

**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Abdulkerim AYTAŞ**

**İYONKÜRENİN TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ ÜZERİNDE GÜNEŞ  
VE JEOMANYETİK PARAMETRELERİN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MUŞ-2018**

**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Abdulkerim AYTAŞ**

**İYONKÜRENİN TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ ÜZERİNDE GÜNEŞ  
VE JEOMANYETİK PARAMETRELERİN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman**  
**Yrd. Doç. Dr. Ramazan ATICI**

**MUŞ-2018**

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Muş Alparslan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “İyonkürenin Toplam Elektron İçeriği Üzerinde Güneş ve Jeomanyetik Parametrelerin Etkisi” adlı tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim-Öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

Tezim/Raporum sadece Muş Alparslan Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.

Tezimin/Raporumun ..... yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

25/01/2018

Abdulkerim AYTAŞ



**TEZ KABUL TUTANAĞI**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

Yrd. Doç. Dr. Ramazan ATICI danışmanlığında, Abdulkerim AYTAŞ tarafından hazırlanan “İyonkürenin Toplam Elektron İçeriği Üzerinde Güneş ve Jeomanyetik Parametrelerin Etkisi” konulu bu çalışma 19/01/2018 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Başkan :** Prof. Dr. Osman ÖZCAN

İmza :

**Jüri Üyesi :** Doç. Dr. Esat GÜZEL

İmza :

**Jüri Üyesi :** Yrd. Doç. Dr. Ramazan ATICI

İmza :

Yukarıdaki imzalar adı geçen öğretim üyelerine aittir.

... /01/2018

**Prof. Dr. Murat Aydın ŞANDA**

**Enstitü Müdürü**

## TEŐEKKÖR

Bu çalışmada her tŸrlŸ yardımını ve rehberliğini benden esirgemeyen baőta danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Ramazan ATICI' ya ve Yrd. Doç. Dr. Selçuk SAĞIR' a teőekkŸrŸ bir borç bilirim. Tezin hazırlanmasında maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim aileme, çocuklarıma ve tŸm sevdiklerime Őukranlarımı sunarım.

**Abdulkerim AYTAŞ**

**Ocak-2018**



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
KISALTMA ve SİMGELER .....	vii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ (TEİ)</b> .....	<b>4</b>
<b>3. TEİ MODELLERİ</b> .....	<b>6</b>
3.1. IONOLAB-TEİ Modeli .....	6
3.2. Uluslararası Referans İyonküre (IRI) TEİ Modeli .....	7
3.3. IRI-PLAS TEİ Modeli .....	8
<b>4. TEİ DEĞERLERİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER</b> .....	<b>9</b>
4.1. Güneş Parametreleri .....	9
4.1.1. F10.7 güneş akısı .....	9
4.1.2. Gezenler arası manyetik alan (IMF) .....	10
4.2. Jeomanyetik Parametreler .....	12
4.2.1. K ve Kp indisi .....	12
4.2.2. Dst indisi .....	13
<b>5. MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>15</b>
<b>6. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	<b>18</b>
6.1. Güneş Aktivitesinin Minimum Olduğu Durumda TEİ Değişimi .....	18
6.2. Güneş Aktivitesinin Maksimum Olduğu Durumda TEİ Değişimi .....	27
<b>7. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	<b>36</b>
<b>8. KAYNAKLAR</b> .....	<b>38</b>
ÖZGEÇMİŞ .....	43

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **İYONKÜRENİN TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ ÜZERİNDE GÜNEŞ VE JEOMANYETİK PARAMETRELERİN ETKİSİ**

