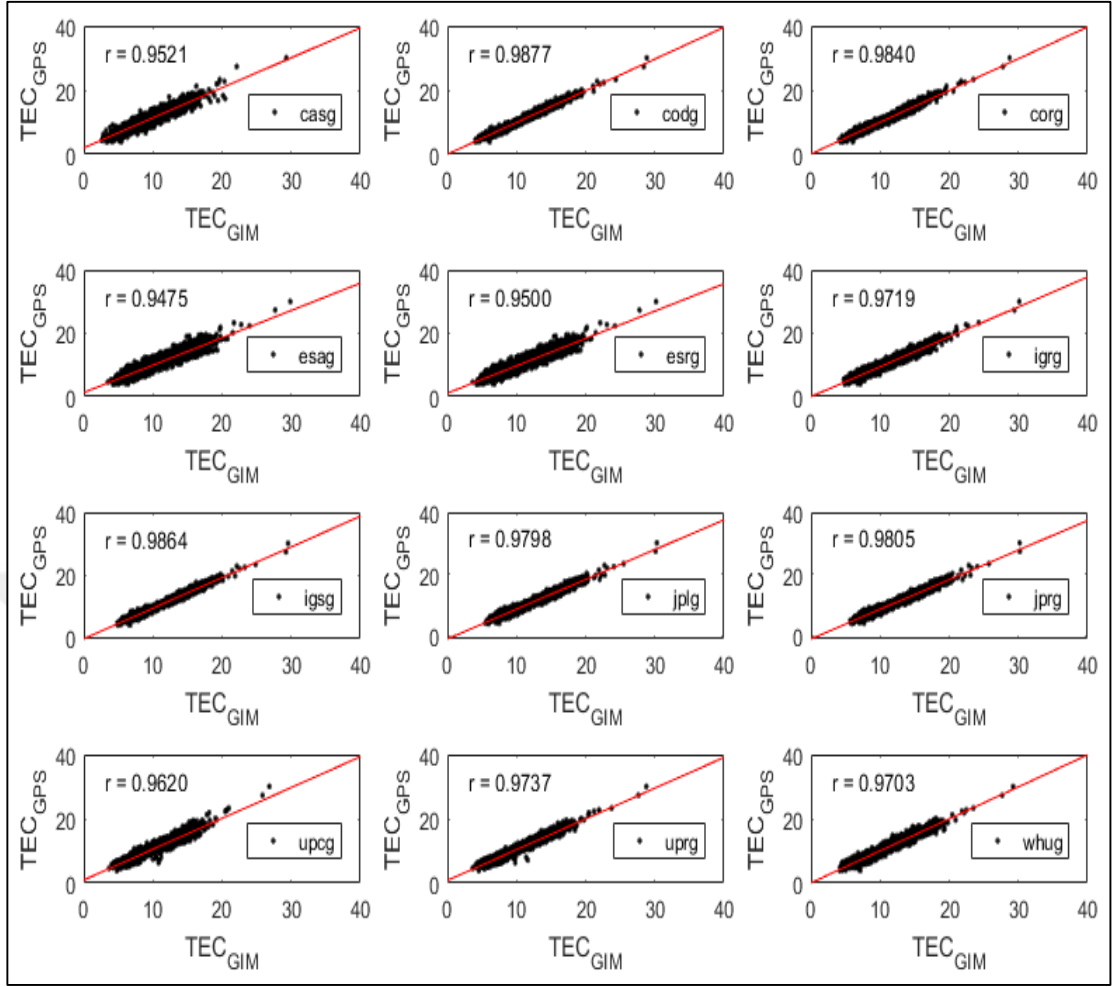
GPS-TEİ ve KİH-TEİ korelasyonlarının yüksek gerçekleşme oranları Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 grafiklerinde izlenebilmektedir. Korelasyonların bu deni yüksek gerçekleşmeleri iki modellemenin aynı veri kaynaklarını kullanması ile açıklanabilir. Daha açık söyleyişle KİH için de birincil veri kaynağı GNSS ölçüleridir ve modellemeye esas veri kaynaklarının aynı olması korelasyon seviyelerinde kendini göstermektedir.



Şekil 5.8. 2013 Yılı ANKR istasyonu GPS-TEİ ve KİH-TEİ korelasyonu

Şekil 5.8. korelasyon grafikleri incelendiğinde tüm KİH' ler için korelasyonların %98-%99 seviyelerinde gerçekleştiği görülmektedir. Tüm korelasyon değerleri birbirlerine yakın olmakla birlikte en yüksek korelasyonun %99,54 ile GNSS servisi (igsg)' ye ait olduğu görülmüştür.

Şekil 5.9'da ise ANKR IGS istasyonunda 2018 yılı için hesaplatılan GPS-TEİ -KİH-TEİ korelasyon değerleri görülmektedir.



Şekil 5.9. 2018 Yılı ANKR istasyonu GPS_{TEİ} ve KİH_{TEİ} korelasyonu

2018 yılına ait korelasyon grafikleri incelendiğinde korelasyon değerlerinin %94.75-%98.77 arası gerçekleştiği, en yüksek korelasyonun ise %98.77 ile CODE servisine ait (codg)'ye ait olduğu görülmüştür.

Korelasyon seviyelerindeki yükseklik 2018 yılında da devam etmekle birlikte 2013 yılına göre korelasyonlarda küçük bir azalma da gözlenmektedir. 2013' te %98-%99 aralığındaki korelasyon düzeyleri, 2018 yılında %95-%98 civarında seyretmektedir. Korelasyon değerindeki bu azalmanın anlamlılığı üzerinde bir şey söylemek zordur. Çalışma kapsamında sadece korelasyonların incelenmesinde esas olarak KİH modellerinin GNSS verilerine dayalı olup olmadıklarının irdelenmesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla korelasyon oranlarındaki azalmanın anlamlılığı üzerinde daha güçlü bir değerlendirme için başkaca incelemelerin gerektiği vurgulanmakla birlikte, korelasyondaki azalmayı 2013 -2018 arası zaman diliminde KİH modellerinde GNSS dışı veri kaynaklarında artış olduğu şeklinde değerlendirmek mümkündür.

5.4.1. ANKR İstasyonu RMS Değerleri ve Korelasyonu

Tablo 5.5'te görüldüğü gibi 2013 (Yüksek Güneş Aktivitesi) yılında yaklaşık olarak 0.9 TECU olan RMS ve 0.9954 korelasyon değeri ile GNSS servisi (igsg)' nin diğer GNSS servislerine göre daha iyi sonuç verdiği, 2018 (Düşük Güneş Aktivitesi) yılında ise yaklaşık 0.5 TECU olan RMS değeri ve 0.9877 korelasyon değeri ile GNSS servisi (codg)' nin diğer GNSS servislerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 5.5. ANKR 2013 ve 2018 yılları TEİ_{GPS}-TEİ_{KİH} karşılaştırma sonuçları

KİH(ANKR)	2013 (Yüksek Güneş Aktivitesi)		2018 (Düşük Güneş Aktivitesi)	
	≈RMS (TECU)	Korelasyon(r)	≈RMS (TECU)	Korelasyon(r)
codg	1.2	0.9932	0.5	0.9877
corg	1.4	0.9903	0.6	0.9840
casg	1.3	0.9943	1.8	0.9521
esag	1.7	0.9635	1.6	0.9475
esrg	1.6	0.9648	1.7	0.9500
igr	1.0	0.9943	1.0	0.9719
igsg	0.9	0.9954	0.9	0.9864
jplg	1.7	0.9946	1.6	0.9798
jprg	1.8	0.9950	1.7	0.9805
upcg	1.6	0.9870	1.0	0.9620
uprg	1.6	0.9911	0.8	0.9737
whug	1.7	0.9933	0.7	0.9703
Ortalama	1.46		1.16	

5.4.2. ARUC İstasyonu RMS ve Korelasyonu

Tablo 5.6'da görüldüğü gibi ARUC GPS/GNSS istasyonunda 2013 (Yüksek Güneş Aktivitesi) yılında veri bulunamadığından değerlendirme yapılamamıştır. 2018 (Düşük Güneş Aktivitesi) yılında ise yaklaşık 0.6 TECU olan RMS değeri ve 0.9803 korelasyon değeri ile GNSS servisi (codg)' nin diğer GNSS servislerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 5.6. ARUC 2018 yılı $TEI_{GPS}-TEI_{KIH}$ karşılaştırma sonuçları

KIH(ARUC)	2018 (Düşük Güneş Aktivitesi)	
	\approx RMS (TECU)	Korelasyon(r)
codg	0.6	0.9803
corg	0.8	0.9663
casg	1.6	0.9432
esag	1.4	0.9271
esrg	1.6	0.9263
igr	1.4	0.9614
igsg	1.2	0.9788
jplg	2.0	0.9702
jprg	2.0	0.9725
upcg	1.0	0.9480
uprg	0.8	0.9647
whug	0.8	0.9700
Ortalama	1.27	

5.4.3. CRAO İstasyonu RMS ve Korelasyonu

Tablo 5.7’de görüldüğü gibi 2013 (Yüksek Güneş Aktivitesi) yılında yaklaşık olarak 0.9 TECU olan RMS değeri ve 0.9943 korelasyon değeri ile GNSS servisi (igsg)’ nin diğer GNSS servislerine göre daha iyi sonuç verdiği, 2018 (Düşük Güneş Aktivitesi) yılında ise 0.5 TECU olan RMS ve 0.9877 korelasyon değeri ile GNSS servisi (codg)’ nin diğer GNSS servislerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 5.7. CRAO 2013 ve 2018 yılları $TEI_{GPS}-TEI_{KİH}$ karşılaştırma sonuçları

KİH(CRAO)	2013 (Yüksek Güneş Aktivitesi)		2018 (Düşük Güneş Aktivitesi)	
	≈RMS (TECU)	Korelasyon(r)	≈RMS (TECU)	Korelasyon(r)
codg	0.9	0.9934	0.5	0.9877
corg	1.2	0.9917	0.6	0.9840
casg	1.1	0.9935	1.8	0.9521
esag	1.6	0.9810	1.1	0.9475
esrg	1.6	0.9812	1.0	0.9500
igr	1.1	0.9931	0.8	0.9719
igsg	0.9	0.9943	0.7	0.9864
jplg	1.9	0.9938	1.5	0.9798
jprg	1.9	0.9938	1.5	0.9805
upcg	1.6	0.9860	0.9	0.9620
uprg	1.4	0.9896	0.7	0.9737
whug	1.0	0.9936	0.7	0.9703
Ortalama	1.22		0.98	

5.4.4. DYNG İstasyonu RMS ve Korelasyonu

Tablo 5.8' de görüldüğü gibi 2013 yılında yaklaşık 1.3 TECU olan RMS değeri ve 0.9935 korelasyon değeri ile GNSS servisi (igsg)' nin diğer GNSS servislerine göre daha iyi sonuç verdiği, 2018 yılında ise yaklaşık 0.9 TECU RMS ve 0.973 korelasyon değeri ile GNSS servisi (whug)' nin diğer GNSS servislerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 5.8. DYNG 2013 ve 2018 yılları $TEI_{GPS}-TEI_{KİH}$ karşılaştırma sonuçları

KİH (DYNG)	2013 (Yüksek Güneş Aktivitesi)		2018 (Düşük Güneş Aktivitesi)	
	≈RMS (TECU)	Korelasyon(r)	≈RMS (TECU)	Korelasyon(r)
codg	1.2	0.9922	0.9	0.9736
corg	1.7	0.9902	0.8	0.9749
casg	1.4	0.9928	1.6	0.9558
esag	2.2	0.9769	1.4	0.9413
esrg	1.7	0.9839	1.3	0.9494
igr	1.3	0.9931	1.1	0.9704
igsg	1.3	0.9935	1.3	0.9770
jplg	2.1	0.9932	1.8	0.9772
jprg	2.2	0.9934	1.9	0.9776
upcg	1.5	0.9890	0.9	0.9679
uprg	1.7	0.9903	0.8	0.9789
whug	1.3	0.9914	0.9	0.9739
Ortalama	1.46		1.16	

5.4.5. NICO İstasyonu RMS ve Korelasyonu

Tablo 5.9'da görüldüğü gibi 2013 (Yüksek Güneş Aktivitesi) yılında yaklaşık olarak 1.3 TECU olan RMS değeri ve 0.9932 korelasyon değeri ile GNSS servisi (igsg)' nin diğer GNSS servislerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüş, 201 yılında ise NICO istasyonu için veri alınamadığından değerlendirme yapılamamıştır.

