



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE ÜZERİNDE NEQUICK 2 MODELİNİN**  
**TEİ PERFORMANSI**

**Şerife ERBAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Haziran-2023**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE ÜZERİNDE NEQUICK 2 MODELİNİN**  
**TEİ PERFORMANSI**

**Şerife ERBAY**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Fizik Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Selçuk SAĞIR**

**Haziran-2023**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL ve ONAYI

Şerife ERBAY tarafından hazırlanan “**Türkiye Üzerinde Nequick 2 Modelinin TEİ Performansı**” adlı tez çalışması 20/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Murat CANYILMAZ  
Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık  
Yüksekokulu, Havacılık Elektrik ve Elektronik

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Selçuk SAĞIR  
Muş Alparslan Üniversitesi,  
Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

.....

#### Üye

Doç. Dr. Ramazan ATICI  
Muş Alparslan Üniversitesi,  
TBMYO, Elektronik ve Otomasyon

.....

Yukarıdaki sonuç;  
Enstitü Yönetim Kurulu ...../...../..... Tarih ve ...../..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

.....

FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

Şerife ERBAY  
Tarih:20/06/2023

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### TÜRKİYE ÜZERİNDE NEQUICK 2 MODELİNİN TEİ PERFORMANSI

Şerife ERBAY

Muş Alparslan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selçuk SAĞIR

Jeomanyetik alan, iyonosfer için hem kalkan hem de elektron yoğunluk düzenlenmesinde etkilidir. Jeomanyetik alanın iyonosfer üzerindeki etkisi, sakin ve fırtınalı günler için farklıdır. Bu çalışmada, 24. Güneş devrinin azalan fazının başlangıcı olan 2015 yılı boyunca iyonosferik modellerin performansı üç farklı şiddetli jeomanyetik fırtına dönemi için değerlendirilmiştir. Bu üç fırtına, 2015 yılının 17-18 Mart, 22-23 Haziran ve 20-21 Aralık tarihlerinde meydana gelen ve bunlardan ilki St. Patrick's Günü jeomanyetik fırtınası olarak ifade edilir. Toplam Elektron İçeriği (TEİ) arasındaki ilişki Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ile ölçülmüş ve NeQuick 2, IRI 2016, IRI Plas (herhangi bir giriş olmadan- "IRI Plas") ve IRI Plas TEİ (TEİ girişi ile "IRI Plas TEİ") ile değerlendirilmiştir. Ankara (39.57 K, 32.53 D), İstanbul (40.58 K, 29.05 D) ve Erzurum (40.39 K, 40.42 D) olmak üzere üç Türkiye IGS istasyonu için küresel modeller incelenmiştir. Değerlendirme, Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Kare Hata (RMSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) metrikleri ve simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD) kullanılarak fırtına öncesi, fırtına sırasında ve fırtına sonrası için ayrı ayrı yapılmıştır. Ampirik modeller arasında IRI Plas TEİ, tüm fırtına süreçleri için genel olarak diğer modellerden daha iyi bulunmuştur. IRI 2016'nın fırtına dönüş aşamasında fırtınanın diğer aşamalarına göre daha iyi olduğu ifade edilebilir.

2023,43 Sayfa

**Anahtar Kelimeler:** IRI 2016, IRI Plas, NeQuick 2 Model, Toplam Elektron İçeriği,

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **TEC PERFORMANCE OF THE NEQUICK 2 MODEL ON TURKEY**

**Şerife ERBAY**

**Mus Alparslan University  
Natural and Applied Science  
Department of Physics**

**Advisor: Assoc. Prof. Selçuk SAĞIR**

The geomagnetic field acts as both the shield and the electron density regulator for the ionosphere. The effect of the geomagnetic field on the ionosphere can be examined separately for quiet and storm days. In the current study, the performance of the ionospheric models was evaluated for three different severe geomagnetic storms periods during the year of 2015, which was in the beginning of the descending phase of the 24<sup>th</sup> solar cycle. These three storms occurred during 17-18 March, 22-23 June and 20-21 December of year 2015 in which first one expressed as St. Patrick's Day geomagnetic storm. The relationship between Total Electron Content (TEC) was measured by Global Positioning System (GPS) and evaluated with NeQuick 2, IRI 2016, IRI Plas (without any input- "IRI Plas") and IRI Plas TEC (with TEC input- "IRI Plas TEC") global models at three Turkey IGS station namely Ankara (39.57 N, 32.53 E), Istanbul (40.58 N, 29.05 E) and Erzurum (40.39 N, 40.42 E) investigated. The comparison was made separately for pre-storm, during storm and post-storm by using the Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) metrics and symmetric Kullback-Leibler Distance (KLD) methods. Among the empirical models, IRI Plas TEC was generally found to be better than other models for all storm processes. It can be stated that IRI 2016 is better in the storm return phase compared to other phases of the storm.

**2023, 43 Page**

**Keywords:** IRI 2016, IRI Plas, NeQuick 2 Model, Total Electron Content.

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın yűrűtűlmesi sırasında gűstermiő olduėu her tűrlű yardım, rehberlik ve çok deėerli katkılarından dolayı danıőman hocam Doç. Dr. Selçuk SAĐIR 'a teőekkűr eder ederim. Ayrıca tűm çalıőma sűresince sınırsız destek saėlayan en yakın arkadaőım Yeliz KIZILTAN ŐAHİN'e ve aėabeyim Yılmaz ERBAY'a en içten sevgilerimle teőekkűr ederim.



Şerife ERBAY  
MUŞ-2023

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VII
1.GİRİŞ .....	1
2. AMPİRİK MODELLER.....	4
2.1. NeQuick 2 Modeli .....	4
2.2. IRI Modeli.....	8
3.MATERYAL ve YÖNTEM .....	10
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	12
4.1. Jeomanyetik Fırtına Süreçlerinin Belirlenmesi.....	12
4.2. Ankara istasyonu için analiz sonuçları .....	15
4.3. Erzurum İstasyonu İçin Analiz Sonuçları.....	18
4.4. İstanbul İstasyonu İçin Analiz Sonuçları .....	22
5. SONUÇLAR .....	26
KAYNAKLAR .....	27
ÖZGEÇMİŞ .....	31

## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

foE	:E bölgesi kritik frekansı
foF	:F bölgesi kritik frekansı
foF1	:F1 bölgesi kritik frekansı
foF2	:F2 bölgesi kritik frekansı
Ne	:Elektron yoğunluğu

### Kısaltmalar

ESA	:Avrupa Uzay Ajansı
EUV	:Aşırı Ultra Viole
F10.7	:Güneş akısı
GNSS	: Global Uydu Navigasyon Sistemleri
ICTP	:Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezi
IGAM	:Astro Fizik ve Meteoroloji Enstitüsü
IGRF	:Uluslararası Jeomanyetik Referans Alanı
IMF	: Gezegenlerarası Manyetik Alan
IRI	: International Reference Ionosphere
M(3000)F2	:F2 bölgesi geçiş frekansı, M3
MSIS	:Kütle Spektrometresi ve Tutarsız Saçılım Modeli
R12	:Ortalama Güneş Lekesi Sayısı
SSN	:Güneş lekeli sayısı
TEİ(TEC)	:Toplam Elektron İçeriği
URSI	: International Union of Radio Science
UT	: Evrensel zaman(Universel Time)
UV	: Mor ötesi(Ultra Violet)
LT	: Yerel zaman
EGNOS	:Avrupa Geostationary Navigation Overlay Service
GPS	:Küresel Konumlama Sistemi(Global Positioning System)
MAE	:Ortalama Mutlak Hata(Mean Absolute Error-MAE)
MAPE	:Ortalama Mutlak Yüzde Hata(Mean Absolute Percent Error-MAPE)
RMSE	:Kök Ortalama Kare Hata(Root Mean Square Error-RMSE)
KLD	:Simetric Kullback-Leibler Mesafesi
NmF1	:F1 bölgesi elektron yoğunluk piki
NmF2	:F2 bölgesi elektron yoğunluk piki
NmE	:E bölgesi elektron yoğunluk piki

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.1</b> Dünya iyonosferini etkileyen dış süreçler .....	2
<b>Şekil 2.1</b> NeQuick modelinin online çalıştırma sayfası .....	6
<b>Şekil 2.2</b> NeQuick-2 modeli ile çevrimiçi olarak elde edilen verilerin liste halindeki gösterimi .....	7
<b>Şekil 2.3</b> NeQuick-2 modelinden Ankara istasyonu için 15.03.2015 tarihi 00.00 UT de elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi .....	8
<b>Şekil 2.4</b> IRI- 2016 online çalıştırma sayfası (URL1).....	9
<b>Şekil 4.1</b> Fırtına günleri için jeomanyetik indislerin zamansal değişimi .....	13
<b>Şekil 4.2</b> Fırtına günleri için jeomanyetik indekslerin zamansal değişimi.....	14
<b>Şekil 4.3</b> Fırtına günleri için jeomanyetik indislerin zamansal değişimi .....	15
<b>Şekil 4.4</b> Ankara istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	16
<b>Şekil 4.5</b> Ankara istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	17
<b>Şekil 4.6</b> Ankara istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	18
<b>Şekil 4.7</b> Erzurum istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	19
<b>Şekil 4.8</b> Erzurum istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	20
<b>Şekil 4.9</b> Erzurum istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	21
<b>Şekil 4.10</b> İstanbul istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	22
<b>Şekil 4.11</b> İstanbul istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	23
<b>Şekil 4.12</b> İstanbul istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu. ....	24

## ÇİZELGELER DİZİNİ

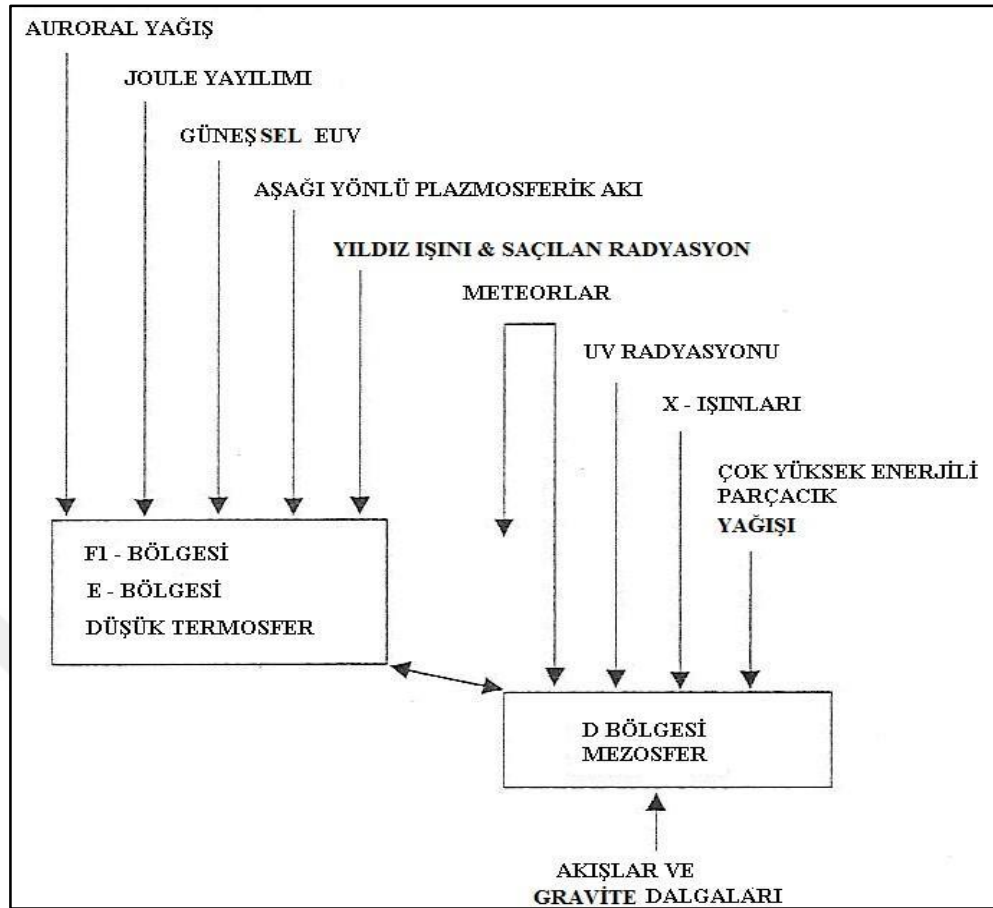
<b>Çizelge 4.1</b> Ankara istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları .....	16
<b>Çizelge 4.2</b> Ankara istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları .....	17
<b>Çizelge 4.3</b> Ankara istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları .....	18
<b>Çizelge 4.4</b> Erzurum istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları.....	19
<b>Çizelge 4.5</b> Erzurum istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları.....	20
<b>Çizelge 4.6</b> Erzurum istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları.....	21
<b>Çizelge 4.7</b> İstanbul istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları.....	22
<b>Çizelge 4.8</b> İstanbul istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları.....	23
<b>Çizelge 4.9</b> İstanbul istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları.....	24

## 1.GİRİŞ

Yerküre atmosferi sıcaklık, fiziksel olaylar ve kimyasal bileşenler gibi farklı süreçlere bağlı olarak farklı bölgelere ayrılır. Özellikle üst atmosfer serbest elektron ve yüklü parçacıkların sayısına ve davranışlarına göre iyonosfer, plazmasfer ve manyetosfer olarak üç bölgeye ayrılır (Rishbeth ve Garriott, 1969).