**Abdulkerim AYTAŞ**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ramazan ATICI**

**2018, 43 sayfa**

Bu çalışmada orta enlem iyonküresi için Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'nin güneş ve jeomanyetik parametreler ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bu kapsamda TEİ üzerinde etkili olan güneş parametrelerinden F10.7 cm güneş akısı ve gezegenler arası manyetik alan (Interplanetary Magnetic Fields-IMF) ile jeomanyetik parametrelerden K<sub>p</sub> ve Dst indisi göz önünde bulundurulmuştur. Değişkenler arasındaki ilişki 24. güneş devrinin minimum (2009) ve maksimum (2015) olduğu yıllarda evrensel zaman (Universal Time-UT) 12:00 ve 24:00 için istatistiksel çoklu regresyon modeli aracılığıyla araştırılmıştır. Araştırma neticesinde, 2009 yılında TEİ değişimlerinin güneş ve jeomanyetik parametreler ile açıklanabilirlik oranının 2015 yılından düşük olduğu bulunmuştur. 2009 yılında TEİ değişimlerinin güneş ve jeomanyetik parametreler ile ilişkisinin gece saatlerinde gündüz saatlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni bu yılda iyonkürenin gece vakti güneşten gelen yüksek hızlı rüzgâr akımlarına tepki göstermesi olabilir. 2015 yılında ise beklendiği gibi TEİ ile bağımsız parametreler arasındaki ilişki gündüz saatlerinde gece saatlerinden daha büyüktür.

**Anahtar Kelimeler:** Çoklu Regresyon Modeli, Güneş Parametreleri, Jeomanyetik Parametreler, İyonküre, TEİ

## **ABSTRACT**

**Master's Thesis**

### **THE EFFECT OF SOLAR AND GEOMAGNETIC PARAMETERS ON TOTAL ELECTRON CONTENT OF IONOSPHERE**

**Abdulkerim AYTAŞ**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ramazan ATICI**

**2018, Page: 43**

In this study, the relationship between total electron content (TEC) and solar and geomagnetic parameters for mid-latitude ionosphere is investigated. In this context, F10.7 cm solar flux and Interplanetary Magnetic Fields (IMF) from solar parameters and Kp and Dst indices from geomagnetic parameters effecting on TEC are taken into account. The relationship between the variables was investigated by means of a statistical multiple regression model for universal time 12:00 and 24:00 at the years when the 24th solar cycle was minimum (2009) and maximum (2015). As a result, it was found that explainable rate by solar and geomagnetic parameters of TEC changes in 2009 are lower than in 2015. In 2009, the relationship between TEC changes and solar and geomagnetic parameters was found to be higher at daytime at night time. The reason for this may be that the ionosphere reacts to high-speed solar wind currents at night in this year. As expected in 2015, the relationship between TEC and independent parameters is greater during daytime than at night.

**Keywords:** Geomagnetic Parameters, Ionosphere, Multiple Regression Model, Sun' Parameters, TEC



## ÇİZELGE LİSTESİ

<b>Çizelge 4.1.</b> K-İndisine karşılık gelen manyetik alan şiddeti değerleri (Bratsolis ve Sigelle, 2003) .....	12
<b>Çizelge 4.2.</b> K-İndisi'nin dereceleri (Trigunait vd., 2004) .....	12
<b>Çizelge 4.3.</b> Manyetik fırtına seviyeleri (Cveer 2002) .....	14
<b>Çizelge 6.1.</b> 2009 yılı evrensel zaman 12:00 ve 24:00 için TEİ, IMF ve F10.7 değerlerinin birim kök testi sonuçları .....	19
<b>Çizelge 6.2.</b> 2009 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için güneş parametreleri ve TEİ arasında kurulan modelin eş bütünleşme test sonuçları .....	21
<b>Çizelge 6.3.</b> 2009 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için güneş parametreleri ile TEİ arasında kurulan modelin regresyon analiz sonuçları .....	22
<b>Çizelge 6.4.</b> 2009 yılı evrensel zaman 12:00 ve 24:00 için TEİ, Dst ve Kp değişkenlerinin birim kök testi sonuçları .....	24
<b>Çizelge 6.5.</b> 2009 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için jeomanyetik parametreler ile TEİ arasındaki kurulan modelin eş-bütünleşme testi sonuçları .....	25
<b>Çizelge 6.6.</b> 2009 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için jeomanyetik parametreler ile TEİ arasında kurulan modelin regresyon analiz sonuçları .....	26
<b>Çizelge 6.7.</b> 2015 yılı için saat 12:00 ve 24:00 UT'de güneş parametreleri ile TEİ'nin birim kök testi sonuçları .....	29
<b>Çizelge 6.8.</b> 2015 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için güneş parametreleri ve TEİ arasında kurulan modelin eş-bütünleşme test sonuçları .....	29
<b>Çizelge 6.9.</b> 2015 yılı 12:00 ve 24:00 UT de güneş parametreleri ile TEİ arasındaki ilişkiyi belirlemek için kurulan regresyon denklemi ile elde edilen sonuçlar.....	30
<b>Çizelge 6.10.</b> 2015 yılı saat 12:00 ve 24:00 UT için jeomanyetik parametreler ve TEİ'nin birim kök testi sonuçları .....	33
<b>Çizelge 6.11.</b> 2015 yılı için 12:00 UT ve 24:00 UT'de jeomanyetik parametreler ve TEİ arasında kurulan modelin eş-bütünleşme test sonuçları .....	34
<b>Çizelge 6.12.</b> 2015 yılı 12:00 ve 24:00 UT de jeomanyetik parametreler ve TEİ arasında kurulan modelin analiz sonuçları .....	35

