

**GPS VERİLERİNİ KULLANARAK ALICI VE UYDU
CİHAZ YANLILIK DEĞERLERİNİN KESTİRİLMESİ**

**ESTIMATION OF SATELLITE AND RECEIVER
INSTRUMENTAL BIASES USING GPS DATA**

MERVE ARMAĞAN

DOÇ. DR CENK TOKER

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

İthaf Sayfası

Yazarın İstedine Bağlı olarak

ÖZET

GPS VERİLERİNİ KULLANARAK ALICI VE UYDU CİHAZ YANLILIK DEĞERLERİNİN KESTİRİLMESİ

Merve ARMAĞAN

Yüksek Lisans, ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cenk TOKER

Eylül 2019, 48 sayfa

Radyo dalgalarını kullanan radyo haberleşme sistemleri, seyir sistemleri ve KD yön bulma uygulamaları için iyonküredeki serbest elektron içeriği önemlidir. Bu bağlamda, iyonkürede gerçekleşen değişiklikleri takip etmek için en önemli parametrelerden biri Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. YKS ölçüm verileri ile TEİ kestirimleri güvenli ve ekonomik bir şekilde yapılabilir.

TEİ değerleri ve alıcı ve uydu diferansiyel yanlılık değerleri çeşitli IGS analiz merkezleri tarafından düşük çözünürlükte kullanıcılarına sunulmaktadır, ancak bazı analiz merkezleri, diferansiyel alıcı ve uydu yanlılık değerlerini her gün veya her istasyon için vermemektedir. Analiz merkezlerinin verdiği diferansiyel alıcı yanlılık değerleri bir gün içinde, diferansiyel uydu yanlılıkları ise bir ay içinde değişmemektedir; ancak bu yanlılık değerleri saatler içerisinde değişebilmektedir. Alıcı ve uydu yanlılık değerlerinin doğru bir şekilde kestirilmesi ve ölçüm verilerinden uygun bir şekilde çıkarılması, TEİ değerlerini doğru bir şekilde elde etmek için gereklidir. Daha önceki

çalışmalarda uydu diferansiyel yanlılık değerleri analiz merkezlerinden alınarak diferansiyel alıcı yanlılık kestirimi veya diferansiyel alıcı ve uydu yanlılıklarının toplamının kestirimi yapılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, bileşik yanlılıklar tanımlanmaktadır. Verilen bir an için diferansiyel uydu yanlılık değerlerinin toplamının 0 olduğu bilgisi kullanılarak kestirim çalışmaları yapılmıştır. Kestirimler sözde menzil verileri ve faz verileri kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra kestirilen bileşik yanlılık değerleri kullanılarak Eğik Toplam Elektron İçeriği (ETEİ) kestirimleri ve Dik Toplam Elektron İçeriği (DTEİ) kestirimleri yapılmıştır. ETEİ ve DTEİ kestirimleri yapılırken yüksek zaman çözünürlüğünde kestirimi yapılan bileşik yanlılık değerleri ve bu değerlerin günlük ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tez kapsamında önerilen yöntem iyonkürenin sakin ve bozulmaların olduğu günlerde, iyonkürenin yüksek, orta ve ekvatorial enlem bölgeleri için uygulanmıştır. Sonuç olarak, orta enlem bölgesinde ve yüksek enlem bölgesinde yer alan istasyonların, iyonkürenin sakin ve bozulmaların olduğu günleri için daha tutarlı değerler üretirken; ekvatorial bölgede yer alan istasyonların kestirim değerlerinde sapmalar olduğu gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında bileşik yanlılık değerlerinin bir gün içinde ve bir ay içinde nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

Bileşik yanlılık değerlerinin kestirimi 30 saniye zaman çözünürlüğünde yapılmıştır. Analiz merkezlerinden CODE, JPL, IGS ve UPC diferansiyel alıcı ve uydu yanlılık değerlerini bir gün zaman çözünürlüğünde vermektedir. Bu durumda iyonkürede meydana gelen değişimler ayrıntılı olarak gözlemlenemebilmektedir. 30 saniye zaman çözünürlüğünde kestirimi yapılan bileşik yanlılık değerleri kullanılarak daha doğru DTEİ kestirimleri yapabilmek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İyonküre, Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS), TEİ,

Diferansiyel Alıcı ve Uydu Yanlılıkları

ABSTRACT

ESTIMATION OF SATELLITE AND RECEIVER INSTRUMENTAL BIASES USING GPS DATA

Merve ARMAĞAN

Master of Science, Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Cenk TOKER

September 2019, 48 pages

For radio communication systems, navigation systems and short wave implementations using radio waves, free electron content in ionosphere is important. One of the most important parameter to track the changes in ionosphere is Total Electron Content (TEC). By means of GPS data, estimation of TEC is executed safe and economical.

TEC values and differential code biases are presented to users via various IGS analyse centers in a low time resolution, but some analyse centers do not supply differential code biases for every day and every station. Differential code biases which supplied by analyse centers, mostly do not change in a day or in a month, but these biases can change in an hour. To have the true TEC estimation, it is necessary to estimate differential code biases and remove them from the measurments properly. In the previous studies, differential satellite biases are acquired by analyse centers and then differential receiver biases are estimated or sum of differential code biases is estimated. In this thesis, composite biases were defined. These composite biases were estimated.

For a given moment, using the information that sum of the differential satellite biases is zero estimation is executed in this thesis. Then using composite biases, estimation of Slant Total Electron Content (STEC) and estimation of Vertical Total Electron Content (VTEC) are done. While STEC estimation and VTEC estimation executing, estimated composite biases and daily mean of estimated composite biases were used.

Proposed method is executed in both quiet and disturbed days and high, mid and equatorial latitude regions. At the end of the day, while receiver stations in mid latitude and high latitude regions give more accurate estimation values both quiet and disturbed days, receiver stations in equatorial latitude region have some deviations. In this thesis, it is observed how change composite biases in a day and in a month.

Estimation of differential code biases is done with 30 seconds time resolution. CODE, JPL, IGS and UPC give code biases values with 1 day time resolution. In this state, changes in ionosphere are not observed in detail. Using 30 seconds time resolution values, it is done more accurate VTEC estimation.

Keywords: Ionosphere, Global Positioning System (GPS), Total Electron Content (TEC), Differential Code Biases (DCB)

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluŐmasında değerli fikirleri ve yol gÖstericiliği için danıŐmanım Sayın Do. Dr. Cenk TOKER' e ok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana hep destek olan, beni cesaretlendiren, bugünlere gelmem de en fazla paya sahip olan annem Züleyha ARMAĞAN, babam Abdullah ARMAĞAN, kardeŐlerim Őerife Eda ARMAĞAN ve Ali ARMAĞAN'a teŐekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2.ALICI VE UYDU YANLILIK KESTİRİMLERİ.....	12
3. YÖNTEM.....	25
4. ANALİZ ve SONUÇ	29
5. YORUM.....	47
6. KAYNAKLAR.....	49
EKLER	52
EK 1 – Tez Çalışması Orjinallik Raporu	52
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 İyonküre katmanları ve elektron yoğunluğu [7].	2
Şekil 1.2 Uydu, Alıcı ve İyonküre Delme Noktası.	3
Şekil 4.1 Graz istasyonunun 10.10.2003 günü içinde 16 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirilen bileşik yanlılık değerinin değişimi.	36
Şekil 4.2 Artu istasyonunun 10.10.2003 günü içinde 16 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirilen bileşik yanlılık değerinin değişimi.	37
Şekil 4.3 Lae1 istasyonunun 10.10.2003 günü içinde 16 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirilen bileşik yanlılık değerinin değişimi.	37
Şekil 4.4 Ankr istasyonu 01.10.2003- 31.10.2003 günleri arası 10 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirilen bileşik yanlılık değerleri.	38
Şekil 4.5 Ekim 2003 ayı için Dst indisleri.	39
Şekil 4.6 (a) 10.10.2003, (b) 22.10.2003 ve (c) 29.10.2003 günleri için K_p indisleri.	40
Şekil 4.7 09.10.2003 günü Ankr istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen ETEİ değerleri.	41
Şekil 4.8 29.10.2003 günü Zeck istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen ETEİ değerleri.	42
Şekil 4.9 31.10.2003 günü Ankr istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen ETEİ değerleri.	42
Şekil 4.10 10.10.2003 günü Ankr istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen ETEİ değerleri (farklı uydular ile).	43
Şekil 4.11 09.10.2003 günü ve ankr istasyonu için (a) IGS analiz merkezlerinin (b) anlık ve günlük ortalaması alınmış bileşik yanlılıkların kullanımı ile yapılan DTEİ kestirimleri.	44
Şekil 4.12 10.10.2003 günü ve ankr istasyonu için (a) IGS analiz merkezlerinin (b) anlık ve günlük ortalaması alınmış bileşik yanlılıkların kullanımı ile yapılan DTEİ kestirimleri.	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 YKS alıcı istasyon listesi	29
Çizelge 4.2 08.10.2004 günü için 8 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirimi yapılan yanlılık değerlerinin karşılaştırılması.	30
Çizelge 4.3 08.10.2004 günü için $X^{Y(m)}$ bileşik yanlılık değerleri kullanılarak hesaplanan hata.	32
Çizelge 4.4 08.10.2004 günü için $Z^{Y(m)}$ bileşik yanlılık değerleri kullanılarak hesaplanan hata.	33
Çizelge 4.5 İyonkürenin sakin günleri için 2 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirimi yapılan yanlılık değerleri.	34
Çizelge 4.6 Pozitif bozulmanın olduğu günler için 2 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirimi yapılan yanlılık değerleri.	34
Çizelge 4.7 Negatif bozulmanın olduğu günler için 2 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirimi yapılan yanlılık değerleri.	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

CODE	Center of Orbit Determination Europe
DTEİ	Dik Toplam Elektron İçeriği
ESA	European Space Agency
ETEİ	Eğik Toplam Elektron İçeriği
GEONET	GPS Earth Observation Network
GIM	Global Ionosphere Maps
GS	Greenwich Saati
GPS	Global Positioning System
IGS	International GPS Service
IONEX	Ionosphere Map Exchange Format
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KD	Kısa Dalga
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
TKİM	Tek Katmanlı İyonküre Modeli
STEC	Slant Ray Total Electron Content
TEC	Total Electron Content
TEİ	Toplam Elektron İçeriği
TID	Travelling Ionospheric Disturbance
UPC	Polytechnical University of Catalonia
VTEC	Vertical Total Electron Content
YKS	Yerküresel Konumlama Sistemi

1. GİRİŞ

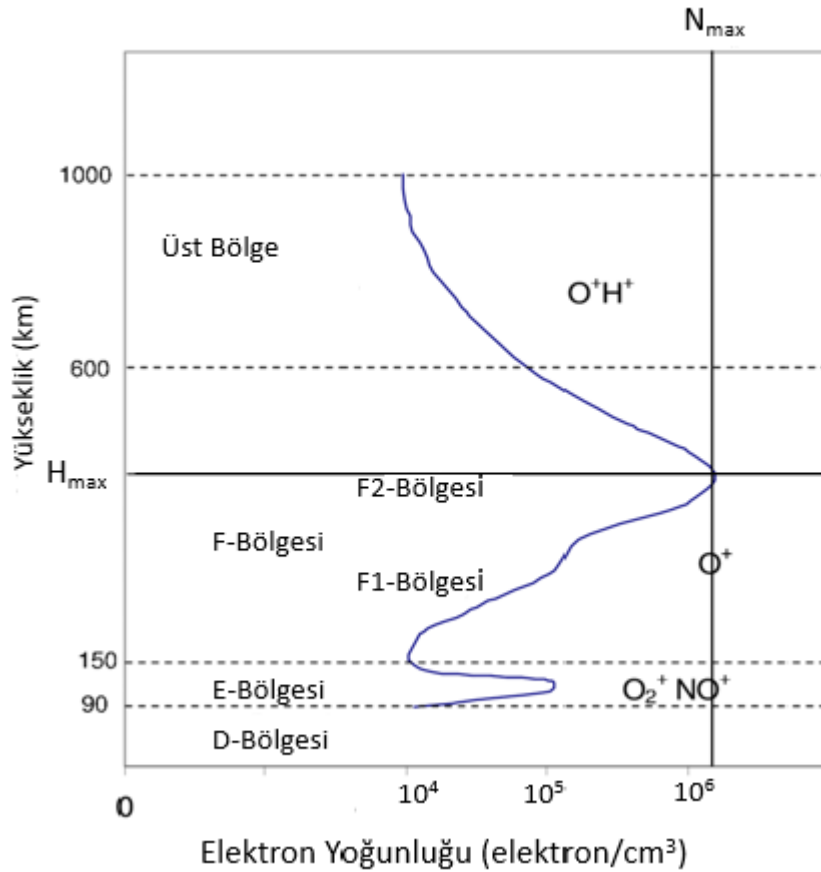
İyonküre, deniz düzeyinden yaklaşık olarak 70 ile 1000 km yükseklikte yer alan radyo dalga yayılımını önemli oranda etkileyen iyonize olmuş moleküller ve serbest elektronlardan oluşan havaküre bölgesidir [1]. Serbest elektron miktarı radyo dalga yayılımını etkiler. Sivil ve askeri KD uygulamalarında, iyonkürenin radyo dalgalarını yansıtma özelliği sayesinde uzak bölgeler ile haberleşme sağlanır. Radyo dalgalarını kullanan; radyo haberleşme sistemleri, seyir sistemleri, KD yön bulma uygulamaları için serbest elektron içeriği önemlidir [2]. Bu sistemlerin başarımını artırmak için sistem parametreleri düzenlenerek iyonküre kaynaklı hatalar düzeltilebilir. İyonkürenin radyo dalgalarına nasıl etki edeceğini bulmak için iyonküre gözlemlenmeli ve meydana gelen değişimler izlenmelidir.

İyonküredeki serbest elektron miktarı; zaman, coğrafi konum, güneş ışınımı ve yer kabuğu hareketlerine bağlı olarak değişmektedir [3,4,5]. Toplam Elektron İçeriği (TEİ), 1m² kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarıdır ve TECU birimi ile ifade edilir [4,5]. 1 TECU, 10¹⁶ el/m²'dir. TEİ değeri Dik Toplam Elektron İçeriği (DTEİ) ve Eğik Toplam Elektron İçeriği (ETEİ) olmak üzere iki şekilde ifade edilebilir. ETEİ, alıcı ve uydu arasındaki yol boyunca toplam serbest elektron miktarıdır. DTEİ, alıcıya göre yerel zenit doğrultusundaki toplam serbest elektron miktarıdır. Eş. 1.1'de verilen N_e terimi elektron yoğunluğunu (el/m^3) ifade etmektedir. TEİ, elektron yoğunluğunun verilen iki nokta arasında çizgi integralinin alınması ile hesaplanır. Elektron yoğunluğu (N_e), yükseklik, konum, zaman ve yer kabuğu hareketleri gibi pek çok durum ile değişebilen bir ifadedir. Bu sebeple gerçek anlamda verilen iki nokta arasında TEİ değerini hesaplamak mümkün olmamaktadır ancak; TEİ ifadesinin tez kapsamında bu bölümün ilerleyen kısımlarında iyonküre gözlem modeli parametreleri ile nasıl kestirim yapılacağı verilmektedir.

$$TEİ = \int N_e dl \quad (1.1)$$

İyonküre iyonlaşma miktarına göre; D, E, F1 ve F2 katmanlarından oluşmaktadır. Bu katmanlar ayrıntılı olarak Şekil 1.1'de verilmiştir. İyonlaşma miktarı, F2 katmanına kadar yükseklik arttıkça artmaktadır. D katmanı, dünya yüzeyine en yakın bölgedir. Yer

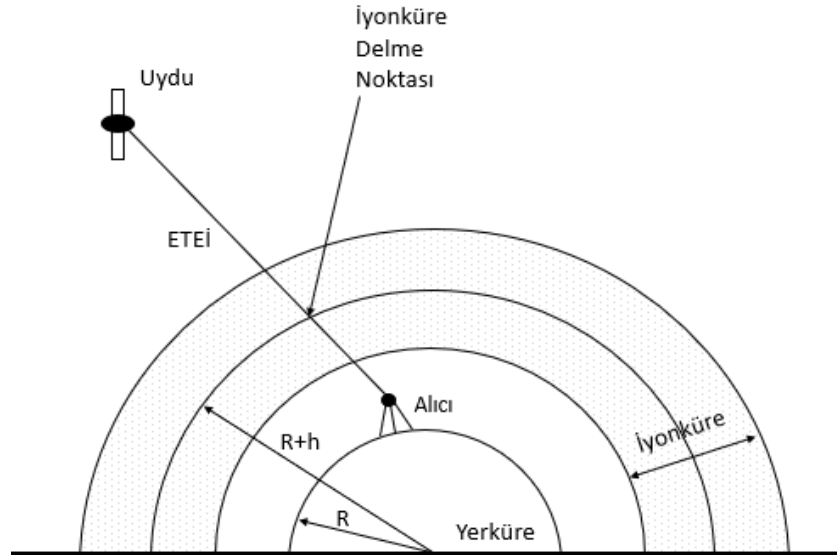
kabuğundan 50 km ile 90 km arasındaki yükseklikte bulunur. Gündüzleri güneşten gelen yüksek enerjili X ışınları ile oluşur. E katmanı, yer kabuğundan yaklaşık 90 km ile 150 km arasında bir yükseklikte yer alır. E katmanındaki iyonlaşma, düşük enerjili X ışınları ile gerçekleşir. E katmanı tüm gün boyu var olmasına rağmen, gece daha az elektron yoğunluğuna sahiptir. [6]. F katmanı, yer kabuğundan 150 km ve üzerinde yer alan katmandır. F katmanı, KD haberleşmesi açısından oldukça önemli olan bir katmandır. F katmanındaki iyonlaşma mor ötesi ışınlar ile gerçekleşir ve F katmanı en kararlı katmandır. F katmanı, gündüzleri F1 ve F2 katmanlarından oluşurken, geceleri F1 ve F2 katmanı birleşerek F katmanını oluşturmaktadır [6]. F2 katmanı iyonlaşmanın en fazla olduğu katmandır [5].



Şekil 1.1 İyonküre katmanları ve elektron yoğunluğu [7].