İyonosferindeki plazma parametreleri yükseklik, enlem, boylam, evrensel zaman, mevsim, Güneş döngüsü ve manyetik aktivite ile belirgin bir değişim gösterir. Bu değişim, sadece bağlantılar, zaman gecikmeleri ve iyonosfer-termosfer sistemini etkileyen geri besleme mekanizmalarıyla sonuçlanmayıp, aynı zamanda iyonosferin Güneş, gezegenler arası ortam, manyetosfer ve mezosferi içeren Güneş–Yer sistemindeki diğer bölgelerle bağlantısıyla sonuçlanır. İyonosfer için enerji ve iyonosferik plazmanın oluşumunun temel kaynağı Güneş'tir. Ayrıca manyetosferik alanlar ve parçacık yağışı iyonosferde önemli bir etkiye sahiptir. Manyetosferik etkinin şekli ve şiddeti, temelde gezegenler arası manyetik alanın (IMF) yönü ve Güneş rüzgâr dinamik basıncı ile belirlenir. Bununla birlikte mezosferden yukarıya doğru yayılan gelgit ve gravity dalgaları doğrudan alt termosferdeki nötr yoğunluğu etkiler ve bu nötr yoğunluğun değişimi plazma yoğunluğunu etkiler. Farklı dış sürükleyici mekanizmalar, plazma yoğunlukları, plazma sıcaklıkları ve plazma sürüklenmelerinin küresel dağılımlarını belirleyen ve iyonosferi etkileyen radyoaktif, kimyasal, dinamik ve elektro dinamik süreçler ile birleşir (Schunk ve Nagy, 2009).

İyonosfer farklı bölgelerden oluşmuştur, bundan dolayı, farklı dış süreçlerin etkisindeki bölgeleri incelemek önemlidir. Şekil 1.1, farklı dış süreçlerin en etkin olduğu yükseklikleri gösterir. Güneş radyasyonları mezosferde (D bölgesi) baskın olan UV ve X ışını dalga boyları ve alt termosferde (E ve F1 bölgeleri) baskın olan EUV dalga boylarına sahip enerjileri aracılığıyla foto elektron enerji ayrıştırmaları neden olur. Bu şekilde iyonosferde ısınma ve elektron-iyon üretimine yol açar. Bu süreçler Yer'in Güneş ışığını aldığı bölgeler üzerinde (gündüz tarafında) meydana gelir. Gece tarafında rezonans olarak saçılan Güneş radyasyonu ve yıldız ışınları E bölgesi için iyonlaşmanın önemli kaynaklarıdır. Yüksek enlemlerde iyonosfer için momentum ve enerji kaynakları temel olarak manyetosferik elektrik alanlar ve parçacık yağışıdır (Schunk ve Nagy, 2009).



Şekil 1.1 Dünya iyonosferini etkileyen dış süreçler

Konveksiyon elektrik alanlarla ilişkili joule ısısı ve auroral yağıştan dolayı iyonlaşma üretimi E ve F1 bölgelerinde maksimumdur. Bu manyetosferik süreçler özellikle fırtına ve alt fırtınalar esnasında yalnızca yüksek enlem iyonosferinde değil, aynı zamanda düşük ve orta enlem iyonosferinde de etkilidir. Manyetosfer, D bölgesinde tüm yüksekliklerde iyonlaşma üretebilen çok yüksek enerjili parçacık yağışı ve orta enlemde 24 saat boyunca F bölgesinin var olmasını sağlayan aşağı yönlü plazmasferik akım yoluyla alt iyonosferi etkiler (Rishbeth ve Garriott, 1969).

Stratosfere, alt iyonosfer üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü bu bölgeden yukarıya doğru yayılan gelgitler ve gravity dalgalarının enerjilerinin çoğu, dalga kırılması ve dağılımından dolayı E-F1 bölgesi yüksekliklerinde depolanır (Sağır, 2013). Son olarak, ara sıra görülen etkili meteorların bozumunu nötr metal atomlar üretir ve ardından bu atomlar foto iyonlaşma ve moleküler iyonlarla yük değişimi yoluyla iyonlaşır (Schunk ve Nagy, 2009).

İyonosferik parametrelerin tahmininde ve hesaplamasında kullanılan Ampirik modeller, Güneş-Yer ortamının tüm bölümlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu

modeller bilim insanına, mühendise ve eğitimciye seçmeli girdilere bağlı olarak belirli bir parametre için mevcut ampirik kanıtların yoğunlaştırılmış bir biçimine kolay erişim sağlarlar. Bu tür yaygın olarak kullanılan modellerin örnekleri, Yerküre'nin manyetik alanı için uluslararası jeomanyetik referans alanı (IGRF) modeli (IGRF 2010) ve Dünya atmosferi için Kütle Spektrometresi ve Tutarsız Saçılım (MSIS) modelidir (Picone et al. 2002). Bu modellerin iyonosferik eşdeğeri, Uluslararası Referans İyonosfer (IRI), IRI-PLAS ve NeQuick modelleridir (Bilitza ve ark., 2011; Di Giovanni ve Radicella, 1990; Radicella ve Leitinger, 2001 ).

İyonosferik tahmin modelleri genelde sakin fırtına dönemleri için yüksek doğruluk oranlarına sahiptirler. Bununla birlikte jeomanyetik aktif günlerde ise model performansında değişimler gözlenmektedir (Fuller ve ark., 2000). Bu nedenle modelin performansını değerlendirmek için bu çalışmada 2015 yılı içerisinde meydana gelen üç farklı manyetik fırtına süreci, öncesi (yaklaşık 2 gün) ve sonrası (yaklaşık 2 gün) için Ankara (39.57 K, 32.53 D), İstanbul (40.58 K, 29.05 D) ve Erzurum (40.39 K, 40.42 E) istasyonlarından elde edilen TEİ değeri kullanılarak modelin performansı değerlendirilmiştir. Bu istasyonların seçilmesinin nedeni, hemen hemen aynı enlem üzerinde yer almaları ve boylamsal bir değişimin sonuçlarının değerlendirilmesine olanak sağlamasıdır. NeQuick 2 model performansı, daha yaygın olarak kullanılan IRI 2016 modeli ve bu modelin son sürümü olan IRI Plas (herhangi bir girdi olmaksızın), IRI Plas TEİ (Güneş vekil indisi olarak TEİ seçilmiş hali) den elde edilen TEİ değerleri kullanılarak değerlendirildi. İyonosferik model karşılaştırmalarında yaygın olarak kullanılan Ortalama Mutlak Hata (MAE), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) yöntemleri ve Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD) yöntemleri kullanılarak karşılaştırıldı.

## 2. AMPİRİK MODELLER

İyonosferik parametreleri belirli varsayımlara dayanak kullanıcılara sunan yarı deneysel ve deneysel modeller vardır. Bu modellerin en yaygın olarak kullanılanlarından bazıları NeQuick 2 ve IRI modeli modelidir.

### 2.1. NeQuick 2 Modeli

NeQuick, Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezi (ICTP), Trieste, İtalya'nın Havacılık ve Radyo Yayılım Laboratuvarı'nda ve Avusturya, Graz Üniversitesi Jeofizik, Astrofizik ve Meteoroloji (IGAM) Enstitüsü'nde geliştirilen bir iyonosferik elektron yoğunluğu modelidir (Hochegger ve ark., 2000, Radicella ve Leitinger, 2001). Tarihsel olarak NeQuick, Di Giovanni ve Radicella (1990) tarafından önerilen ve daha sonra Radicella ve Zhang (1995) tarafından değiştirilen DGR profil oluşturucunun bir evrimi olarak düşünülmelidir (Di Giovanni ve Radicella, 1990; Radicella ve Zhang, 1995; Leitinger ve ark., 2005; Nava ve ark., 2008).

Modelin ilk versiyonu, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından desteklenen Avrupa Geostationary Navigation Overlay Service projesi tarafından değerlendirme analizi için kullanılmış ve Avrupa Galileo projesi çerçevesinde tek frekanslı konumlandırma uygulamaları için benimsenmiştir. Ayrıca Uluslararası Telekomünikasyon Birliği, Radyokomünikasyon Sektörü (ITU-R) tarafından Toplam Elektron İçeriği (TEİ) modellemesi için uygun bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Ek olarak, NeQuick, Avustralya'da gelecekteki GNSS altyapısının performans özelliklerinin niteliksel bir değerlendirmesini yapmak için geliştirilen simülasyon araç setinde uygulanmıştır ve Rutherford-Appleton Laboratuvarı tarafından uyarlanmıştır (Seynat ve ark., 2004). NeQuick (FORTRAN 77) kaynak kodu <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=documents&link=rsg3&lang=en> adresinde mevcuttur.

NeQuick 2, NeQuick iyonosferik elektron yoğunluğu modelinin en son versiyonudur. NeQuick'in 2. versiyonu, 1. versiyonun bir evrimi olduğundan, modelin kavramsal yapısı değişmeden korunmuştur (Nava ve ark., 2008; Radicella ve Nava, 2010). NeQuick, özellikle trans-iyonosferik yayılma uygulamaları için tasarlanmış hızlı çalışan bir iyonosferik elektron yoğunluğu modelidir. F2 katmanının zirvesine kadar iyonosferin elektron yoğunluğunu tanımlamak için NeQuick 2, modellenmiş kalınlık parametreleriyle beş yarı Epstein katmanı içeren bir profil formülasyonu kullanır. Üç profil noktası kullanılır. Bunlar E katmanı tepe noktası olan foE, F1 tepe noktası olan

foF1, F2 tepe noktası olan foF2 ve M(3000)F2 ionosonda parametreleridir. Bu değerler modellenebilir (örneğin, foF2, M3000 için ITU-R katsayıları) veya deneysel olarak türetilir. Yarı Epstein katmanı, ampirik olarak belirlenen yüksekliğe bağlı kalınlık parametresiyle modelin üst tarafını temsil eder (Nava ve ark., 2008; Radicella ve Nava, 2010).

NeQuick modeli, küresel bir dünya üzerindeki koordinatlar olarak yükseklik, coğrafik enlem ve boylam ile iyonosferdeki konumlar için elektron yoğunluğu değerlerini verir (Sağır ve ark., 2019). Model değerleri güneş aktivitesine (aylık ortalama güneş lekeleri sayısı R12 veya 10.7 cm güneş akısı F10.7 ile verilir) mevsime (ay) ve zamana (Evrensel Zaman UT) bağlıdır. NeQuick paketi, herhangi bir yerden uyduya düz hat ışın yolu boyunca elektron yoğunluğunu ve sayısal entegrasyonla karşılık gelen Toplam Elektron İçeriğini (TEİ) ölçmek için sabit programlar içerir. (Nava ve ark., 2008).

Çevrimiçi NeQuick-2 hizmetine [https://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model\\_web](https://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model_web) sitesinden ulaşılabilir. Sitenin ara yüz görünümü Şekil 2.1 de verilmiştir. Gerekli girişler, tarih ve saat, konum koordinatları ve iyonosferik yükseklik seçimidir. Öncelikle coğrafik koordinatlar enlem ve boylamın belirtilmesi ile hesaplama yaptırılır. Coğrafik koordinatların alt ve üst değerleri ile iyonosferik alt ve üst yükseklik değerleri yazılır. Ayrıca uyduların azimut ve sapma açıları da girilebilir. Daha sonra tarih yıl, ay, gün ve saat değerleri girilir. Saat, Evrensel Saat (UT) veya Yerel Saat (LT) olabilir. NeQuick-2 modelinde güneş aktivitesini için üç farklı seçenek vardır. İlk seçenekte Güneş lekeleri sayısı (SSN-R12) değerleri kullanılarak 2016 yılına kadar elektron yoğunluğu değerleri sadece aylık olarak hesaplanabilir. İkinci seçenekte günlük Güneş akısı (F10.7) değerleri kullanılarak hesaplama yapılabilir. Bu seçenekte günlük değişimler de elde edilebilir. Kullanıcı isteğine bağlı olarak aylık Güneş parametre değerleri girilebilir. Bu durumda hesaplamalar yine aylık olarak elde edilir.