## ŞEKİL LİSTESİ

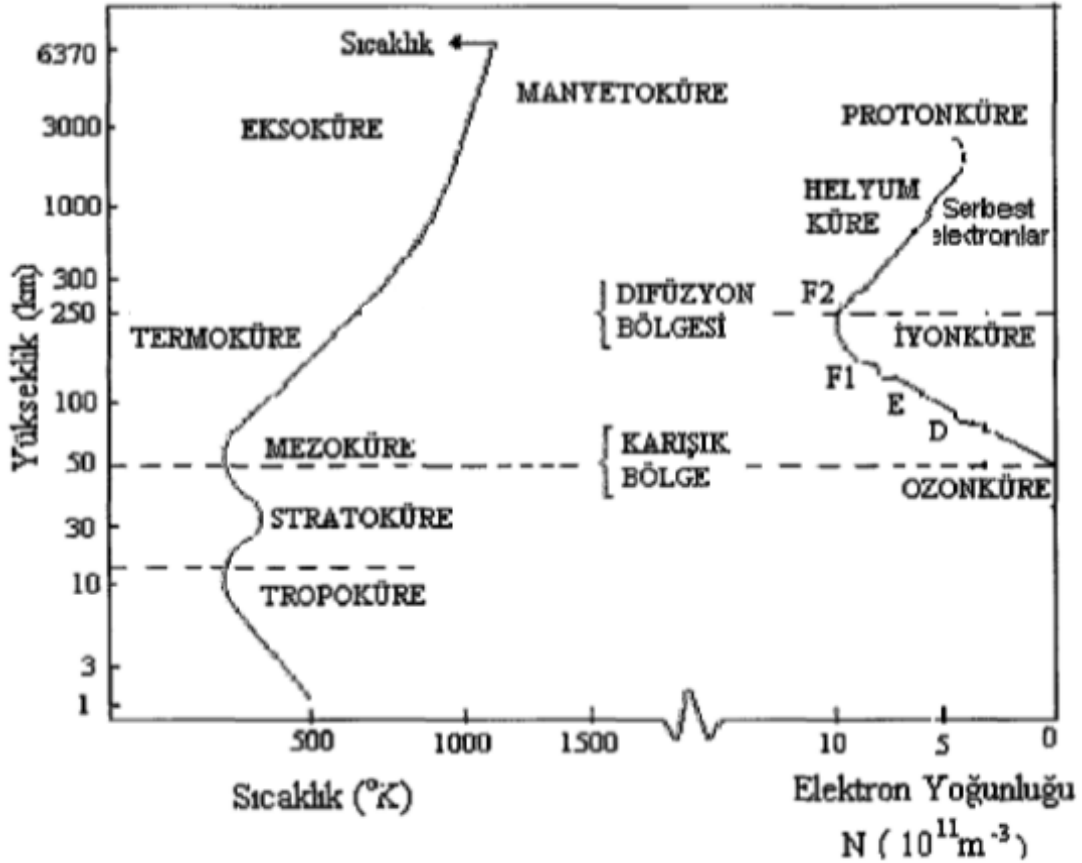
- Şekil 1.1.** Atmosferin sıcaklığa ve yoğunluğa göre yükseklikle değişimi (Aksakal, 2000) ..... 1
- Şekil 4.1.** Manyetoküre ve Magnetopausenin gösterimi (URL-4, 2018)..... 11
- Şekil 6.1.** 2009 yılı için güneş parametreleri ile TEİ değerlerinin ekinoks ve gündönümlerinde zamanla değişimi. Burada Mart Ekinoksu (MEK, Şubat, Mart ve Nisan) aylarını, Eylül Ekinoksu (EEK, Ağustos, Eylül ve Ekim) aylarını, Haziran Gün Dönümü ( HGD, Mayıs, Haziran ve Temmuz) ve Aralık Gün Dönümü (AGD, Kasım ve Aralık) aylarını içerir..... 18
- Şekil 6.2.** 2009 yılı için jeomanyetik parametreler ile TEİ değerlerinin ekinoks ve gündönümlerinde zamanla değişimi. Şekil 6.1 ile aynı dönemler için. .... 23
- Şekil 6.3.** 2015 yılı için güneş parametreleri ile TEİ değerlerinin ekinoks ve gündönümlerinde zamanla değişimi. Şekil 6.1. ile aynı dönemler için. .... 27
- Şekil 6.4.** 2015 yılı için jeomanyetik parametreler ile TEİ değerlerinin ekinoks ve gündönümlerinde 12:00 ve 24:00 UT’de zamanla değişimi. Şekil 6.1 ile aynı dönemler için. .... 31