Tablo 5.9. NICO 2013 yılı $TEI_{GPS}-TEI_{KIH}$ karşılaştırma sonuçları

KİH(NICO)	2013 (Yüksek Güneş Aktivitesi)	
	\approx RMS (TECU)	Korelasyon(r)
codg	1.4	0.9904
corg	2.2	0.9843
casg	1.6	0.9897
esag	2.3	0.9768
esrg	2.1	0.9802
igr	1.6	0.9908
igsg	1.3	0.9932
jplg	2.5	0.9923
jprg	2.0	0.9924
upcg	1.9	0.9840
uprg	2.2	0.9843
whug	1.5	0.9886
Ortalama	1.88	

Yapılan bir diğer karşılaştırma, istatistiksel olarak daha anlamlı bir parametre olan RMS değerleri yardımıyla yürütülmüştür. Tablo 5.10 bir anlamı ile uygulama çalışmasının hızlı bir özeti olarak ta yorumlanabilir.

Tablo 5.10 2013 ve 2018 yılları bütün $TEI_{GPS}-TEI_{KIH}$ farkları RMS sonuçları

KİH	Yüksek Güneş Aktivitesi	Düşük Güneş Aktivitesi
	RMS (TECU)	RMS (TECU)
codg	1.20	0.70
corg	1.63	0.74
casg	1.37	1.69
esag	1.95	1.28
esrg	1.78	1.33
igr	1.30	1.12
igsg	1.16	1.06
jplg	2.08	1.76
jprg	2.15	1.78
upcg	1.70	0.97
uprg	1.76	0.82
whug	1.29	0.80
Ortalama	1.61	1.17

Tablo 5.10, düşük güneş aktivitesi altında yani 2018 yılında, JPL servisi hariç diğer servislerin iyonosfer haritaları $RMS_{\Delta TEI}$ değerlerinde anlamlı iyileşmeler olduğunu göstermektedir. Bu durum küresel iyonosfer haritalarının modelleme başarısında güneş aktivitesinin önemli olduğu varsayımını doğrulamaktadır.

Teyit edilen bu varsayımdan hareketle, iyonosferin aktif olduğu dönemlerde, yerel öğle saatlerinde, yüksek enlem bölgelerinde ve iyonosferi etkileyebilecek diğer olayların varlığı altında, küresel iyonosferik modellerin başarısının görece kısıtlı kalacağı söylenebilmektedir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İyonosfer tabakasındaki serbest elektronların GNSS sinyalleri üzerindeki etkisi kuşkusuz konum belirleme çalışmaları için başlıca araştırma konularından birisidir. Ancak, iyonosfer tabakasındaki değişimler sadece ölçme ve jeodezinin değil yer ve uzay bilimleri içerisinde bu değişimlerin kaynağı konusunda tezler ileri süren pek çok bilim alanının da ilgisi dâhilindedir.

İyonosfer tabakasını veya daha doğru ifadesi ile tabakadaki anlık elektron yoğunluğunu belirlemenin en kullanışlı yolu yine GNSS ölçüleridir ve hem istasyon bazında daha hassas çözümler arayan hem de küresel iyonosfer haritalarını üreten algoritmaların temel verisi GNSS ölçüleridir.

Yerküre üzerinde herhangi bir konumdaki iyonosferik aktiviteyi belirleyebilmek için o bölgedeki GNSS istasyonlarının topladığı verilerin tez içerisinde verilen matematik eşitlikler yardımıyla değerlendirilmesi daha duyarlı ve/veya bulgusal olmakla birlikte hızlı, pratik ve kolay erişilebilen kurgusu dolayısıyla Küresel İyonosfer Haritaları (KİH) giderek daha fazla sayıda kullanıcı için başvuru kaynağı olmaktadır.

Küresel İyonosfer Haritalarının kullanımının yaygınlaşması bu haritaların doğruluk ve duyarlılık bazlı değerlendirilmeleri için çalışmaların da motivasyon kaynağıdır. Bu tez kapsamında da Türkiye’de yapılan çalışmalarda iyonosfere ilişkin verilerin temin edildiği Küresel İyonosfer Haritalarının performansları ve güvenilirliklerinin yaygın bir metodoloji ile test edilmesi amaçlanmıştır.

Türkiye coğrafi alanı üzerinde yürütülecek test prosedürleri için konumsal olarak test alanını kapsayan ve yeterli GNSS verisi sağlayan 5 adet IGS istasyonu seçilmiş ve öncelikle bu istasyonlarda istenilen zaman aralıkları için doğrudan istasyon bazlı TEI hesabı yürütülerek karşılaştırma verisi (TEI_{GPS}) elde edilmiştir. Daha sonra ise Küresel İyonosfer Haritalarından aynı noktalara aynı zaman aralıkları için $TEI_{KİH}$ değerleri enterpole edilmiştir. Bu kapsamda 7 farklı servis tarafından üretilmekte olan 12 farklı KİH haritası değerlendirmeye alınmıştır.

Değerlendirmenin daha kapsayıcı olması açısından iyonosferin sakin ve hareketli olduğu iki ayrı zaman diliminde karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. 2013 yılı iyonosfer için hareketli dönemi ($100 < F10.7_{sfu} < 160$) 2018 yılı ise sakin dönemi ($60 < F10.7_{sfu} < 80$) temsil etmektedir.

Sonuçlarda göze çarpan durumlardan biri; Küresel İyonosfer Haritalarından elde edilen değerler ile ($TEI_{KİH}$) ve istasyon bazlı hesaplanan değerler (TEI_{GPS}) arasındaki yüksek korelasyondur. Yüzde 99 lara varan korelasyonlar veri setleri arasındaki güçlü ilişkiyi göstermektedir. Bu durum her iki algoritmanın da GNSS verisini kullanmasının doğal ve beklenen sonucudur.

Esasında, çok yüksek korelasyon KİH haritalarının GNSS verilerinden oluşturulduğunun bir teyidi olarak da yorumlanabilir. Bazı KİH'lerin küresel modellemede özellikle de GNSS istasyonu eksikliği bulunan açıklıklarda (okyanuslar gibi) farklı veri setlerinden de (uydu altimetresi vb.) yararlandığı ilgili servisler tarafından ifade ediliyor olsa da, küresel model içerisinde bu ek veri setlerinin küresel ızgaradaki diğer konumları çok etkilemediği anlaşılmaktadır. Bir başka söyleyişle, GNSS verilerini tamamlamak için kullanılan ek verilerin küresel model üzerinde bir ağırlığı gözlenmemektedir. Bu veri setlerinin sadece kendi yakın çevrelerini etkiliyor olması olasıdır.

Bununla birlikte; 2013 yılı ve 2018 yılı korelasyon değerleri arasındaki farklılık da üzerinde durulmaya değerdir. Küresel İyonosfer Haritaları ve istasyon bazlı TEI hesabı arasındaki korelasyonun 2013 yılından 2018 yılına bir miktar azaldığı görülmüştür. 2013 yılı iyonosfer açısından hareketli yıl olmasına rağmen %98-%99 düzeyinde seyreden korelasyonun, iyonosferin sakin olduğu 2018 yılında %95' lere kadar gerilediği, kabaca -yüzde olarak- 3 puan civarında bir korelasyon azalması olduğu uygulamalardan gözlenmektedir.

Yüksek korelasyonun Küresel İyonosfer Haritalarının da GNSS ölçülerine dayanması kaynaklı olduğu göz önüne alındığında, analiz servislerinin 2018 yılında GNSS dışı veri kullanımını az da olsa arttırdıkları, uydu altimetresi gibi ek verileri modellemelerine daha fazla dâhil ettikleri sonucunu çıkarsamak mümkündür.

Korelasyon değişimi sonuçlarına göre; 2013-2018 yılları arasında GNSS dışı veri kaynağını en çok arttıran servisler Çin Bilimler Akademisi (CAS-casg) ve Avrupa

Uzay Operasyon Merkezi (ESA-esag) olmuştur. Her iki modelde de %4 civarında bir GNSS dışı veri katılımı bulgusu gözlenmektedir.

Sonuçlara dair net olarak gözlenen bir diğer konu Küresel İyonosfer Haritalarından erişilen $TEI_{KİH}$ değerlerinin istasyonlarda doğrudan kestirilen TEI_{GPS} değerleri ile farklarının (ΔTEI) büyük çoğunlukla 2 TECU civarında ve altında seyretmesidir. Tüm servisler için 4 TECU' nun üzerindeki farkların azlığı ise çok belirgindir.

Sonuçları daha iyi izleyebilmek adına, ΔTEI farkları (0-2, 2-4 ve >4 TECU olmak üzere) 3 sınıfa ayrılmış ve sınıflardaki yığılımlar izlenmiştir. Uygulama dikkatle izlendiğine, farkların 2 TECU çevresinde yoğunlaştıkları dolayısıyla 1.ve 2.sınıflar arası yığılımın geçişken olduğu anlaşılmaktadır. Bu tespitten hareketle, ΔTEI farklarının yaklaşık 2σ 'yı temsil eden bir yoğunluk ile 2 TECU' nun altında veya çok yakınında kaldığının söylenmesi mümkündür.

ΔTEI farkları için ilk sınıf yığılımı arası geçişkenlik olduğu göz önüne alınarak 3.sınıf yani 4 TECU' dan büyük farklar üzerinden de bir değerlendirme gereksinimi duyulmuştur.

5 farklı istasyon ve 2 ayrı yıl için tekrarlanan 8 uygulamanın Tablo 5.3' te özetlenen sonuçları incelendiğinde; corg, esag, esrg, jplg ve jprg modellerinin, 1 veya 2'şer kez %10' un üzerindeki bir yığılıma çıktığı görülmüştür. Yine bu anlamda jplg ve jprg modellerinin %27-%29 oranlarında 4 TECU' nun üzerinde yığılımlarına da rastlanılmaktadır.

Bununla birlikte, codg' nin bir kez (%1,5), casg' nin bir kez (%3,5), igsg' nin 2 kez (%3,5-4) ve whug' nin de yine iki kez (1,8-2,6) ile %1 in üzerinde 4 TECU üzeri yığılım değerlerinde oldukları izlenmiştir.

KİH 'lerin performansını irdelenebilmek adına TEI_{GPS} ile oluşan 4 TECU üzeri farklar baz alındığında, codg, casg, whug ve igsg modellerinin ayırt edilebilir düzeyde bir güvenilirlik sergiledikleri, codg 'nin diğerlerine göre az da olsa öne çıktığı değerlendirilmektedir.

Uygulamada erişilen en büyük ΔTEI farkları mercek altına alındığında, sadece esag ve upcg modellerinde 10 TECU' ya varan değerlerin gözleendiği, diğer modellerde ise 5-7 TECU' yu geçen farklara rastlanmadığı görülmektedir. Maksimum farkların tekrar sıklığının ise bin delik düzeyde kaldığı anlaşılmaktadır.

Tüm ΔTEI farklarının yere ögüle saati itibari ile hesaplatıldığı, bir diğer söyleyişle günün en kestirimi zor saatinde en yüksek olması beklenen değerler itibari ile değerlendirmenin yürütüldüğünün altının bir kez daha çizilmesinde yarar görülmektedir.

Küresel İyonosfer Haritaları RMS değerleri üzerinden değerlendirilecek olursa (Tablo 5.10), 2013 yılında 0.9 TECU RMS ortalaması ile Uluslararası GNSS Servisi (IGS) tarafından üretilen igsg, düşük solar aktiviteli 2018 yılında ise 0,5 TECU RMS ortalaması ile Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi (CODE) tarafından üretilen codg haritalarının en düşük değerlere eriştiiği gözlenmektedir.

RMS değerlerinin tüm verilerin ortalaması olarak 2013 ve 2018 yılı bazında elde edildiği, dolayısıyla gün içi herhangi bir zaman dilimi veya mevsim özelinde değerlendirilemeyeceği de not olarak düşülmelidir.

24 saatlik zaman dilimi itibari ile elde edilen bu ortalama farkların iyonosferin aktif olduğu saatlerde (Local Time 10.00-16.00) bir miktar daha yüksek çıkacağı açık olmakla birlikte, KİH modellerinin yetersiz olarak nitelenemeyeceklerini söylemek güç değildir.

Uygulama sonuçlarına dayanılarak dikkatlerin çekilmesini hak ettiği düşünülen bir diğer husus da aynı servis tarafından sunulan hızlı ve final ürünler arasında ciddi farklılıkların gözlenmemiş olmasıdır.

Aynı servislerce üretilen corg-codg (CODE), igrg-igsg (IGS), esrg-esag (ESA), jprg-jplg (JPL) ve uprg-upcg (UPC) rnleri arasındaki değişimde performans açısından incelemeye tabi tutulmuş ve servisler arasındaki karşılaştırmalar hızlı ve final ürünler için de yürütülmüştür.

Buna göre ΔTEI farklarının, gerek Tablo 5.6 teki yığılımları ve Tablo EK.D.5'deki maksimum değerlerinde ve gerekse Tablo 5.10' da özetlenen RMS değerlerinde, hızlı ve final ürünler arasında ciddi değişimlerin olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 6.1' de, hızlı ürüne göre final üründe oluşan iyileşmelerin 2013 hareketli yılında, 0.1 TECU ve altında kaldıkları, sadece IGS rnleri için 0.2 TECU iyileşmenin gözlendiği, 2018 sakin yılında ise iyileşmelerin daha da düşük miktarda gerekleştiiği izlenmektedir.