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

ICTP The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics

log in

site map | accessibility | contact

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

Search Site

## NeQuick 2 Web Model

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

Endpoints Coordinates

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

Higher endpoint: Latitude  °N Longitude  °E Height  km

Satellite data: Azimuth  °N Elevation  ° Height  km

Date and Time

Year(YYYY)  Month  Day(DD)  Time  Universal

Solar Activity

R12 (source: NOAA-NGDC)

Daily Solar Radio Flux (source: NOAA-NGDC)

User Input Solar index type  Value \*

ITU-R compliant \*

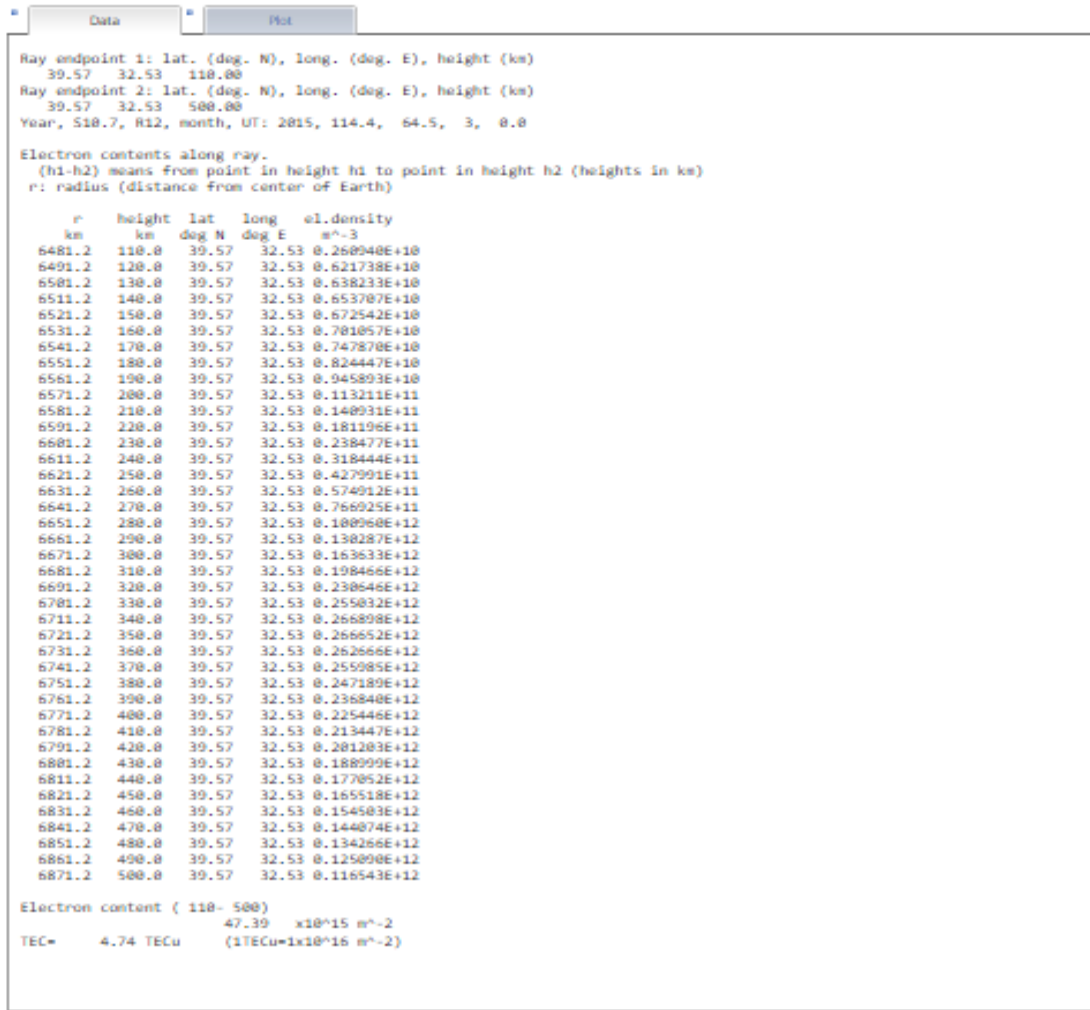
\*For R12: [0 to 150]; for F10.7: [63 to 193] F.U.  
Warning! Not respecting the limits could lead to undefined electron density values! (ITU-R P.1239 recommendation)

Run NeQuick

Şekil 2.1 NeQuick modelinin online çalıştırma sayfası

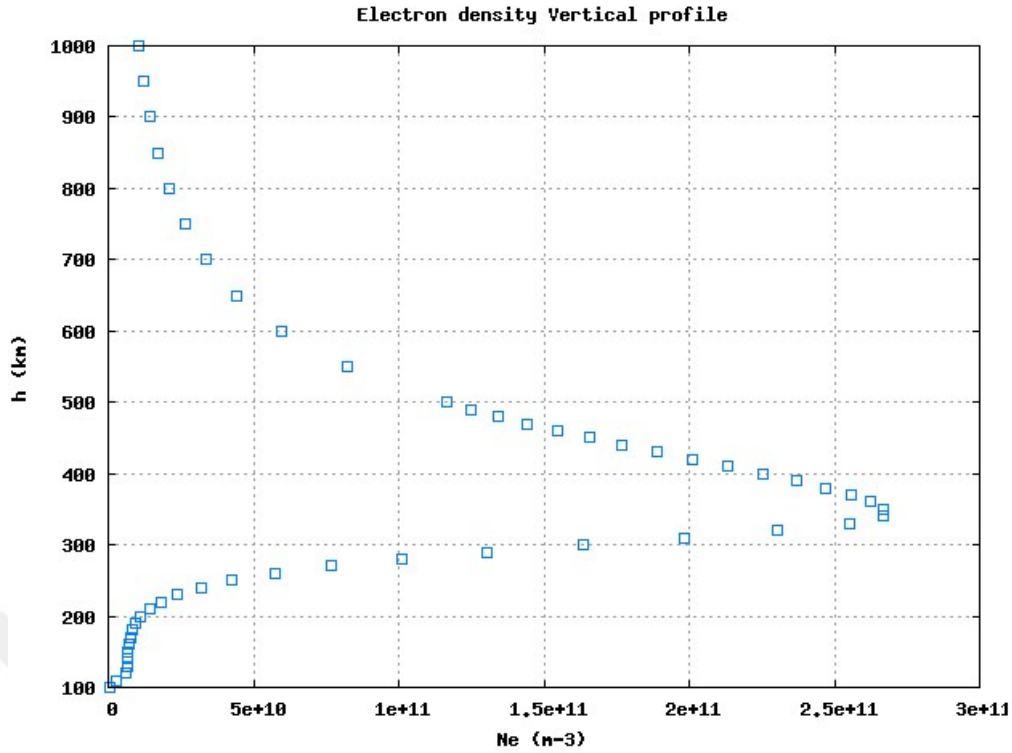
Tüm bu değerler girildiğinde Şekil 2.2’de gösterilen sonuçlar elde edilir. Sonuçlara veri seti (Şekil 2. 2 ) ve grafik olarak(Şekil 2.3) ulaşılabilir. Şekil 2.2 de ikinci ve dördüncü satırda girilen enlem ve boylam değerleri, 5. satırda sırasıyla seçilen yıl, Güneş akısı, Güneş lekesi sayısı, ay ve zaman türü değerleri verilmiştir. “r” seçilen noktanın dünyanın merkezine olan uzaklığı km biriminde ifade eder. Yükseklik değişimleri yer yüzeyinden seçilen noktaya kadar olan yüksekliği ifade eder. Bu örnekte 110 km başlayarak 500 km kadar 10 km aralıklar ile hesaplama yapıldığı görülmektedir. “degN” değerleri veri elde etmek için girilen enlem değerlerini, “degE” değerleri ise boylam değerlerini ifade etmektedir. Son sütunda verilen değerler ise elektron yoğunluğu değerleri ( $1/m^3$ ) cinsinden ifade etmektedir. Son olarak şeklin en alt kısmında verilen TEİ değerleri ise  $1 m^2$  lik taban alandaki girilen alt yükseklik ile üst yükseklik arasındaki toplam elektron sayısını göstermektedir.

## Results



Şekil 2.2 NeQuick-2 modeli ile çevrimiçi olarak elde edilen verilerin liste halindeki gösterimi

Şekil 2.3 te ise 15.03.2015 tarihi 00.00 UT için Ankara istasyonu için elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin yükseklik ile değişimi görülmektedir. Bu grafik istenildiği zaman NeQuick modeli tarafından aşağıdaki gibi çizilmiş halde kullanıcılara sunulmaktadır. Şekil incelendiğinde NmF2 değerlerinin yaklaşık 340 km de meydana geldiği görülmektedir. Yaklaşık 110 km yükseklikte NmE değerlerinin meydana geldiği görülmektedir. Bununla birlikte yaklaşık 190 km yükseklikte meydana gelen NmF1 yoğunluk piki meydana gelmemektedir. Bunun nedeni ise seçilen saatin 00.00 UT olmasıdır. Gece saatlerinde iyonosferik büzülmeden dolayı F1 bölgesinin kaybolduğu bilinmektedir.



Şekil 2.3 NeQuick-2 modelinden Ankara istasyonu için 15.03.2015 tarihi 00.00 UT de elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi

## 2.2. IRI Modeli

IRI (Uluslararası Referans İyonosfer), Uzay Araştırmaları Komitesi (COSPAR) ve Uluslararası Radyo Bilimleri Birliği (URSI) ile birlikte yürütülen projelerden birisidir. Elindeki bütün verileri kullanıp yarar sağlayan bu teşkilatlar, atmosferin iyonosfer bölümünde standart ampirik model oluşturmak üzere çalışmalar yapmıştır. IRI, iyonosferin elektron yoğunluğu ve sıcaklık parametrelerindeki değişimi verilen tarih, yer ve saate göre aylık ortalama olarak tanımlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu model URSI ve COSPAR ortak çalışmasıyla geliştirilmeye devam etmektedir. IRI'nın online olarak veri alınmasında en son sürümü olan IRI-2016 modelidir (Bilitza ve ark., 2014; Chen ve ark., 2023). IRI, girilen parametrelere göre 50 km ile 2000 km arası uzaklıkta bulunan iyonosfer tabakası için TEİ değerinin değişimlerini göstermektedir (Leong ve ark., 2015).

IRI modeli elektron yoğunluğu, elektron sıcaklığı, iyonun içeriği ( $O^+$ ,  $H^+$ ,  $NO^+$ ,  $O_2^+$ ,  $N^+$ ), iyon sıcaklığı, iyon sürüklenmesi ve toplam elektron miktarı olmak üzere temel anlamda altı farklı parametre üzerinden hesaplama yapmaktadır (Bilitza, 1990). IRI modeli ile toplam elektron miktarı, tanımlanan bir iyonosfer tabakası aralığı ile bu aralıkta en fazla elektron miktarının hangi yükseklikte olduğu bilgileri girilerek hesaplama

yapılmaktadır. Konum bilgisi kullanıcı tarafından seçilmesi programın çalıştırılabilmesi için gerekli koşuldur. Şekil 2.4 de IRI-2016 internet ara yüzünden bir kesit görülmektedir.

## International Reference Ionosphere - IRI (2016) with IGRF-13 coefficients

**\*\*\* NOTE: This model is now available on the new CCMC Instant-Run System. This legacy page will be retired by 12/31/2022. Please migrate and use the new interface instead. \*\*\***

This page enables the computation and plotting of IRI parameters: electron and ion (O+, H+, He+, O2+, NO+) densities, total electron content, electron, ion and neutral (CIRA-86) temperatures, equatorial vertical ion drift and others.

[Go to the IRI description](#)

[Help](#)

### Select Date and Time

Year(1958-2020):

Month:  Day(1-31):

**Note: If date is outside the Ap index range (1958/02/14-2023/6/17), then STORM model will be turned off.**

Time  Time (0. - 24.0 in decimal hours):

### Select Coordinates

Coord. Type  Latitude(-90. - 90. deg.):  Longitude(0. - 360. deg.)

Height (km, from 60. to 2000.):

### Select profile type and range:

Height  Start  Stop  Stepsize

### Optional Input:

Sunspot number, R12 (0. - 400.)  Ionospheric index, IG12 (-50. - 400.)

F10.7 radio flux, daily (0. - 400.)  F10.7 radio flux, 81-day (0. - 400.)

Electron content: Upper boundary (110. - 10000. km)

Ne Topside  Ne F-peak  F-peak storm model  F-peak height

Şekil 2.4 IRI- 2016 online çalıştırma sayfası (URL1)

### 3.MATERYAL ve YÖNTEM

NeQuick 2 modelinin fırtına ve sakin süreçlerde performansını değerlendirmek için 2015 yılında Mart, Haziran ve Aralık aylarında meydana gelen üç farklı şiddetli jeomanyetik fırtına süreci ve bu fırtına sürecinin öncesi ve sonrasındaki yaklaşık 2 günün tüm saatleri için TEİ değerleri kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Tüm TEİ verileri, 110 km ile 10000 km arasındaki irtifalar için evrensel zamanda (UT) elde edilmiş ve karşılaştırmalar saatlik değerler olarak yapılmıştır.

NeQuick 2 model değerlendirmesi, ölçülen TEİ değerleri ile NeQuick TEİ, IRI 2016 TEİ, IRI Plas ve IRI Plas TEİ değerleri ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma fırtına öncesi (sakin günler), fırtına süresi boyunca (aktif günler) ve fırtına sonrası günler olmak üzere üç farklı süreç için incelendi.

Ölçülen TEİ verileri, TNPGN-Active, Türkiye Ulusal Daimi GPS Ağı'ndan Rinex dosyası olarak alınmıştır. Daha sonra bu veriler Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Bölümü bünyesinde kurulan ve internet ortamında “<http://www.ionolab.org/>” olarak adlandırılan sistem aracılığıyla düzenli veriye dönüştürülmüştür(Arikan ve ark., 2008; Deviren ve ark., 2013; Sezen ve ark., 2013). IRI 2016 TEİ tarihi, isteğe bağlı giriş değerlerine Ne F-tepe(CCIR), F-tepe fırtına modeli (on) seçilerek alınır. Açılan arayüz penceresinde başka bir değişiklik yapılmamıştır(Bilitza ve ark., 2017; Bilitza, 2018). IRI Plas TEİ değerleri, açılan arayüzde herhangi bir değişiklik yapılmadan ve sadece açılan arayüzde Solar Proxy İndeksinde TEİ seçilerek iki farklı şekilde elde edilmiştir(Gulyaeva ve ark., 2018; Sezen ve ark., 2018). Jeomanyetik indeksler NASA bünyesinde faaliyet gösteren <https://omniweb.gsfc.nasa.gov> adresinden alınmıştır. NeQuick 2 model verileri, modelin web ara yüzünden alınmıştır, <https://t-ict4d.ictp.it/NeQuick2>(Nava ve ark., 2008).

Aşağıda verilen istatistiksel metrikler ve Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD), GPS TEİ değerlerini ampirik modeller TEİ (NeQuick 2 TEİ, IRI 2016 TEİ, IRI Plas (IRI-Plas herhangi girdi olmaksızın, açılan ara yüz ile), IRI-Plas TEİ (IRI Plas internet ara yüzünde TEİ opsiyonu seçilerek) ile karşılaştırmak için kullanıldı.

Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_j^n |e_j| \quad (3.1)$$

Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error- RMSE)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_j^n e_j^2}{n}} \quad (3.2)$$

Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percent Error- MAPE)

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n} \sum_j^n \frac{|e_j|}{|A_j|} \quad (3.3)$$

Bu denklemlerde  $n$  örnek sayısını,  $e_j$  ölçüm değerinin model değerinden farkını ve  $A_j$  ölçüm değerini temsil etmektedir (Atıcı ve ark., 2021; Chai ve Draxler, 2014)

Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (Symmetric Kullback-Leibler Distance -KLD)

İstatistiksel karşılaştırmalarda, simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD), iki olasılıklı yoğunluk dağılımı arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları belirlemek için yaygın olarak kullanılır (Hall, 1987; Seghouane ve Amari, 2007; Karatay ve ark., 2010). Farklı ampirik modellerden saatlik olarak elde edilen ölçülen TEİ değerlerini karşılaştırmak için  $u$  ampirik model için  $t$  zamanındaki değerine veya denklem (3.4) ile ölçülen TEİ değerine normalleştirilir.

$$\hat{P}_{u;t} = x_{u;d} \left[ \sum_{n=N_i}^{N_s} x_{u;d}(n) \right]^{-1} \quad (3.4)$$

Burada  $d$ , saatlik TEİ değerlerini temsil eder.  $N_s$  ve  $N_i$ , araştırılan fırtına aşamasının (öncesi, sırası ve sonrası) sırasıyla başlangıç ve bitiş değerlerini gösterir.

$$\text{KL}(\hat{P}_{u;d} \setminus \hat{P}_{v;d}) = \sum_{n=N_i}^{N_s} \hat{P}_{u;d}(n) \ln \left( \frac{\hat{P}_{u;d}(n)}{\hat{P}_{v;d}(n)} \right) \quad (3.5)$$

$$\text{KL}(\hat{P}_{v;d} \setminus \hat{P}_{u;d}) = \sum_{n=N_i}^{N_s} \hat{P}_{v;d}(n) \ln \left( \frac{\hat{P}_{v;d}(n)}{\hat{P}_{u;d}(n)} \right) \quad (3.6)$$

Burada  $N_i < n < N_s$  dir. "u", NeQuick modeli TEİ değerleri anlamına gelir ve "v", karşılaştırmada kullanılan diğer ampirik model için TEİ değerleri anlamına gelir. Simetrik Kullback-Leibler mesafesi, Kullback-Leibler sapmalarının toplamı olarak tanımlanır (Hall, 1987; Karatay ve ark., 2010).

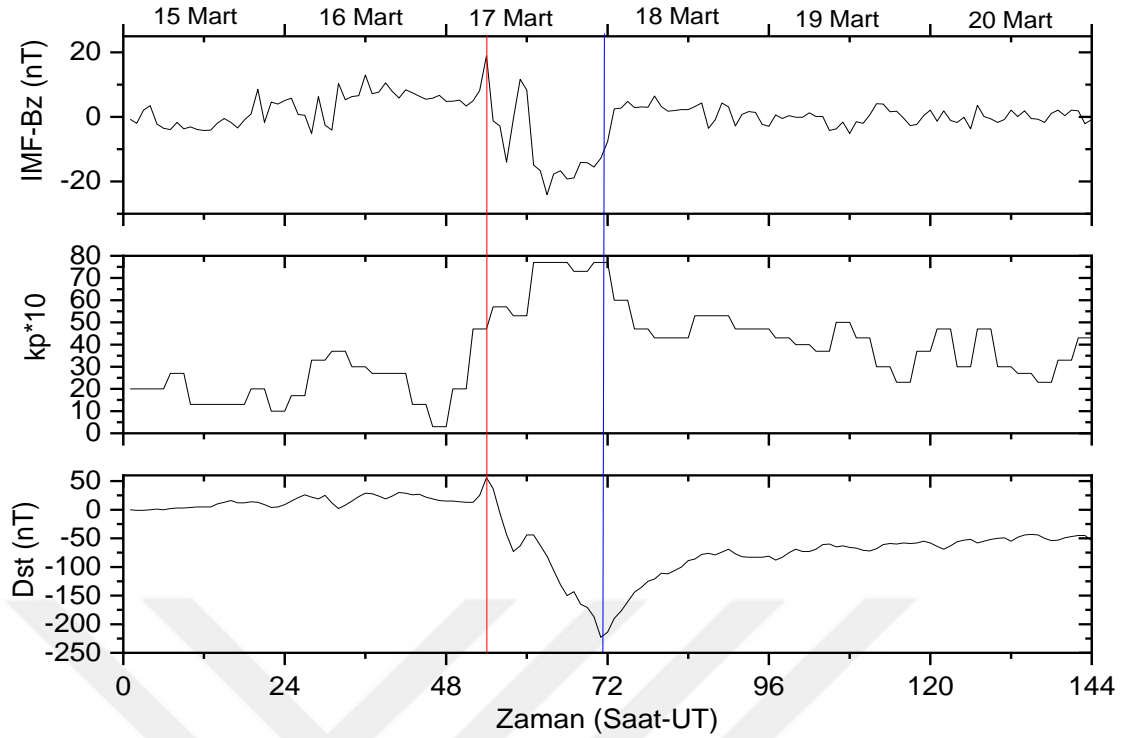
$$\text{KLD}(\hat{P}_{v;d}; \hat{P}_{u;d}) = \text{KL}(\hat{P}_{u;d} \setminus \hat{P}_{v;d}) + \text{KL}(\hat{P}_{v;d} \setminus \hat{P}_{u;d}) \quad (3.7)$$

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Modellerin performansı, 24. Güneş döngüsünün azalan aşamasının başlangıcı olan 2015 yılında üç farklı şiddetli jeomanyetik fırtına dönemi için değerlendirildi. 1. fırtına 17-18 Mart 2015 Patrick's Day jeomanyetik fırtına(Astafyeva ve Zakharenkova , 2015) 2. fırtına 22-23 Haziran 2015 jeomanyetik fırtına(Şentürk, 2020). ve 3. fırtına 20-21 Aralık jeomanyetik fırtına (Paul ve ark., 2020) meydana gelmiştir.

##### 4.1. Jeomanyetik Fırtına Süreçlerinin Belirlenmesi

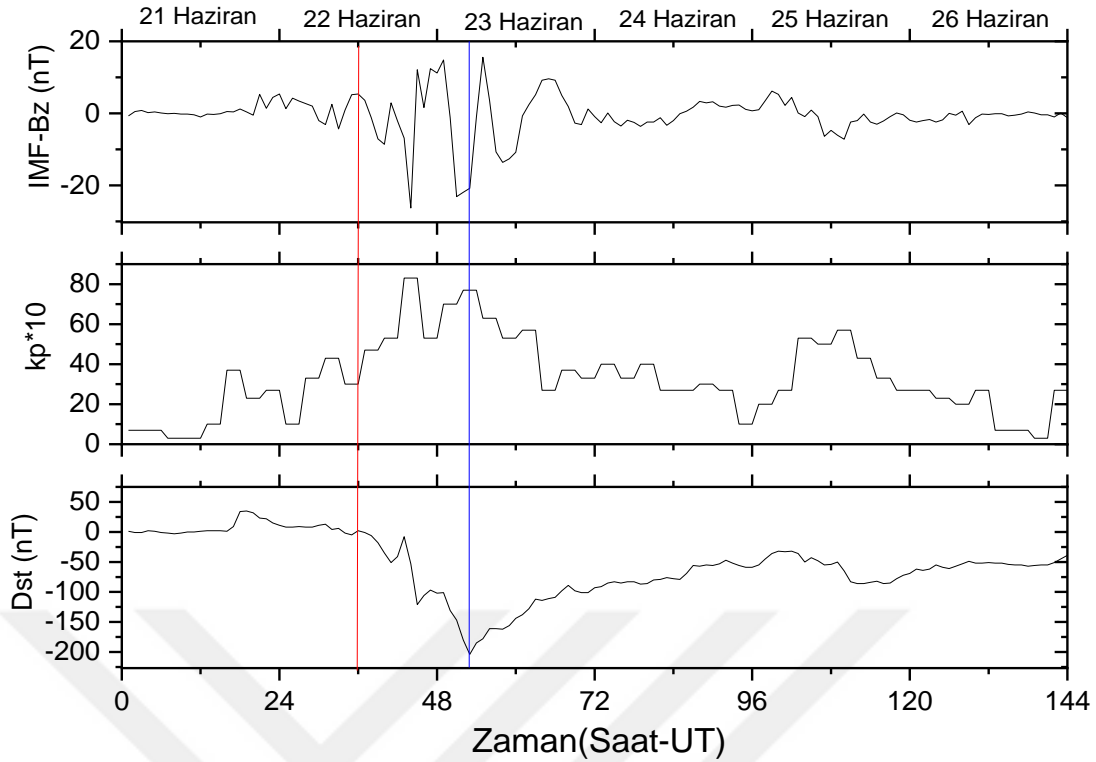
İncelenen jeomanyetik fırtına süreçlerinin zaman içindeki jeomanyetik indislerinin değişimi Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Şekil 4.1, literatürde Aziz Patrick Günü jeomanyetik fırtınası olarak bilinen 17-18 Mart 2015 fırtına süreci için jeomanyetik indekslerin zamanla değişimini göstermektedir(Özcan ve ark., 2020). 17 Mart'ta yaklaşık 04:45 UT' de, Koronal Kütle Boşalması (Coronal Mass Ejection- CME) Dünya'nın manyetik alanına çarptığında bir jeomanyetik fırtına başlamıştır. Başlangıçta, Gezegenler Arası Manyetik Alan'ın z bileşeni (Interplanetary Magnetic Field- IMF-Bz) bir süreliğine kuzeye yönelerek,  $\sim 27$  nT'ye ulaşmıştır ve fırtına 06:00 UT civarında güneye dönmeden önce ani bir fırtına başlangıcı meydana gelmiştir. Fırtına, yaklaşık  $\sim -223$  nT Dst ile 18 Mart'ta  $\sim 00:00$  UT'de maksimum (şiddetli) şiddete ulaşmış ve 25 Martta normal değerine geri dönmüştür. Başlangıç aşaması, 16 Mart'ta 07:00 UT'de başlayıp (IMF-Bz =10 nT ,  $kp*10=37$ , Dst =2 nT) 17 Mart 06:00 UT'ye (IMF-Bz =19 nT,  $kp*10=47$ , Dst = 56 nT) kadar devam etmiştir. Bu andan itibaren başlayan fırtına ana fazı 17 Mart 22:00 UT'ye (IMF-Bz =-15.5 nT,  $kp*10=77$ , Dst =-223 nT) kadar devam etmiştir. Ardından fırtına geri dönüş fazı başlamıştır. Bu aşama 20 Mart 12:00 UT'ye (IMF-Bz =0.1 nT,  $kp*10=27$ , Dst =-48 nT) kadar devam etmiştir (Özcan ve ark., 2020 ; Atıcı ve ark., 2020).



Şekil 4.1 Fırtına günleri için jeomanyetik indislerin zamansal değişimi

2. Jeomanyetik fırtına, 22 Haziran 2015'te ~5:45 UT ve ~18:38 UT' de iki CME' nin Dünya'ya çarpmasıyla başlamıştır. Bu süre zarfında Güneş hızı ~450'den ~700 km/s'ye ve basınç 7'den 55 nPa'ya yükselmiştir. IMF-Bz, 22 Haziran'da ~19:20 UT'den 23 Haziran'da ~08 UT'ye güneye-kuzey yönünde dalgalanmıştır. 23 Haziran 2015'te 08 UT'den 12 UT'ye kadar en uzun süre güney yönünde devam etmiştir. Bu durum 23 Haziran 2015'te ~4:30 UT'de minimum Dst ~-204 nT'ye neden olmuştur(Maurya ve ark., 2018).