## KISALTMA ve SİMGELER

<b>ADF</b>	: Genişletilmiş Dickey-Fuller
<b>AGD</b>	: Aralık Gündönümü
<b>CODE</b>	: Center for Orbit Determination in Europe
<b>COSPAR</b>	: COMMITTEE ON SPACE RESEARCH
<b>Dst</b>	: Disturbance Storm Time
<b>D-TEİ</b>	: Düzgünleştirilmiş TEİ
<b>EEK</b>	: Eylül Ekünoksu
<b>ESA</b>	: University of New Brunswick (UNB), European Space Agency
<b>EUV</b>	: Extreme Ultraviolet
<b>GCPM-2000</b>	: Global Core Plasma Model
<b>GD</b>	: Güneş Devri
<b>GLS</b>	: Güneş Lekesi Sayısı
<b>GPID</b>	: Global Plasmasphere Ionosphere Density
<b>GPS</b>	: Yerküresel Konumlama Sistemi
<b>HGD</b>	: Haziran Gündönümü
<b>IGS</b>	: International GNSS Service
<b>IMF</b>	: Interplanetary Magnetic Field
<b>IONOLAB</b>	: İyonosfer Araştırma Laboratuvarı
<b>JPL</b>	: Jet Propulsion Laboratory
<b>KPSS</b>	: Kwiatkowski D., Phillips PCB., Schmidt P., Shin Y.
<b>MEK</b>	: Mart Ekinoksu
<b>NOAA</b>	: US National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>QBO</b>	: Quasi Biennial Oscillation
<b>PP</b>	: Phillips-Perron
<b>SEKK</b>	: Sıradan En Küçük Kareler
<b>STEİ</b>	: Slant TEİ
<b>TEİ</b>	: Toplam Elektron İçeriği
<b>UPC</b>	: Polytechnical University of Catalonia
<b>URSI</b>	: Radyo Bilim Birliği
<b>VTEİ</b>	: Vertical TEİ

## 1. GİRİŞ

Atmosfer sıcaklık, fiziksel olaylar ve kimyasal bileşenlerine göre çeşitli bölgelere ayrılır (Şekil 1.1.'e bakınız). Sıcaklığa göre tropoküre, stratoküre, mezoküre, termoküre ve egzoküre olmak üzere beş bölgeye ayrılır. Kimyasal bileşenlerine göre ozonküre, iyonküre, helyumküre ve protonküre olmak üzere dört bölgeye ayrılır. Fiziksel özelliklerine göre ise, yerküreye yakın yüksekliklerdeki çok karmaşık olayların etkisi altındaki karışmış bölge, her gazın kendi ağırlığına göre yerçekiminin etkisi altında ayrı ayrı hareket ettiği difüzyon bölgesi ve yerin manyetik alanının yüklü parçacıkları etkisi altına aldığı manyetoküre olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Atmosferin en dışında bulunan tabakaya ise egzoküre adı verilir (Sağır, 2008).