Şekil 1.2’de uydu, alıcı ve iyonküre delme noktası yerleşimi verilmektedir. Şekil 1.2’de, R dünyanın ekvatorial yarıçapını ifade etmektedir, h ise Tek Katmanlı İyonküre Modeli (TKİM) için alınan iyonküre yüksekliğidir. İyonküre delme noktası, uydu ve alıcı arasında çizilen hattın iyonküre yüksekliğini kestiği nokta olarak ifade edilebilir. Bu

modele göre h yüksekliğinde elektron yoğunluğu en yüksek düzeye (H_{max}) ulaşmaktadır. Bu durum Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.2 Uydu, Alıcı ve İyonküre Delme Noktası.

Gündüz saatlerinde serbest elektron miktarı fazla olduğu için TEİ değeri, gece saatlerine göre daha yüksektir. İyonküreyi delip geçebilen en küçük dalga frekansına kritik frekans veya plazma frekansı denir. Gece boyunca kritik frekans aşamalı olarak azalır ve şafak vaktinden hemen önce minimum değerine ulaşır.

İyonkürenin mevsimsel değişimi, dünyanın güneş etrafındaki hareketi ile ilgilidir. D, E, F1 bölgelerindeki elektron yoğunluğu, yazın kışa göre daha fazladır. F2 katmanındaki değişim çok daha karmaşıktır. Her iki yarımküre için de elektron yoğunluğunun maksimum olduğu zamanlar ekinoks zamanlarıdır [6]. Güneş ışınımı etkisi, güneş patlamaları ve güneş lekeleri sayısı ile ilgilidir [5]. Güneş lekeleri sayısı, güneşin yaklaşık 11 yıllık periyodu ile değişmektedir [6].

Güneş ışınlarının atmosfere daha eğik bir şekilde çarpması nedeniyle iyonkürede artan enlem ile radyasyon yoğunluğu dolayısıyla oluşan serbest elektron miktarı düşer. Coğrafi konuma göre iyonküre üç bölgeye ayrılır. Ekvatorial bölgede N_e en yüksek seviyededir. Orta enlem bölgesinde iyonküre çok az değişim gösterir. Bazı kısa dönem

değişikliklerinden etkilenir. İyonküre gözlem cihazlarının çoğu bu bölgede yer almaktadır. Kuzey yarımkürede, orta enlemde gece vakti pek çok Gezici İyonküre Bozuklukları (GİB) güney batı yönünde hareket etmektedir [8]. Yüksek enlem bölgesinde iyonizasyon, foton iyonizasyonu ve havaküredeki parçacıkların çarpışması ile gerçekleşmektedir.

20.200 km yükseklikte 55° eğim açısına sahip 32 GPS uydusu yörüngelerinde hareket etmektedir. GPS alıcıları verilen bir an için en fazla 12 farklı uydudan bilgi alabilir [4]. GPS uyduları 6 farklı yörüngede hareket etmektedir. Her bir uydu hareketini 12 saatlik periyotta tamamlar.

İyonküredeki değişimler, iyonküredeki elektron yoğunluğu ile ilgilidir. YKS verilerinin sivil kullanıma açık olması sayesinde iyonküredeki toplam elektron içeriği ekonomik ve etkin bir şekilde ölçülebilmektedir [3]. Çift frekanslı YKS işaretleri bölgesel ve küresel TEİ değerlerini kestirmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. [4]. YKS sisteminde kullanılan frekanslar yeterince yüksek olduğu için işaretler iyonkürenin etkilerinden daha az etkilenmektedir.

İyonküreden geçen işaretler frekanslarına bağlı olarak farklı kırılmaya uğrar. Başka bir deyiş ile farklı frekanstaki işaretler alıcıya farklı gecikmeler ile ulaşır. f_1 ve f_2 frekanslarındaki iki işaretin gecikmeleri arasındaki fark ile iyonkürenin yapısı incelenebilir [5].

Bazı kuruluşlar YKS alıcı ağları ile iyonküreyi sürekli olarak izlemektedir ve TEİ haritaları oluşturmaktadır. Bunlardan en bilinenleri International GPS Service (IGS)'e bağlı çalışan çeşitli analiz merkezleridir. Bu analiz merkezleri ortak bir formatta bulgularını sunarlar. IGS analiz merkezleri rutin olarak alıcı ve uydu yanlılık değerlerini yayınlamaktadır. IGS analiz merkezlerine örnek olarak: CODE, JPL, ESA ve UPC verilebilir. CODE, 2 saat çözünürlükte DTEİ değerlerini tanımlamak için 15. dereceden küresel harmonik fonksiyonları kullanmaktadır. JPL, üçgen ağ modelini kullanarak değerlerini üretmektedir. NASA JPL, küresel bir alıcı istasyon ağında bulunan ve sürekli

bir şekilde çalışan 100'den fazla alıcıdan aldıkları verileri kullanarak TEİ haritalarını üretmektedir [3]. Analiz merkezlerinin verdikleri değerlerde, alıcı ve uydu yanlılıkları bir gün veya bir ay içinde değişmemektedir. Gerçek durumda ise bu değerler saatler içerisinde değişebilmektedir. Bu durum bu tez kapsamında Bölüm 4'te gösterilmektedir.

Çift frekanslı bir GPS alıcı istasyonu için, uydular bilgiyi L bantta yer alan iki farklı taşıyıcı frekans ile taşır. Bunlar f_1 olarak adlandırılan 1.57542 GHz frekansındaki taşıyıcı işaret ve f_2 olarak adlandırılan 1.2276 GHz frekansındaki taşıyıcı işarettir. f_1 işaretinin gönderildiği kanala $L1$ kanalı, f_2 işaretinin gönderildiği kanala $L2$ kanalı denilmektedir.

Çift frekanslı bir YKS alıcısı için 4 temel gözlem parametresi vardır. Bunlardan ikisi $P1$ ve $P2$ olarak ifade edilen sözde menzil gözlem parametreleri diğer ikisi ise $L1$ ve $L2$ olarak ifade edilen faz gözlem parametreleridir. Sözde menzil, grup gecikmesi ile bağlantılı iken; faz ölçümleri, faz ilerlemesi ile bağlantılıdır [3]. Sözde menzil verileri kullanılarak hesaplanan TEİ değeri mutlak TEİ olarak adlandırılırken; faz verileri ile hesaplanan TEİ değerine bağlı TEİ denilmektedir [8]. Sözde menzil ölçümlerini etkileyen faktörler; gürültü ve çok yol etkisidir. Çok yol hataları, yere yakın objelerdeki yansımalar ve YKS uydusu üzerindeki iletimde olan antene yakın yüzeylerden kaynaklanmaktadır [9]. Aynı tip alıcılar arasında sistem gürültüsü genelde sabit iken; çok yol etkisi her bir alıcıda çevreye bağlı olarak elektromanyetik etkileşim ile değişmektedir [10]. Faz ölçümlerinde çok yol etkisi daha az olmasına rağmen ilk faz belirsizliği ve faz kopmaları olabilmektedir [5].

f_1 ve f_2 frekanslarındaki işaretler için sözde menzil modeli Eş. 1.2 ve Eş. 1.3 ile verilmektedir [5].

$$P_{1,u}^m = p_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion1,u}^m + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \alpha \quad (1.2)$$

$$P_{2,u}^m = p_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion2,u}^m + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \alpha \quad (1.3)$$

Burada, m uydu numarası, u alıcı numarası, $d_{ion1,u}^m$ ve $d_{ion2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonküreden kaynaklanan grup gecikmesidir ve birimi metredir, $d_{trop,u}^m$ tropoküreden kaynaklanan grup gecikmesidir ve birimi metredir, Δt_u , Δt^m alıcı ve uydu saat hatalarıdır ve birimleri saniyedir, $P_{1,u}^m$ ve $P_{2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarına göre sözde menzildir ve birimleri metredir, p_u^m uydu ve alıcı arasındaki gerçek mesafedir ve birimi metredir, ε_1^m ve ε_2^m f_1 ve f_2 frekanslarına göre uydu yanlılığıdır ve birimleri saniyedir, $\varepsilon_{1,u}$ ve $\varepsilon_{2,u}$ f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcı yanlılığıdır ve birimleri saniyedir ve α ölçümlerden gelen artık hatalardır ve birimi metredir.

Benzer şekilde f_1 ve f_2 frekanslarındaki işaretler için faz modeli Eş. 1.4 ve Eş. 1.5'de verilmektedir [5].

$$\lambda_1 \Phi_{1,u}^m = p_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m + \lambda_1 \Phi_{trop,u}^m - c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \lambda_1 N_1^m + \alpha \quad (1.4)$$

$$\lambda_2 \Phi_{2,u}^m = p_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m + \lambda_2 \Phi_{trop,u}^m - c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \lambda_2 N_2^m + \alpha \quad (1.5)$$

Yukarıdaki eşitliklerde m uydu numarası, u alıcı numarası, λ_1 ve λ_2 f_1 ve f_2 frekansları için ilgili dalga boylarını, $\Phi_{1,u}^m$ ve $\Phi_{2,u}^m$, f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcının kaydettiği faz değeri, p_u^m uydu ile alıcı arasındaki gerçek mesafe, Δt_u , Δt^m alıcı ve uydu saat hataları, $\Phi_{ion1,u}^m$ ve $\Phi_{ion2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarına göre iyonküre kaynaklı faz gecikmesi, N_1^m ve N_2^m , f_1 ve f_2 frekanslarına göre m uydusundan alınan işarettaki ilk faz belirsizliği, $\Phi_{trop,u}^m$ tropoküreden kaynaklanan faz gecikmesidir.

Eş. 1.2 ve 1.3 birbirinden çıkarılarak, P_4 doğrusal kombinasyonu elde edilir.

$$P_{4,u}^m = P_{2,u}^m - P_{1,u}^m = d_{ion2,u}^m - d_{ion1,u}^m + c(\varepsilon_2^m - \varepsilon_1^m) + c(\varepsilon_{2,u} - \varepsilon_{1,u}) \quad (1.6)$$

Benzer şekilde, Eş. 1.4 ve 1.5 birbirinden çıkarılarak L_4 doğrusal kombinasyonu elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
L_{4,u}^m &= \lambda_1 \Phi_{1,u}^m - \lambda_2 \Phi_{2,u}^m \\
&= \lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m - \lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m + c(\varepsilon_2^m - \varepsilon_1^m) + c(\varepsilon_{2,u} - \varepsilon_{1,u}) + \lambda_1 N_1^m - \lambda_2 N_2^m
\end{aligned} \tag{1.7}$$

Yukarıdaki Eş. 1.2, 1.3, 1.4 ve 1.5'deki p_u^m , Δt_u , Δt^m , $d_{trop,u}^m$, $\Phi_{trop,u}^m$ terimleri frekanstan bağımsız iken; $d_{ion1,u}^m$, $d_{ion2,u}^m$, ε_2^m , ε_1^m , $\varepsilon_{2,u}$, $\varepsilon_{1,u}$, $\Phi_{ion1,u}^m$, $\Phi_{ion2,u}^m$ terimleri frekansa bağlı terimlerdir.

Eş. 1.6 ve 1.7'deki alıcı ve uydu yanlılıklarının farkına diferansiyel yanlılıklar denilmektedir. Diferansiyel yanlılıklar, Eş. 1.8'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
DCB^m &= \varepsilon_1^m - \varepsilon_2^m \\
DCB_u &= \varepsilon_{1,u} - \varepsilon_{2,u}
\end{aligned} \tag{1.8}$$

P_4 ve L_4 doğrusal kombinasyon formülleri diferansiyel yanlılıklar biçiminde ifade edilirse Eş. 1.9 ve 1.10 elde edilir.

$$P_{4,u}^m = d_{ion2,u}^m - d_{ion1,u}^m - c(DCB^m + DCB_u) \tag{1.9}$$

$$L_{4,u}^m = \lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m - \lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m - c(DCB^m + DCB_u) + \lambda_1 N_1^m - \lambda_2 N_2^m \tag{1.10}$$

TEİ değeri; sözde menzil verileri kullanılarak, faz verileri kullanılarak ve iki yöntemin kombinasyonu ile oluşan yöntemler kullanılarak hesaplanabilir. Sözde menzil verileri kullanılarak elde edilen TEİ değerleri gürültülüdür ve çok yol etkisi görülmektedir. Faz verileri daha az gürültülü ve çok yol etkisi de daha azdır ancak; ilk faz belirsizliği ve faz kopmaları TEİ hesabını zorlaştırmaktadır. İki yöntemin birleştirilmesiyle gürültü ve çok yol etkisi sorunları çözülürken faz kopmaları sorunu çözülememektedir [4].

$$\frac{X}{2} = \frac{A}{f^2} N_e \quad (1.11)$$

$$d_{ion,u}^m = -\Phi_{ion,u}^m \frac{c}{f} \approx A \frac{ETE\dot{I}_u^m}{f^2} \quad (1.12)$$

$$ETE\dot{I} = \sum_{alici}^{uydu} N_e \Delta l \quad (1.13)$$

İyonkürede meydana gelen gecikme ile ETEİ arasındaki ilişki Eş. 1.12’de verilmiştir [5]. Eş. 1.11’de geçen X terimi, $f_{N_e}^2/f^2$ ’ye eşittir. Burada f_{N_e} elektron plazma frekansdır. f ise gönderilen radyo dalgasının frekansdır. Plazma frekansı 30 MHz’i aşmamaktadır. Eş. 1.13’de geçen N_e terimi elektron yoğunluğunu (el/m^3) ifade etmektedir [5]. Eş. 1.13’te alıcı ve uydu arasındaki yol boyunca elektron miktarının toplanması ile ETEİ elde edilmektedir. İyonküre gözlem parametreleri ile kestirilen ETEİ, bu tez kapsamında $\overline{ETE\dot{I}}$ biçiminde gösterilecektir. Eş. 1.12’deki A değeri sabit olup değeri $40.28 \text{ m}^3/\text{s}^2$ ’dir. Eş. 1.12’nin Eş. 1.9 ve 1.10’da yerine koyulması ve seçilen bir alıcı istasyon için m . uydudan, n . ölçüm zamanı için,

$$P_{4,u}^m(n) = A \left(\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2} \right) ETE\dot{I}_u^m(n) - c(DCB^m + DCB_u) \quad (1.14)$$

$$L_{4,u}^m(n) = A \left(\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2} \right) ETE\dot{I}_u^m(n) - c(DCB^m + DCB_u) + \lambda_1 N_1^m - \lambda_2 N_2^m \quad (1.15)$$

elde edilir. Eş. 1.14 ve 1.15 kullanılarak kestirilen $\overline{ETE\dot{I}}$ değerleri Eş. 1.16 ve 1.17’de verilmektedir. Eş. 1.16 ve Eş. 1.17’de P_4 ölçümleri Receiver Independent Exchange Format (RINEX) dosyalarından alınan P_1 ve P_2 ölçümlerinin farkı alınarak hesaplanmaktadır. Eş. 1.16 ve 1.17’de diferansiyel yanlışlıkların bilindiği durumda yapılabilecek $\overline{ETE\dot{I}}$ kestirimi verilmektedir. Çeşitli IGS analiz merkezleri tarafından verilen diferansiyel yanlışlık kestirimleri bir gün ve bir ay zaman çözünürlüğünde Ionosphere Map Exchange Format (IONEX) dosyalarında bulunmaktadır. Analiz merkezlerinden alınan düşük zaman çözünürlüğündeki diferansiyel yanlışlıklar istenilen çözünürlüğü sağlamadığı için bu tez kapsamında 3. Bölüm’de diferansiyel yanlışlıklar zamana bağlı hale getirilerek bir bileşik yanlışlık tanımı yapılmıştır.

$$\overline{ETE\dot{I}}_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) [P_{4,u}^m(n) + c(DCB^m + DCB_u)] \quad (1.16)$$

$$\overline{ETE\dot{I}}_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) [L_{4,u}^m(n) + c(DCB^m + DCB_u) - \Delta N^m] \quad (1.17)$$

$$\Delta N^m = \lambda_1 N_1^m - \lambda_2 N_2^m \quad (1.18)$$

Eş. 1.16 ve 1.17'deki DCB değerlerinin birimi saniyedir. Diferansiyel alıcı ve uydu yanlılıklarındaki 1 ns'lik değişim ETEİ değerinde 2,854 TECU'luk değişime denk gelmektedir [5]. Eş. 1.18'de ΔN^m ilk faz belirsizliğini ifade etmektedir. Seçilen bir alıcı istasyon için m . uydudan, n . ölçüm zamanı için sözde menzil verileri kullanılarak $\overline{ETE\dot{I}}$ ifadesi, diferansiyel yanlılıkların birimlerinin saniye yerine TECU alınması durumunda Eş. 1.19 ile hesaplanabilmektedir. Burada b^m ve b_u TECU biriminde verilen diferansiyel alıcı ve uydu yanlılıklarıdır.

$$\overline{ETE\dot{I}}_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) P_{4,u}^m(n) + b^m + b_u \quad (1.19)$$

Sözde menzil ölçüm verilerindeki termal gürültü ve çok yol etkisini azaltmak için faz ölçüm verileri kullanılabilir ancak; faz ölçüm verilerinde Eş. 1.18'de tanımlanan ilk faz belirsizliği mevcuttur. Bu belirsizliği gidermek için bir dayanak değeri bağıntısı tanımlanmaktadır. Bu dayanak değeri bağıntısı, faz kopmalarının olmadığı bir zaman diliminde sözde menzil ve faz ölçüm değerlerinin farkının ortalaması olarak hesaplanmaktadır [5]. Bu dayanak değeri bağıntısı Eş. 1.20'de verilmiştir.

$$B_u^m = \frac{1}{N_{me}} \sum_{n_{me}=1}^{N_{me}} (P_{4,u}^m(n_{me}) - L_{4,u}^m(n_{me})) \cong -\Delta N^m \quad (1.20)$$

Eş. 1.20'de N_{me} , faz verilerinin sürekli olduğu zaman dilimini ifade ederken n_{me} ise ölçüm zamanını göstermektedir. Seçilen bir alıcı istasyon için m . uydudan, n . ölçüm zamanı için faz verileri kullanılarak $\overline{ETE\dot{I}}$ değeri Eş. 1.21'deki gibi kestirilmektedir.

$$\overline{ETE}_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) [B_u^m + L_{4,u}^m(n) + c(DCB^m + DCB_u)] \quad (1.21)$$

\overline{ETE} kestirimlerinden \overline{DTE} kestirimleri, bir izdüşüm fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. \overline{ETE} kestirimlerini \overline{DTE} 'ye dönüştürebilmek için iyonkürenin, belirli bir yükseklikte en yüksek elektron yoğunluğunu içerdiği ve sonsuz ince bir katmandan oluştuğu kabulü yapılmaktadır. Bu kabul, Tek Katmanlı İyonküre Modeli (TKİM) olarak adlandırılmaktadır [3]. İzdüşüm fonksiyonu ile alıcı ve uydu arasındaki eğik yol, alıcıya göre yerel zenit doğrultusunda dik bir yola dönüşmektedir. İzdüşüm fonksiyonu ve \overline{DTE} 'ye geçiş işlemi Eş. 1.22 ve 1.23 ile verilmektedir.

$$\overline{DTE}_u^m(n) = \overline{ETE}_u^m(n) / M(\varepsilon_m(n)) \quad (1.22)$$

$$M(\varepsilon_m(n)) = \left[1 - \left(\frac{R \cos \varepsilon_m(n)}{R+h} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (1.23)$$

Eş. 1.22 ve 1.23'te ε yerel yükseklik açısını, n ölçüm zamanını, R dünyanın ekvatorial yarıçapını ifade etmektedir. h , yere referansla iyonlaşmanın en yüksek olduğu yüksekliktir. Chapman profiline en uygun yüksekliğin 428,8 km olduğu belirtilmiştir [4,5]. Chapman profiline göre iyonküredeki elektronların %90' ı 100 km ile 800 km arasında yer almaktadır [11].