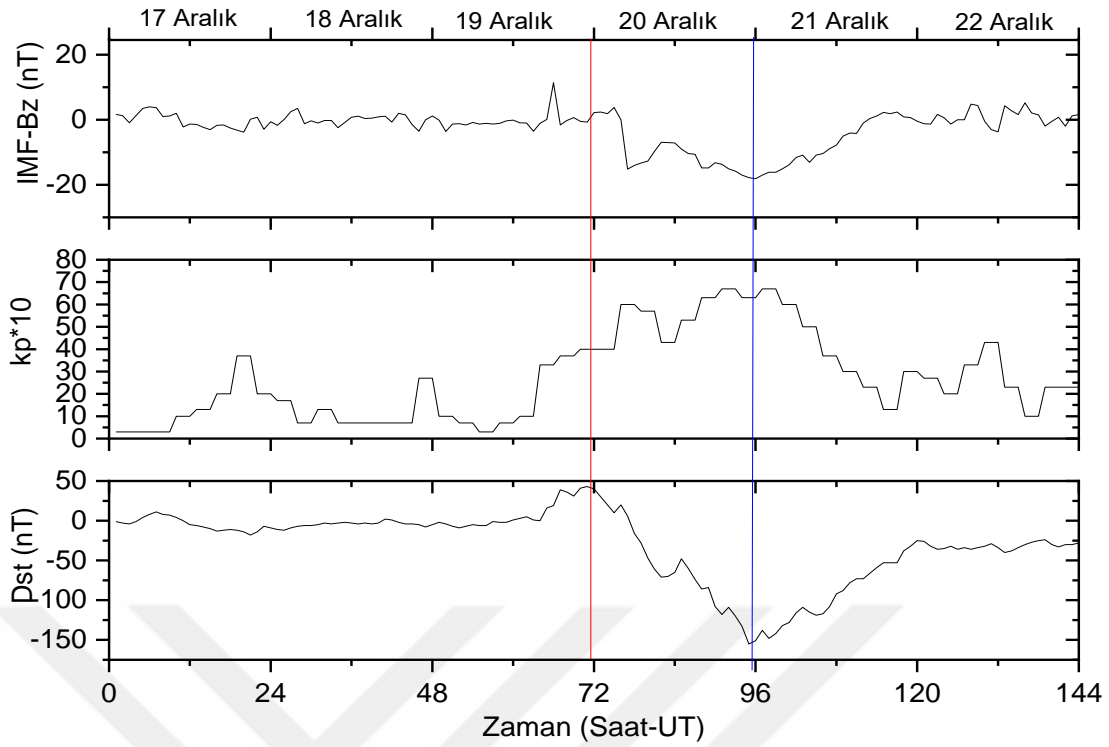
Şekil 4.2, 2. jeomanyetik fırtına dönemi için jeomanyetik indekslerin zaman değişimini göstermektedir. Fırtına başlangıç fazı 21 Haziran 15:00 UT'den (IMF-Bz = -0.1 nT,  $kp*10=10$ , Dst = 2 nT), 22 Haziran 06:00 UT'ye (IMF-Bz = -3.1 nT,  $kp*10=43$ , Dst = 13 nT) kadar devam etmiştir. Bu andan itibaren başlayan fırtına ana fazı 23 Haziran 04:00 UT (IMF-Bz = -20,8 nT,  $kp*10=77$ , Dst = -204 nT) e kadar sürmüştür. Ardından fırtına dönüş fazı başlamıştır. Bu faz 24 Haziran 19:00 UT'ye (IMF-Bz = 1.7 nT,  $kp*10=27$ , Dst = -47 nT) kadar devam etmiştir(Macho ve ark. 2020).



Şekil 4.2 Fırtına günleri için jeomanyetik indekslerin zamansal değişimi

19–21 Aralık 2015'te güçlü bir jeomanyetik fırtına (G3 seviyesi) meydana gelmiştir. Bu fırtına, 16 Aralık 2015'te meydana gelen C6 sınıfı güneş patlaması ve iki CME nin bir sonucu olarak başlamıştır. Güneş rüzgarı ve gezegenler arası manyetik alan parametrelerinde ani bir artış kaydedildiği zaman olan 19 Aralık 2015'te Dünya'nın manyetosferine ulaşmıştır. 2015, Ani fırtına başlangıcı (Sudden Storm Comment-SSC) 19 Aralık 2015'te ~16:16 UT'de kaydedilmiştir. Oluşan durumdan kısa bir süre sonra, IMF-Bz güçlü bir şekilde güneye doğru -10 nT'ye ulaşmış, birkaç dakika sonra IMF Bz kuzeye dönerek 17:07 UT'de ~14 nT'ye ulaşmıştır(Cherniak ve Zakharenkova , 2018).

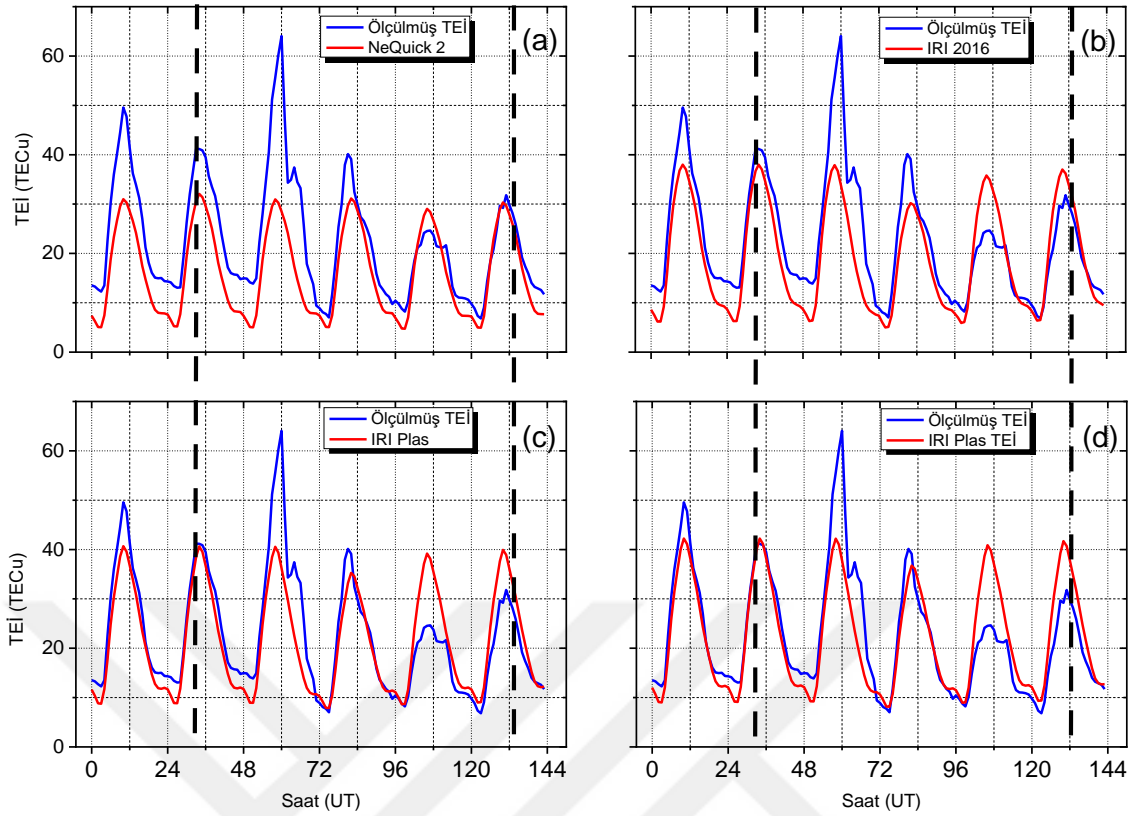
Şekil 4.3, 3. fırtına dönemi için jeomanyetik indekslerin zaman değişimini göstermektedir. 19 Aralık saat 11:00 UT'de (IMF-Bz =-0.1 nT, kp\*10=10, Dst =5 nT) başlangıç fazı başlamış ve 19 Aralık 23:00 UT'ye (IMF-Bz =2.2 nT, kp\*10 =40, Dst =40 nT) kadar devam etmiştir. Bu andan itibaren başlayan fırtına ana fazı 20 Aralık 22:00 UT'ye (IMF-Bz =-17.8 nT, kp\*10=6.3, Dst =-155 nT) de bitmiştir. Ardından fırtına geri dönüş fazı başlamıştır. Bu faz 21 Aralık 21:00 UT'ye (IMF-Bz =0.9 nT, kp\*10=13, Dst =-38 nT) kadar devam etmiştir(Paul ve ark., 2020 ; Cherniak ve Zakharenkova, 2018 ; Mansilla ve Zossi 2019).



Şekil 4.3 Fırtına günleri için jeomanyetik indislerin zamansal değişimi

#### 4.2. Ankara istasyonu için analiz sonuçları

1. jeomanyetik fırtına için Ankara istasyonunda NeQuick 2 modeli, IRI 2016, IRI Plas, IRI Plas TEİ modellerinden elde edilen TEİ ve ölçülen TEİ'nin zamansal değişimi Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Modelin değerlendirme sonuçları (Denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.7)) Çizelge 1'de verilmiştir. Şekilde kesikli çizgiler arasında eğriler fırtına zamanının göstermektedir. Bu durum tüm tezde benzer şekilde ifade edilmiştir. NeQuick 2 TEİ değerlerinin değişimi, incelenen tüm zaman için genellikle benzer bir dağılım göstermektedir. NeQuick 2 TEİ dağılımı ile ölçülen değer arasındaki farkın fırtınanın ana fazında arttığı, dönüş fazında ise azaldığı görülmektedir. NeQuick 2 ve IRI 2016 model TEİ değerlerinin en yüksek benzer dağılımı metrik modellerden ve KLD modelinden anlaşılabilir. Bunun nedeni, her iki modelin de aynı yöntemle iyonosferik aşırı varsayım yapması olabilir. Fırtına süresince, MAPE metrikleri hariç hem MAE ve RMSE metriklerinde hem de KLD değeri NeQuick 2 ile ölçülen TEİ değerleri arasında en zayıf korelasyonu ifade etmektedir. Tüm fırtına koşulları için ölçülen TEİ değeriyle en iyi uyum IRI Plas ve IRI Plas TEİ arasında görülmektedir.



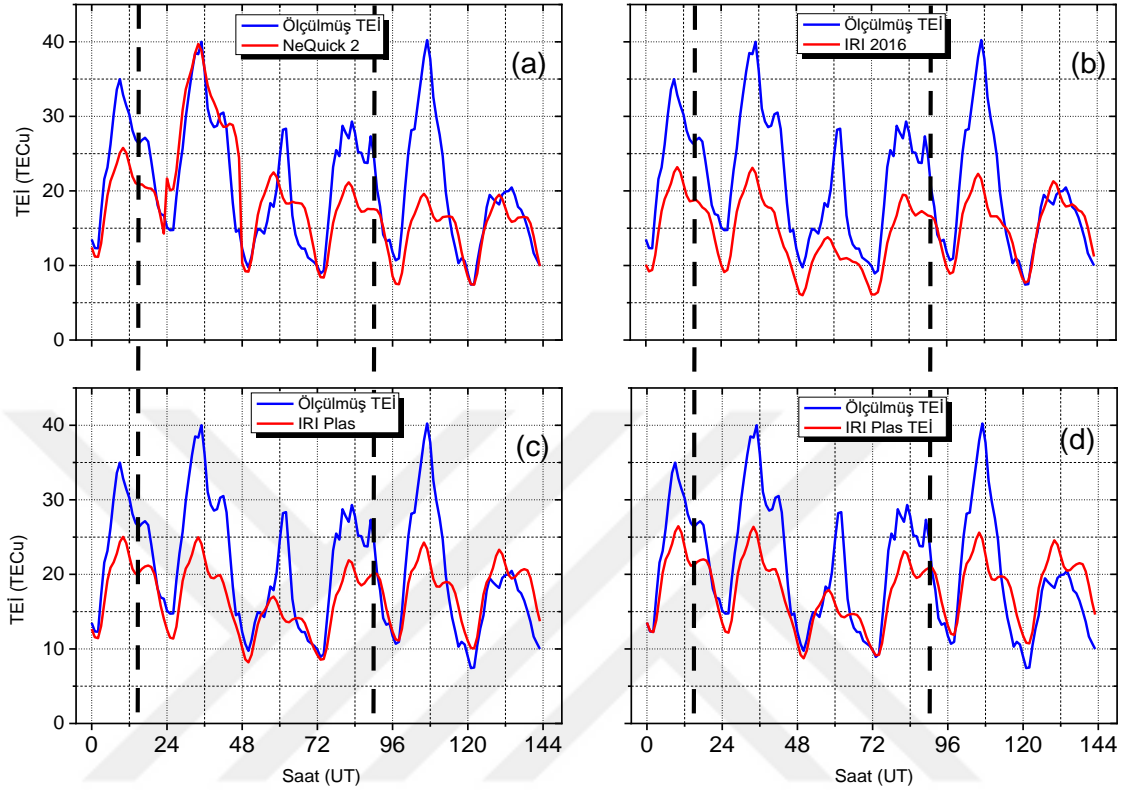
**Şekil 4.4** Ankara istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu.

**Çizelge 4.1** Ankara istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları

	Ölçülen - NeQuick 2			Ölçülen - IRI-2016			Ölçülen - IRI-Plas			Ölçülen - IRI-Plas (TEC)		
	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası
MAE	9,28	7,55	1,28	5,92	6,68	0,68	3,65	5,69	0,14	2,88	5,64	0,10
RMSE	9,78	11,82	2,46	6,15	10,81	1,31	4,11	9,96	0,27	3,35	9,86	0,31
MAPE	42,55	29,97	24,10	29,45	25,99	13,58	16,78	21,43	13,96	13,67	22,22	17,92
KLD	0,022	0,101	0,020	0,024	0,112	0,015	0,006	0,108	0,019	0,007	0,108	0,018

İkinci jeomanyetik fırtına sürecinde Ankara istasyonu için ölçülen ve ampirik modellerle elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Modelin değerlendirme sonuçları (Denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.7)) Çizelge 4.2'de verilmiştir. TEİ lerin zamanla değişimlerinde genlik farkları olmakla birlikte dağılım eğrileri oldukça benzerdir. KLD analiz modeli incelendiğinde, KLD'nin tüm karşılaştırmalarda küçük değerler aldığı görülmektedir. Ancak NeQuick 2 ile ölçülen TEİ değerlerindeki zayıf ilişkiler dışında, RMSE ve MAE metriklerinde ve KLD analizinde en büyük değerler fırtına boyunca hesaplandı. MAPE metrik sonuçları ve ikili karşılaştırmalar incelendiğinde iyi ifade edilebilecek değerlerin olduğu görülmektedir. Bu

açından sonuçlar (Atıç ve ark., 2021) ile uyumludur. RMSE değeri, tahmine dayalı modelin hatalarının bir ölçüsüdür. MAPE değeri  $< 10$  ise mükemmel bir model, değer  $< 20$  ise iyi bir model olarak kabul edilir (Atıç ve ark., 2021).