Şekil 1.1. Atmosferin sıcaklığa ve yoğunluğa göre yükseklikle değişimi (Aksakal, 2000)

İyonküre, Atmosferin Güneş ışınları tarafından oluşturulan bölgesine denir. Genellikle eşit sayıda serbest elektron, pozitif iyon ve nötr bileşenlerden oluşmuştur. Bu nedenle, iyonküre, Atmosfer'in iyonlaşmış kısmıdır ve elektriksel olarak nötrdür. Bu özelliğinden dolayı iyonküre doğal bir plazma olarak kabul edilir.

İyonküre'nin oluşumunda en büyük etki Güneş tarafından oluşturulmakla birlikte, her bölgenin kimyasal yapısı ve bileşenleri farklı olduğundan, Güneş'ten gelen farklı dalga boyuna sahip ışınlar farklı yapıda bölgelerin oluşmasını sağlar. İyonküre yaklaşık Yer'den 50 km yükseklikte başlar ve üst sınırı kesin olarak belli olmamakla birlikte, He<sup>+</sup> ve H<sup>+</sup> gibi hafif iyonların O<sup>+</sup> iyonu gibi iyonlara baskın olmaya başladığı yükseklikte bittiği kabul edilir. İyonküre elektron yoğunluğuna göre D, E, F (F1, F2) olmak üzere üç bölgeye ayrılır (Hunsucker ve Hargreeves, 2003; Özcan vd., 1996).

İyonküreyi karakterize eden temel parametre, Güneş aktivitesi, jeomanyetik aktivite, konum, zaman ile değişimler gösteren elektron yoğunluğudur. İyonküredeki birçok parametre elektron yoğunluğunun bir fonksiyonudur. İyonküreyi karakterize eden ve elektron yoğunluğunun bir fonksiyonu olan bir diğer parametre ise Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. TEİ, üst Atmosfer'in ve iyonkürenin yapısı hakkında önemli bilgiler sağlar. TEİ, uydu ve alıcı arasındaki bir sinyal yolu boyunca hesaplanan toplam elektron miktarı olarak ifade edilir, yani elektron yoğunluğunun çizgi integrali olarak tanımlanabilir. TEİ'nin birimi TECU olup, 1 TECU metrekarede 10<sup>16</sup> elektrona eşittir (Nayir, 2007). İyonküredeki değişimler ve bozulmalar, TEİ'nin hesaplanması ve görüntülenmesi ile önemli ölçüde incelenebilir. TEİ elde etmek için yer tabanlı ve uydu tabanlı birçok teknik bulunur. Son yıllarda özellikle Yerküresel Konumlama Sistemi (Global Position System, GPS), yeryüzüne konumlanmış olan alıcıları ile birlikte TEİ hesaplamada ve iyonküresel değişimleri sergilemede etkili çözümler sağlar (Karatay, 2010).

İyonküre'nin zamansal ve uzaysal değişimleri genel olarak Yer'in günlük ve yıllık rotasyonuna ve manyetik alan çizgilerinin dağılımına bağlıdır. Yer'in manyetik alanı, çok nadir olarak bir jeomanyetik fırtına yok ise sakinidir. Bu yönelimler ve periyodik değişimler, "sakin iyonküre" olarak bilinen iyonküreyi biçimlendirir (Rishbeth ve Garriot, 1969). Çok uzun süreli gözlemler sonucunda, Güneş'teki değişimler ile jeomanyetik hareketliliğin, iyonkürenin sakin olduğu dönemlerde bazı sapmalara neden olduğu görülmüştür. Bu sapsmalar, iyonküre içinde bozulmalar olarak saptanmıştır. Eğer Yer'in manyetik alanında bir bozulma gözlenmiş ise iyonkürede bir jeomanyetik fırtınanın başladığı söylenebilir. Jeomanyetik fırtınalar, iyonküredeki zamansal ve uzaysal değişkenliğin temel nedeni sayılabilir. Yer'in manyetik alanındaki bu bozulmaları ölçeklendirebilmek için birçok indis geliştirilmiştir. Bu bozulmalar, Güneş