Her bir YKS işaretinde, YKS alıcı ve uydusunda yer alan donanımdan kaynaklı enstrümantal gecikmeler oluşur. İki işaret arasındaki bu enstrümantal gecikme farkı, enstrümantal yanlılık veya diferansiyel yanlılık olarak adlandırılır [3]. Uydu ve alıcı yanlılık değerlerinin toplamı negatif değerler olabilir. TEİ değerlerinin doğru bir şekilde kestirilebilmesi için alıcı ve uydu yanlılıklarının, YKS ölçümlerinden düzgün bir şekilde çıkarılması gerekmektedir [3]. YKS uydularının ve alıcılarının yanlılık değerlerine internet üzerinden erişilebilmektedir [22]; ancak bazı IGS analiz merkezleri, alıcı yanlılıklarını istenilen her istasyon için vermemektedir. Dahası bazı alıcı istasyonları için hiçbir analiz merkezi yanlılık değeri vermemektedir. Yanlılıkların hesaplanan TEİ

değerlerine nasıl ekleneceği konusunda net bir yaklaşım olmamakla beraber yanlılıkların \overline{ETE}_u^m kestirimi yaparken eklenmesi Eş. 1.24'te verilmiştir [5].

$$\overline{ETE}_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) P_{4,u}^m(n) + b^m + b_u \quad (1.24)$$

Yanlılıkların \overline{DTE}_u^m kestirimi yaparken eklenmesi ise Eş. 1.25 ve 1.26 ile elde edilir [5].

$$\overline{ETE}_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) P_{4,u}^m(n) \quad (1.25)$$

$$\overline{DTE}_u^m(n) = \overline{ETE}_u^m(n) / M(\varepsilon_m(n)) + b'^m + b'_u \quad (1.26)$$

Literatürde alıcı ve uydu yanlılıklarının kestirimi yapıldıktan sonra IGS analiz merkezleri ile kestirim sonuçları kıyaslanmaktadır. Bu mukayese sonucunda ne kadar hata yapıldığı hesaplanmaktadır. Hatanın büyüklüğü uygulanan yöntemle ilgili olmakla birlikte aşağıdaki durumlardan da kaynaklanmaktadır [12]. Bunlar:

1. İyonkürenin TKİM modeli olarak alınması,
2. DCB değerlerinin bir gün içerisinde değişmediği varsayımının kullanılması,
3. Appleton formülündeki [13] manyetik alan etkisinin ihmal edilmesi,
4. TEİ değerlerinin küçük bir alan içerisinde değişmediği kabulünün yapılması,
5. Çok yol etkisi ve Doppler etkisidir.

Bölüm 2'de Literatür Taraması verilmiştir. Bölüm 3'te alıcı ve uydu yanlılık değerlerinin kestirimi için kullanılacak yöntem tanıtılmıştır. Bölüm 4'te iyonkürenin sakin ve düzensiz olduğu günler ve orta enlem, yüksek enlem ve ekvatorial bölgede bulunan istasyonlar için önerilen yöntemin uygulanması, analizleri ve yorumları verilmektedir.

2. ALICI VE UYDU YANLILIK KESTİRİMLERİ

Alıcı ve uydu yanlılık değerlerinin kestirilmesi için literatürde var olan bazı yöntemler aşağıda tarihi sıralama ile anlatılmaktadır.

Lanyi ve Roth [10]'da çeşitli varsayımlar altında TEİ ve yanlılık kestirimi yapmıştır. Bu varsayımlar; iyonkürenin 4-6 saat boyunca değişmemesi, iyonküre TKİM modeli, alıcı ve uydu yanlılık değerlerinin zamanla değişmemesidir. TKİM modeli, iyonküreyi sonsuz ince bir küre kabuk olarak ele almaktadır. Elektron yoğunluğu sonsuz ince küre kabuk içerisinde dağılmaktadır. Bu çalışmada iyonküre yüksekliği 350 km olarak alınmıştır. Gözlem verileri JPL analiz merkezinden temin edilmiştir. Orta enlemde yer alan, tek bir alıcı istasyonunun gece verileri kullanılmıştır. 2. dereceden 2 boyutlu modelin katsayıları, en küçük kareler yöntemi ile kestirilmiştir. [10].

[14]'te Klobuchar tarafından tanımlanan bir TEİ modeli verilmektedir. Bu model 8 bilinmeyen içeren 2 boyutlu ikinci dereceden bir eşitliktir. Bu model, toplam elektron içeriğini 2 boyutlu 2. dereceden bir eşitlik ile ifade etmektedir. [15]'te Austin bölgesi 5 hafta boyunca incelendikten sonra uydu yanlılık değerlerinin 0,3 ns'den daha az değiştiği gösterilmiştir. Daha sonra ise uzun bir dönem incelenmek istenmiştir. 2 yıllık verilerin kullanılması ile uydu yanlılıklarında çok az bir değişim olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma ile genel anlamda uydu yanlılık değerlerinin oldukça kararlı olduğu belirtilmektedir.

Wilson ve Manucci [16]'da 30-40 alıcı istasyonundan alınan ölçümleri kullanarak birden fazla alıcı ve uydu yanlılık kestirimi yapmışlardır. Alıcı ve uydu yanlılıkları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmada yalnızca gece verileri kullanılmıştır. Bunun sebebi, iyonküredeki değişikliklerin gece daha az olmasıdır. Kestirimler HARM ve TRIN teknikleri ile yapılmıştır. HARM tekniği, yüzey harmoniklerini kullanırken; TRIN tekniği, [11]'de anlatılan üçgen ara değerlemesi tekniğini ifade etmektedir. TRIN tekniği ile iyonküre kabuğu 1280 üçgene bölünmüştür. Toplamda 642 üçgen köşesi bulunmaktadır. İki teknik de iyonküre TKİM modelini kullanmaktadır. İyonküre yüksekliği olarak 350 km alınmıştır. 20° altındaki yükselme açısına sahip uydu verileri kullanılmamıştır. TRIN tekniği ile yanlılık kestirimlerinin daha kararlı olduğu

gösterilmiştir. TRIN modelinin iyonküredeki ani değişimleri daha kolay takip edebildiği ve HARM' dan daha doğru sonuç verdiği belirtilmiştir [16].

[17]'de Kalman filtre yaklaşımı kullanılarak alıcı ve uydu yanlılık değerlerinin kestirimi ve TEİ değerlerinin kestirimi yapılmıştır. Çalışma Avustralya, İspanya ve ABD'deki alıcı istasyonları için yapılmıştır. Çok yol etkisini azaltmak için 20° üzerindeki yükselme açısına sahip uydulardan gelen veriler kullanılmıştır. Kullanılan modelde bilinmeyen parametrelerin sayısı, denklem sayısından daha büyük olduğu için yanlılıklar diğer terimlere dahil edilmiştir. Elde edilen yeni değişkenler, eski değişkenlere yanlılık değerlerinin doğrusal kombinasyonlarının eklenmiş halidir. Yanlılık değerlerinin 48 saat boyunca değişmediği varsayımı yapılarak hesaplamalar yapılmıştır. TKİM modeli kullanılmış ve iyonküre yüksekliği 355 km olarak alınmıştır. Başlangıçta bir alıcı yanlılık değeri 0 alınarak diğer değişkenler hesaplanmıştır. Kestirilen değerlerin JPL verileri ile tutarlı olduğu gösterilmiştir.

[18]'de 1993 yılı ocak ayı içerisindeki 15 gün boyunca, 30 alıcıdan alınan verilerin kullanılması ile TEİ kestirimleri ve yanlılık kestirimleri yapılmıştır. TEİ kestirim hatalarını azaltmak için yalnızca gece verilerinin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Bunun sebebi iyonkürenin gece vakti daha az değişken olmasıdır.

[19]'da Japonya'da yer alan 1000'den fazla GPS alıcısı kullanılarak Japonya üzerindeki TEİ haritaları 2 boyutlu oluşturulmuştur. Bu haritalar 30 saniye zaman çözünürlüğünde ve 0.15° x 0.15° enlem ve boylam uzaysal çözünürlükte oluşturulmuştur. İki alıcı arasındaki ortalama uzaklık yaklaşık olarak 25 km'dir. GEONET ağı gibi yoğun bir alıcı ağına sahip olan ağlarda, her bir adımda güncelleme yapan [17]'de verilen yöntemi kullanmak çok fazla hesaplama zamanı aldığı için uygun olmayacaktır. Burada anlatılan yöntemde TEİ, zaman ve konumun bir fonksiyonudur. TKİM modeli kullanılarak iyonküre yüksekliği 400 km alınmıştır. Çok yol etkisini azaltmak için 30° üzerindeki yükselme açısına sahip uydu verileri kullanılmıştır. Yalnızca GEONET gibi yoğun bir alıcı istasyonu dağılımı için 2 boyutlu TEİ haritalarının zaman ve konumun bir fonksiyonu olarak elde edilebileceği vurgulanmıştır.

Ma ve Maruyama [20]'de Japonya' da yer alan GEONET ile TEİ değerlerinin kestirimini yaparken aynı zamanda alıcı ve uydu yanlılık değerlerini de kestirmişlerdir. GEONET ağı 27° ve 45° kuzey enlemleri ile 127° ve 145° batı boylamlarını kapsamaktadır. Japonya üzerindeki iyonküre 32 ağa bölünmüştür. Her bir ağın boyutu 2° x 2° enlem ve boylam biçimindedir. Bazı ağlarda alıcı sayısı 20'ye çıkarken bazı ağlarda hiç alıcı yoktur. Hiçbir alıcının yer almadığı ağlarda da TEİ hesaplanır. Bunun sebebi komşu ağlarda alıcıların olmasıdır ve iyonküre delme noktalarının çoğu zaman uydu sayısına ve uydu konumlarına bağlı olmasıdır. Verilen bir ağ içerisinde herhangi bir noktada TEİ 'in aynı olduğu ve yanlılık değerlerinin bir gün içerisinde değişmediği kabulü yapılmıştır. TEİ ve yanlılıklar en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmıştır. [19]'da alıcı ve uydu yanlılıklarının toplamı kestirilirken, bu çalışma ile alıcı ve uydu yanlılıkları ayrı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Önerilen yöntemin uygulanması sonucunda, uydu yanlılıklarının günden güne değişimlerinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir. Pek çok alıcı için de günden güne değişimin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.

Ma, Maruyama ve Ma [21]'de yapay sinir ağları yardımı ile alıcı yanlılıklarının kestirimini yapmışlardır. Uydu yanlılık değerlerinin zaten hesaplandığı ve bilindiği varsayımı yapılır. Farklı dönem, lokal zaman ve jeomanyetik bölge ele alınarak çeşitli durumlar için analizler yapılmaktadır. Yöntemin düşük enlem bölgelerinde yerleştirilmiş olan az sayıda alıcı istasyonları için oldukça iyi sonuç verdiği belirtilmektedir. [19]'daki yöntemin düşük enlemlerde daha fazla hata oluşturmasına bir çözüm olarak bu yöntem geliştirilmiştir. 3 boyutlu elektron yoğunluğu bir tomografik görüntü olarak düşünülmüştür. Literatürde genelde kabul gören çıktı verisi ile ilgili öğretici veri arasındaki farkın karesinin toplamına dayanan maliyet fonksiyonu yerine; bir integral eşitliğinin karesinin toplamına dayanan maliyet fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon RMTNN sinir ağı olarak bilinmektedir. Yöntemin verimliliğini adil bir şekilde test edebilmek adına [20]'deki veriler kullanılmıştır. 100 km altındaki ve 1000 km üzerindeki elektron yoğunluğunun 0 olduğu varsayımı yapılmıştır. Uydu yanlılıkları, GEONET verisine en küçük kareler yönteminin uygulanması ile hesaplanmıştır. Çalışmada özellikle düşük enlemlerde, yalnızca birkaç alıcıdan gelen veriler kullanılarak analizler yapılmaktadır. Bu yöntemin üstünlükleri: TKİM modeli varsayımı yapmaması ve ara değerlendirme işlemini otomatik bir şekilde yapmasıdır. Böylece yalnızca orta enlem bölgesinde değil aynı zamanda daha düşük enlem bölgelerinde de iyi sonuç alınmaktadır.

Nayir [5]'te, [4] ve [8] çalışmalarında yapılan kestirimlerin daha fazla istasyon ve iyonküre durum çeşitliliği için yaparak önceki çalışmaları genişletmiştir. Çalışmada DTEİ verileri kestirilmiştir. D-TEİ olarak adlandırılan bir yöntem kullanılmıştır. D-TEİ yönteminde ağırlık fonksiyonu tanımlanmış ve şu şekilde kullanılmıştır. Düşük yükseklik açılı uydulardan gelen verilerdeki bozulmaları hesaba katmamak adına 10° 'den düşük açılı uydu verileri kullanılmamıştır. 10° ve 60° arasındaki bir yükselme açısına sahip olan uyduların verileri bir Gauss fonksiyonu ile ağırlıklandırılır iken, 60° ve 90° arasındaki yükselme açısına sahip uydulardan gelen veriler hiçbir değişime uğratılmadan kullanılmıştır. D-TEİ yönteminde kestirim sonucu elde edilen DTEİ verileri ile uydulardan hesaplanan DTEİ verileri arasındaki hatanın karesini en aza indirecek bir maliyet fonksiyonu tanımlanır. Maliyet fonksiyonunu minimize etme işlemi doğrusal bir sistemin çözümüne dönüşür. Bu yöntem ile sınırlı bir zaman diliminde DTEİ kestirimi yapabilmek için maliyet fonksiyonu üzerinde düzenlemeler yapmak gerekmektedir.

D-TEİ yöntemi ile tüm gün veya sınırlı bir zaman aralığı için TEİ kestirimi yapabilmek mümkündür. [4]'te tüm gün için yapılan kestirim çalışmaları verilirken, [8]'de istenilen bir zaman aralığı için yapılan TEİ kestirimleri verilir. Yapılan kestirim sonuçları IGS analiz merkezlerinden alınan değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta gürbüz kestirimlerin yapıldığı gösterilmiştir. IGS analiz merkezleri TEİ değerlerini IONEX dosya formatında sunmaktadır [22]. D-TEİ yöntemi ile elde edilen kestirimlerin, IGS analiz merkezlerinden özellikle JPL ile uyumlu olduğu gösterilmiştir. D-TEİ yöntemi sözde menzil ölçümlerini kullanmaktadır. Bu çalışma kapsamında faz verileri de kullanılarak kestirimler yapılmıştır. Yapılan kestirimlerin sözde menzil verileri ile elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada D-TEİ yönteminde geçen parametrelerin yönteme etkisi incelenmiştir. Bu parametreler: iyonküre yüksekliği, ağırlık fonksiyonu, alıcı ve uydu yanlılık değerleridir. [4,8] çalışmalarında iyonküre yüksekliği 428,8 km alınmıştır. Bu çalışmada 300 km, 428,8 km ve 450 km alınarak iyonküre yüksekliğinin yönteme etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak iyonküre yüksekliğinin kestirim sonuçlarını çok az etkilediği gösterilmiştir. Daha önce bahsedilen ağırlık fonksiyonu için 3 farklı fonksiyon denenmiştir. Sonuçta, en uygun ağırlık fonksiyonu belirlenmiştir [5].

[5]'te yanlılık ekleme yöntemlerinden, yanlılıkların ETEİ hesaplarırken kullanılmasının D-TEİ yöntemine daha uygun olduğu gösterilmiştir. GPS uydularının ve alıcıların yanlılık değerlerine internet üzerinden erişilebilmektedir; ancak bazı IGS analiz merkezleri, alıcı yanlılıklarını istenilen her istasyon için vermemektedir. Bu yüzden yapılan çalışmada üç farklı metot ile tek bir alıcının yanlılık değeri kestirilmiştir. Yapılan çalışmalarda tutarlılık kriteri olarak yanlılık farklarının 4 TECU'nun altında olması belirlenmiştir. 1. Yöntem standart sapmanın en aza indirilmesidir. Bu yöntem özellikle alıcı ağının çok sık olmadığı bölgelerde, tek bir alıcı yanlılığını hesaplamada kullanılır. Çalışmada uydu yanlılıkları CODE analiz merkezinden alınmıştır. Alıcı yanlılıkları, -30 ns ile +30 ns arasında 0.001 ns aralıklarla taranmıştır. Çalışmada faz verileri kullanılmıştır. Çok yol etkisini azaltmak için 40° üzerindeki yükselme açısına sahip uydu verileri alınmıştır. Her bir alıcı yanlılığı için her bir ölçüm anındaki uydulardan hesaplanan DTEİ değerlerinin ortalamaya göre standart sapması bulunmuştur. Daha sonra tüm gün için toplam standart sapma hesaplanmıştır. Bu değeri en aza indiren yanlılık değeri en uygun olandır. Bu yöntem ile hesaplanan alıcı yanlılık değerlerinin CODE ve JPL analiz merkezleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir [5].