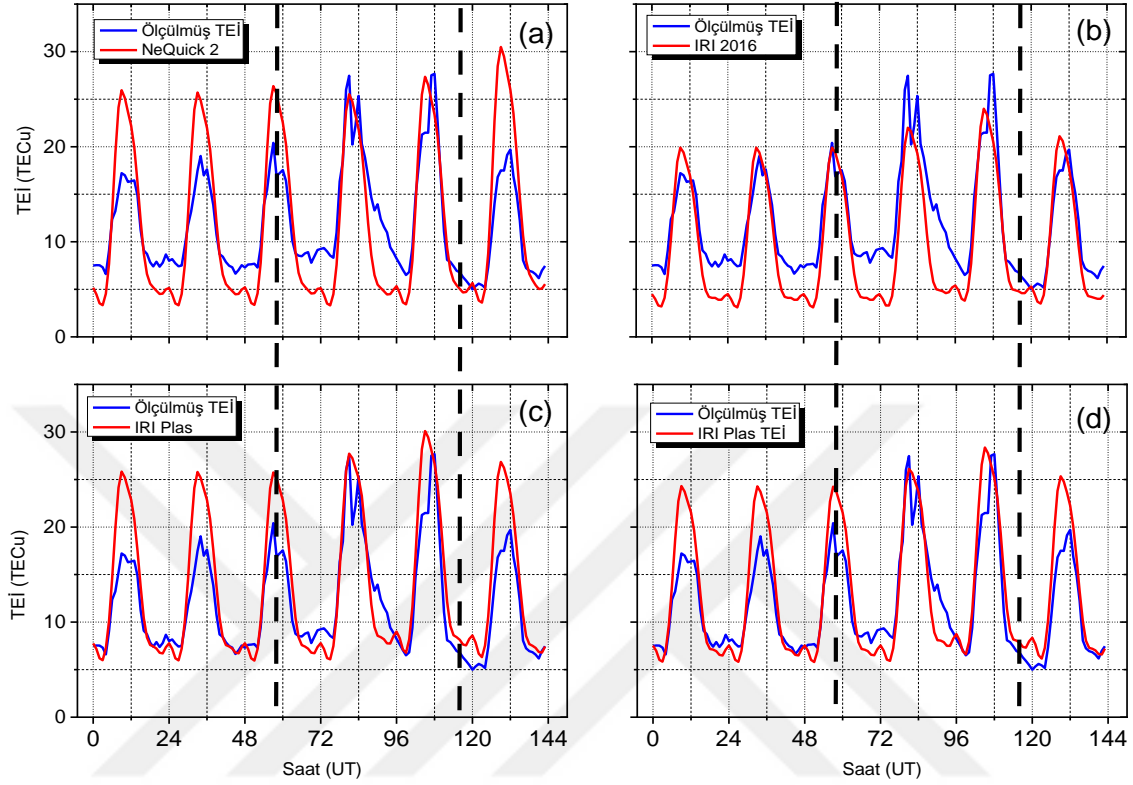
**Şekil 4.5** Ankara istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu.

**Çizelge 4.2** Ankara istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları

	Ölçülen -NeQuick 2			Ölçülen - IRI-2016			Ölçülen - IRI-Plas			Ölçülen - IRI-Plas (TEC)		
	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası
MAE	5,81	4,45	4,86	8,27	7,95	4,22	6,33	5,58	4,48	5,14	4,90	4,78
RMSE	6,28	5,35	7,51	8,57	8,99	6,55	6,94	7,02	6,09	5,84	6,29	5,94
MAPE	21,56	22,30	20,67	32,26	34,98	17,99	22,98	22,33	22,70	18,03	19,45	26,08
KLD	0.002	0.031	0.042	0.003	0.023	0.068	0.008	0.030	0.083	0.008	0.030	0.082

Şekil 4.6, 3. jeomanyetik fırtına süreci için deneysel TEİ modellerinden ölçülen ve elde edilen TEİ değerlerinin zamansal değişimini göstermektedir. Modelin değerlendirme sonuçları (Denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.7)) Çizelge 4.3'te verilmiştir. Fırtına sırasında ölçülen TEİ değerleri öğle saatlerinde artış ve dalgalanma gösterirken, ampirik modellerde dalgalanmalar gözlenmezken artışların meydana geldiği görülmüştür. KLD analizi ve metrikleri incelendiğinde, ampirik modellerin fırtına öncesi

dönemde daha başarılı sonuçlar verdiği ancak fırtına sırasında ve sonrasında bu başarı oranının düştüğü görülmektedir. Metrik değerler incelendiğinde IRI Plas TEİ değerleri ile ölçüm değerleri arasında daha iyi bir ilişkinin olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.6** Ankara istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu.

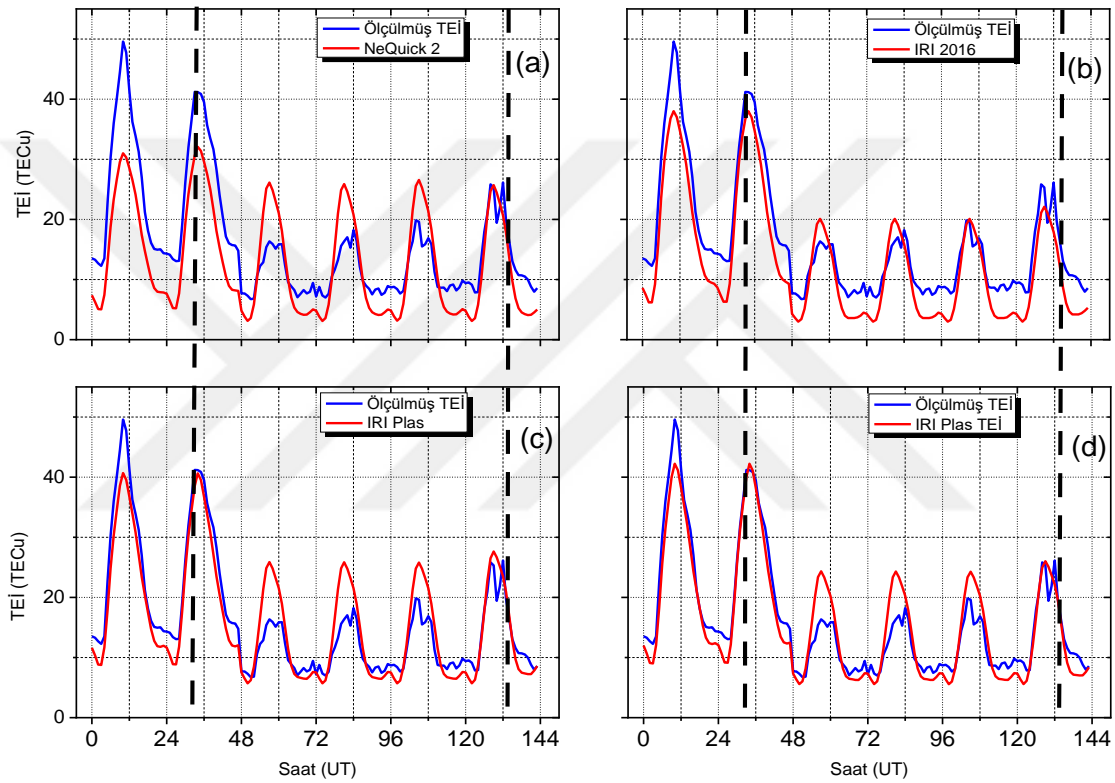
**Çizelge 4.3** Ankara istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları

	Ölçülen - NeQuick 2			Ölçülen - IRI-2016			Ölçülen - IRI-Plas			Ölçülen - IRI-Plas (TEC)		
	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası
MAE	3,72	3,51	3,79	2,77	3,69	1,88	2,81	2,59	3,20	2,34	2,37	2,58
RMSE	4,36	3,98	5,41	2,99	4,24	2,09	4,03	3,33	4,14	3,26	2,87	3,39
MAPE	33,74	30,10	30,58	31,20	31,66	22,02	20,41	19,76	30,66	17,76	18,24	25,30
KLD	0.005	0.063	0.086	0.003	0.023	0.068	0.008	0.030	0.083	0.008	0.031	0.008

### 4.3. Erzurum İstasyonu İçin Analiz Sonuçları

Erzurum istasyonu için elde edilen ölçülen ve ampirik model TEİ değerlerinin 1. fırtına için değişimi Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Modellerin değerlendirme sonuçları (Denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.7)) Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ölçülen değerler incelendiğinde, özellikle fırtınanın ana fazı ile birlikte TEİ değerlerinde bir artış

gözlenmektedir. Daha sonra dönüş fazı ile azalmaya başlamıştır. İncelenen ampirik modellerde bu artış gözlenmezken, NeQuick 2 dışındaki diğer modellerde bu azalmalar gözlenmiştir. Özellikle küçük KLD değerleri, ölçülen ve ampirik modeller arasında pozitif bir ilişkinin varlığına işaret ederken, ana fazda elde edilen değerlerde daha yüksek sonuçlar, ampirik modellerin iyileştirilmesi gereken yönleri göstermektedir. IRI Plas ve IRI Plas TEİ modelleri kullanılarak fırtınanın ana fazı dışındaki dönemler için elde edilen MAPE metrik değerlerinin 20'den küçük olması modellerin performansının iyi olduğunu göstermektedir.

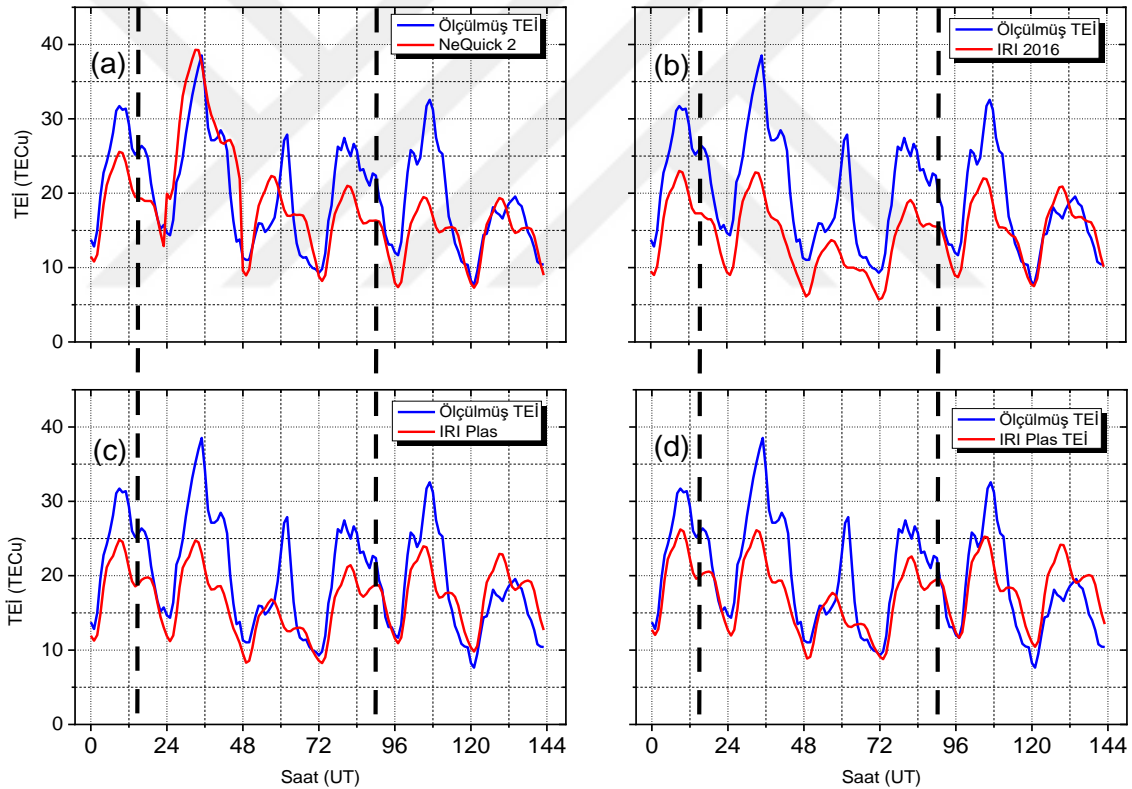


**Şekil 4.7** Erzurum istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu.

**Çizelge 4.4** Erzurum istasyonunda 1. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları

	Ölçülen - NeQuick 2			Ölçülen - IRI-2016			Ölçülen - IRI-Plas			Ölçülen - IRI-Plas (TEC)		
	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası
MAE	9,28	6,72	1,50	5,94	6,02	1,02	3,81	4,86	0,35	3,13	4,77	0,22
RMSE	9,56	8,69	2,88	6,17	7,78	1,95	4,14	7,13	0,68	3,47	7,19	0,44
MAPE	43,53	31,96	26,68	30,66	29,43	18,90	18,88	22,50	17,09	16,15	22,63	19,60
KLD	0.036	0.092	0.035	0.040	0.103	0.056	0.012	0.082	0.017	0.012	0.086	0.034

Şekil 4.8, Erzurum istasyonu için 2. fırtına sürecinde hem ölçülen hem de ampirik model TEİ değerlerinin zamanla değişimini göstermektedir. Modellerin değerlendirme sonuçları (Denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.7)) Çizelge 4.5'te verilmiştir. Eğriler incelendiğinde özellikle fırtına öncesi ve sonrası zaman için NeQuick 2 TEİ değerlerinin ölçülen değerler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Çizelge 4.5'te verilen istatistiksel metrik sonuçları incelendiğinde, fırtına ana fazı boyunca hem metriklerin (RMSE ve MAPE) hem de KLD değerlerinin fırtına öncesi ve sonrası sürelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca bu süreçlerde MAPE değerlerinin 20'den küçük olması NeQuick 2 modelinin bu fırtına süreci için iyi bir model olduğunu göstermektedir (Atıq ve ark., 2021). Metriklerin ve KLD değerlerinin oldukça küçük olması ve MAPE değerlerinin 20'den küçük olması nedeniyle IRI Plas TEC modelini iyi bir model olarak ifade etmek mümkündür.