aktivitesi ile Yer'in manyetik alanın etkileşmesinden kaynaklanır ve iyonkürede ve manyetokürede çok karmaşık dinamiklerle tanımlanır. Literatürdeki (Zhang, ve Xiao 2000; Vlasov vd., 2003; Biqiang vd., 2007; Adekoya vd., 2012; Adibiyi vd., 2014) birçok çalışmada jeomanyetik fırtınaların iyonküredeki elektron yoğunluğunda ve TEİ'de bozulmalara neden olduğu saptanmıştır (Karatay, 2010; Klimenko vd., 2011; De Jesus vd., 2012; D'ujanga vd., 2013).

Bu çalışmada, orta enlemde bulunan Türkiye üzerinde seçilen Ankara istasyon için IONOLAB-TEİ modelinden elde edilen TEİ değerlerinin güneş aktivitesinin minimum (2009) ve maksimum (2015) olduğu yıllarında saat 12:00 UT ve 24:00 UT'de güneş indisler (F10.7 ve IMF Bz) ve jeomanyetik indisler (Kp, Dst) ile değişimi çoklu regresyon modeli kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiştir.

## 2. TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ (TEİ)

Toplam Elektron İçeriği (TEİ), bir uydu ve alıcı arasındaki yol boyunca mevcut toplam elektron sayısını ifade etmektedir. Radyo dalgaları, elektron varlığından etkilenir. Radyo dalgası yolunda elektronlar ne kadar çok olursa, radyo sinyali o kadar çok etkilenir. Uydu iletişimi ve uydu navigasyonu için, TEİ olası uzay hava etkilerini izlemek için iyi bir parametredir. TEİ, metrekaşe başına elektron cinsinden ölçülür. Kurallara göre, 1 TEİ birimi TECU =  $10^{16}$  elektron/m<sup>2</sup>. Dünya iyonküresinde dikey TEİ değerleri birkaçdan birkaç yüz TECU'ya kadar değişebilir. İyonküredeki TEİ, güneş aşırı ultraviyole radyasyonun, jeomanyetik fırtınaların ve alt atmosferden yayılmış olan atmosferik dalgaların etkisi ile değiştirilir. Bu nedenle, TEİ yerel saat, enlem, boylam, mevsim, jeomanyetik koşullar, güneş döngüsü ve aktivitesi ve troposfer koşullarına bağlı olacaktır (URL-1, 2017). En küçük TEİ değeri gece yarısında ve en büyük TEİ değeri öğlen saatlerinde oluşmaktadır. Gece TEİ değişimi elektron ve iyonların durumlarına göre yavaştır. En büyük TEİ değeri genellikle öğleden önce ve en küçük TEİ değeri gün doğumundan hemen önce ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber güneş ışınları direkt ulaştığı için TEİ değişimi kuzeyden güneye doğru artmaktadır (Ulukavak ve Yalçinkaya, 2014 ve içindeki makaleler).

Radyo dalgalarının yayılımı iyonküreden etkilenir. Sinyal, iyonküredeki elektronları geçtiğinde radyo dalgalarının hızı değişir. İyonosfer boyunca iletilen bir radyo dalgasının toplam gecikmesi hem radyo dalgasının frekansına hem de verici ile alıcı arasındaki TEİ'ye bağlıdır. Bazı frekanslarda radyo dalgaları iyonküreden geçer. Diğer frekanslarda, dalgalar iyonküre tarafından yansıtılır. İyonküredeki radyo dalgalarının yol ve hızındaki değişim, GPS / GNSS (Global Navigation Satellite System) gibi uydu navigasyon sistemlerinin doğruluğu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (URL-1, 2017).

İyonküre TEİ'deki değişimleri göz ardı ederek, pozisyon hesaplamalarında onlarca metre hata ortaya çıkarabilir. GNSS'nin ABD parçası olan GPS, tek frekanslı GPS alıcıları kullanıldığında iyonkürenin neden olduğu konumlandırma hatasının bir bölümünü hesaplamak ve kaldırmak için, iyonküre, Klobuchar modeli için ampirik bir model kullanmaktadır. Koşullar Klobuchar modeli tarafından öngörülen şartlardan farklı

olduğu zaman, GPS / GNSS sistemleri daha fazla konumlandırma hatalarına sahip olacak (URL-1, 2017).