2. Yöntem çok terimli DTEİ tekniğidir. Bu teknikte DTEİ, iyonküre delme noktasının koordinatlarının fonksiyonudur. Bu teknik ile alıcı ve uydu yanlılıkları birlikte çözülmektedir. Bir başka şekilde ifade edilirse, sonuçta alıcı ve uydu yanlılıklarının toplamı kestirilmiş olacaktır. Toplam yanlılıklardan CODE ve JPL analiz merkezleri tarafından verilen uydu yanlılık değerleri çıkarılarak alıcı yanlılıkları bulunmaktadır. Sonuç olarak bulunan alıcı yanlılık değerlerinin CODE ve JPL analiz merkezleri tarafından verilen alıcı yanlılıkları değerleriyle tutarlı olduğu gösterilmiştir [5].

3. Yöntem ise sözde menzil doğrusal kombinasyonları kullanılarak alıcı yanlılığı hesaplama yöntemidir. Bu yöntemde DCB^m değerleri IGS merkezleri tarafından alınmaktadır. Bu yöntemde ilk olarak P_4 doğrusal kombinasyonları hesaplanmaktadır. P_4 doğrusal kombinasyonlarına uydu yanlılıkları eklendikten sonra toplama Chebyshev filtresi uygulanmaktadır. Bu yöntemde 60° altındaki yükselme açısına sahip uydulardan gelen ölçümler silinmektedir. IGS- CODE analiz merkezinden elde edilen TEİ haritaları ile DTEİ değerleri hesaplanır. DTEİ değerlerinden bir izdüşüm fonksiyonu ile STEİ

değerlerine geçiş yapılır. Eş. 1.18’de bilinmeyen tek parametre olan alıcı yanlılığı diğer değişkenlerin formülde yerine konulmasıyla hesaplanmaktadır. Her bir an için bulunan alıcı yanlılıklarının günlük ortalaması alınarak o gün için tek bir alıcı yanlılığı hesaplanmaktadır. Elde edilen alıcı yanlılık değerlerinin, CODE ve JPL ile tutarlı olduğu gösterilmiştir. Alıcı yanlılık hesaplaması için verilen üç yöntemden ilk ikisi literatürde var olan yanlılık kestirim yöntemleridir [5].

[23]’te IONOLAB-BIAS yöntemi tanıtılmıştır. Bu yöntem ile iyonkürenin sakin, düzensiz olduğu günlerde ve yüksek enlem, orta enlem ve ekvatorial bölgelerinde tek bir alıcı yanlılığı online olarak bulunmaktadır. Uydu DCBleri çoğu zaman çeşitli IGS analiz merkezleri tarafından verilir iken; alıcılar için verilmeyebilmektedir. DCB değerlerindeki değişim sıcaklık ve donanım ile ilgilidir. IONOLAB-BIAS yöntemi [5]’teki alıcı yanlılığı kestirimi bölümünde yer alan 3. Yöntemin aynısıdır. Bu yöntemde 60° altındaki yükselme açısına sahip uydulardan gelen ölçümler silinmektedir. GIM’den alınan 2 saat zaman çözünürlüklü DTEİ verileri ara değerlendirme ile 30 saniye çözünürlüklü verilere dönüştürülmektedir. Kestirimi yapılan alıcı yanlılık değerlerini IGS analiz merkezleri ile mukayese edebilmek için $DCB_u(n)$ değerlerinin günlük veya aylık ortalaması alınır. Bu çalışmada, [5]’te alıcı yanlılıklarının kestirilmesi bölümünde geçen 1. Yöntem ve 2. Yöntem de uygulanmıştır. 1. Yöntem, tek bir alıcı yanlılığı veya birden çok alıcı yanlılığı kestirimi için kullanılabilir [23].

Jin, Jin ve Feng [24]’te M_DCB olarak adlandırılan, Matlab’da işlem yapan bir method tanıtmışlardır. DCB değerlerinin, bir gün veya bir ay içinde değişmediği kabulüne literatürde sıkça karşılaşılmıştır. DCB değerleri aslında saatler içinde değişmektedir. GPS hatalarının önemli bir kısmı iyonkürede gerçekleşen gecikmeden ve yanlılıklardan kaynaklanmaktadır. DCB etkisinin ihmal edilmesi durumunda, TEİ değerleri negatif olabilmektedir. Bu yüzden TEİ kestirimlerini doğru yapabilmek için yanlılıkların doğru bir şekilde kestirilmesi ve hesaba katılması gerekmektedir. Bu sorunu gidermek adına, M_DCB yazılımı; girdi olarak GPS RINEX gözlem dosyalarını ve SP3 dosyalarından uydu pozisyonlarını almaktadır. M_DCB , alıcı ve uydu yanlılıklarının kestirimini yapmaktadır. İyonkürenin TKİM modeli kullanılmıştır. Burada iyonküre yüksekliği 506,7 km olarak alınmıştır. TEİ, enlem ve boylamın küresel harmonik fonksiyonu olarak

modellenmiştir. Küresel harmonik fonksiyon derecesi alanın büyüklüğüne bağlıdır. Bölgesel bir alanı incelemek için 4. derece kullanılırken, küresel bir bölgeyi incelemek için 15. derece kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada küçük alanlar incelendiği için 4. dereceden harmonikler kullanılmıştır. Kestirim, en küçük kareler yöntemi ile yapılmıştır. Burada, GPS uydu DCB değerlerinin toplamının 0 olduğu varsayımı kullanılmıştır. 20° üzerindeki yükselme açısına sahip uydu verileri hesaba katılmıştır. M_DCB yazılım paketi ile tek bir alıcı yanlılığı veya birçok alıcı yanlılık değeri kestirilebilmektedir. Kestirim sonuçlarının JPL ve CODE analiz merkezlerinin verileri ile uyumlu olduğu gösterilmiştir [24].

[3]'te Çin'in güneydoğusunda yer alan dört GPS alıcısı ile yapılan çalışmada, toplam elektron içeriğini hesaplarken aynı zamanda GPS uydu ve alıcı yanlılıklarını da hesaplayan ağ tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Bu çalışmada Chapman yüksekliği 400 km olarak kullanılmıştır. Bu algoritma kullanılarak 15 dakika zaman çözünürlüğünde ve $1^{\circ} \times 3,5^{\circ}$ enlem ve boylam uzaysal çözünürlükte işlem yapılmaktadır. 19° - 31° kuzey enlemleri ve $103,5^{\circ}$ - $124,5^{\circ}$ batı boylamları arası 60 eşit ağı bölünmüştür. Verilen bir ağ içerisinde, verilen herhangi bir anda iyonkürenin homojen olduğu, TEİ değerinin aynı olduğu ve bir gün içerisinde yanlılık değerlerinin değişmediği varsayılmıştır. Pek çok ağda alıcı olmamasına rağmen bu ağlar için de TEİ hesaplanmıştır. Bunun sebebi iyonküreyi delme noktalarının, uydu sayısı ve uyduların konumuna bağlı olmasıdır. Yanlılıklar ve TEİ, en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmıştır. Burada dört alıcı ve uyduların hepsini ele alarak lineer denklem kümesi çözülmüştür. Burada ele alınan probleme göre 5795 bilinmeyen ve 50.000'den fazla denklem oluşmaktadır. Metot, 2006 yılının dört mevsimi için jeomanyetik olarak sakin değerlendirilen 16 günü seçilerek incelenmiştir. İnceleme sonucunda GPS alıcı yanlılıklarının uydu yanlılıklarına göre daha durağan olduğu belirtilmiştir. Önerilen algoritma daha seyrek bir GPS ağına sahip istasyonlar için geçerlidir. Çok yol etkisini bastırmak için uydu yükselme açısı 30° 'den büyük olan açı değerleri TEİ kestiriminde kullanılmıştır. Yapılan uydu yanlılık kestirim sonuçlarının CODE analiz merkezi ile mukayese edilmesi sonucu en büyük fark 4,174 ns olarak hesaplanır iken; JPL analiz merkezi ile mukayese edilmesi sonucunda en büyük fark 4,070 ns olarak hesaplanmıştır [3].

[25]'te TEİ değerlerinin küçük bir alan içerisinde değişmediği varsayımı yapılır. Buradaki yöntemin başarımını belirleyebilmek için yöntem 2014 yılındaki 361 güne uygulanmaktadır. Gözlem verileri 1311 GEONET alıcısından alınmaktadır. Burada anlatılan yöntemin temeli [19, 20]'ye dayanmaktadır. [19, 20]'deki ağ yönteminde, ağ eğer çok büyük seçilirse hata artacaktır. Benzer şekilde ağ eğer çok küçük seçilirse, bazı ağlar yeterli gözlem verisine sahip olmayacaktır. Burada önerilen yöntem ile bu sorun giderilmiştir. Yüzlerce alıcı ve 30'dan fazla uydu ile herhangi bir zamanda binlerce iyonküre delme noktası oluşmaktadır. Bir iyonküre delme noktası seçilir. Seçilen bu nokta koordinat sistemin merkezine yerleştirilir. Daha sonra bu noktaya en yakın olan 4 iyonküre delme noktası daha seçilir. Bu 4 nokta ise merkezdeki noktaya eşit mesafede bir çember oluşturacak biçimde yerleştirilir. Algoritma en küçük kareler yöntemi ile çözülmektedir. Algoritmada kullanılan ağırlık fonksiyonu seçilen iyonküre delme noktalarının yakınlık- uzaklık ilişkisinin bir fonksiyonudur. Kestirilen yanlışlıklar ile uydu yükselme açısı arasında da belirgin bir ilişki olmadığı söylenmektedir. Konvolüsyon yöntemi, görüntü işlemede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İyonküre TKİM modeli olarak ele alındığında, küresel gri ölçekli görüntü olarak düşünülebilir. Kestirim hatalarını giderebilmek için en yakın 4 komşu yerine, daha fazla komşu iyonküre delme noktası alınabilir. Önerilen yöntem ile alıcı ve uydu yanlışlık kestirimleri yapılmaktadır. Önerilen yöntem, yoğun bir alıcı ağı olan yerlerde çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Adil bir mukayese için [20]'deki verilerle aynı veriler kullanılır. Sonuçlar [20] ile ve CODE verileri ile kıyaslanmaktadır. Mukayese sonucunda uydu yanlışlıklarının [20] ile ortalama farkı 0.091 ns iken, CODE ile farkı 0.321 ns'dir. Bu yöntemin, [20]'den yaklaşık olarak %10 daha kararlı olduğu gösterilmiştir. İyonküredeki bozulmaların algoritma üzerinde büyük bir etkisi olmadığı söylenmektedir [25].

Literatürde var olan bazı TEİ kestirim yöntemleri, analiz sonuçları ve TEİ istatistiksel yapısı gibi konular aşağıda tarihi bir sıralama ile verilmiştir.

[26]'da Kalman filtre kullanılarak TEİ kestirimi yapılmıştır. Kalman filtre, en son veriyi daha öncekilere göre daha fazla ağırlık vererek hesaba katmaktadır. Burada verilen 6 parametre coğrafi konuma bağlı değişkenlerdir. Merkeze yerleştirilen terim TEİ

kestirimidir. Merkezin etrafındaki alan 5 eşit parçadan oluşmaktadır. Kalman filtre ile 6 parametrenin kestirimi yapılmaktadır.

TEİ değerlerinin bir üçgen desen içerisinde ara değerlendirme edilmesine dayanan bir yöntem [11]'de tanıtılmıştır. İyonküre için TKİM modeli kullanılmıştır. İyonküre yüksekliği olarak 450 km alınmıştır. 10° üzerindeki yükselme açısına sahip uydu verileri kullanılmıştır. TKİM modeli ile her bir GPS ölçümü için farklı bir iyonküre delme noktası oluşur. Üçgen desenlerinin köşeleri yaklaşık 800 km mesafede yerleştirilmiştir. Üçgenlerin köşelerindeki TEİ değerleri bilinmektedir. İyonküre delme noktası üçgenin içerisinde herhangi bir noktada yer almaktadır. Üçgenin köşeleri A, B ve C, iyonküre delme noktası E olarak gösterilmiştir. A noktasından, E noktasından geçilerek çizilen eğrinin BC kenarı ile kesiştiği nokta D olarak gösterilmiştir. E noktasındaki TEİ değerinin hesaplanabilmesi için ilk olarak B ve C noktalarındaki TEİ değerlerinin mesafeye bağlı ara değerlemesi yapılarak D noktasındaki TEİ değeri hesaplanmaktadır. Daha sonra aynı işlem A ve D noktaları için yapılarak E noktasındaki TEİ değeri hesaplanmaktadır. Buradaki yaklaşım ile alıcı ve uydu yanlılıkları da eş zamanlı olarak kestirilmektedir [11].

[4]'te D-TEİ yöntemi ile 24 saatlik periyot için DTEİ değerleri, zamanda hiçbir önemli özellik kaçırılmadan kestirilmiştir. Burada kullanılan algoritma bir maliyet fonksiyonunun minimize edilmesine dayanmaktadır. İyonkürenin sakin ve bozuk günlerinde, tüm iyonküre bölgelerinde kullanılacak en uygun parametre seti belirlenmiş ve kullanılmıştır. D-TEİ yönteminin özellikle sakin günlerde ve orta enlem bölgesinde daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. 30 saniye zaman çözünürlüğünde elde edilen kestirimler ile yüksek enlem bölgesinde ve iyonkürenin düzensiz olduğu zamanlarda iyonküredeki geçici ve ani değişimlerin izlenebilmesi sağlanmıştır. Çok yol etkisini bastırmak için literatürde yalnızca en yüksek yükselme açısına sahip olan uydu izlenerek diğer uyduların etkisi hesaba katılmamıştır. Bu durum, önemli bilgi taşıyan çoğu ölçüm verisinin hiç hesaba katılmamasına neden olmaktadır. Bu çalışmada ise bir ağırlık fonksiyonu ile 10° üzerindeki yükselme açısına sahip tüm uyduların etkisi hesaba katılmaktadır. D-TEİ algoritması dört alıcı istasyonu için uygulanmıştır. Bunlar: Kiruna, Kiev, Ankara ve M. Dragot' tur. Verilen dört alıcı istasyonu da aynı zaman diliminde yer almaktadır ve buldukları enlem değerleri birbirlerinden neredeyse eşit uzaklıktadır. D-

TEİ yöntemi, bu dört alıcıya 23-28 Nisan 2001 zaman aralığı için uygulanmıştır. Önerilen algoritmada sözde menzil verileri kullanılmıştır. Kestirim sonuçlarına göre; tüm gün ve istasyonlar için, artan enlem ile TEİ değerlerinin azaldığı gözlemlenmektedir. Sonuçta bulunan değerlerin JPL, CODE, ve UPC ile uyumlu olduğu gösterilmiştir [4].

[8]'de, [4]'te kullanılan alıcılar ve zaman aralığı incelenmiştir. Bu çalışmada istenilen bir zaman aralığı için TEİ kestirimlerinin nasıl yapılacağı açıklanmaktadır.

[27]'de MLP ve RBFN sını ağları, seçilen bir bölge için TEİ haritası üretmektedir. MLP; bir giriş katmanı, bir veya daha fazla ara katman ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Sını ağının giriş parametreleri GPS koordinatlarının enlem ve boylam değerleri olurken, çıkış parametresi DTEİ değerleridir. Ağdaki her bir nöron, doğrusal olmayan bir fonksiyon içermektedir. RBFN; bir giriş katmanı, bir ara katman ve bir çıkış katmanı içermektedir. MLP, her bir katmanında farklı nöron sayıları ile denenmiş ve en uygun olan yapı seçilmiştir. Benzer bir işlem RBFN için de yapılmıştır. GİM haritaları ile $2,5^{\circ} \times 5^{\circ}$ çözünürlükte enlem ve boylam haritaları üretir iken, sını ağları ile $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ çözünürlükte enlem ve boylam TEİ haritaları üretilebilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, RBFN'in doğrusal olmayan yapısı gereği ani ve bölgesel değişimleri daha iyi yakaladığı gösterilmiştir. MLP ve RBFN' in günlük TEİ dağılımındaki değişimleri kabul edilebilir düzeyde yakaladığı belirtilmiştir [27].

Turel ve Arıkan [28]'de 5 farklı olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanarak iyonküre değişimlerini karakterize etmiştir. Kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonları: Rayleigh voltage, Rayleigh power, Weibull, Lognormal ve K dağılımıdır. Bu dağılımların parametreleri maksimum olabilirlik yöntemi ile kestirilmektedir. 1 saatlik ölçümler incelenmiştir. Hipotez testi ile verilen dağılımlardan hangisinin 1 saatlik verilere en uygun olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, Lognormal dağılımın tüm iyonküre bölgeleri, tüm alıcı istasyonları ve tüm saatler için en baskın dağılım olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma ile literatürde ilk defa 3 iyonküre bölgesi için TEİ' nin istatistiksel karakteristiği incelenmiştir.

[29]'da ne kadar sürede bir TEİ kestirimi yapılacağı konusunda bir çalışma yapılmıştır. Temporal Update Period (TUP)'un hem bölgesel hem de küresel iyonküre değişkenliğini görüntülemeye önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, bölgesel iyonküre görüntülemeye optimum TUP süresini seçecek bir yöntem tanıtılmıştır. TEİ; güneş etkisi, jeomanyetik fırtınalar, enlem, boylam ve zaman gibi pek çok parametrenin fonksiyonu olduğu için bir rasgele fonksiyon ile modellenmektedir. IONOLAB-TEİ yöntemi kullanılarak elde edilen DTEİ değerlerinin Geniş Anlamda Durağanlık (GAD) periyotları bulunur. Sonuç olarak, iyonküredeki lokal değişiklikleri izlemek için TEİ haritalarının her 20-30 dakikada bir güncellenmesi gerektiği belirtilmiştir. İyonkürenin düzensiz olduğu günlerde ise her 5-10 dakikada bir güncellenmesi gerektiği belirtilmiştir [29].