Bu durum, hızlı ürün olarak sunulan Küresel İyonosfer Haritalarının -özellikle de iyonosferin sakin olduğu zaman dilimleri için- kullanımı adına umut verici bulunmaktadır.

Farklı servisler tarafından üretilen Küresel İyonosfer Haritalarında amaçlarına göre farklı yöntemler kullanmaları dolayısıyla zamana ve konuma bağlı değer farklılıklarının oluşması olağan bir durumdur. Ayrıca aynı servisin hızlı ve kesin yörünge verilerini kullanarak ürettikleri haritalara ait sonuçlardaki küçük iyileşmeler de yine olağan ve beklenen durum olmakla birlikte yörünge verilerinin iyileştirilmesi dâhil tüm sonuçlardaki değişimin 1 TECU' nun altında kaldığına dikkat edilmelidir.

Tüm sonuçlar dikkate alındığında 24 saatlik günlük ortalama değerlerinde Türkiye iyonosferini modelleyen Küresel İyonosfer Haritalarının ≈ 1 TECU doğruluğu sağlandığı söylenebilir. Bu da KİH' lerin, test bölgesi coğrafi konumunda, pek çok uygulayıcı için yeterli duyarlılıkta iyonosfer verisi sunabildiği şeklinde yorumlanabilir.

Bununla birlikte, çalışma alanının iyonosferin görece stabil olduğu orta enlem bölgesinde yer aldığı, verisi kullanılan GNSS istasyonlarının orta enlem kuşağında olduğu, dolayısıyla KİH' lerdeki başarı düzeylerinin değerlendirilmesinde bu durumun da dikkate alınması gerektiği vurgulanmalıdır.

Sonuçlar iyonosfer belirlemede, daha doğru ifadesi ile TEİ hesabında Küresel İyonosfer Haritalarının kullanımını genel itibari ile olumlu görmektedir. Kuşkusuz, istasyon bazlı TEİ hesabı, modellenmemiş ve süzgeçlenmemiş sonuçları dolayısıyla, iyonosferi tanılamada pek çok çalışma disiplini için birincil yöntem olmaya devam edecektir. Özellikle, iyonosferdeki anomalilere odaklanan araştırmalar için küresel modeller ani değişimleri model içerisinde sürdürmeleri dolayısıyla dezavantajlar barındırmaktadır. Bazı verilerin filtrelenmeleri, değişimlerin lokalize edilemeyerek modele yayılmaları gibi matematik algoritmaların doğal handikapları göz önüne alındığında küresel iyonosferik modellerin istasyon bazlı TEİ hesabının tümüyle yerini almasının beklenmemesi gerektiği düşünülmektedir.

Bununla birlikte, ulaştıkları doğruluğun kullanıcı ihtiyaçlarını karşıladığı bulgusu göz önüne alındığında küresel modellerin yaygın kullanımı artarak devam edecektir. Ayrıca, öncül bazı çalışmalarda değinilen [62] istasyon bazlı TEİ hesabında uydu geometrisinin handikaplı olduğu durumlarda da istasyon bazlı TEİ hesabına nazaran daha güvenilir oldukları da savlanabilir.

İlerleyen süreçlerde veri işleme ve saklama kapasitesindeki gelişmeler, küresel modellerin kullandıkları GNSS istasyonlarının sayılarının artması, haritaların zamansal ve konumsal çözünürlüklerinin yükselmesi ve GNSS dışı veri kaynaklarının da modellemelere daha sağlıklı bir şekilde entegre edilmesi ile küresel iyonosferik modellemelerde iyileştirmeler gerçekleşecektir. Bu noktada gerçek zamanlı Küresel İyonosferik Haritaların ve onların yaygın kullanımının yakın geleceğin gündemi olduğu da güçlü bir not olarak düşünülmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] Liu Z., Gao Y., Ionospheric TEC Predictions Over a Local Area GPS Reference Network, *GPS Solutions*, 2004, **8**(1), 23-29.
- [2] Hernández-Pajares M., Juan J. M., Sanz J., Orus R., Garcia-Rigo A., Feltens J., Komjathy A., Schaer S. C., Krankowski A., The IGS VTEC maps: a reliable source of ionospheric information since 1998, *Journal of Geodesy*, 2009, **83**(3-4), 263-275.
- [3] Schaer S. Société helvétique des sciences naturelles, Commission géodésique, *Mapping and predicting the Earth's ionosphere using the Global Positioning System*, Vol. 59, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidg. Technische Hochschule Zürich, 1999.
- [4] Ho C. M., Wilson B. D., Mannucci A. J., Lindqwister U. J., Yuan D. N., A Comparative Study of Ionospheric Total Electron Content Measurements Using Global Ionospheric Maps of GPS, TOPEX Radar and the Bent Model, *Radio Science*, 1997, **32**(4), 1499-1512.
- [5] Orús R., Hernández-Pajares M., Juan J. M., Sanz J., Garcia-Fernández M., Performance of Different TEC Models to Provide GPS Ionospheric Corrections, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2002, **64**(18), 2055-2062.
- [6] Feltens J., Angling M., Jackson-Booth N., Jakowski N., Hoque M., Hernández-Pajares M., Zandbergen R., Comparative Testing of Four Ionospheric Models Driven with GPS Measurements, *Radio Science*, 2011, **46**(06), 1-11.
- [7] Luo W., Liu Z., Li M., A Preliminary Evaluation of The Performance of Multiple Ionospheric Models in Low and Mid Latitude Regions of China in 2010–2011, *GPS Solutions*, 2014, **18**(2), 297-308.
- [8] Xiang Y., Yuan Y., Li Z., Wang N., Analysis and Validation of Different Global Ionospheric Maps (GIMs) Over China, *Advances in Space Research*, 2015, **55**(1), 199-210.
- [9] Rovira-Garcia A., Juan J. M., Sanz J., González-Casado G., Ibáñez, D., Accuracy of Ionospheric Models Used in GNSS and SBAS: Methodology and Analysis, *Journal of Geodesy*, 2016, **90**(3), 229-240.
- [10] Luo X., Xu H., Li Z., Zhang T., Gao J., Shen Z., Wu Z., Accuracy Assessment of The Global Ionospheric Model Over The Southern Ocean Based on Dynamic Observation, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2017, 154, 127-131.

- [11] Roma-Dollase D., Hernández-Pajares M., Krankowski A., Kotulak K., Ghoddousi-Fard R., Yuan Y., Feltens J., Consistency of Seven Different GNSS Global Ionospheric Mapping Techniques During One Solar Cycle, *Journal of Geodesy*, 2018, **92**(6), 691-706.
- [12] Nayir H., Küresel Konumlama Sistemi Kullanılarak Toplam Elektron İçeriği Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 185631.
- [13] Davies K., Hartmann G. K., Studying the Ionosphere with the Global Positioning System, *Radio Science*, 1997, **32**, 1695-1704.
- [14] Schaer S., Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, Ph.D Thesis, Astronomical Institute, University of Berne, Sweden, 1999.
- [15] Peker P., Yerel İyonosferdeki Toplam Elektron Miktarının (TEC) Ionolab-TEC Yöntemiyle Ve Global Modelden Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2018, 522143.
- [16] <http://www.Heavenawaits.wordpress.com>, (Ziyaret Tarihi: 14 Mart 2019).
- [17] <http://www.lessmiths.com/~kjsmith/radio/iongrad.gif>, (Ziyaret Tarihi: 15 Mart 2019).
- [18] Ulukavak M., Ekvatorial ve Orta Kuşak Depremleri ile İyonosferik TEC Anomalileri Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016, 456253.
- [19] Başçiftçi F., GNSS Verileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması ve Global Modellerle Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2017, 485146.
- [20] Komjathy A., Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System. Ph.D. dissertation, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 188, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 248 pp, 1997.
- [21] Danilov A. D., Lastovicka J., Effects of Geomagnetic Storms on the Ionosphere and Atmosphere, *International Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, 2001, **2**, 209-224.
- [22] Skone S., Cannon M. E., Ionospheric Effects on Differential GPS Applications during Auroral Substorm Activity, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**, 279-288.
- [23] <http://www.fizik.akademisi.com>, (Ziyaret Tarihi: 28 Şubat 2019).
- [24] Gizawy L. M., Development of an Ionosphere Monitoring Technique Using GPS Measurements for High Latitude GPS Users, Ph.D Thesis, University of Calgary, 2003.
- [25] https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation, (Ziyaret Tarihi: 19 Mart 2019).

- [26] https://cdis.nasa.gov/Techniques/GNSS/GNSS_Overview.html, (Ziyaret Tarihi: 26 Mart 2019).
- [27] <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>, (Ziyaret Tarihi: 28 Mart 2019).
- [28] Kahveci M., Yıldız F., *GPS/GNSS (Uydularla Konum Belirleme Sistemleri) 5. Basım.*, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti, Ankara, 2012.
- [29] <https://gssc.esa.int>, (Ziyaret Tarihi : 2 Nisan 2019).
- [30] Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., *GPS Theory and Practice*, 5th ed., Springer Wien, NewYork, 2001.
- [31] http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2018/ait-gnss/03_gnss.pdf, (Ziyaret Tarihi: 2 Mayıs 2019).
- [32] Hugentobler U., Schaer S., Fridezi P., Bernese GPS Software Version 4.2., Astronomical Institute, University of Berne, Sweden, 2001.
- [33] Wild U., Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modeling and Monitoring, Ph.D Thesis, Schweizerische Geodätische Kommission, 1994.
- [34] Şentürk E., Taşıyıcı Dalgalar Üzerinde Toplam Elektron İçeriği Hesabı ve Hesap Kalitesine İlişkin Ölçütlendirme Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 372703.
- [35] Liao X., Carrier Phase Based Ionosphere Recovery Over a Regional Area GPS Network, Master's Thesis, University of Calgary, Canadian, 2000.
- [36] Langley R. B., Komjathy A., *High Precision Ionospheric Total Electron Count Mapping Using the Navstar Global Positioning System*, AGU Western Pacific Geophysics Meeting, Brisbane, Australia, 23-27 July 1996.
- [37] İnyurt S., İyonosferik TEC Dalgalanmalarının (Manyetik Fırtına, Solar Aktivite ve Deprem Kaynaklı) Uydu bazı Konumlama Sistemleriyle Araştırılması, Doktora Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2019, 535830.
- [38] Arıkan F., Erol C., Arıkan O., Regularized Estimation of Vertical Total Electron Content from Global Positioning System Data, *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108**, 1469-1480.
- [39] Çepni, M. S., Poots, L. V., Miima, J. B., High Resolution Station-based Diurnal Ionospheric Total Electron Content (TEC) from Dual-frequency GPS observations, *Space Weather*, 2013, **11** (9), 520-528.
- [40] Şentürk E., Türkiye'deki Depremlerin Sismik-İyonosferik Öncüllerinin GPS/GNSS Ölçüleriyle Zamansal, Mekansal, Spektral ve İstatistiksel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 538188.

- [41] Schaer S., Beutler G., Mervart L., Rothacher M., Wild U., Global and Regional Ionosphere Model Using the GPS Double Difference Phase Observable, *In the Proceeding of IGS Workshop on Special Topics and New Directions*, Germany, 15-17 May 1995.
- [42] TEC Global Map, <http://www.ips.gov.au/Satellite/2/2/>, (Ziyaret Tarihi: 2 Nisan 2019).
- [43] <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/>, (Ziyaret tarihi: 29 Nisan 2019).
- [44] Şentürk E., Çepni M., 2013-2016 Yılları Arası Türkiye İyonosferinin Zamansal Değişiminin İncelenmesi, *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi*, İzmir, Türkiye, 30 Mayıs- 2 Haziran 2018.
- [45] <https://www.space.fm/astronomy/earthmoonsun/nuclearfusion.html>, (Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2019).
- [46] Brekke A., *Physics of the Upper Polar Atmosphere*, 1st ed., Springer Science & Business Media, Berlin, 2012.
- [47] <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-cycle>, (Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2019).
- [48] <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-euv-irradiance>, (Ziyaret Tarihi: 8 Mayıs 2019).
- [49] <http://www.iaga-aiga.org/>, (Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2019).
- [50] <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/geomag/indices.html>, (Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2019).
- [51] Hunsucker R. D. and Hargreaves J. K., *The High-Latitude Ionosphere and Its Effects on Radio Propagation*, Cambridge University Press, Cambridge, 617, 2003.
- [52] Love J. J., Remick K. J., *Magnetic Indices, Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*, 1st ed., Springer, Netherlands, 509-512, 2007.
- [53] <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>, (Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2019).
- [54] Nakamura M., Yoneda A., Oda M., Tsubouchi K., Statistical Analysis of Extreme Auroral Electrojet Indices, Earth, *Planets and Space*, 2015, **67**(1), 153.
- [55] <http://www.igs.org/network>, (Ziyaret Tarihi: 03 Eylül 2019).
- [56] Şentürk, E., Çepni, M. S. (2018). Ionospheric temporal variations over the region of Turkey: a study based on long time TEC observations. *Acta geodaetica et. Geophysica*, 53 (4) 623-637
- [57] Schaer S., Gurtner W., Feltens J., IONEX: The IONosphere Map EXchange Format Version 1, Editors: Dow J. M., Kouba J., Springer T., *Proceedings of the IGS Analysis Center Workshop*, 1st ed., IGS Position Paper, Darmstadt, 233-247, 1998.