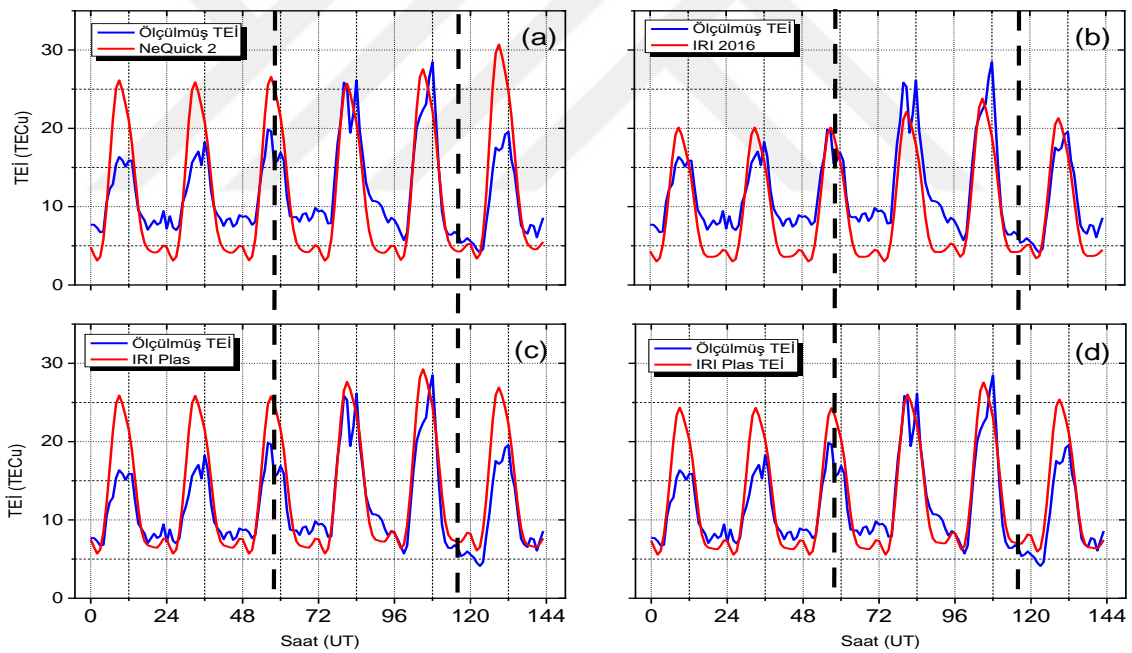
Şekil 4.8 Erzurum istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu.

Çizelge 4.5 Erzurum istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları

	Ölçülen -NeQuick 2			Ölçülen - IRI-2016			Ölçülen - IRI-Plas			Ölçülen - IRI-Plas (TEC)		
	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası
MAE	5,11	4,50	4,01	7,53	7,33	3,43	5,61	5,04	3,48	4,42	4,40	3,63

RMSE	5,21	5,21	5,62	7,53	8,25	4,71	5,86	6,33	4,37	4,74	5,65	4,40
MAPE	20,63	23,33	19,63	30,91	34,15	17,11	22,07	21,59	19,80	17,09	18,79	22,02
KLD	0.002	0.064	0.058	0.001	0.026	0.045	0.003	0.031	0.054	0.004	0.031	0.053

Şekil 4.9 Erzurum istasyonunda 3. fırtına için ölçülen ve ampirik modellerle elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimini göstermektedir. Modellerin değerlendirme sonuçları (Denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.7)) Çizelge 4.6'da verilmiştir. NeQuick 2 model TEİ değerlerinin fırtına öncesi ve sonrası abartılı değerler verdiği ve bu abartmanın yaklaşık olarak fırtınanın neden olduğu TEİ artışına eşdeğer olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, MAPE metriğinin ve KLD'nin yüksek değerleri, NeQuick 2 TEİ ile ölçülen TEİ arasında zayıf bir ilişki olduğunu da gösterir. Bu istasyon için diğer fırtına süreçlerinden farklı olarak, model performansı bu fırtına döneminde fırtınanın ana fazında daha iyidir. TEİ değerlerinin fırtınanın ana fazında arttığı göz önüne alındığında, model değerlerinin aslında fırtına dışı koşullar için daha yüksek bir tahminde bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4.9 Erzurum istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu.

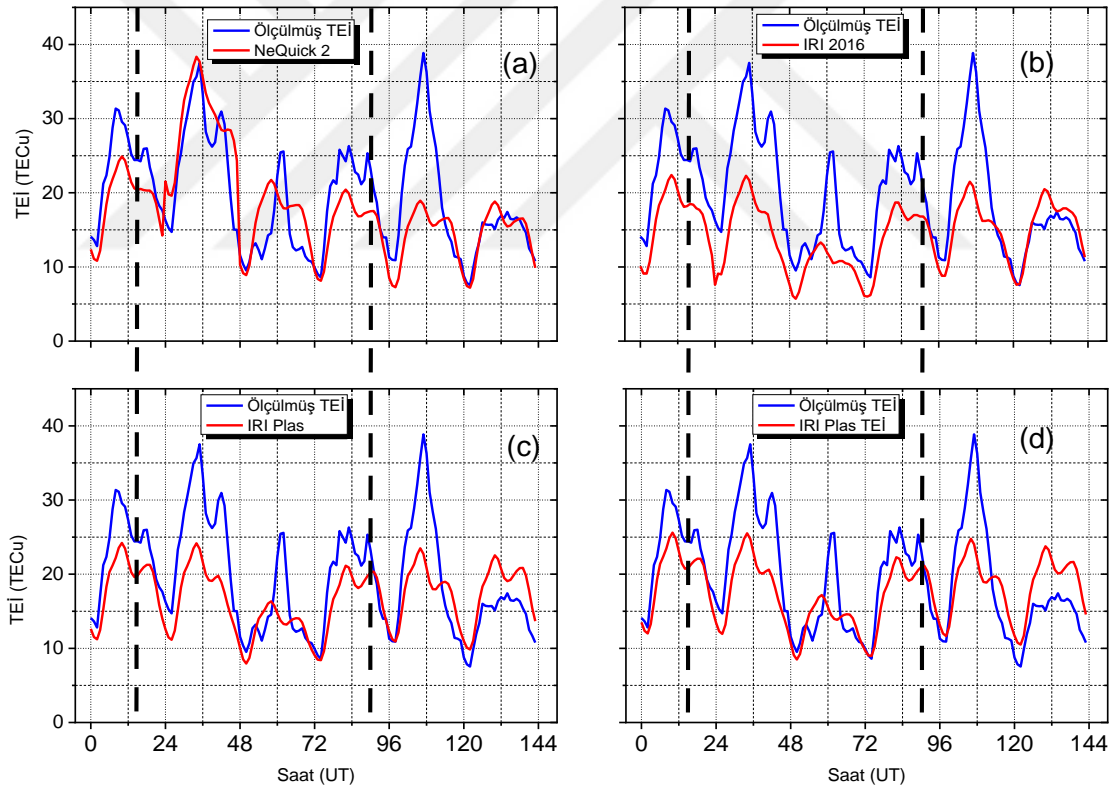
Çizelge 4.6 Erzurum istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları

	Ölçülen - NeQuick 2			Ölçülen - IRI-2016			Ölçülen - IRI-Plas			Ölçülen - IRI-Plas (TEC)		
	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası
MAE	4,22	3,32	4,03	3,22	3,65	2,28	3,24	2,30	3,24	2,77	2,10	2,67
RMSE	4,94	3,78	5,63	3,46	4,16	2,54	4,41	2,92	4,25	3,67	2,56	3,54



MAE	9,01	6,18	0,88	5,73	5,71	0,29	3,50	5,26	0,34	2,89	5,31	0,49
RMSE	9,50	8,94	1,71	6,04	7,78	0,59	4,00	7,13	0,72	3,32	7,15	0,98
MAPE	42,43	26,48	15,17	29,33	25,23	17,59	16,62	24,30	27,92	14,29	25,63	34,09
KLD	0.030	0.088	0.015	0.032	0.095	0.015	0.011	0.083	0.023	0.012	0.079	0.027

İstanbul istasyonunda 2. fırtına için ampirik modellerden elde edilen TEİ değerleri ile ölçülen TEİ değerlerinin değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir. Modellerin değerlendirme sonuçları (Denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.7)) Çizelge 4.8'de verilmiştir. NeQuick-2 modeli ile ölçülen değerler karşılaştırıldığında, özellikle fırtına sonrası iyi sonuçlar verdiği, fırtına öncesi ve süresince nispeten iyi sonuçlar verdiği KLD ve metrik sonuçlarından anlaşılmıştır. KLD değerinden ve metriklerden, ölçülen TEİ'nin fırtına sonrası IRI-2016, fırtına öncesi ve fırtına zamanlarındaki IRI Plas (TEİ) model değerleri ile iyi bir ilişkisi olduğu görülmektedir (Atıcı ve ark. ,2021).



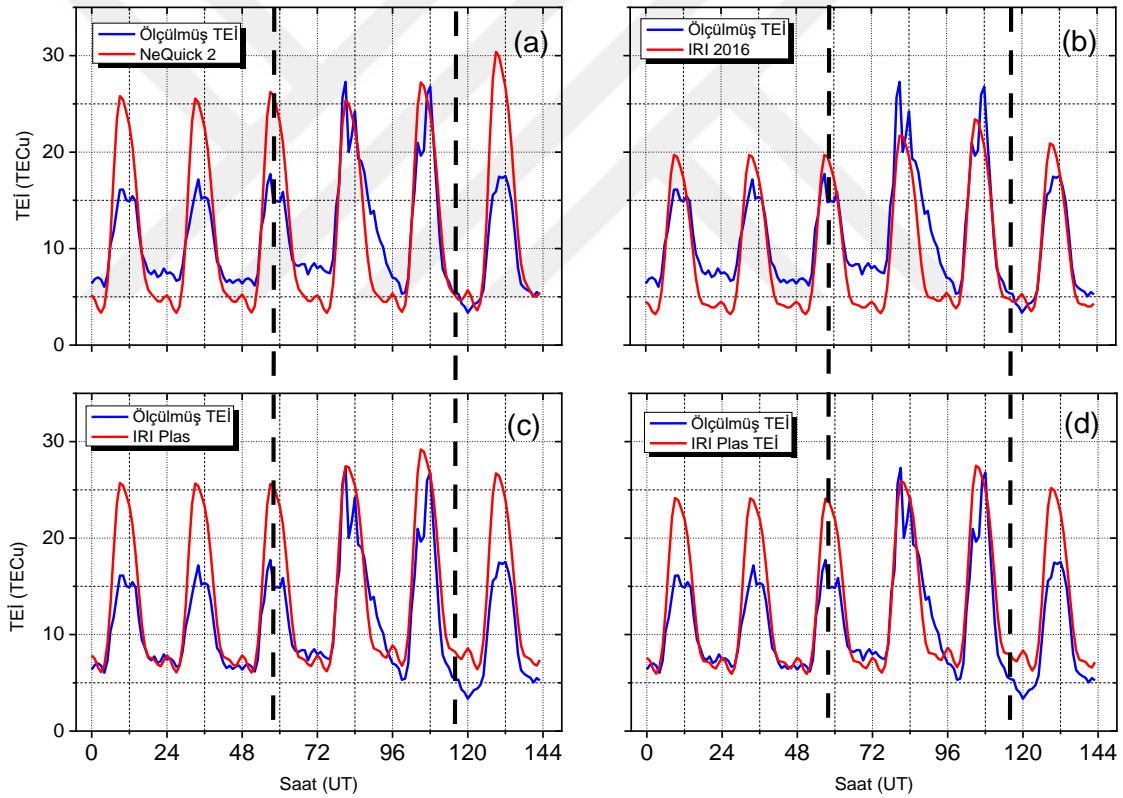
Şekil 4.11 İstanbul istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu.

Çizelge 4.8 İstanbul istasyonunda 2. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları

	Ölçülen -NeQuick 2			Ölçülen - IRI-2016			Ölçülen - IRI-Plas			Ölçülen - IRI-Plas (TEC)		
	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası
MAE	4,91	4,20	4,32	7,34	6,95	3,96	5,35	4,85	4,51	4,18	4,21	4,87

RMSE	5,10	4,83	6,85	7,37	7,94	6,05	5,60	6,00	5,76	4,52	5,34	5,74
MAPE	20,66	23,05	19,28	31,51	32,59	17,77	21,90	21,40	23,84	16,76	18,64	27,53
KLD	0.003	0.057	0.087	0.003	0.028	0.036	0.003	0.033	0.082	0.004	0.033	0.081

Şekil 4.12'de İstanbul istasyonunda 3. fırtına için ölçülen TEİ değerleri ile ampirik modellerden elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimi gösterilmektedir. Modellerin metrikler ile (Denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.7)) değerlendirme sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. NeQuick 2 modeli değerleri ile ölçülen değerler incelendiğinde (Şekil 4.12a), NeQuick 2 modeli abartılı değerlere sahiptir. Bu abartılı değerlerin, fırtınanın ana fazındaki ölçülmüş TEİ değerlerindeki artış miktarı ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ölçülmüş TEİ'nin en iyi uyumu, fırtına sonrasında IRI-2016 ile sağladığı KLD modelinden ve metrik değerlerinden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.12 İstanbul istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına için ölçülmüş - NeQuick 2 TEİ (a), Ölçülmüş - IRI 2016 TEİ (b), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (c), Ölçülmüş - IRI Plas TEİ (d) varyasyonu.