[30]'da 11 yıllık IONEX dosyalarından alınan TEİ haritaları incelenmiştir. Çin'de bulunan 5 alıcı istasyonu için TEİ değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama, küresel harmonik katsayılar yönteminin kullanılması ile yapılan bir ara değerlemedir. Alıcılar 25° - 44° kuzey paralelleri ile 102° - 125° doğu boylamları arasındaki bölgede yer almaktadır. Burada verilen istasyonların enlem açısından birbirleriyle olan yakınlığının etkisi bir ilinti fonksiyonu ile ölçülmüştür. Enlem bakımından birbirlerine yakın olan istasyonların benzer TEİ değerlerini verdiği gözlemlenmiştir. Sonuçta, farklı alıcı istasyonları için yaklaşık olarak aynı zamanlarda TEİ değerlerinin maksimum olduğu belirtilmektedir. Oluşan farklılıkların 11 yıllık güneş çevriminden kaynaklandığı vurgulanmıştır [30].

[2]'de yapay sinir ağları ile TEİ kestirimine alternatif olarak, Gauss süreci yaklaşımı sunulmuştur. Yapay sinir ağları ile yapılan kestirimlerde; daha fazla sayıda parametre kullanılması, bilgilerin kaynaksız birleştirmeye dayanması, bir kara kutu gibi olması ve boyut arttıkça modellemenin zorlaşması öne sürülerek yeni bir yaklaşımda bulunulmuştur.

Shuanggen ve Rui [12]'de TKİM modelinin, iyonkürenin dikey yöndeki değişimlerini hesaba katmamasından dolayı kaynaklanan hataları azaltmak için 3 boyutlu bir harita üretmektedirler. Regional Ionospheric Mapping and Tomography (RIMT) olarak

adlandırdıkları bir yazılım paketi ile 2 boyutlu TEİ değerlerini ve 3 boyutlu elektron yoğunluğunu görüntüleyebilmektedirler. Bu yöntem gere, bir pikselde elektron yoğunluğunun değişmediği varsayımı yapılır. Verilen bir pikseldeki elektron yoğunluğunun, ETEİ yolunun o piksel ile olan kesişim yolunun uzunluğuna bağlı olarak ürettiği değer ile çarpılması sonucunda iyonkürenin 3 boyutta incelenmesi sağlanmıştır.

[31]'de DTEİ verisinin kayan pencere ortalaması ve varyansı kullanılarak iyonkürenin istatistiksel yapısı incelenmektedir. Kayan pencerenin boyutu 1. ve 2. dereceden momentlerin kestirilen varyansına göre seçilmektedir. İyonküre, yüksek enlem ve ekvatorial bölgede çok daha değişkendir. İyonkürenin zamanla değişimi, standart istatistiksel yöntemlerle karakterize edilmesini engellemektedir. Kayan pencere, iyi bir istatistiksel karakterize için yeterince uzun ve TEİ' nin zaman değişimlerini yakalayacak kadar kısa olmalıdır. Kayan pencere boyu, lokal durağanlığın süresine yakın ise iyonküre doğru bir şekilde karakterize edilebilir. Çalışmanın amacı, lokal GAD davranış gösteren veri için en uzun zaman aralığını belirlemektir. Bu yüzden farklı boylarda kayan pencere incelenmiştir. TEİ haritalarının ne kadar sürede bir güncellenmesi gerektiğini belirten bir çalışmadır. Çalışma sonucunda, iyonkürenin sakin olduğu günlerde kayan pencere için 15-20 dakika uygun bir seçim olur iken; daha yüksek enlemlerde bu süre daha kısa olmaktadır. Bunun sebebi iyonkürenin yüksek enlem bölgesinde çok daha değişken bir yapıda olmasıdır.

Seyrek TEİ verileri için çeşitli çok değişkenli ara değerleme teknikleri ile yüksek çözünürlüklü TEİ verileri üretilir. [32] çalışmasında literatürde TEİ için yapılan ara değerleme metotları mukayese edilmiştir. Üçgenlere bölme tekniğinin avantajları, çok karmaşık bir yapısının olmaması ve hızlı olmasıdır. Hata oranı düşüktür. Komşuluk ilişkisine dayanan ara değerleme yöntemlerinin daha iyi sonuç verdiği ancak uygulamasının daha zor olduğu belirtilmektedir.

Tek bir alıcı için TEİ hesabı, alıcı ve uydu yanlılıklarındaki belirsizlik, iz düşün fonksiyonunun belirsizliği, iyonküre yüksekliğinin belirsizliği gibi sebeplerden dolayı zorlu olmaktadır. [4]'te verilen D-TEİ metodu, tüm enlem bölgelerindeki istasyonlarda, iyonkürenin sakin ve bozuk olduğu günlerde, 30 saniye zaman çözünürlüğünde gürbüz

TEİ kestirimleri yapmaktadır. [8]'de, [4] yöntemi geliştirilerek istenilen bir zaman aralığı için kestirimler yapılmaktadır. [23] ile IONOLAB-BIAS diye adlandırılan tek bir alıcı istasyonun yanlılık değerini bulan yöntem tanıtılmıştır. TÜBİTAK desteği ile IONOLAB-BIAS yöntemi ile D-TEİ yöntemi birleştirilerek online, otomatik, neredeyse gerçek zamanlı TEİ kestirimleri yapmayı sağlayan IONOLAB-TEC yöntemi sunulmuştur. IONOLAB-TEC yönteminde 3 farklı seçenek bulunmaktadır. Tek bir alıcı istasyonunun, birden fazla alıcı istasyonunun ve tek bir alıcı istasyonunda birden fazla gün için TEİ kestirimleri yapılmaktadır [33].

3. YÖNTEM

Bu tez kapsamında önerilen yöntemde, [24]'te kullanılan YKS uydu diferansiyel yanlılık değerlerinin toplamının sıfır olduğu kabulü üzerinden, bir bileşik yanlılık tanımı yapılmaktadır ve bu yanlılıklarının kestirimi yapılmaktadır. Kestirimlerin nasıl yapıldığı tez kapsamında bu bölümde anlatılmaktadır.

Daha önce belirtildiği gibi IONEX dosyalarına internet üzerinden erişilebilmektedir [22]. IONEX dosyalarında çeşitli analiz merkezlerinin sunduğu alıcı ve uydu diferansiyel yanlılık değerleri ve TEİ haritaları mevcuttur.

Yapılan araştırmalar sonucu uydu yanlılık değerlerinin toplamının sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Örnek olarak 10.10.2003 günü için CODE uydu yanlılık değerleri [-1,726 -2,787 -1,157 -0,017 -1,085 -0,750 -2,553 -1,159 -0,273 -2,449 3,648 0 3,457 2,945 -2,260 2,486 -3,132 2,836 0 0,597 3,788 0 -1,948 -3,162 0,921 0,222 -1,081 2,734 0,521 1,574 -0,190 0] olarak verilmiştir. Aynı gün için ESA, JPL ve IGS analiz merkezlerinin uydu yanlılık değerlerinin toplamı da sıfır olmaktadır. 2003 yılı Ekim ayı için CODE analiz merkezinin uydu yanlılık değerlerinin toplamının 0 olduğu doğrulanmıştır. Tez kapsamında analizi yapılan tüm günler için uydu yanlılıklarının toplamının sıfır olduğu bilgisi onaylanarak işlemler yapılmıştır. Uydu yanlılıkları değerlerine IONEX formatında dosyalar ile erişilebilmektedir. [5]'te, tek bir alıcı yanlılığı kestirimi bölümünde geçen, sözde menzil doğrusal kombinasyonları kullanılarak alıcı yanlılığı hesaplama yöntemi (3. Yöntem) uydu yanlılıklarını IONEX dosyalarından almaktadır. Burada yapılan çalışma [5]'te anlatılan yöntemi, [22]'de verilen bilgi ile birleştirmektedir. Burada yapılan çalışma ile bileşik yanlılıkların kestirimi sözde menzil ve faz verileri kullanılarak yapılmaktadır.

2.Bölüm'de anlatıldığı gibi pek çok çalışmada alıcı diferansiyel yanlılık değerlerinin bir gün ve uydu diferansiyel yanlılık değerlerinin bir ay içerisinde değişmediği kabulleri yapılmaktadır. Gerçekte ise bu değerler saatler içinde değişmektedir.

Daha anlaşılabilir olması için IONEX dosyalarından alınan ve bir gün zaman çözünürlüğünde verilen alıcı yanlılıkları ve bir ay zaman çözünürlüğünde verilen uydu yanlılıkları değerlerinin toplamını K^m olarak adlandırabiliriz. Eş. 3.1’de m uydu numarasını temsil etmektedir.

$$K^m = DCB^m + DCB_u \quad (3.1)$$

Bileşik yanlılıkları kestirebilmek için ilk olarak CODE analiz merkezinin sunduğu haritalardan DTEİ değerleri alınır. Daha sonra [5]’de anlatılan yöntem ile aradeğerleme işlemi yapılır. Eş. 1.22 ve Eş. 1.23 kullanılarak her uydu için ETEİ değerlerine geçiş yapılır.

Bir gün çözünürlüğünde verilen alıcı yanlılıkları ve bir ay çözünürlüğünde verilen uydu yanlılıkları zamana bağlı hale getirilmiştir. Zamana bağlı hale getirilen diferansiyel yanlılıkların toplamı bu tez kapsamında bileşik yanlılık olarak adlandırılmıştır. Sonuç olarak, bilinen $P_{4,u}^m(n)$, $L_{4,u}^m(n)$ ve $\widehat{ETE}_u^m(n)$ ifadeleri Eş. 3.2 ve Eş. 3.3’te yerlerine konularak bileşik yanlılıklar kestirilmiştir.

Daha önce belirtildiği gibi işlemler tek bir alıcı üzerinden yapılmaktadır. Bir alıcı bir anda en fazla 12 uydudan veri alabilmektedir. Bu sebeple bu aşamada bir görülebilen uydu kümesi oluşturulacaktır. $Y = \{Alıcı\ tarafından\ görülebilen\ uyduların\ numaraları\}$ ’nı ve $|Y|$ görülebilen uydu sayısını ifade etmektedir. Bu durumda, Eş. 3.2 ile verilen denklem kümesi elde edilecektir. Eş. 3.2’de $X^{Y(m)}(n)$ ile ifade edilen terim, \widehat{ETE}_u değerlerinden $P_{4,u}^m(n)$ doğrusal kombinasyon değerlerinin çıkarılması ile elde edilmektedir.

$$X^{Y(1)}(n) = DCB^{Y(1)}(n) + DCB_u(n) = \frac{1}{c} \left\{ \left[A \left(\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2} \right) \widehat{ETE}_u^{Y(1)}(n) \right] - P_{4,u}^{Y(1)}(n) \right\}$$

$$X^{Y(2)}(n) = DCB^{Y(2)}(n) + DCB_u(n) = \frac{1}{c} \left\{ \left[A \left(\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2} \right) \widehat{ETE}_u^{Y(2)}(n) \right] - P_{4,u}^{Y(2)}(n) \right\}$$

$$X^{Y(3)}(n) = DCB^{Y(3)}(n) + DCB_u(n) = \frac{1}{c} \left\{ \left[A \left(\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2} \right) \widehat{ETE}_u^{Y(3)}(n) \right] - P_{4,u}^{Y(3)}(n) \right\}$$

Eş. 3.2 ve Eş. 3.3'teki denklemlerin toplanması sonucunda $DCB_u(n)$ ve $DCB'_u(n)$ değeri Eş. 3.5 ve Eş. 3.6 ile bulunmaktadır.

$$DCB_u(n) = \frac{\left(\sum_{l=1}^{|Y|} X^{Y(l)}(n)\right)}{|Y|} \quad (3.5)$$

$$DCB'_u(n) = \frac{\left(\sum_{l=1}^{|Y|} Z^{Y(l)}(n)\right)}{|Y|} \quad (3.6)$$

Eş. 3.7 ve Eş. 3.8'de hesaplanan $DCB^m(n)$ ve $DCB'^m(n)$ ile Eş. 3.5 ve Eş. 3.6'da hesaplanan $DCB_u(n)$ ve $DCB'_u(n)$ ifadelerinin Eş. 3.2 ve Eş. 3.3'te yerlerine konulması ile bileşik yanlılıklar elde edilecektir.

$$\begin{aligned} DCB^1(n) &= X^1(n) - DCB_u(n) \\ DCB^2(n) &= X^2(n) - DCB_u(n) \\ DCB^3(n) &= X^3(n) - DCB_u(n) \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ DCB^{32}(n) &= X^{32}(n) - DCB_u(n) \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} DCB'^1(n) &= X^1(n) - DCB'_u(n) \\ DCB'^2(n) &= X^2(n) - DCB'_u(n) \\ DCB'^3(n) &= X^3(n) - DCB'_u(n) \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ DCB'^{32}(n) &= X^{32}(n) - DCB'_u(n) \end{aligned} \quad (3.8)$$

Tez kapsamında 4. Bölüm’de IONEX ve RINEX verileri kullanılarak kestirimi yapılan K^m ile diferansiyel uydu yanlılık değerlerinin toplamının 0 olduğu bilgisinin kullanımına dayanarak kestirimi yapılan $X^{Y(m)}(n)$ ve $Z^{Y(m)}(n)$ bileşik yanlılık değerlerinin karşılaştırılması verilmektedir.

4. ANALİZ VE SONUÇ

Bu bölümde, Bölüm 2’de anlatılan [5] ve [23] çalışmalarında kullanılan istasyonlar ve günler için yöntemin başarımı analiz edilmektedir. Yerkürenin çeşitli bölgelerinde bulunan, analizi yapılan istasyonlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 YKS alıcı istasyon listesi.

Alıcı İstasyon Yeri	Alıcı istasyon kimlik	Enlem	Boylam	Bölge
Zelenchukskaya, Rusya	zeck	43.17°K	41.33°D	Orta Enlem
Graz, Avusturya	graz	47.04°K	15.29°D	Orta Enlem
Brüksel, Belçika	brus	50.47°K	4.21°D	Orta Enlem
Erivan, Ermenistan	nssp	40.13°K	04.43°D	Orta Enlem
Sofya, Bulgaristan	sofi	42.33°K	23.23°D	Orta Enlem
Ankara, Türkiye	ankr	39.53°K	32.45°D	Orta Enlem
Metsahovi, Finlandiya	mets	60.13°K	24.41°D	Yüksek Enlem
Arti, Rusya	artu	56.25°K	58.33°D	Yüksek Enlem
Kiruna, İsveç	kiru	67.51°K	20.58°D	Yüksek Enlem
Petropavlovsk, Rusya	petp	53.04°K	158.36°D	Yüksek Enlem
Lae, Papua Yeni Gine	lael	6.40°G	146.59°D	Ekvatorial
Nanyang, Singapur	ntus	1.20°K	103.40°D	Ekvatorial
Manila, Filipinler	pimo	14.38°K	121.04°D	Ekvatorial

8 Ekim 2004 günü için yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. 8 Ekim 2004 günü iyonkürenin sakin olduğu bir gündür [23]. Çizelge 4.2’de $X^{Y(m)}(n)$ ve $Z^{Y(m)}(n)$ bileşik yanlılıkların günlük ortalama değeri alınarak hesaplanan $X^{Y(m)}$ ve $Z^{Y(m)}$ verilmiştir. Ayrıca $X^{Y(m)}(n)$ ve $Z^{Y(m)}(n)$ ifadelerinin bir gün içinde aldığı en küçük, ortanca ve en büyük değerler de Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2 08.10.2004 günü için 8 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirimi yapılan yanlılık değerlerinin karşılaştırılması.

Alıcı İstasyon	K^m IONOLAB- BIAS (ns)	K^m CODE (ns)	K^m JPL (ns)	K^m IGS (ns)	$Z^{Y(m)}$ (en küçük, ortanca, en büyük) (ns)	$X^{Y(m)}$ (en küçük, ortanca, en büyük) (ns)
Zeck	-6,114	-6,170	-5,965	-6,107	-6,205 (-30,01 -3,82 9,75)	-5,967 (-8,99 -1,16 5,38)
Graz	-4,846	-5,057	-	-5,038	-6,211 (-30,01 -0,48 14,99)	-4,411 (-29,66 -2,40 31,69)
Brus	-6,911	-6,965	-6,842	-6,889	-6,028 (-24,93 -3,16 14,37)	-6,068 (-6,91 -4,24 8,57)
Nssp	-5,281	-5,211	-4,912	-5,244	-4,659 (-22,52 -2,54 20,66)	-4,712 (-5,03 3,54 48,00)
Sofi	-2,703	-	-2,737	-2,786	-2,156 (-31,09 -0,41 25,74)	-2,025 (-2,43 0 6,70)
Ankr	3,183	3,077	3,228	3,113	3,130 (-18,63 4,93 10,27)	2,994 (1,47 2,93 4,01)
Mets	-13,56	-13,61	-	-13,64	-11,509 (-23,40 -10,39 15,26)	-12,702 (-27,47 -8,9 25,25)
Artu	-10,89	-10,85	-10,94	-11,64	-11,112 (-16,97 -2,21 1,96)	-11,507 (-29,74 -4,72 7,12)
Kiru	-7,045	-6,970	-6,807	-6,928	-7,557 (-12,80 -7,12 -4,39)	-7,147 (-9,18 -4,72 -2,97)
Petp	-8,325	-8,201	-8,421	-8,405	-8,275 (-18,92 -5,97 0,92)	-8,261 (-25,68 2,54 12,16)
Lael	-10,64	-10,34	-11,22	-11,12	-5,926 (-35,51 -6,13 15,04)	-7,202 (-31,64 -4,31 41,42)
Ntus	-2,193	-1,533	-1,403	-1,996	0,167 (-32,15 1,36 56,36)	0,104 (-1,57 0,26 56,62)

Pimo	-10,41	-9,98	-10,52	-10,29	-10,144 (-26,86 -4,52 25,31)	-11,312 (-36,83 -9,42 25,31)
------	--------	-------	--------	--------	---------------------------------	---------------------------------

Çizelge 4.2’de yanlışlık değerleri nano saniye biriminde verilmektedir. K^m IONOLAB_BIAS IONOLAB_BIAS yöntemi ile elde edilen alıcı yanlışlık değerlerinin CODE analiz merkezinden alınan uydu yanlışlık değerleri ile toplanması sonucu elde edilen değerleri, K^m_{CODE} CODE analiz merkezinin sunduğu yanlışlık değerlerinin toplanması ile elde edilen değerleri, K^m_{JPL} JPL analiz merkezinin sunduğu yanlışlık değerlerinin toplanması ile elde edilen değerleri, K^m_{IGS} IGS merkezinin sunduğu yanlışlık değerlerinin toplanması ile elde edilen değerleri, $X^{Y(m)}$ ve $Z^{Y(m)}$ değerleri ise $X^{Y(m)}(n)$ ve $Z^{Y(m)}(n)$ bileşik yanlışlıkların günlük ortalama değeri alınarak hesaplanan değerleri temsil etmektedir.