- [58] Blewitt G., Basics of the GPS Technique: Observation Equations in Geodetic Applications of GPS, Editors: B. Johnson, Nordic Geodetic Commission, Sweden, ISSN 0280-5731, 10-54, 1997.
- [59] Sugiura M., Hourly Values of Equatorial Dst for the IGY, *Annals of the International Geophysical Year*, 1964, **35**, 945-948.
- [60] Mervart L., Ambiguity Resolution Techniques in Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System, Ph.D Thesis, University of Bern, Bern, 1995.
- [61] Georgiadou Y., Kleusberg A., On the Effect of Ionospheric delay on Geodetic relative GPS Positioning, *Manuscripta Geodetica*, 1988, **13**, 1-8.
- [62] Çepni, M. S., Şentürk, E., Geometrik Quality Term For Station Based Total Electron Content Estimation, *Annals of Geophysics*, 2016, **59**(1), 1-10.

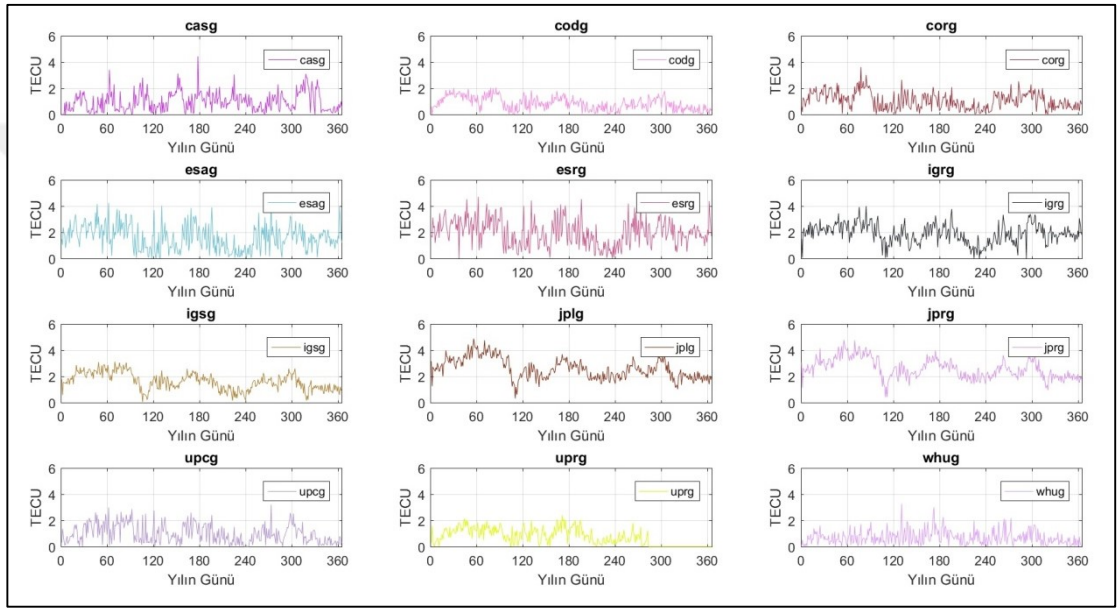




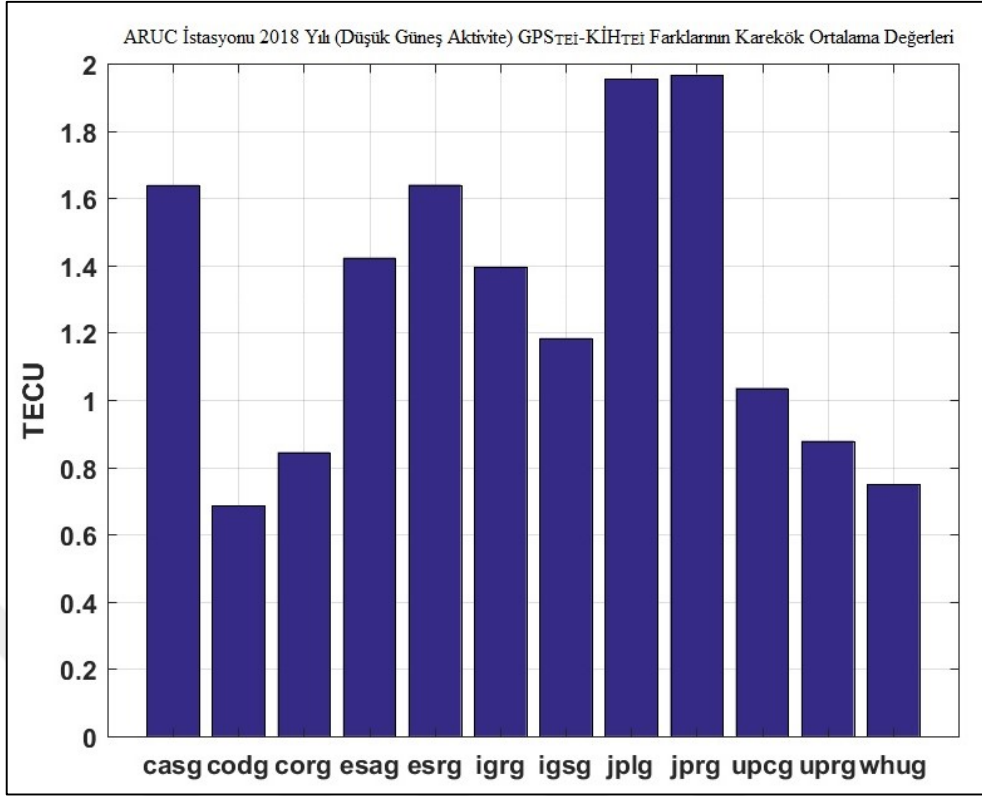
EKLER

EK-A

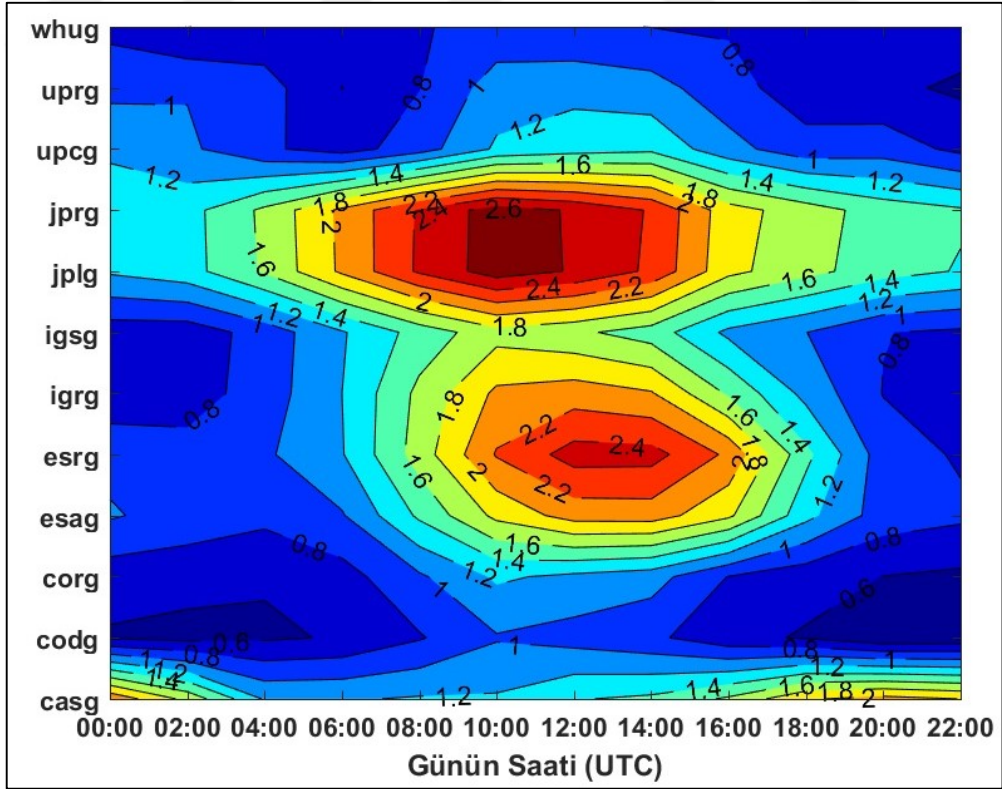
ARUC GPS/GNSS noktasının 2018 yılı (düşük solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının grafiği Şekil A.1.'de, 2018 yılı (Düşük solar aktivite) RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil A.2'de, 2018 yılı (Düşük solar aktivite) 2 saat aralıklı RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil A.3'de, 2018 yılı (Düşük solar aktivite) KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyonu grafiği Şekil A.4.'de gösterilmiştir.



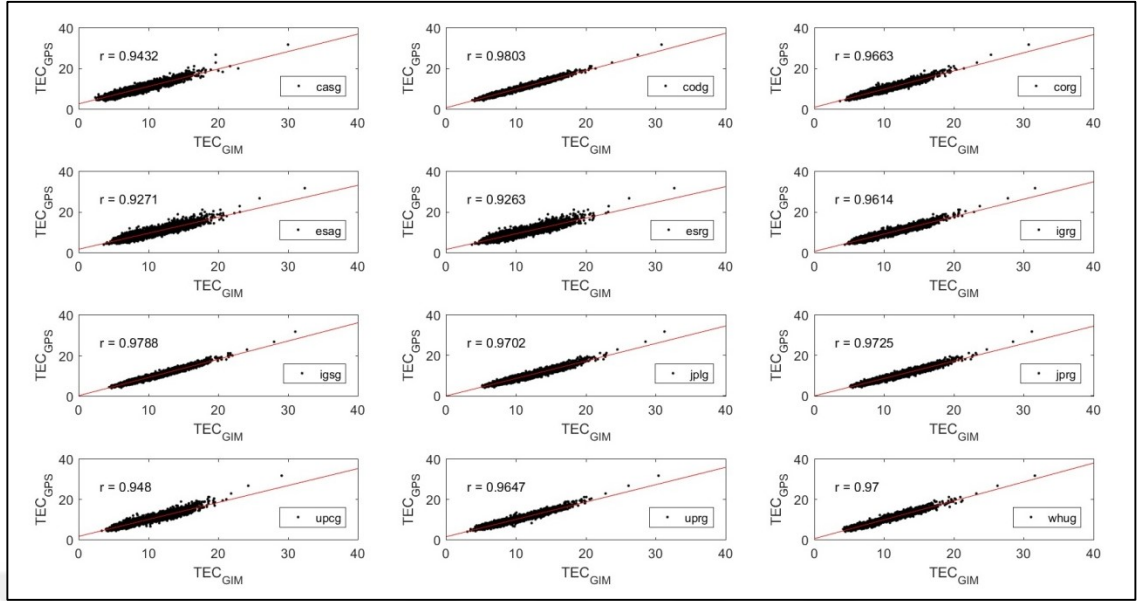
Şekil A.1. 2018 yılı (düşük solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farkları)



Şekil A.2. 2018 yılı (Düşük Solar Aktivite) RMS değerleri



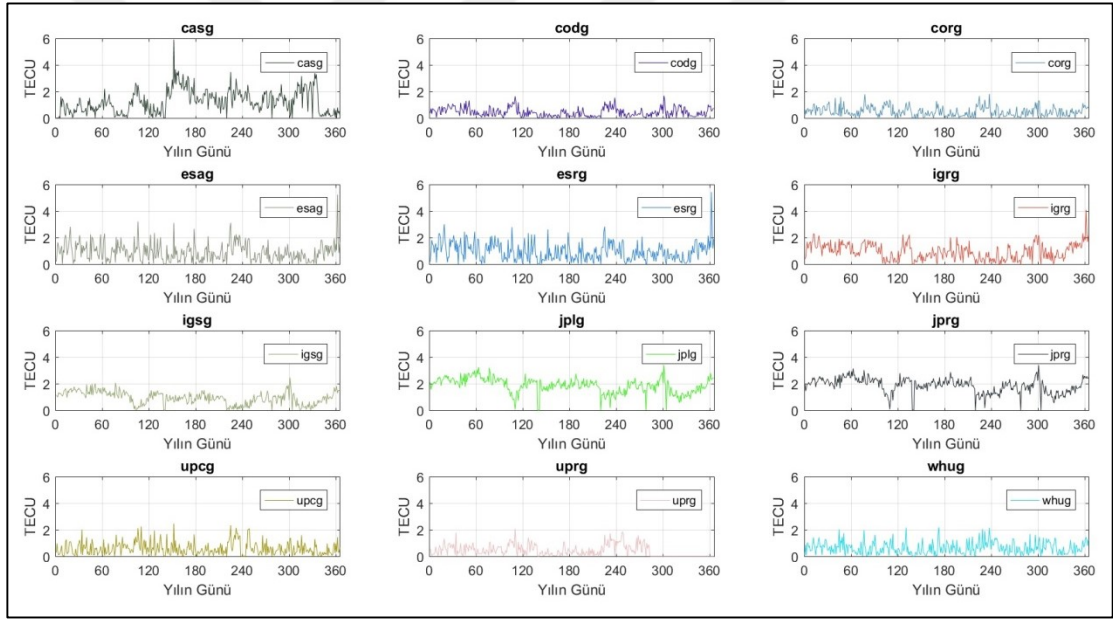
Şekil A.3. 2018 yılı (Düşük Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerleri



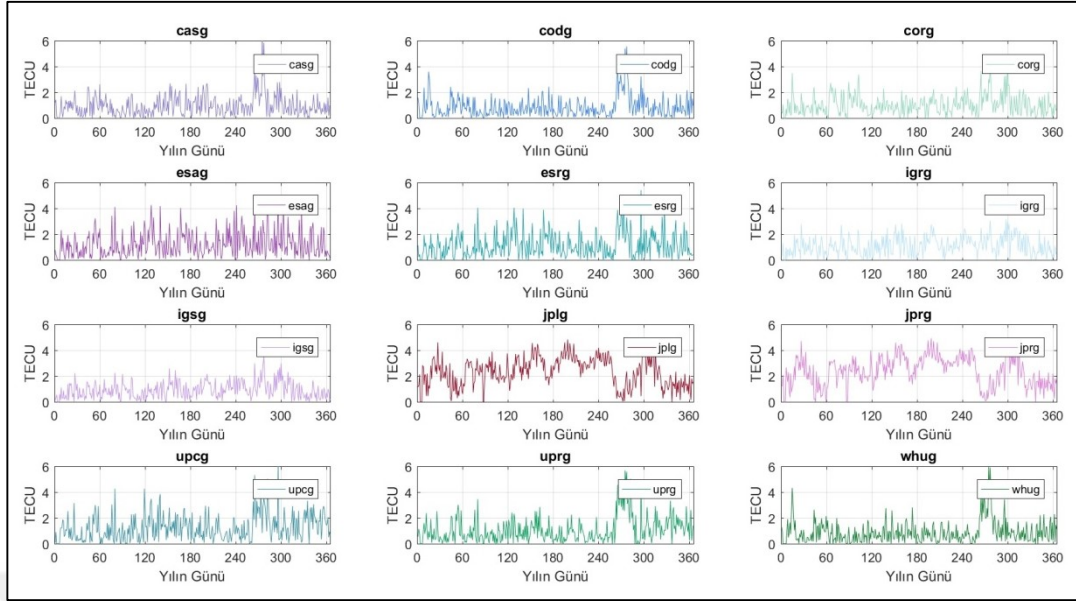
Şekil A.4. 2018 Yılı (Düşük solar aktivite) KIHTEİ ve GPSTEİ korelasyon grafiği

EK-B

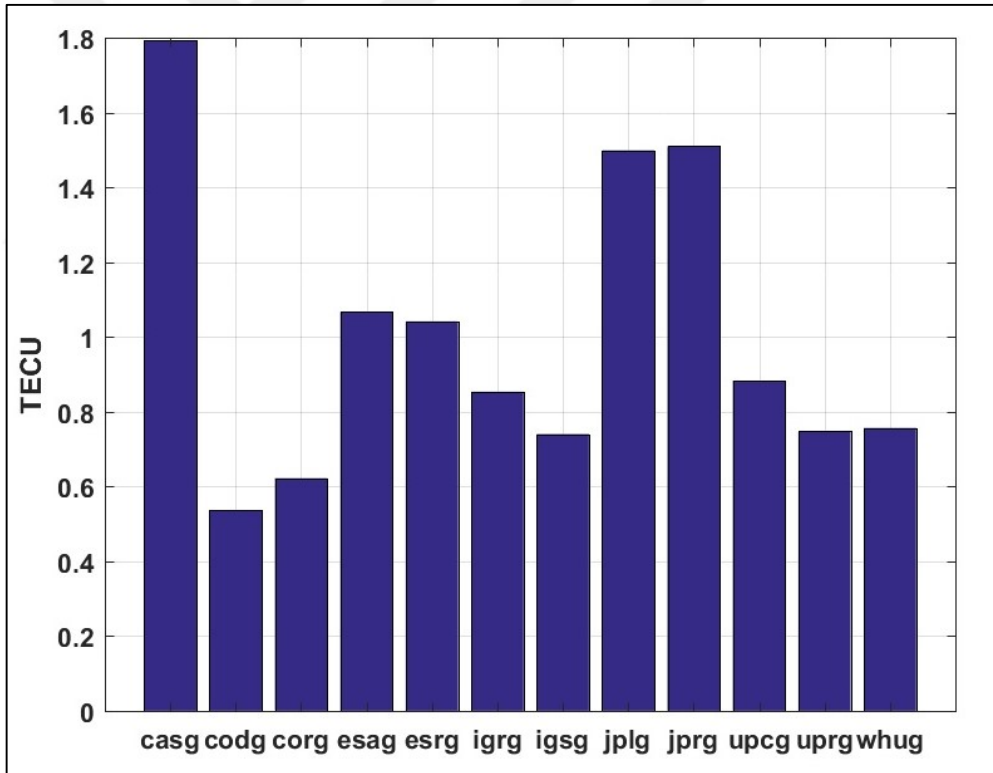
CRAO GPS/GNSS noktasının 2018 yılı (düşük solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının grafiği Şekil.B.1.'de, 2013 yılı (yüksek solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının grafiği Şekil.B.2.'de 2018 yılı (Düşük solar aktivite) RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil.B.3'de, 2013 yılı (Düşük solar aktivite) RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil.B.4'de, 2018 yılı (Düşük solar aktivite) 2 saat aralıklı RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil.B.5'de, 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) 2 saat aralıklı RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil.B.6'de, 2018 yılı (Düşük solar aktivite) KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyonu grafiği Şekil.B.7.'de, 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyonu grafiği Şekil.B.8.'de gösterilmiştir.



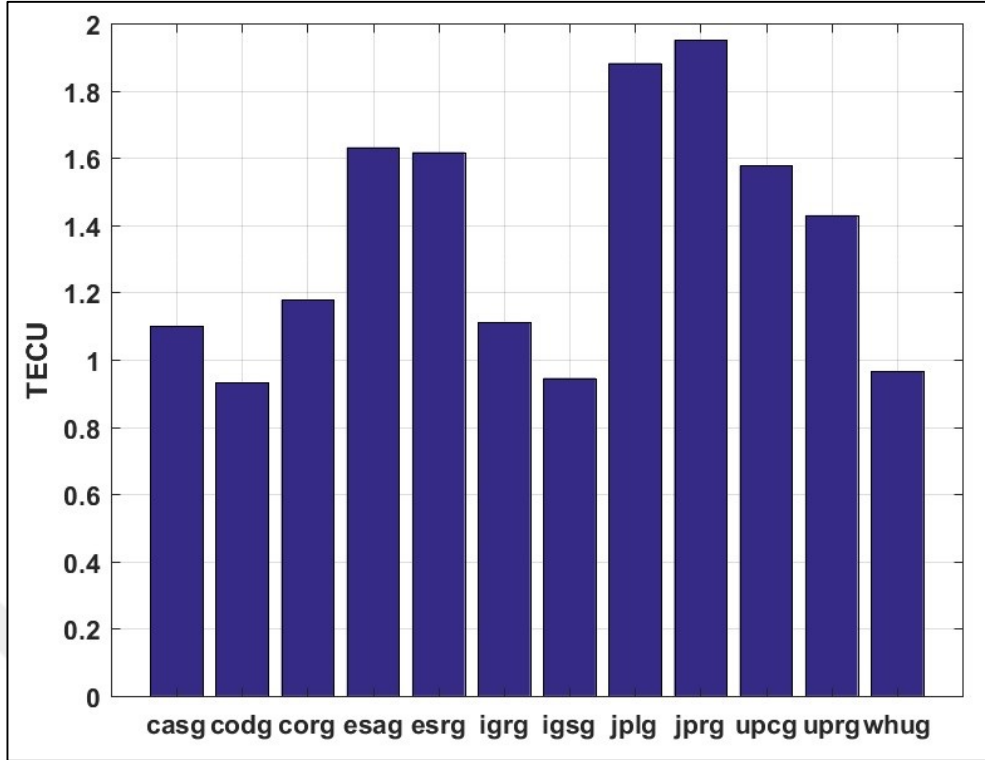
Şekil B.1. 2018 yılı (Düşük solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve $GPSTEI$ farkları)



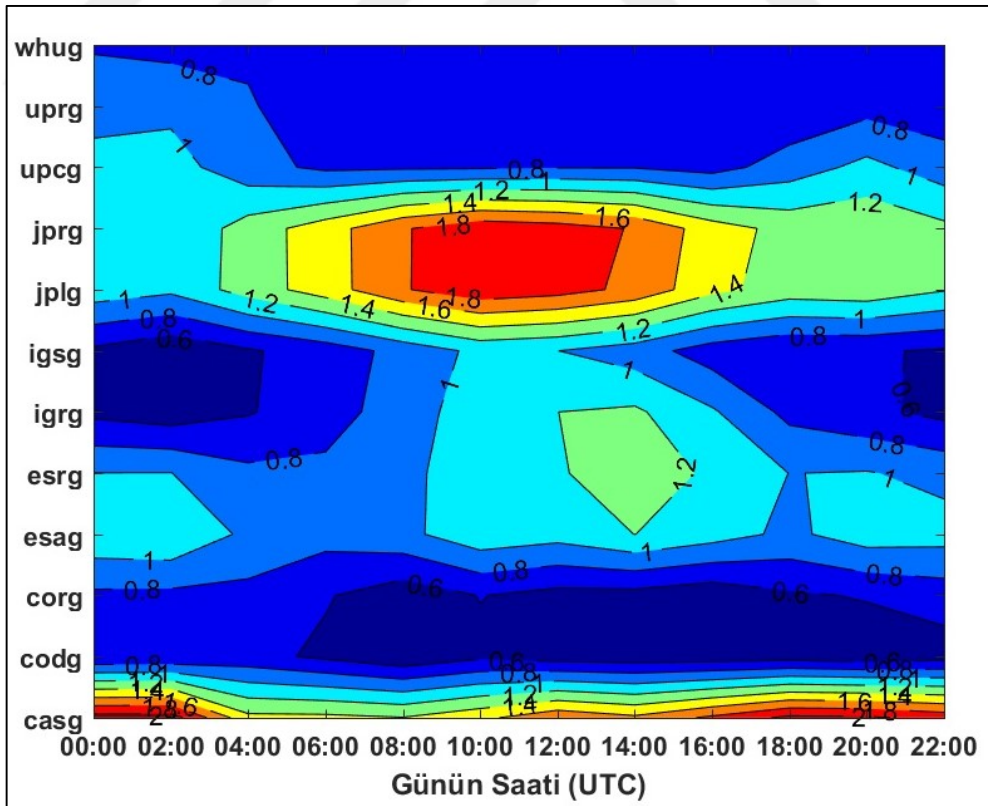
Şekil B.2. 2013 yılı (düşük solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farkları)