Çizelge 4.9 İstanbul istasyonunda 3. jeomanyetik fırtına süreci için karşılaştırma sonuçları

	Ölçülen -NeQuick 2			Ölçülen - IRI-2016			Ölçülen - IRI-Plas			Ölçülen - IRI-Plas (TEC)		
	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası	Fırtına öncesi	Fırtına boyunca	Fırtına sonrası
MAE	3,85	3,26	4,03	2,63	3,22	1,39	3,30	2,89	4,37	2,72	2,54	3,71

RMSE	4,85	3,95	5,99	2,80	3,84	1,74	4,81	3,76	5,00	3,99	3,20	4,24
MAPE	35,11	28,38	34,52	30,20	28,47	18,00	25,50	23,89	55,41	21,13	21,37	48,67
KLD	0.132	0.110	0.045	0.050	0.044	0.015	0.037	0.047	0.018	0.017	0.023	0.009

Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında tutarlı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Tarıku (2020) de, NeQuick, IRI 2016 ve IRI Plas 2017 karşılaştırmasında elde edilen RMSE değerlerinin mevcut çalışmadan elde edilen değerlerle uyumlu olduğu hesaplanmıştır (Tarıku, Y., 2020). Bununla birlikte, Okah ve ark., nın (2018) de, NeQuick 2 ve IRI Plas 2017 ile karşılaştırıldığında, yüksek Güneş aktivitesi döneminde NeQuick 2 modelinin düşük tahmin sonucu ile mevcut çalışmamızın sonuçları tutarlıdır, ancak IRI Plas 2017 için daha düşük tahmin edilen sonucu ile tam tersi bir sonuç elde edilmiştir (Okah ve ark., 2018). Başka bir çalışmada, IRI Plas modelinin düşük enlemlerde NeQuick modelinden daha iyi olduğu, yüksek enlemlerde ise NeQuick modelinin daha iyi olduğu belirtilmiştir (Ezquer ve ark., 2018).

## 5. SONUÇLAR

TEİ deki değişim, uzay havasının gözlemlenmesi, uydu tabanlı iletişim, konumlandırma ve navigasyon süreçlerini etkileyen en önemli parametrelerden biridir (Deviren ve Arıkan, 2018). TEİ değerleri, uydu ve GPS alıcıları tarafından ölçülür ve ayrıca IRI ve NeQuick 2 gibi modeller tarafından tahmin edilir. Model tahminleri özellikle ölçüm yapılmayan bölgelerde çok önemlidir. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında, 24. Güneş devrinin azalma evresinin başlangıcı olan 2015 yılında meydana gelen üç farklı şiddetli jeomanyetik fırtına süreci için ampirik modellerin performansı değerlendirilmiştir.

NeQuick 2 modeli iklimsel olarak ifade edilse de (Nava ve ark., 2011), bu çalışmanın referanslar bölümünde de yer verilen pek çok bilimsel çalışmanın konusu olduğu görülmektedir. IRI- 2016'nın fırtına için seçilebilecek bir alt seçeneğe sahip olduğu, NeQuick 2 modelinde olmadığı biliniyor. Ampirik modeller arasında IRI Plus TEİ, tüm fırtına süreçleri için genel olarak diğer modellerden daha iyi olduğu gözlenmiştir. IRI-2016'nın fırtınanın geri dönüş fazında, fırtınanın diğer fazlarına göre daha iyi olduğu ifade edilebilir. Yapılan incelemelerden, tüm istasyonlar ve tüm fırtına süreçleri için hala ampirik modelin geliştirilmesine ihtiyaç olduğu ifade edilir.

**KAYNAKLAR**

- Arikan, F., Nayir, H., Sezen, U., Arikan, O. 2008. Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC, *Radio Science*, 43(4), 4004. doi: 10.1029/2007RS003785.
- Astafyeva, E., Zakharenkova, I., Förster, M. 2015. Ionospheric response to the 2015 St. Patrick's Day storm: A global multi-instrumental overview, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 120(10), 9023-9037. doi: 10.1002/2015JA021629
- Atıcı, R., Aytaş, A., Sağır, S. 2020. The effect of solar and geomagnetic parameters on total electron content over Ankara, Turkey, *Advances in Space Research*, 65(9), 2158–2166.
- Atıcı, R., Sağır, S., Emelyanov, L.Y., Lyashenko, M. 2021. Investigation of Ionospheric Electron Density Change During Two Partial Solar Eclipses and Its Comparison with Predictions of NeQuick 2 and IRI-2016 Models, *Wireless Personal Communications*, 118(4), 2239-2251. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08122-x>.
- Atiq, M., Ameen, M., Sadiq, N., Khursheed, H., Ali, M., Yu, X., Ameer, A. 2021. Estimating foF 2 from GPS TEC over Islamabad and Darwin using NeQuick2 during, *Advances in Space Research*, 2021(67), 1559–1569. doi:10.1016/j.asr.2020.12.003
- Bilitza, D., Altadill, D., Zhang, Y., Mertens, C., Truhlik, V., Richards, P., McKinnell, L.A. ve Reinisch, B., 2014. The International Reference Ionosphere 2012—a model of international collaboration, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 4(7).
- Bilitza, D., McKinnell, L.-A., Reinisch, B., Fuller-Rowell, T. 2011. The international reference ionosphere today and in the future, *Journal of Geodesy*, 85 (12), 909-920.
- Bilitza, D., Altadill, D., Truhlik, V., Shubin, V., Galkin, I., Reinisch, B., Huang, X. 2017. International Reference Ionosphere 2016: From ionospheric climate to real-time weather predictions. *Space Weather*, 15(2), 418-429.
- Bilitza, D. 2018. IRI The International Standard for the Ionosphere. *Advances in Radio Science*, 16, 1-11.
- Chai T, Draxler R., 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) *Geosci. Model Dev.* doi:10.5194/gmdd-7-1525
- Chen, Z., An, B., Liao, W., Wang, Y., Tang, R., Wang, J., & Deng, X. 2023. Ionospheric Electron Density Model by Electron Density Grid Deep Neural Network (EDG-DNN), *Atmosphere*, 14(5), 810.
- Cherniak, I., Zakharenkova, I. 2018. Large-scale traveling ionospheric disturbances origin and propagation: Case study of the December 2015 geomagnetic storm. *Space Weather*, 16, 1377– 1395. doi: 10.1029/2018SW001869
- Deviren, M., Arikan, F. 2018. IONOLAB-MAP: An automatic spatial interpolation algorithm for total electron content. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 26,1933–1945. doi:10.3906/elk-1611-231

- Deviren, M., Arıkan, F., Arıkan, O. 2013. Spatio-temporal interpolation of total electron content using a GPS network, *Radio Science*, 48(3), 302–309, doi: 10.1002/rds.20036
- Di Giovanni, G., Radicella, S. 1990. An analytical model of the electron density profile in the ionosphere, *Advances in Space Research*, 10 (11), 27-30.
- Ezquer RG, Scidá LA, Orué YM, Nava B, Cabrera MA, Brunini C. 2018. NeQuick 2 and IRI Plas VTEC predictions for low latitude and South American sector. *Advances in Space Research*, 61(7),1803–1818. doi:https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.10.003
- Fuller-Rowell, T. J., Codrescu, M. C., Wilkinson, P. 2000. Quantitative modeling of the ionospheric response to geomagnetic activity, *In Annales Geophysicae*, 18 (7), 766-781.
- Hall P. On Kullback-Leibler Loss and Density Estimation.1987. *The Annals of Statistics*, 15(4):1491–1519. doi:10.1214/aos/1176350606
- Gulyaeva, T. L., Arıkan, F., Sezen, U, Poustovalova, L. V. 2018. Eight proxy indices of solar activity for the International Reference Ionosphere and Plasmasphere model. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 172, 122-128.
- Hochegger, G., Nava, B., Radicella, S., & Leitinger, R. 2000. A family of ionospheric models for different uses. *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science*, 25(4), 307-310.
- Karatay, S., Arıkan, F., Arıkan, O. 2010. Investigation of total electron content variability due to seismic and geomagnetic disturbances in the ionosphere. *Radio Science*, 45(05), 1-12.
- Leitinger, R., Zhang, M.-L., Radicella, S.M. 2005. An improved bottomside for the ionospheric electron density model NeQuick, *Annals of Geophysics*, 48 (3).
- Leong, S., Musa, T., Omar, K., Subari, M., Pathy, N. ve Asillam, M. 2015. Assessment of ionosphere models at Banting: Performance of IRI-2007, IRI-2012 and NeQuick 2 models during the ascending phase of Solar Cycle 24, *Advances in Space Research*, 55 (8), 1928-1940.
- Macho, E., Correia, E., Paulo, C., Angulo, Lady, Vieira J. 2020. Ionospheric response to the June 2015 geomagnetic storm in the South American region. *Advances in Space Research*, 65. doi:10.1016/j.asr.2020.02.025
- Mansilla, G., Zossi, M. 2019. Effects on the equatorial and low latitude thermosphere and ionosphere during the 19 – 22 December 2015 Geomagnetic storm period. *Advances in Space Research*,65. doi:10.1016/j.asr.2019.09.025
- Maurya, AK., Venkatesham, K., Kumar, S., Singh, R., Tiwari, P., Singh AK. 2018. Effects of St. Patrick’s Day geomagnetic storm of March 2015 and of June 2015 on low-equatorial D region ionosphere. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*.123(8):6836–6850.
- Nava, B., Coisson, P., Radicella, S. 2008. A new version of the NeQuick ionosphere electron density model, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70 (15), 1856-1862.
- Nava, B., Radicella, Sç, Azpilicueta, F. 2011. Data ingestion into NeQuick 2. *Radio Science*, 46, 1-8. doi:10.1029/2010RS004635

- Okoh, D., Onwuneme, S., Seemala, G., Jin, S., Rabiou, B., Nava, B., Uwamahoro, J. 2018. Assessment of the NeQuick-2 and IRI-Plas 2017 models using global and long-term GNSS measurements. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 170, 1–10. doi: 10.1016/j.jastp.2018.02.006
- Özcan, O., Sağır, S., Atıcı, R. 2020. The relationship between TEC and Earth's magnetic field during quiet and disturbed days over Istanbul, Turkey. *Advances in Space Research*, 65(9), 2167–2171.
- Paul, B., Gordiyenko, G., Galav, P. 2020. Study of the low and mid-latitude ionospheric response to the geomagnetic storm of 20th December 2015. *Astrophysics and Space Science*, 365(10), 174. doi: 10.1007/s10509-020-03884-5
- Picone, J., Hedin, A., Drob, D.P., Aikin, A. 2002. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 107 (12), 15-16.
- Radicella, S.M., Nava, B., 2010, NeQuick model: Origin and evolution, *Proceedings of the 9th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory*, 422-425.
- Radicella, S.M., Zhang, M.L. 1995. The improved DGR analytical model of electron density height profile and total electron content in the ionosphere, *Annali di Geofisica*, 38 (1), 35-41.
- Radicella, S.M., Leitinger, R. 2001 The evolution of the DGR approach to model electron density profiles, *Advances in Space Research*, 27(1), 35-40.
- Rishbeth, H., Garriott, O.K.J.I. 1969. Introduction to ionospheric physics.
- Sağır, S., Atıcı, R., Akalın, Y., Yeşil, A. 2019. The assessment in terms of QBO of NeQuick 2 model, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22 (1), 67-72.
- Schunk, R., Nagy, A. 2009. Ionospheres: physics, plasma physics, and chemistry, *Cambridge University Press*,
- Seghouane, A. K., Amari, S. I. 2007. The AIC criterion and symmetrizing the Kullback–Leibler divergence. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 18(1), 97-106.
- Seynat, C., Kealy, A., Zhang, K. 2004. A performance analysis of future global navigation satellite systems, *Positioning*, 1 (8).
- Sezen, U., Arikan F., Arikan O., Ugurlu O., Sadeghimorad A. 2013. Online, automatic, near-real time estimation of GPS-TEC: IONOLAB-TEC, *Space Weather*, 11(5), 297-305. doi: 10.1002/swe.20054.
- Sezen, U., Gulyaeva, T. L., Arikan, F. 2018. Performance of solar proxy options of IRI-Plas model for equinox seasons. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123(2), 1441-1456.
- Şentürk, E. 2020 Investigation of global ionospheric response of the severe geomagnetic storm on June 22-23, 2015 by GNSS-based TEC observations. *Astrophysics and Space Science*. 365(7), 110. doi: 10.1007/s10509-020-03828-z
- Tariku Y. A., 2020. Comparison of Performance of the IRI 2016, IRI-Plas 2017, NeQuick 2 Models During Different Solar Activity (2013–2018) Years Over South American Sector, *RadioScience*, 55(8), e2019RS007047. doi: 10.1029/2019RS007047

URL1 Ziyaret tarihi : 04.01.2023,  
[https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016\\_vitmo.php](https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016_vitmo.php)



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Şerife ERBAY  
**Uyruğu** :  
**Doğum Yeri ve Tarihi** :  
**Telefon** :  
**e-mail** :

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Bor Şehit Nuri Pamir Lisesi, Bor, Niğde	2002
Üniversite	: Devlet Pedagoji Üniversitesi, Bakü, Azerbaycan	2014
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

#### UZMANLIK ALANI

-

#### YABANCI DİLLER

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

-

### YAYINLAR

Sağır, S., Erbay, Ş. 2022. Comparison of the Empirical Ionospheric Models During Three Severe Geomagnetic Storm Occurred in 2015, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (2) , 977-991 . DOI: 10.18586/msufbd.1176184