Çizelge 4.2’de bazı hücreler – ile verilmiştir. Bu hücrelerdeki alıcı istasyonları için o analiz merkezinin herhangi bir değer vermediğini göstermektedir.

Yapılan hatayı ölçmek için verilen değerler arasındaki fark Eş. 4.1 ile bulunur.

$$\begin{aligned}
K^m_{IONOLAB_BIAS} \cdot Z^{Y(m)} &= K^m_{IONOLAB_BIAS} - Z^{Y(m)} \\
K^m_{CODE} \cdot Z^{Y(m)} &= K^m_{CODE} - Z^{Y(m)} \\
K^m_{JPL} \cdot Z^{Y(m)} &= K^m_{JPL} - Z^{Y(m)} \\
K^m_{IGS} \cdot Z^{Y(m)} &= K^m_{IGS} - Z^{Y(m)} \tag{4.1} \\
K^m_{IONOLAB_BIAS} \cdot X^{Y(m)} &= K^m_{IONOLAB_BIAS} - X^{Y(m)} \\
K^m_{CODE} \cdot X^{Y(m)} &= K^m_{CODE} - X^{Y(m)} \\
K^m_{JPL} \cdot X^{Y(m)} &= K^m_{JPL} - X^{Y(m)} \\
K^m_{IGS} \cdot X^{Y(m)} &= K^m_{IGS} - X^{Y(m)}
\end{aligned}$$

Eş. 4.1’de verilen hesaplamalar yapıldıktan sonra bulunan yanlışlık değerlerinin farkları Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 08.10.2004 günü için $X^{Y(m)}$ bileşik yanlışlık değerleri kullanılarak hesaplanan hata.

Alıcı İstasyon	K^m <i>IONOLAB_BIAS</i> - $X^{Y(m)}$ (ns)	K^m <i>CODE</i> - $X^{Y(m)}$ (ns)	K^m <i>JPL</i> - $X^{Y(m)}$ (ns)	K^m <i>IGS</i> - $X^{Y(m)}$ (ns)
zeck	-0,147	-0,203	0,002	-0,140
graz	-0,435	-0,646	-	-0,627
brus	-0,843	-0,897	-0,774	-0,821
nssp	-0,569	-0,499	-0,200	-0,532
sofi	-0,678	-	-0,712	-0,761
ankr	0,189	0,083	0,234	0,119
mets	-0,858	-0,908	-	-0,938
artu	0,617	0,657	0,567	-0,133
kiru	0,102	0,177	0,340	0,219
petp	-0,064	0,060	-0,160	-0,144
lae1	-3,438	-3,138	-4,018	-3,918
ntus	-2,297	-1,637	-1,507	-2,100
pimo	0,902	1,332	0,792	1,022

Çizelge 4.3’e göre, çeşitli analiz merkezlerinin sunduğu orta ve yüksek enlem bölgesinde yer alan istasyonların yanlışlıklarının, bileşik yanlışlık değerleri ile daha tutarlı olduğu anlaşılmaktadır. Ekvatorial bölgede yer alan istasyonlar için bileşik yanlışlık değerlerinin, analiz merkezi verilerine göre sapmalar yaşadığı gösterilmiştir. Tüm istasyonlar

gözlemlendiğinde ise önerilen yöntem ile bulunan yanlışlık değerlerinin, CODE ve JPL merkezlerinin sunduğu değerlere daha yakın olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.4 08.10.2004 günü için $Z^{Y(m)}$ bileşik yanlışlık değerleri kullanılarak hesaplanan hata.

Alıcı İstasyon	K^m <i>IONOLAB_BIAS</i> $- Z^{Y(m)}$ (ns)	K^m <i>CODE- Z^{Y(m)}</i> (ns)	K^m <i>JPL- Z^{Y(m)}</i> (ns)	K^m <i>IGS- Z^{Y(m)}</i> (ns)
zeck	0,091	0,035	0,240	0,098
graz	1,365	1,154	-	1,173
brus	-0,883	-0,937	-0,814	-0,861
nssp	-0,622	-0,552	-0,253	-0,585
sofi	-0,547	-	-0,581	-0,630
ankr	0,053	-0,053	0,098	-0,017
mets	-2,051	-2,101	-	-2,131
artu	0,222	0,262	0,172	-0,528
kiru	0,512	0,587	0,750	0,629
petp	-0,050	0,074	-0,146	0,320
lae1	-4,714	-4,414	-5,294	-5,194
ntus	-2,360	-1,700	-1,570	-2,163
pimo	-0,266	0,164	-0,376	-0,146

Giriş Bölümü'nde kestirim hatalarına sebep olacak durumlar: İyonkürenin TKİM modeli olarak alınması, Appleton formülündeki manyetik alan etkisinin ihmal edilmesi, TEİ değerlerinin küçük bir alan içerisinde değişmediği kabulünün yapılması, çok yol etkisi ve Doppler etkisi olarak verilmişti. Hesaplanan yanlılık değerlerinin çeşitli analiz merkezlerinin sunduğu değerlere göre farklılık göstermesinin sebebi yukarıda sıralanan nedenlerden biri veya birkaçı olabilir. Hesaplamalar bir alıcının bir anda veri alabildiği uyduların yanlılık değerlerinin toplamının sıfır olmasına göre yapılmaktadır. Bu da hata sebeplerinden biri olmaktadır.

İyonküredeki pozitif bozulmanın olduğu günler, negatif bozulmanın olduğu günler ve sakin günler verilmiştir [5]. Bu günler incelenerek yöntemin başarımı değerlendirilmektedir. 10 Ekim 2003 tarihinde iyonkürenin sakin olduğu Graz, Artu ve Lae1 istasyonları için bileşik yanlılıklar hesaplanmaktadır. Sonuçlar CODE ve IONOLAB_BIAS verileri ile kıyaslanmaktadır.

Çizelge 4.5'e göre iyonkürenin sakin günleri 3 alıcı istasyon ile incelendiğinde, orta enlemde yer alan Graz istasyonunun ve yüksek enlemde yer alan Artu istasyonunun, ekvatorial bölgede yer alan Lae1 istasyonuna göre daha az hatalı değerler verdiği görülmektedir.

Çizelge 4.5 İyonkürenin sakin günleri için 2 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirimi yapılan yanlılık değerleri.

Alıcı İstasyon	K^m CODE (ns)	K^m IONOLAB-BIAS (ns)	$Z^Y(m)$ (ns)	$X^Y(m)$ (ns)
Graz	-6,149	-6,066	-5,865	-5,944
Artu	-12,368	-12,255	-11,701	-11,833
Lae1	-11,745	-8,958	2,684	2,128

İyonkürede pozitif bozulmanın olduğu günler için yöntem başarımı analiz edilmektedir. Bu günler Zeck istasyonu için 29 Ekim 2003, Kiru istasyonu için 28 Nisan 2001 ve Pimo istasyonu için 27 Ekim 2003'tür. Verilen istasyonlar için alıcı yanlılık değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Pozitif bozulmanın olduğu günler için 2 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirimi yapılan yanlılık değerleri.

Alıcı İstasyon	K^m CODE (ns)	K^m IONOLAB-BIAS (ns)	$Z^{Y(m)}$ (ns)	$X^{Y(m)}$ (ns)
Zeck	-7,997	-8,212	-5,710	-5,953
Kiru	-	-4,571	-2,669	-2,692
Pimo	-7,824	-8.670	17,927	14,616

Çizelge 4.6'ya göre iyonkürenin pozitif bozulmalarının olduğu bir gün için seçilen 3 istasyon ile yanlılık değerleri ve bileşik yanlılık değerleri karşılaştırılmıştır. Rasgele seçilen bir uydunun verileri kullanılarak yapılan karşılaştırmaya göre orta enlem ve yüksek enlem bölgelerinde bulunan istasyonların daha tutarlı değerler ürettiği ancak; ekvatorial bölgede yer alan istasyonun verilerinde sapmalar olduğu gözlemlenmiştir.

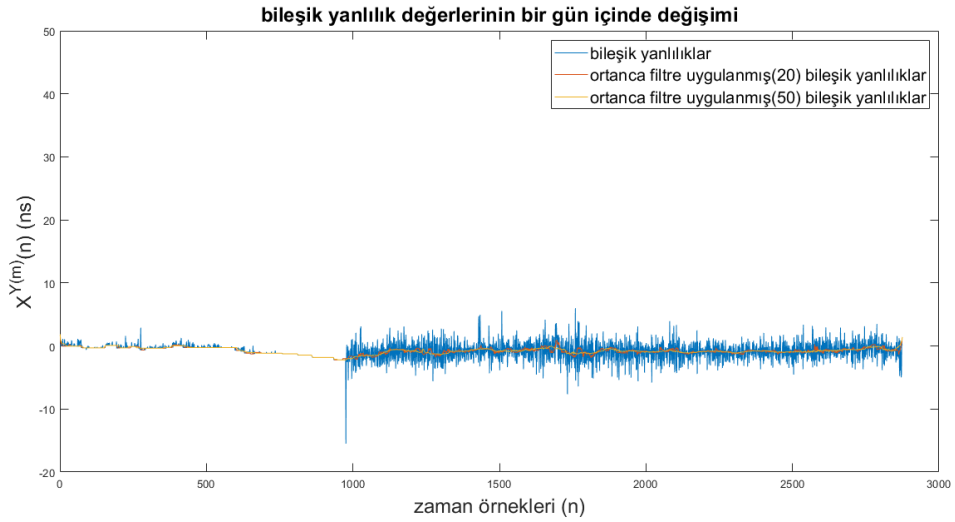
İyonkürede negatif bozulmanın olduğu günler için yöntem başarımı analiz edilmektedir. Bu günler Ankr istasyonu için 31 Ekim 2003, Petp istasyonu için, 31 Ekim 2003 ve Ntus istasyonu için 30 Ekim 2003'tür. Verilen alıcı istasyonlarının yanlılık değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Negatif bozulmanın olduğu günler için 2 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirimi yapılan yanlılık değerleri.

Alıcı İstasyon	K^m CODE (ns)	K^m IONOLAB-BIAS (ns)	$Z^Y(m)$ (ns)	$X^Y(m)$ (ns)
Ankr	1,378	1,409	2,078	1,520
Petp	-8,637	-9,231	-9,199	-9,568
Ntus	-0,971	-2,187	-1,149	0,061

Çizelge 4.7'ye göre negatif bozulmanın olduğu günler için P_4 doğrusal kombinasyonları kullanılarak elde edilen bileşik yanlılıkların ekvatorial bölge içinde iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır. Orta enlem ve yüksek enlem bölgelerindeki istasyonlar da negatif bozulmanın olduğu günlerde tutarlı değerler üretmiştir.

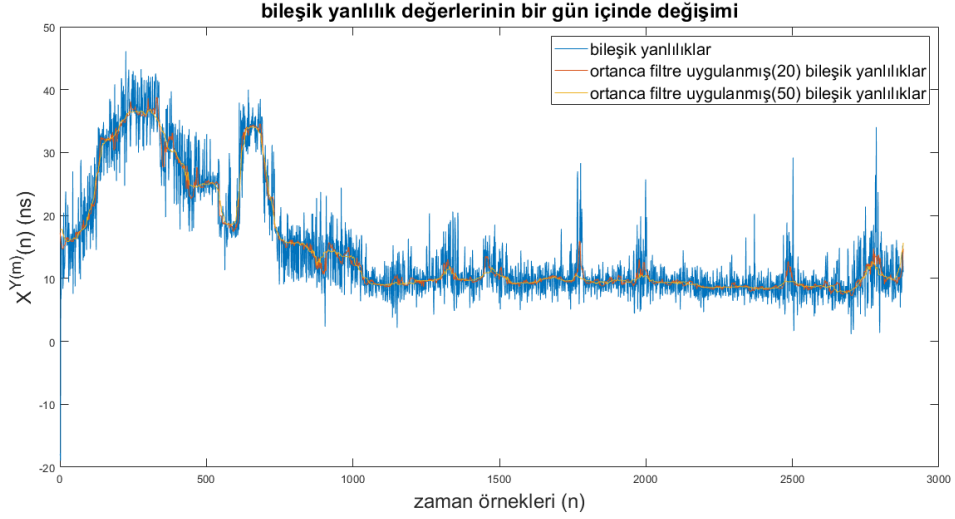
İyonkürenin sakin olduğu 10 Ekim 2003 gününde, Graz, Artu ve Lael istasyonları için bileşik yanlılık değerlerinin bir gün içinde nasıl değiştiği Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmektedir.



Şekil 4.1 Graz istasyonununun 10.10.2003 günü içinde 16 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirilen bileşik yanlılık değerinin değişimi.



Şekil 4.2 Artu istasyonunun 10.10.2003 günü içinde 16 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirilen bileşik yanlılık değerinin değişimi.

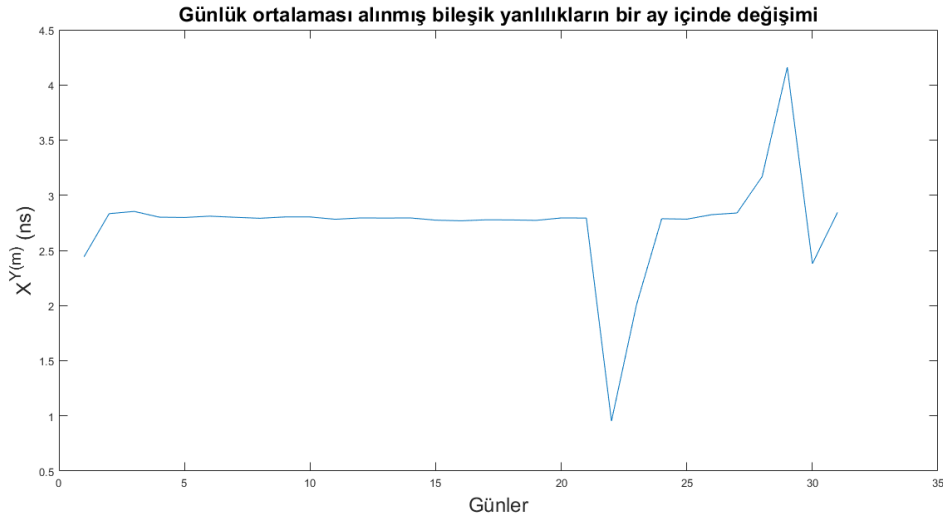


Şekil 4.3 Lae1 istasyonunun 10.10.2003 günü içinde 16 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirilen bileşik yanlılık değerinin değişimi.

Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te veriler gürültülü olduğu için ortanca filtre uygulanmaktadır. Ortanca filtre verilerin 20 örnek ve 50 örnek komşuluğunda uygulanmaktadır. Ortanca filtrenin uygulanması ile daha düzgün bileşik yanlılık değerleri elde edilmektedir.

Şekil 4.1’de orta enlem bölgesinde yer alan Graz istasyonunun bileşik yanlılık değerinin yaklaşık olarak sabah saat (UTC) 9:00’a kadar daha az gürültülü ve daha durağan olduğu gözlemlenirken; aynı zamanlarda ekvatorial bölgede bulunan Lae1 istasyonunun bileşik yanlılık değerinde dalgalanmalar olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.5 ve 4.6’da D_{st} ve K_p indislerine bakıldığında o saatlerde iyonkürenin sakin olduğu anlaşılmaktadır. Bu değişimin sebebinin bir TID olabileceği düşünülmektedir.

Tezin bu kısmında bileşik yanlılık değerlerinin bir ay içerisindeki değişimi incelenmektedir. 2003 yılı Ekim ayı içerisindeki 31 gün için ankr istasyonunun bileşik yanlılık değerlerinin günlük ortalaması hesaplanarak bulunan değerler Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Ankr istasyonu 01.10.2003- 31.10.2003 günleri arası 10 numaralı uydu verileri kullanılarak kestirilen bileşik yanlılık değerleri.

Şekil 4.4’e göre Ekim ayının pek çok günü için fazla değişim göstermeyen yanlılık değerleri 22.gün ve 29.gün sapmalar göstermiştir. Bunun nedenini anlayabilmek için D_{st} indisi ve K_p indisleri incelenebilir. D_{st} indisi, jeomanyetik fırtına düzeyini gösterir ve birimi nanoTesla’dır. D_{st} değeri jeomanyetik fırtına düzeyine göre değişmektedir. D_{st} indisinin -30nT ile -50nT arasında olması küçük ve önemsiz bir fırtına olduğunu göstermektedir. D_{st} indisinin -50nT ile -100nT arasında olması orta dereceli bir fırtınayı belirtmektedir. D_{st} indisinin -100nT ile -250nT arasında olması güçlü bir fırtına olduğunu

gösterirken; D_{st} indisinin $-250nT$ 'den küçük olması çok daha güçlü ve etkin bir fırtına olduğunu göstermektedir.