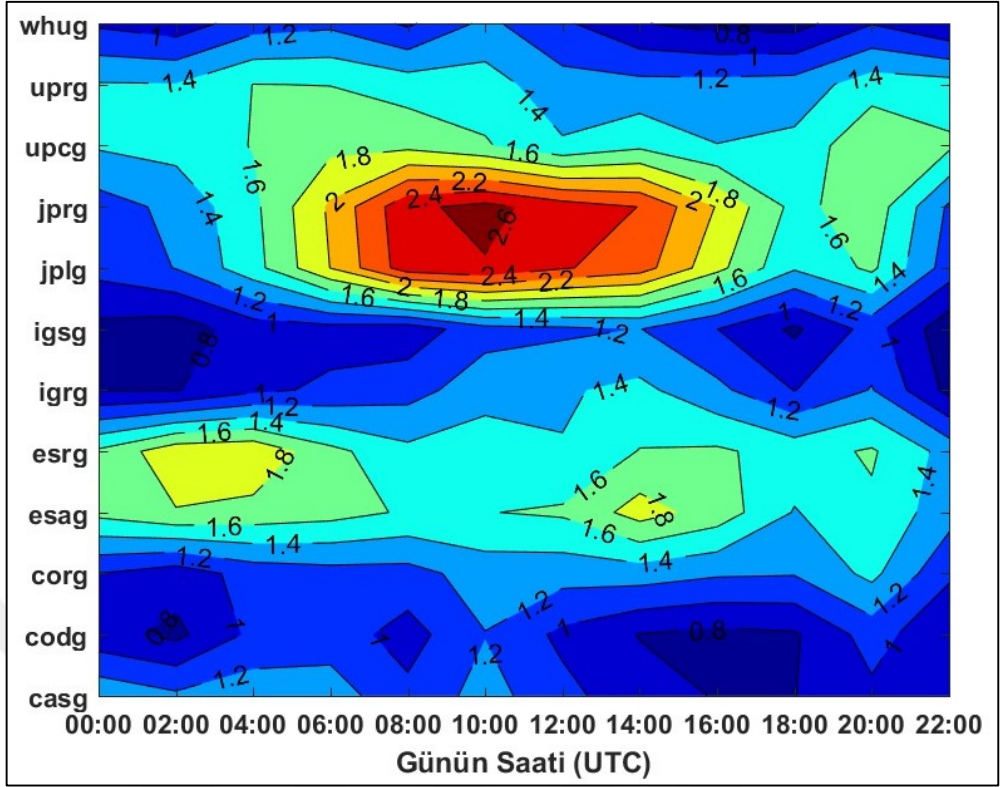
Şekil B.3. 2018 yılı (Düşük solar aktivite) RMS değerleri



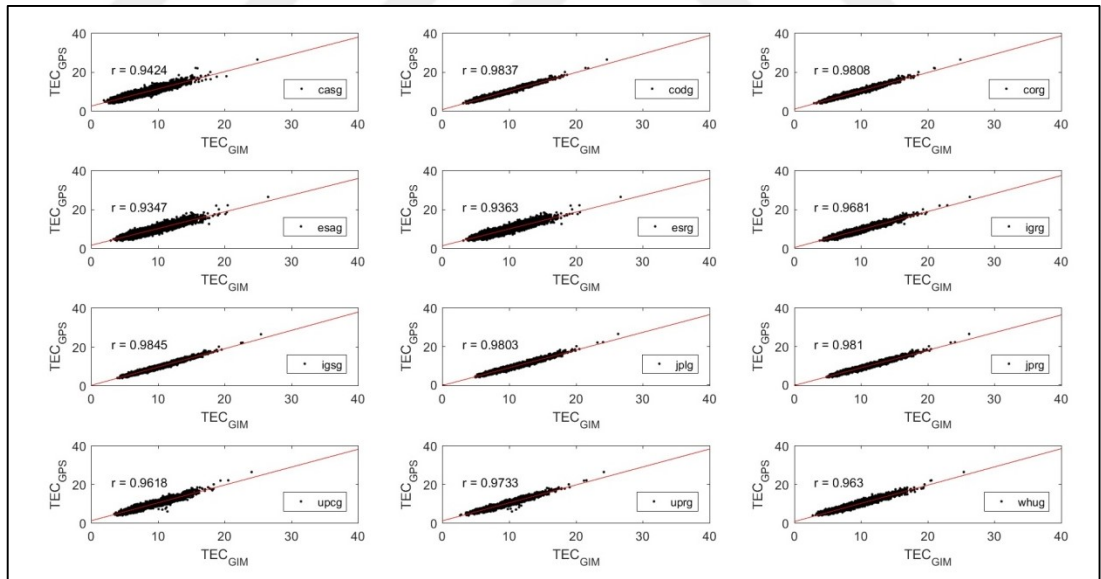
Şekil B.4. 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) RMS değerleri



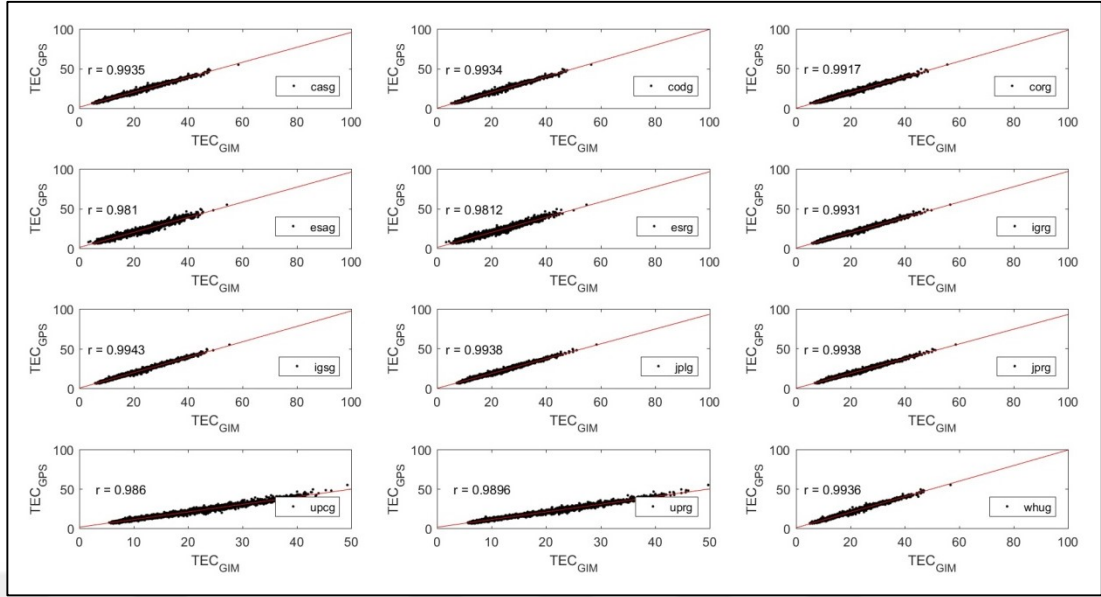
Şekil B.5. 2018 yılı (Düşük Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerleri



Şekil B.6. 2013 yılı (Yüksek Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerler



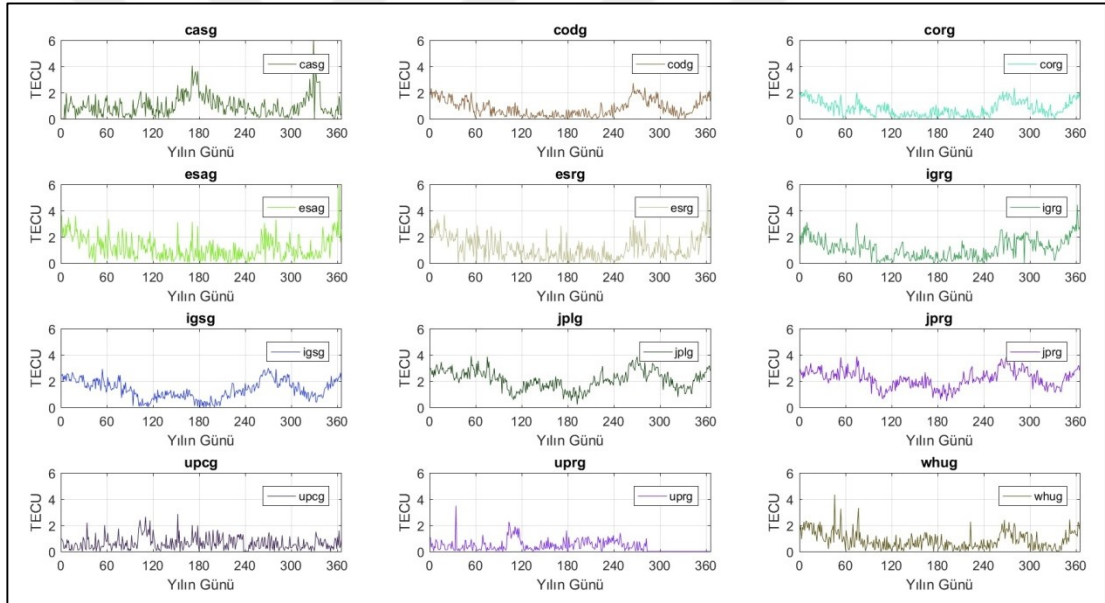
Şekil B.7. 2018 Yılı (Düşük solar aktivite) KİH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyon grafiği



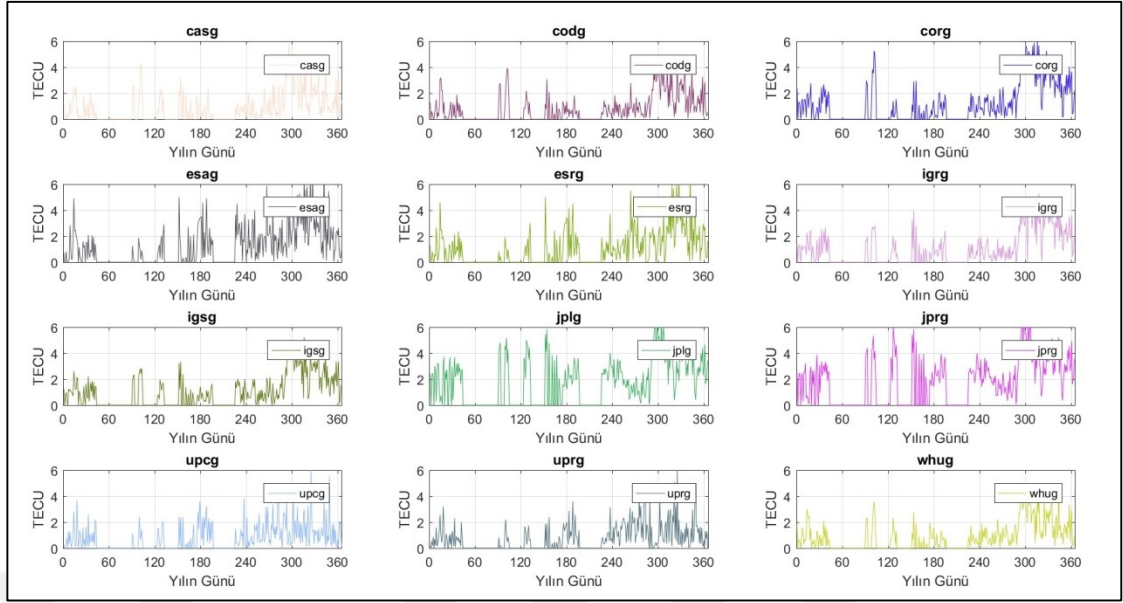
Şekil B.8. 2013 Yılı (Yüksek solar aktivite) KİH_{TEİ} ve GPS_{TEİ} korelasyon grafiği

EK-C

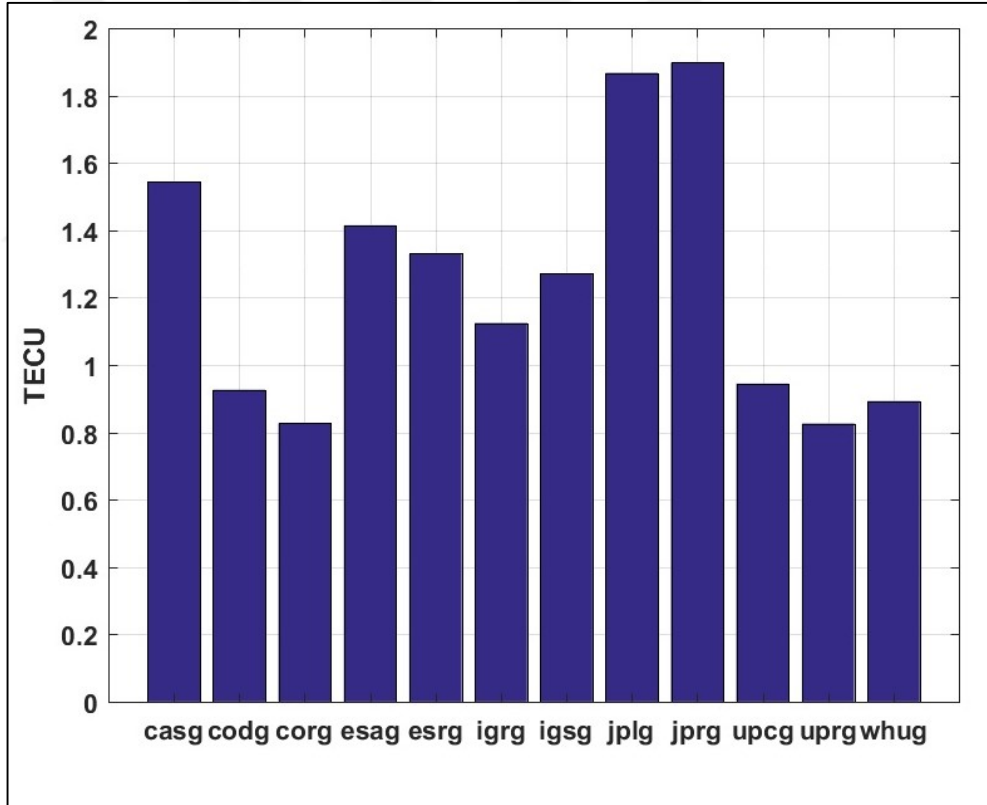
DYNG GPS/GNSS noktasının 2018 yılı (düşük solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının grafiği Şekil C.1.'de, 2013 yılı (yüksek solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının grafiği Şekil.C.2.'de 2018 yılı (Düşük solar aktivite) RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil C.3'de, 2013 yılı (Düşük solar aktivite) RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil C.4'de, 2018 yılı (Düşük solar aktivite) 2 saat aralıklı RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil C.5'de, 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) 2 saat aralıklı RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil C.6'de, 2018 yılı (Düşük solar aktivite) KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyonu grafiği Şekil C.7.'de, 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyonu grafiği Şekil C.8.'de gösterilmiştir.



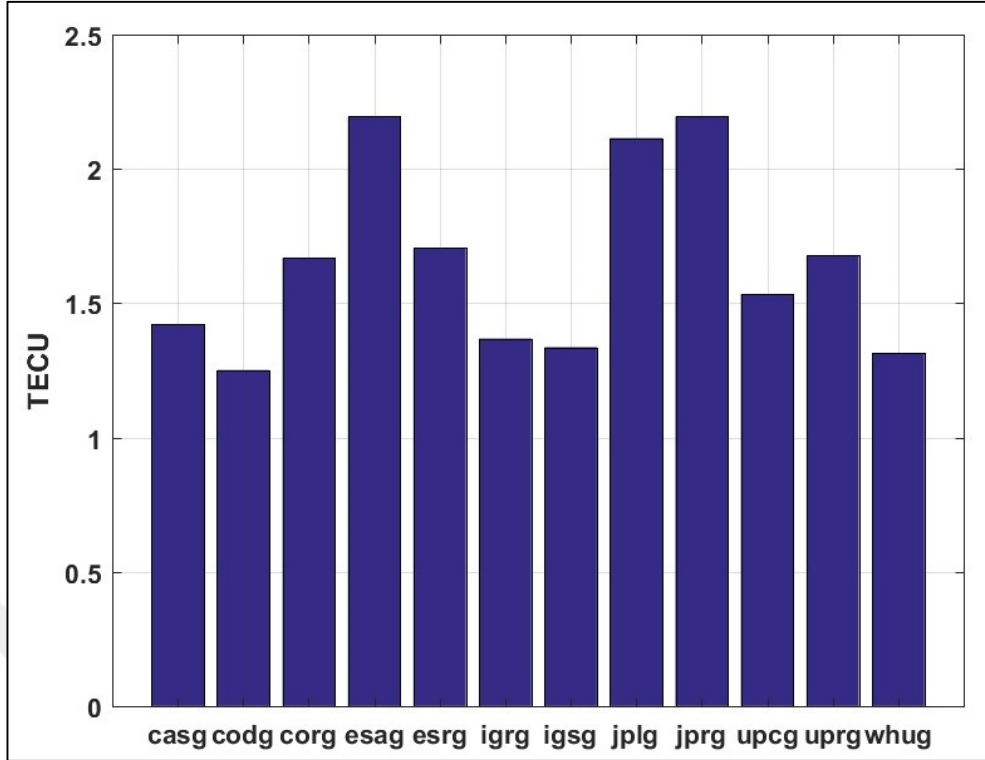
Şekil C.1. 2018 yılı (Düşük solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farkları)



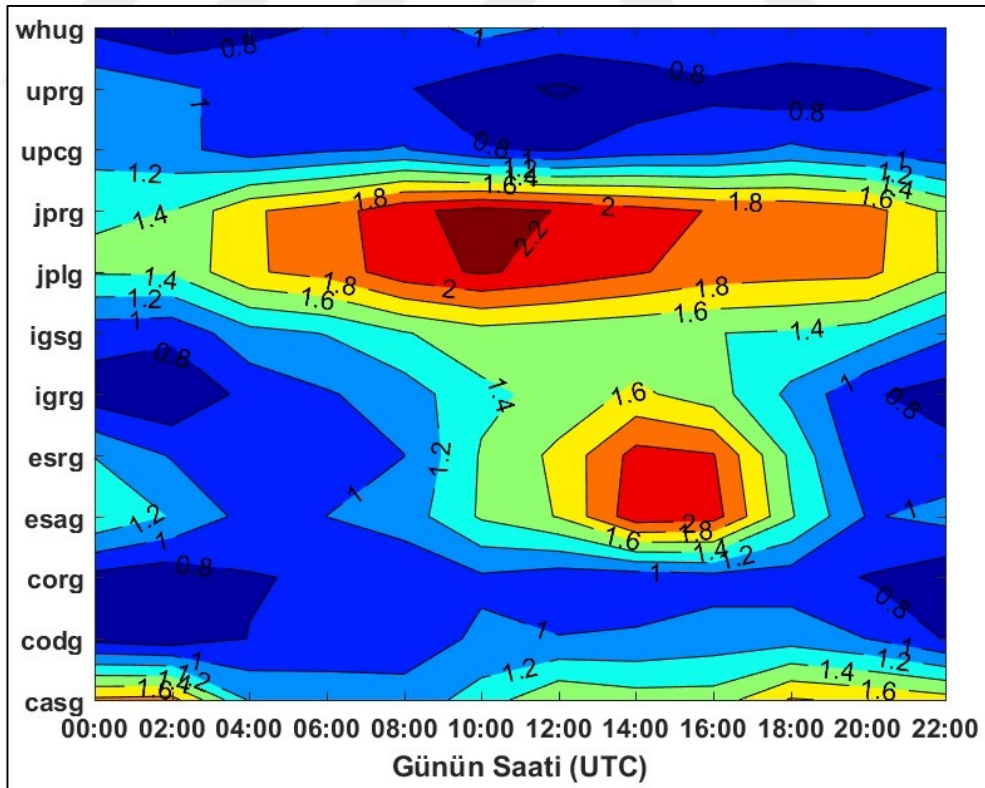
Şekil C.2. 2013 yılı (yüksek solar aktivite) ΔTEI ($KI_{H_{TEI}}$ ve GPS_{TEI} farkları)



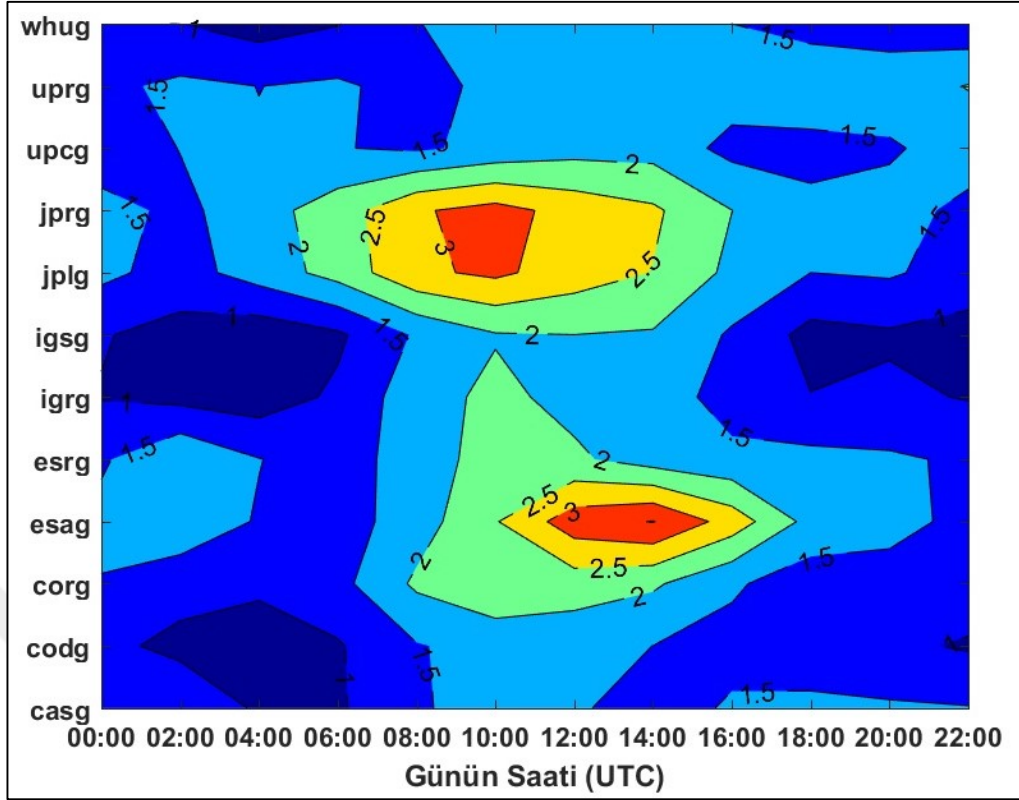
Şekil C.3. 2018 yılı (Düşük solar aktivite) RMS değerleri



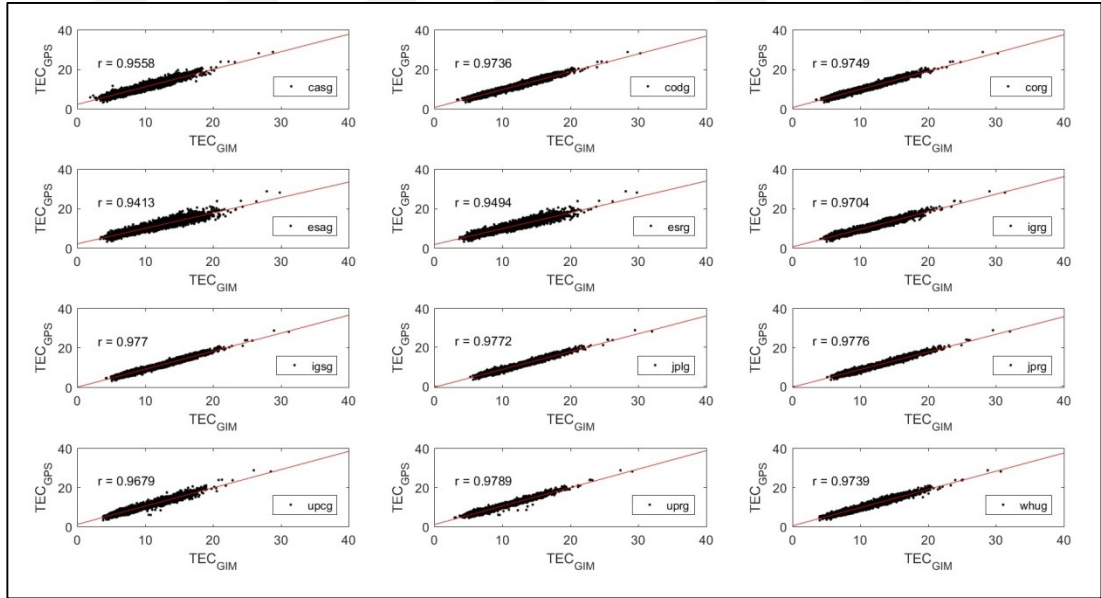
Şekil C.4. 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) RMS değerler



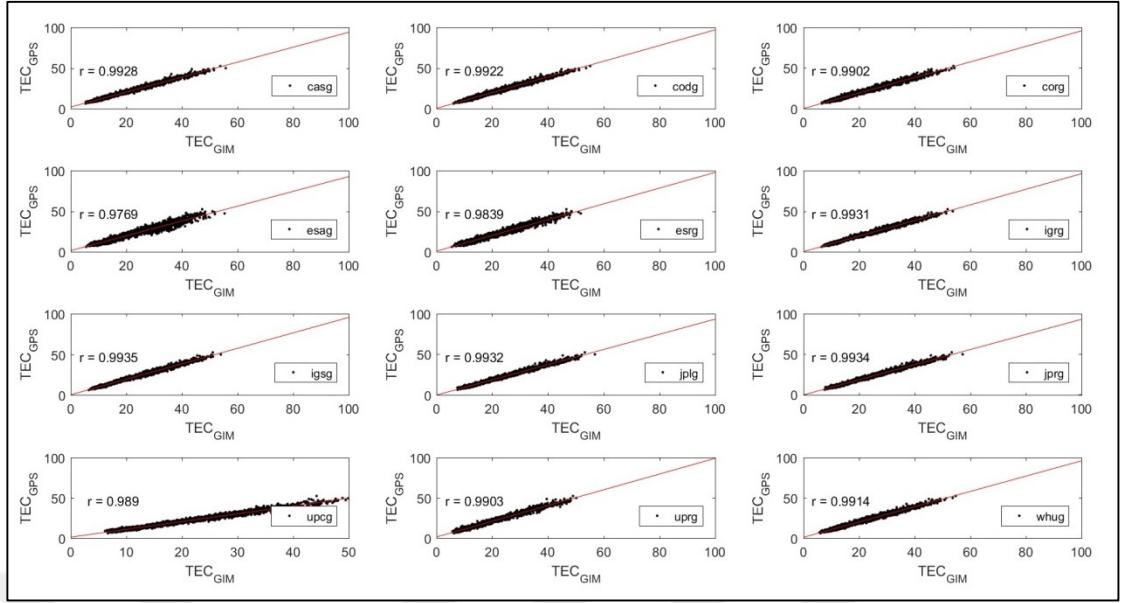
Şekil C.5. 2018 yılı (Düşük Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerleri



Şekil C.6. 2013 yılı (Yüksek Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerleri



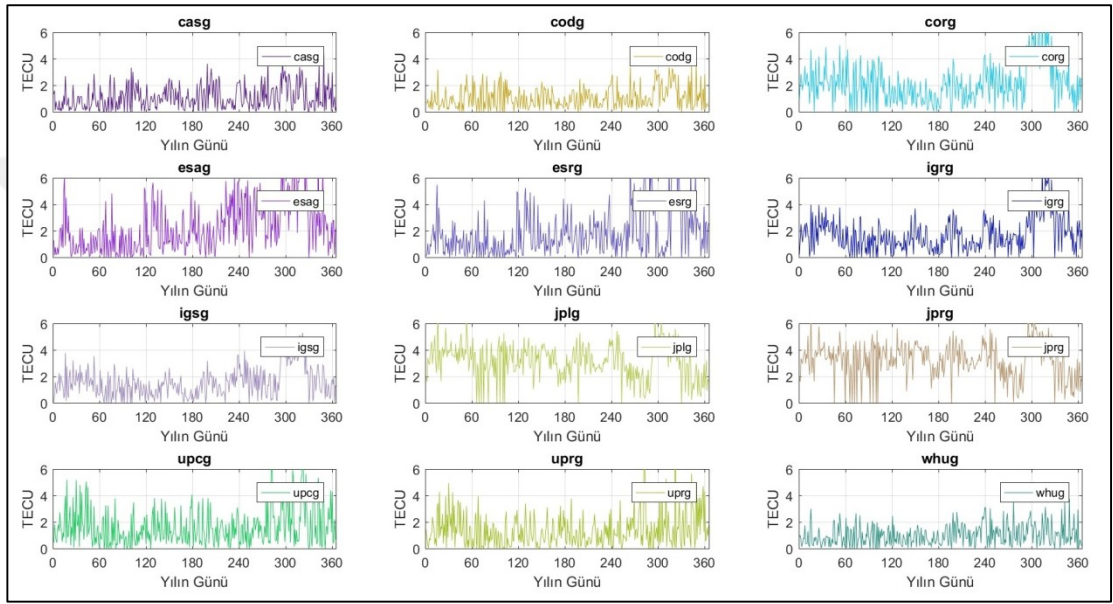
Şekil C.7. 2018 Yılı (Düşük solar aktivite) KİH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyon grafiği



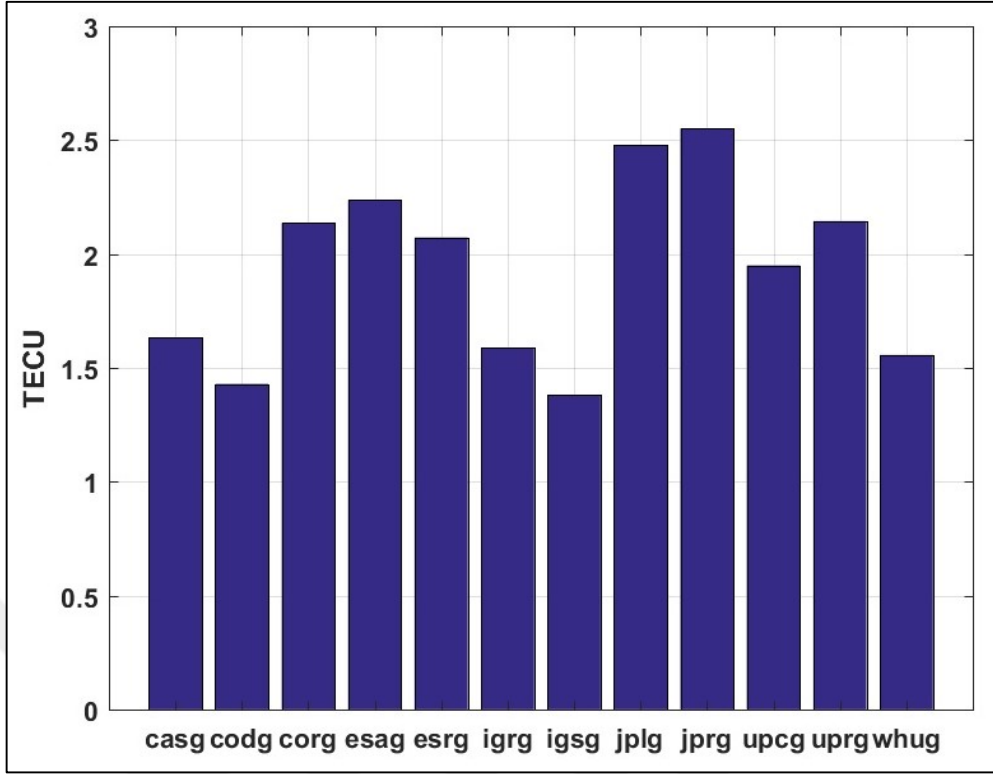
Şekil C.8. 2013 yılı (Yüksek Solar Aktivite) KİH_{TEİ} ve GPS_{TEİ} korelasyon grafiği

EK-D

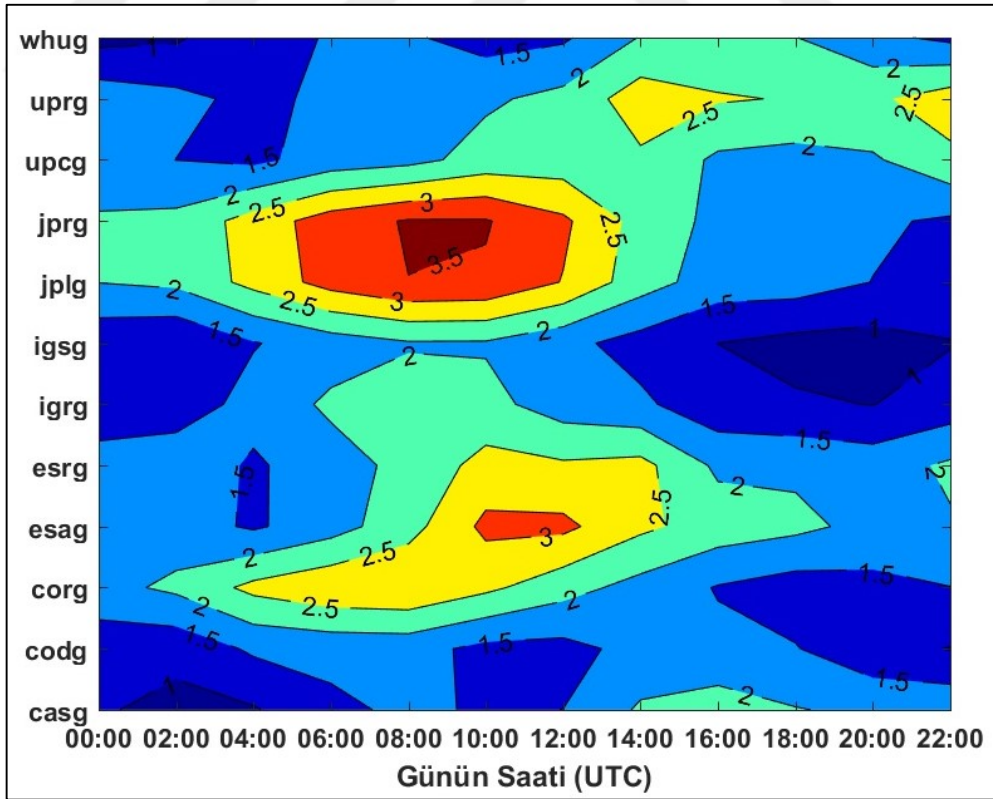
NİCO GPS/GNSS noktasının 2013 yılı (yüksek solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının grafiği Şekil D.1.'de 2013 yılı (Düşük solar aktivite) RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil D.2'de, 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) 2 saat aralıklı RMS (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farklarının karekök ortalama değerleri) grafiği Şekil D.3.'de, 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyonu grafiği Şekil D.4.'de gösterilmiştir.



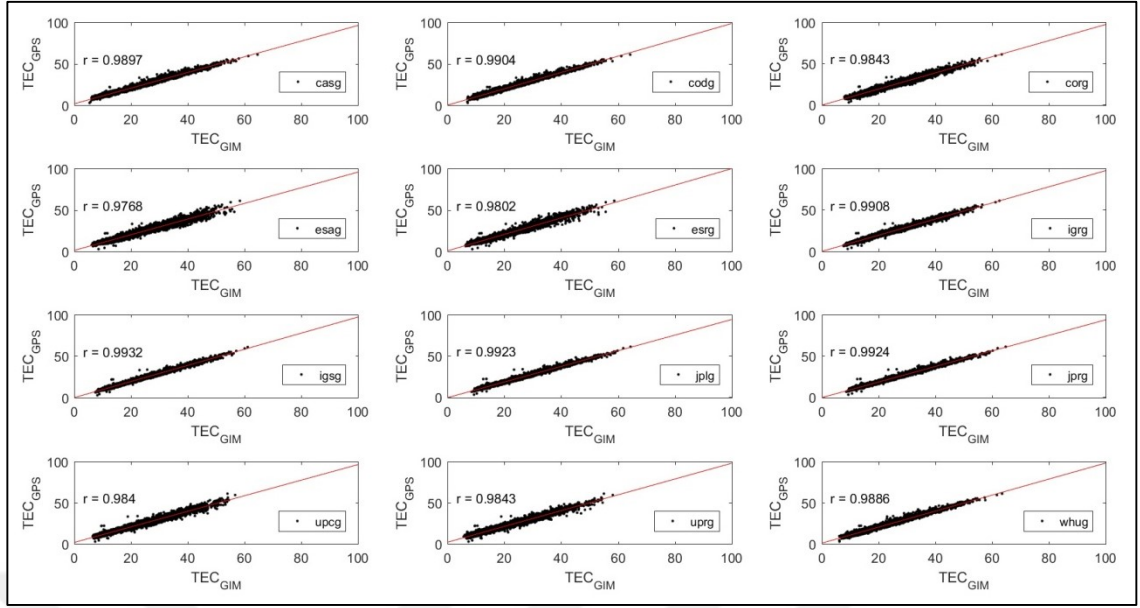
Şekil D.1. 2013 yılı (yüksek solar aktivite) ΔTEI (KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} farkları)



Şekil D.2. 2013 yılı (Yüksek solar aktivite) RMS değerler



Şekil D.3. 2013 yılı (Yüksek Solar Aktivite) 2 saat aralıklı RMS değerler



Şekil D.4. 2013 Yılı (Yüksek solar aktivite) KIH_{TEI} ve GPS_{TEI} korelasyon grafiği

Tablo D.1. ΔTEI maksimum değerleri

KOD	ANKR 2013	ANKR 2018	ARUC 2018	CRAO 2013	CRAO 2018	DYNG 2013	DYNG 2018	NİCO 2013
casg	5.1	3.8	4.4	6.6	5.9	5.9	5.9	4.5
codg	5.3	1.9	2.1	5.6	1.7	4.5	4.5	3.6
corg	5.2	2.1	3.6	3.9	1.8	6.1	6.1	7.4
esag	6.3	4.3	4.2	4.8	5.2	7.8	7.8	9.5
esrg	6.0	4.4	4.7	5.4	5.4	7.1	7.1	10.0
igrsg	3.6	3.0	4.0	3.2	4.1	5.3	5.3	6.9
igsg	3.8	2.2	3.1	3.5	2.5	5.2	5.2	5.3
jplg	4.5	3.9	4.9	4.8	3.4	7.0	7.0	7.1
jprg	4.6	3.8	4.8	4.9	3.4	7.5	7.5	6.9
upcg	5.3	3.7	3.2	6.4	2.5	6.1	6.1	10.0
uprg	5.1	2.7	2.4	5.7	2.1	6.1	6.1	10.0
whug	5.8	2.8	3.3	6.0	2.2	4.9	4.9	3.8

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Yıldırım H.**, Şentürk E., Çepni M. S., Türkiye’de Farklı Küresel İyonosfer Haritalarının GPS/GNSS Ölçümleri ile Performanslarının Araştırılması. 6. *Uluslararası Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 2019



ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Gaziantep'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gaziantep'te tamamladı. 1990 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotoğrametri bölümünde mühendislik eğitime başladı, 1999 yılında aynı bölümden mezun oldu. Anadolu Mühendislik, Oflaz İnşaat, Berk İnşaat ve Siyah Kalem İnşaat'ta birçok projede çalıştıktan sonra 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi'nde Araştırma görevlisi (öğretim görevlisi) olarak göreve başladı halen aynı iş yerinde Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığında kontrol mühendisi olarak görev yapmaktadır.