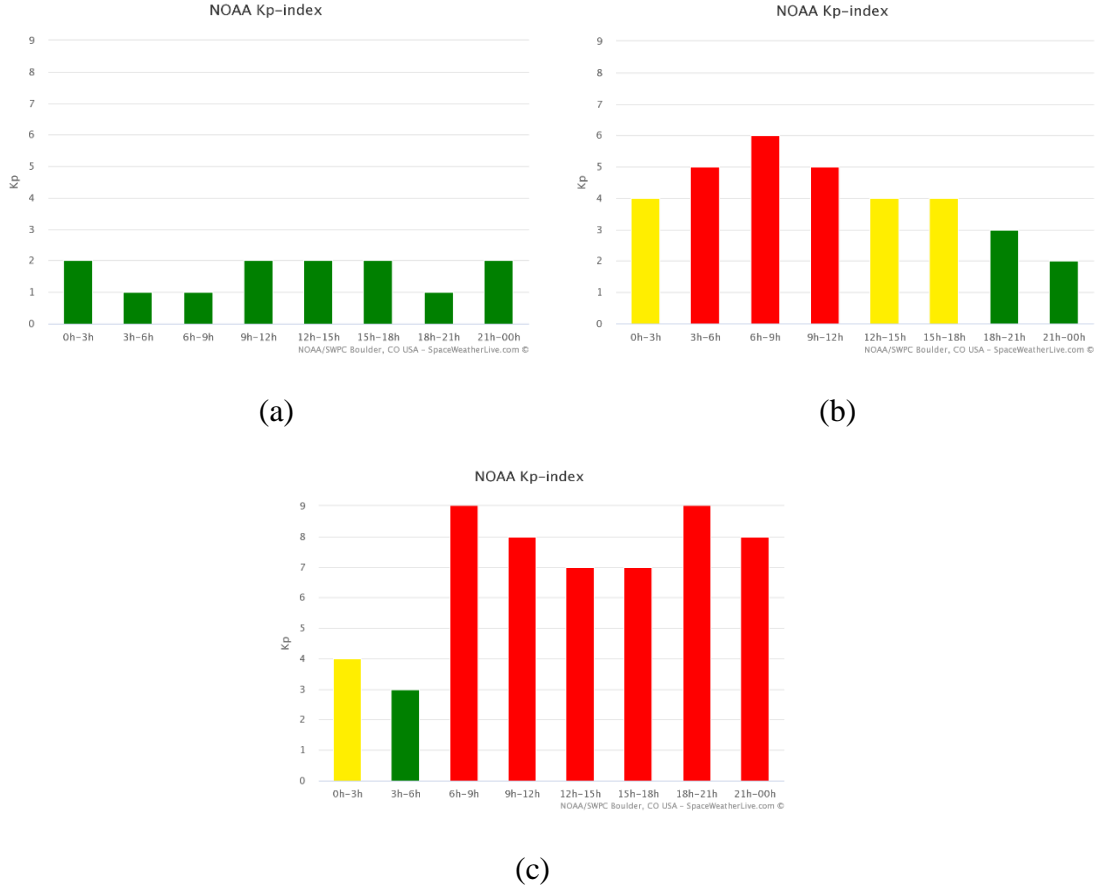
K_p indisi güneşin manyetik alan etkisi ile ilgilidir. K_p indisinin 0,1 ve 2 olması iyonkürenin sakin olması anlamına gelirken, 3 ve 4 olması iyonkürenin aktif olmasını belirtmektedir. 5, 6, 7, 8 ve 9 değerleri bir fırtına olduğunu göstermektedir. Rakamların büyümesi ile fırtınanın şiddeti de artmaktadır [35]. 2003 yılı Ekim ayı için D_{st} indisleri Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5 Ekim 2003 ayı için Dst indisleri.

Şekil 4.4'teki 28. ve 29. günlerde meydana gelen değişmelerin sebebi Şekil 4.5 ile açıklanabilmektedir. 28 ve 29. günlerde jeomanyetik fırtına sebebi ile sapmalar gerçekleşmiştir.

10.10.2003, 22.10.2003 ve 29.10.2003 günleri için K_p indisleri Şekil 4.6'da verilmiştir. K_p indisleri 3 saat çözünürlükte verilmektedir [36].



Şekil 4.6 (a) 10.10.2003, (b) 22.10.2003 ve (c) 29.10.2003 günleri için K_p indisleri.

Şekil 4.6’da 10.10.2003 sakin bir gün olduğu için K_p indisleri tüm gün boyunca 2’yi aşmamıştır. Şekil 4.4’te 22. günde meydana gelen sapmanın sebebi Şekil 4.6’da gösterilen yüksek K_p indisleridir.

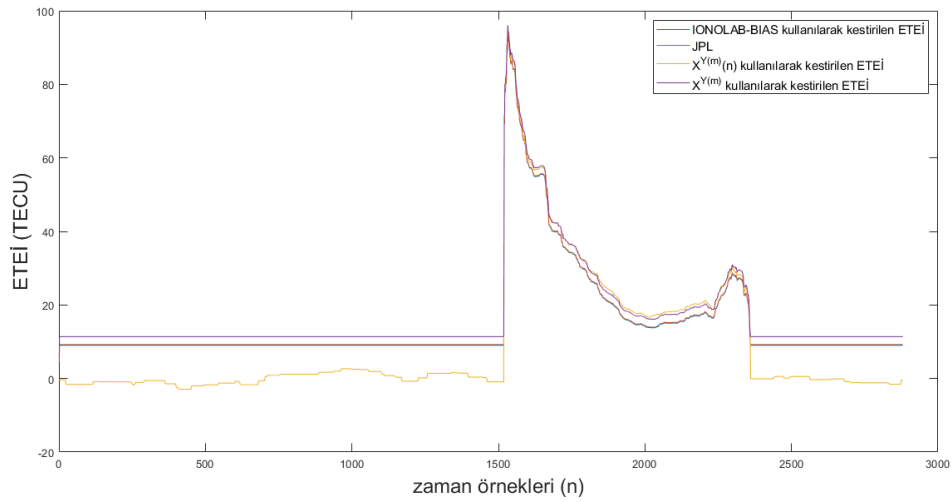
Tezin bu aşamasında kestirimi yapılan bileşik yanlılık değerleri kullanılarak ETEİ kestirimleri yapılacaktır. Eş. 3.4 ve 3.5’te 30 saniye çözünürlükte bileşik yanlılıklar hesaplanmaktadır. ETEİ kestirimi 30 saniye çözünürlükte bileşik yanlılıklar kullanılarak ve günlük ortalaması alınmış bileşik yanlılıklar kullanılarak yapılmaktadır.

$$\widetilde{ETE}_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) \left[P_{4,u}^m(n) + c \left(X^{Y(m)}(n) \right) \right] \quad (4.2)$$

$$\widetilde{ETE}_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) \left[B_u^m + L_{4,u}^m(n) + c \left(Z^{Y(m)}(n) \right) \right] \quad (4.3)$$

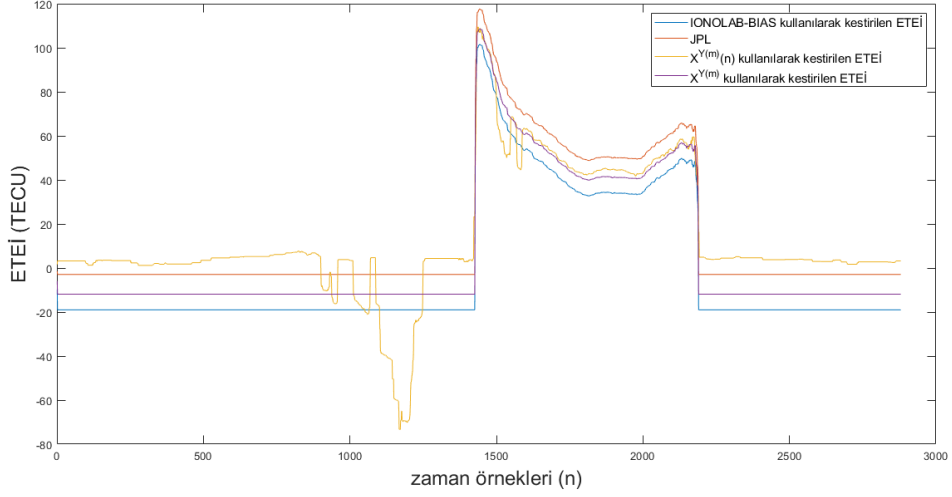
Kestirilen bileşik yanlılık değerleri Eş. 4.2 ve Eş. 4.3'te yerine konularak hesaplanan ETEİ kestirimleri $\widetilde{ETEİ}_u^m(n)$ biçiminde gösterilmektedir.

Aşağıda iyonkürenin sakin, pozitif bozulmalı ve negatif bozulmalı 3 günü seçilerek ETEİ kestirimleri yapılmaktadır. İlk olarak $X^{Y(m)}(n)$ bileşik yanlılık değerleri kullanılarak ETEİ kestirimleri yapılacaktır. Daha sonra ise seçilen bir gün için tüm anlık bileşik yanlılıkları ve tüm uydular için ETEİ kestirimleri yapılmaktadır. ETEİ kestirim verilerine 30 komşulukta ortanca filtre uygulanmıştır.



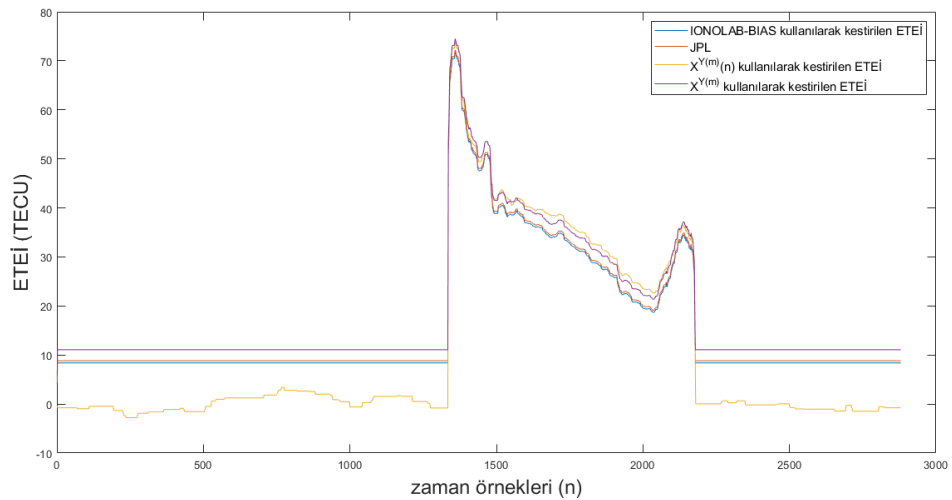
Şekil 4.7 09.10.2003 günü Ankr istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen ETEİ değerleri.

Şekil 4.7'de Ankr istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ bileşik yanlılıklar kullanılarak yapılan ETEİ kestirimlerinin bir gün içindeki değişimi verilmektedir. Kestirimi yapılarak bulunan $X^{Y(m)}(n)$ ifadesinin günlük ortalaması alınarak hesaplanan $X^{Y(m)}$ ortalama bileşik yanlılık değeri kullanılarak yapılan ETEİ kestirimlerinin ve $X^{Y(m)}(n)$ ile yapılan kestirim değerlerinin IONOLAB_BIAS ve JPL ile tutarlı olduğu görülmektedir. IONOLAB_BIAS yöntemi ile kestirimi yapılan alıcı yanlılıklarına CODE analiz merkezinin uydu yanlılık değerleri eklenerek ETEİ kestirimi yapılmıştır. Burada yapılan ETEİ kestirimlerinde 5. uyduya ait veriler kullanılmıştır.



Şekil 4.8 29.10.2003 günü Zeck istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen $ETEİ$ değerleri.

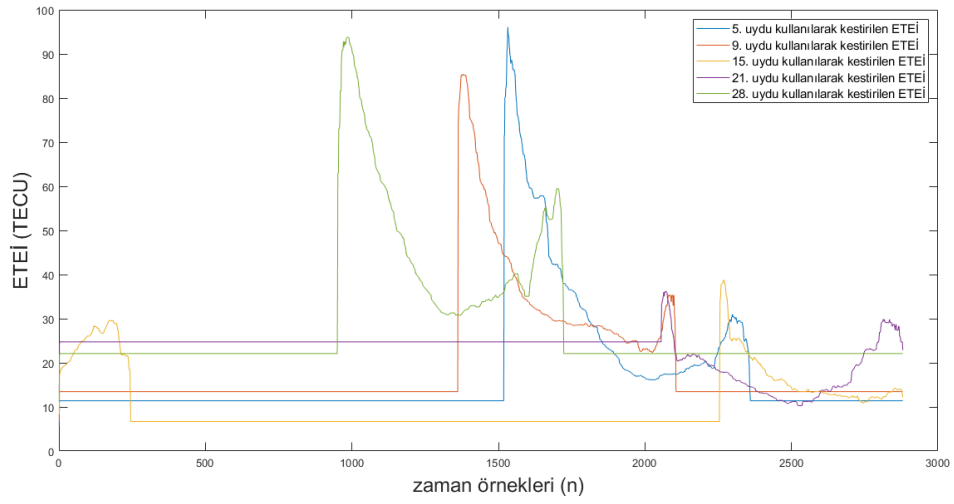
Şekil 4.8’de pozitif bozulmanın olduğu bir gün için $ETEİ$ kestirimleri verilmektedir. $ETEİ$ kestirimlerinde 5. uyduya ait veriler kullanılmıştır. $ETEİ$ kestirimlerinde sapmalar olduğu gözlemlenmiştir ve bu durum iyonkürenin düzensiz olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.8’ de $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen $ETEİ$ değerlerinin JPL analiz merkezi değerlerine yakın olduğu gösterilmektedir.



Şekil 4.9 31.10.2003 günü Ankr istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen $ETEİ$ değerleri.

Şekil 4.9’da iyonkürenin negatif bozulmaya uğradığı bir gün için bir günlük ETEİ kestirimleri verilmektedir. ETEİ kestirimlerinde 5. uyduya ait veriler kullanılmıştır. Anlık bileşik yanlılıklar kullanıldığında bir gün içindeki ETEİ değişimi Şekil 4.8’de verilmektedir.

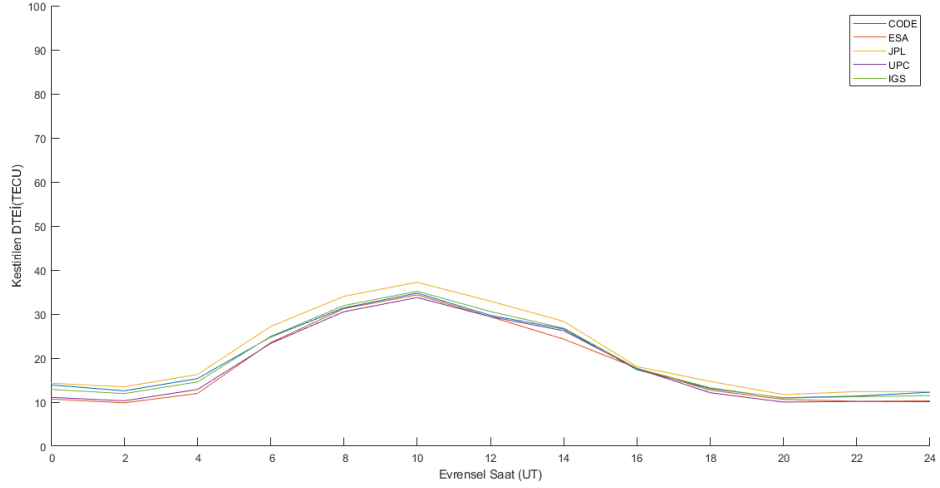
Aşağıda $X^{Y(m)}(n)$ bileşik yanlılık değerleri kullanılarak birkaç uydu için ETEİ kestirimleri aynı grafikte verilmektedir.



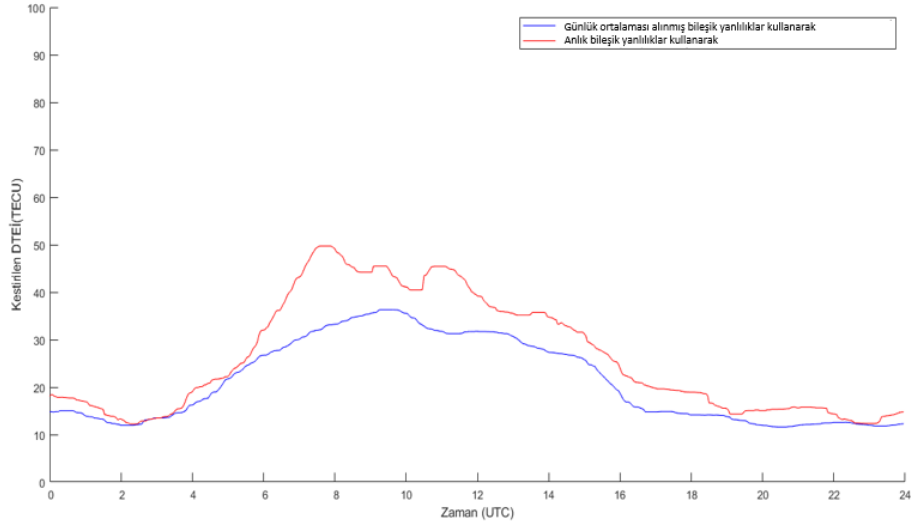
Şekil 4.10 10.10.2003 günü Ankr istasyonu için $X^{Y(m)}(n)$ kullanılarak kestirilen ETEİ değerleri (farklı uydular ile).

Şekil 4.10’da farklı uydu verileri kullanılarak aynı gün ve aynı alıcı istasyon için bir gün içindeki ETEİ değişimleri verilmektedir. Farklılığın sebebi gün içinde alıcı istasyonun farklı uyduları farklı zamanlarda görmesinden kaynaklanmaktadır.

Aşağıda 09.10.2003 ve 10.10.2003 günleri için yapılan DTEİ kestirim sonuçları verilmektedir. DTEİ kestirimleri, bu tez kapsamında kestirilen ETEİ değerleri kullanılarak [5]’de anlatılan yöntem ile yapılmaktadır.



(a)

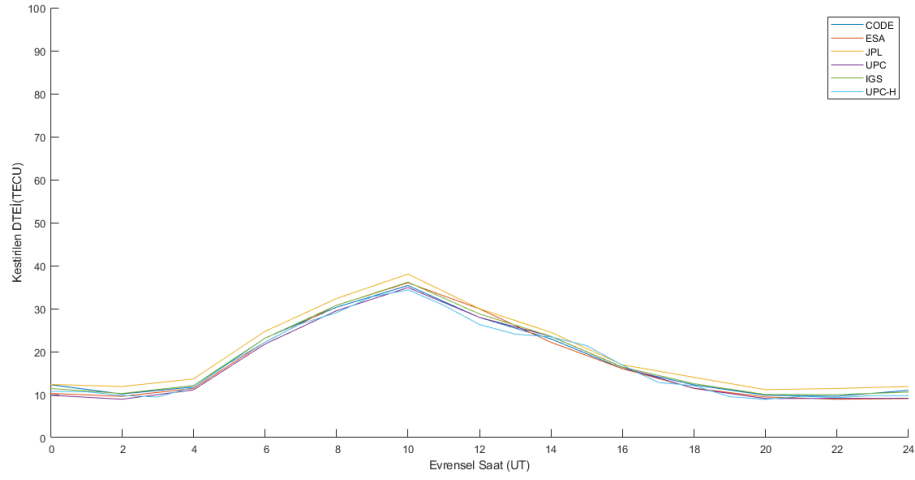


(b)

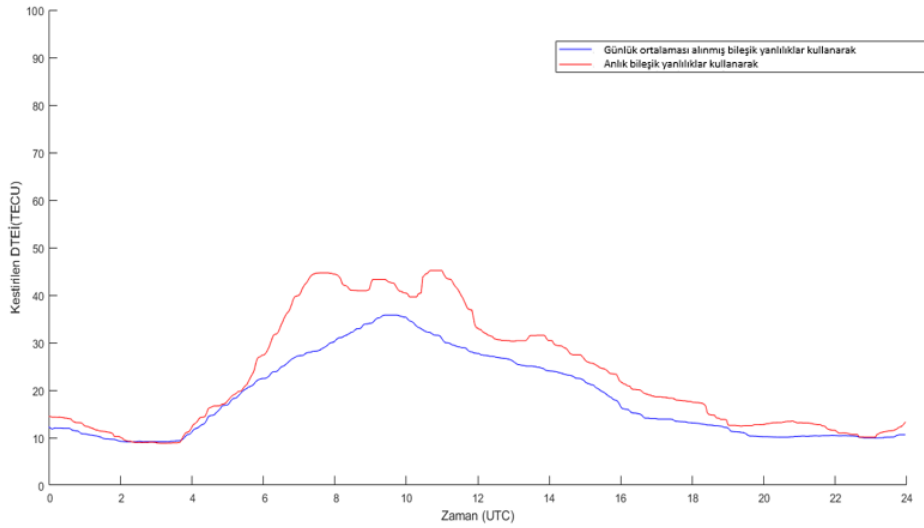
Şekil 4.11 09.10.2003 günü ve ankr istasyonu için (a) IGS analiz merkezlerinin (b) anlık ve günlük ortalaması alınmış bileşik yanlılıkların kullanımı ile yapılan DTEİ kestirimleri.

Şekil 4.11'e göre otalaması alınmış bileşik yanlılıklar kullanılarak yapılan DTEİ kestirim değerlerinin gün içinde alınan ilk değeri 14,75 TECU olurken anlık bileşik yanlılıklar kullanılarak yapılan DTEİ kestirim değerlerinin gün içinde alınan ilk değeri 18,05 TECU olmaktadır. 09.10.2003 günü ortalaması alınmış bileşik yanlılıklar kullanılarak yapılan DTEİ kestirim değerlerinden gelen en son değer 12,31 TECU olurken anlık bileşik yanlılıklar kullanılarak kestirilen DTEİ değerlerinden gelen en son

değer 14,71 TECU'dur. IONOLAB-BIAS ile bulunan DTEİ kestirimlerinin aynı gün için ilk değeri 13,61 TECU iken son değeri 11,09 TECU'dur.



(a)



(b)

Şekil 4.12 10.10.2003 günü ve ankr istasyonu için (a) IGS analiz merkezlerinin (b) anlık ve günlük ortalaması alınmış bileşik yanıtlıkların kullanımı ile yapılan DTEİ kestirimleri.

Şekil 4.12'de 10.10.2003 gününe bakıldığında otalaması alınmış bileşik yanıtlıklar kullanılarak yapılan DTEİ kestirim değerlerinin gün içindeki ilk değeri 12,27 TECU iken son değeri 10,62 TECU olmaktadır. Aynı gün içinde anlık bileşik yanıtlıklar kullanılarak

yapılan DTEİ kestirim değerlerinin gün içindeki ilk değeri 14,47 TECU iken son değeri 13,63 TECU'dur. Aynı gün için IONOLAB-BIAS yöntemi ile kestirilen DTEİ değerlerinin gün içinde aldığı ilk değer 12,04 TECU iken son değer 10,40 TECU olmaktadır.

Bir gün zaman çözünürlüğünde verilen alıcı yanlılıkları ve bir ay zaman çözünürlüğünde verilen uydu yanlılıkları o gün içinde kullanılmaktadır. Ertesi gün için verilen alıcı yanlılığı ise verilen gün içinde kullanılmaktadır ancak; bir gün içinde son alınan kestirilmiş DTEİ ile ertesi gün içinde alınan ilk kestirilmiş DTEİ değeri arasında çok fazla fark olmaması beklenmektedir. Çünkü iki örnek arası yalnızca 30 saniyedir. 1 gün zaman çözünürlüğündeki alıcı yanlılıkları ile bu iki örnek arası fark fazla olabilmektedir. Anlık hesaplanan bileşik yanlılıkların kullanımı ile kestirilen DTEİ değerlerinde bu iki örnek arasındaki değer farkının daha az olması ve daha iyi DTEİ kestirimleri yapabilmek amaçlanmıştır.

6. YORUM

Daha önce yapılan çalışmalarda, uydu yanlılık değerleri IGS analiz merkezlerinden alınarak tek bir alıcının yanlılık değerinin kestirimi yapılmaktadır. Bu çalışmalar Bölüm 2’de ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında bileşik yanlılıklar tanımlanmıştır. Verilen bir an için uydu yanlılık değerlerinin toplamının 0 olduğu bilgisi kullanılarak kestirim çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma özetlenecek olursa ilk olarak IONEX dosyalarından alınan uydu yanlılık değerlerinin toplamının 0 olup olmadığı bilgisi doğrulanmaktadır. Yörüngelerinde hareket eden 32 uydu bulunmaktadır; ancak bir alıcı herhangi bir anda en fazla 12 uydudan veri alabilmektedir. Bu sebeple bir alıcı bir an için hangi uydulardan veri alıyorsa o uyduların yanlılık değerlerinin toplamı 0 olarak alınmaktadır ve işlem yapılmaktadır. Daha sonra kestirilen bileşik yanlılık değerleri kullanılarak ETEİ kestirimleri yapılmıştır. ETEİ kestirimleri yapılırken yüksek zaman çözünürlüğünde kestirimi yapılan bileşik yanlılık değerleri ve bu değerlerin günlük ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan kestirimler yalnızca IGS’ e bağlı analiz merkezlerinin yanlılık değerlerinin kullanılması ile yapılabilmektedir. Benzer şekilde kestirilen bileşik yanlılıklar kullanılarak DTEİ kestirim çalışmaları yapılmıştır. Anlık bileşik yanlılıklar kullanılarak daha iyi DTEİ kestirimlerinin yapılabileceği anlatılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında bileşik yanlılık değerlerinin bir gün içerisinde nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. İyonkürenin orta enlem, yüksek enlem ve ekvatorial bölgesinden seçilen 3 farklı alıcı istasyonu için yapılan çalışmada: bileşik yanlılık değerlerinin bir gün içinde sapmalar yaşadığı ancak bu sapmaların ortalama etrafında olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde sıkça kullanılan ve IGS analiz merkezlerinin de verilerini alıcı ve uydu yanlılık değerlerinin bir gün içinde ve bir ay içinde değişmemesi durumu doğru olmamakla birlikte sapmaların genel anlamda ortalama etrafında olduğu gösterilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında bileşik yanlılık değerlerinin bir ay içerisinde nasıl değiştiği de incelenmiştir. 30 saniye zaman çözünürlüğünde kestirimi yapılan bileşik yanlılık

değerlerinin günlük ortalaması alınarak değişim gözlemlenmiştir. İncelemeler sonucu analizi edilen ay içinde birkaç günde sapmalar olmakla birlikte pek çok gün için bileşik yanlılık değerlerinin durağan olduğu gözlemlenmiştir. Sapmaların olduğu günler için D_{st} ve K_p indisleri araştırılmış ve sapmaların sebebinin indis değerleri ile tutarlı olduğu gösterilmiştir.

Bileşik yanlılık değerlerinin kestirimi 30 saniye zaman çözünürlüğünde yapılmıştır. Analiz merkezlerinden CODE, JPL, IGS ve UPC alıcı ve uydu yanlılık değerlerini bir gün ve bir ay zaman çözünürlüğünde vermektedir. Bu durumda iyonkürede meydana gelen değişimler ayrıntılı olarak gözlemlenemeyebilmektedir. 30 saniye zaman çözünürlüğünde kestirimi yapılan bileşik yanlılık değerleri kullanılarak daha doğru ETEİ kestirimleri yapılabilir. Gürbüz ETEİ kestirimleri yapabilmek için bileşik yanlılık değerlerinin doğru bir şekilde kestirilmesi ve ölçümlerden doğru bir şekilde çıkarılması gerekmektedir.

Önerilen yöntem iyonkürenin sakin ve düzensiz olduğu günlerde ve orta, yüksek ve ekvatorial iyonküre bölgelerinde uygulanmıştır. Sonuç olarak, orta enlem ve yüksek enlem bölgesinde bulunan istasyonların iyonkürenin sakin, pozitif bozulma ve negatif bozulma yaşadığı günlerde, analiz merkezi verilerine oldukça yakın değerler ürettiği gösterilmiştir. Ekvatorial bölgede yer alan istasyonların negatif bozulmanın yaşandığı günde daha iyi bir bileşik yanlılık değeri kestirimi sunarken; genel bir çerçeveden bakıldığında bileşik yanlılık kestirim değerlerinin analiz merkezlerinin sunduğu değerlere göre sapmalar yaşadığı gösterilmiştir.

Radyo dalgalarını kullanan radyo haberleşme sistemleri, seyir sistemleri, KD yön bulma uygulamaları ve hava durumu belirleme sistemleri için iyonküredeki değişimleri gözlemlemek önemli olmaktadır. Bu tez çalışmasında elde edilen yüksek zaman çözünürlüklü bileşik yanlılık değerleri kullanılarak kestirilen DTEİ değerleri ile iyonküredeki değişimler daha ayrıntılı olarak gözlemlenebilmesi amaçlanmıştır.

6.KAYNAKLAR

- [1] M.H. Pajares, J.M. Juan, J. Sanz, A.A. Angel, A.G. Rigo, D. Salazar, M. Escudero, The ionosphere: effects, GPS modeling and the benefits for space geodetic Techniques, [Journal of Geodesy](#), 85:887-907, doi:10,1007/s00190-011-0508-5, **2011**.
- [2] E.R. Ackermann, J.P. de Villiers and P.J. Cilliers, Nonlinear dynamic systems modeling using Gaussian process: Predicting ionospheric TEC over South Africa, *J. Geophys. Res.*, 116, A10303, doi:10.1029/2010JA016375, **2011**.
- [3] G. Ma, W. Gao, J. Li, Y. Chen, H. Shen, Estimation of GPS instrumental biases from small scale network, Vol: 54, *Advances in Space Research*, **2014**.
- [4] F. Arikan, C.B. Erol, O. Arikan, Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data, *J. Geophys. Res.*, 108(A12), 1469, doi:10.1029/2002JA009605, **2003**.
- [5] H. Nayir, Yerküresel Konumlama Sistemi İşaretleri Kullanarak İyonosfer Toplam Elektron İçeriği Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- [6] P. Sibanda, Challenges in Topside Ionospheric Modeling Over South Africa, Doctor of Philosophy, Rhodes University, **2010**.
- [7] https://www.researchgate.net/publication/29806954_Particle_precipitation_effects_on_the_South_African_ionosphere/figures?lo=1 (Erişim tarihi: **6 Eylül 2019**).
- [8] F. Arikan, C.B. Erol, O. Arikan, Regularized estimation of vertical total electron content from GPS data for a desired time period, *Radio Sci.*, 39, RS6012, doi:10.1029/2004RS003061, **2004**.
- [9] A. Saito, S. Fukao, S. Miyazaki, High Resolution Mapping of TEC perturbations with the GSI GPS Network over Japan, *Geophysical Research Letters*, Vol.25, No.16, **1998**, p. 3079-3082.
- [10] G.E. Lanyi, and T. Roth, A comparison of mapped and measured total ionospheric electron content using global positioning system and beacon satellite observations, *Radio Science*, **1988**, p. 483-492.
- [11] A.J. Manucci, B.D. Wilson, D.N. Yuan, C.H. Ho, U.J. Lindqwister, and T.F. Runge, A global mapping technique for GPS-derived ionospheric total electron content measurements, *Radio Sci.*, Vol: 33, **1998**. p. 565-582.
- [12] J. Shuanggen, J. Rui, GPS Ionospheric Mapping and Tomography: A case of Study in a Geomagnetic Storm, 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 24-29 July 2011, Vancouver, BC, Canada, **2011**.
- [13] www.ionolab.org (Erişim tarihi: **4 Eylül 2019**).

- [14] Klobuchar İyonküre Modeli, [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Klobuchar Ionospheric Model](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Klobuchar_Ionospheric_Model) (Erişim tarihi: **4 Eylül 2019**).
- [15] D.S. Coco, C. Coker, S.R. Dahlke, J.R. Clync, Variability of GPS Satellite Differential Group Delay Biases, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol:27, **1991**.
- [16] B.D. Wilson and A.J. Mannucci, Instrumental Biases in Ionospheric Measurements Derived from GPS Data, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology Pasadena, CA 91109, **1993**.
- [17] E. Sardon, A. Rius and N. Zarraoa, Estimation of the transmitter and receiver differential biases and the ionospheric total electron content from Global Positioning System observations, Radio Sci., 29, [doi:10.1029/94RS00449](https://doi.org/10.1029/94RS00449), **1994**.
- [18] B. D. Wilson, A. J. Mannucci, and C. D. Edwards, Subdaily northern hemisphere ionospheric maps using an extensive network of GPS receivers, Radio Science, Vol:30, **1995**. p. 639-648.
- [19] Y. Otsuka, T. Ogawa, A. Saito, T. Tsugawa, S. Fukao and S. Miyazaki, A new Technique for mapping of total electron content using GPS network in Japan, Earth Planets Space, **2002**. p. 63-70
- [20] G. Ma, T. Maruyama, Derivation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan, Annales Geophysicae, European Geosciences Union, 21 (10), pp.2083-2093, **2003**.
- [21] X. F. Ma, T. Maruyama, G. Ma, Determination of GPS Receiver Differential Biases by Neural Network Parameter Estimation Method, Radio Science, Vol. 40, RS1002, **2005**.
- [22] IONEX TEİ Haritaları, <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex/>.
- [23] F. Arikan, H. Nayir, U. Sezen, O. Arikan, Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC, Radio Sci., 43, RS4004, [doi:10.1029/2007RS003785](https://doi.org/10.1029/2007RS003785), **2008**.
- [24] R. Jin, S. Jin, G. Feng, M_DCB: Matlab code for estimating GNSS satellite and receiver differential code biases, GPS Solutions, Vol: 16, **2012**.
- [25] Q Li, G. Ma, W. Lu, Q. Wan, J. Fan, X. Wang, J. Li and C. Li, A method of estimating GPS instrumental biases with a convolution algorithm, Advances in Space Research, Vol: 61, **2018**.
- [26] A.J. Coster, E.M. Gaposchkin, L.E. Thornton, Massachusetts Institute of Technology Lincoln Laboratory, Real- Time Ionospheric Monitoring System Using The GPS, Technical Report 954, **1992**.
- [27] A. Yilmaz, K.E. Akdogan and M. Gurun, Regional TEC mapping using neural networks, Radio Sci., 44, RS3007, [doi:10.1029/2008RS004049](https://doi.org/10.1029/2008RS004049), **2009**.

- [28] N. Turel, F. Arikan, Probability density function estimation for characterizing hourly variability of ionospheric total electron content, *Radio Sci.*, 45, RS6016, doi:10.1029/2009RS004345, **2010**.
- [29] I. Sayin, F. Arikan, K.E. Akdogan, Optimum temporal update periods for regional ionosphere monitoring, *Radio Sci.*, 45, RS6018, doi:10.1029/2009RS004316, **2010**.
- [30] L. Li, S. Zhang, Q. Hu, J. Zhang, Using IGS Data to Analyze the Long-term Variations of Total Electron Content, 2010 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science, 25-26 Dec. 2010, Wuhan, China, **2010**.
- [31] C.B. Erol, F. Arikan, Statistical Characterization of the Ionosphere Using GPS Signals, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol: 19, **2012**.
- [32] M.P. Foster, A.N. Evans, An Evaluation of Interpolation Techniques for Reconstructing Ionospheric TEC Maps, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol: 46, **2008**.
- [33] U. Sezen, F. Arikan, O. Arikan, O. Ugurlu, A. Sadeghimorad, Online, automatic, near-real time estimation of GPS-TEC: IONOLAB-TEC, *Space Weather*, Vol. 11, **2013**, p.297-305.
- [34] RINEX formatında GPS ölçüm dosyaları, <ftp://geodaf.mt.asi.it/GEOD/GPSD/RINEX/>, <ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/data/>, <ftp://gnss1.tudelft.nl/rinex/>, <http://www.gein.noa.gr/services/GPSData/>, <ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/obs/> (Erişim tarihi: **6 Eylül 2019**).
- [35] www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index (Erişim tarihi: **16 Eylül 2019**).
- [36] www.spaceweatherlive.com/en/archive/2003/kp (Erişim tarihi: **16 Eylül 2019**).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve ARMAĞAN
Doğum yeri : Ankara
Doğum tarihi : 18.09.1992
Medeni hali : Bekar
Yazışma adresi :
Telefon :
Elektronik posta adresi : em.erciyes.merve@hotmail.com
Yabancı dili : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Lisans : Erciyes Üniversitesi
Yüksek Lisans :
Doktora :

İş Tecrübesi

10.2016-05.2019 : Ted Üniversitesi (Araştırma Görevlisi)
05.2019- : Türk Havacılık Uzay Sanayii