### 3. TEİ MODELLERİ

İyonoküreyi kestirmek için günümüzde kullanılmakta olan birçok yarı-deneysel model vardır. Bent İyonosküre Modeli, Parametrize İyonküre modeli, NeQuick modeli ve Uluslararası Referans İyonküre (International Reference Ionosphere-IRI) modeli dünya çapında en iyi bilinen ve çok sayıda iyonküre araştırmacısı tarafından kullanılan modellerdir. Bu modeller herhangi bir konumda ve zamanda yakındaki ölçümler olmadan iyonkürenin küresel davranışını tanımlarlar.

TEİ ölçümleri için kullanılan bu yarı-deneysel modellerin yanı sıra GPS ölçümlerini kullanan çok sayıda merkez ve üniversite vardır. Jet Propulsion Laboratory (JPL), Center for Orbit Determination in Europe (CODE), International GNSS Service (IGS), US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), University of New Brunswick (UNB), European Space Agency (ESA), Polytechnical University of Catalonia (UPC), İyonosfer Araştırma Laboratuvarı (IONOLAB) bunlardan bazılarıdır (Alçay ve Öztan, 2016). Bu bölümde bu modellerden birkaç tanesi tanıtılacaktır.

#### 3.1. IONOLAB-TEİ Modeli

IONOLAB-TEİ, F. Arıkan, C. B. Erol ve O. Arıkan tarafından geliştirilen, TEİ Düzgünleştirilmiş TEİ (D-TEİ) algoritması ile 30 saniye zaman çözünürlüğünde, alıcının yerel dikey doğrultusunda ve yüksek çözünürlüklü TEİ kestirim yöntemidir (Arıkan vd., 2003; Nayir, 2007). IONOLAB-TEİ değerleri uydu ve alıcı yanılma değerleri ve uydu konumları kullanılarak ön-işlenmiş RINEX dosyalarından tahmin edilir (Sezen vd., 2013). Bir ışın yolu üzerindeki elektronların toplam sayısı Eğimli (Slant) TEİ (STEİ) olarak isimlendirilir. Frekanslar arası uydu yanılması, IONOLAB-BIAS frekanslar arası alıcı yanılması ve Nayir vd. (2007) de sağlanan modeldeki sözde aralıklı temel faz gecikmesi değerleri kullanılarak her uydu için STEİ (IONOLAB-STEİ) 30 s zaman çözünürlüğü ile hesaplanır. Yerel zenit doğrultusundaki elektronların toplam sayısı Dikey (Vertical) TEİ (VTEİ) olarak isimlendirilir. VTEİ “haritalama fonksiyonu” kullanarak STEİ den elde edilebilir. IONOLAB-STEİ 30 s’lik bir zaman çözümlemesi ile uydunun her bir konumu için haritalama fonksiyonunun uygulanması ile IONOLAB-TEİ’ye dönüştürülür (Sezen vd., 2013). Bu yöntem, yükseklik acısı  $10^0$ den fazla olan uydulardan hesaplanan VTEİ değerlerinin yüksek geçiren ceza filtresi kullanan en az kareler yöntemi ile birleştirilmesine dayanır. Kayan ortanca filtre ile kestirilen değerlerdeki düzensizlikler giderilmektedir. Yöntem VTEİ değerlerini uyduların yükseklik acılarına göre

ağırlıklandırarak, çoklu yol etkisinden kaynaklanan hataları azaltmaktadır. IONOLAB-TEİ yöntemi ile istenilen bir gün boyunca TEİ kestirimi yapılabildiği gibi, bir günün sınırlı bir zaman aralığında da TEİ kestirimi yapılabilmektedir. IONOLAB-TEİ hesaplanma algoritmasında alıcı yanlılığı yine IONOLAB grubu tarafından geliştirilen özgün IONOLAB-BIAS kullanılmaktadır (Köroğlu, 2012).

Nayir vd. (2007) iyonküre yüksekliği, STEİ'ten VTEİ'e dönüşümü sağlayan izdüşümü fonksiyonu, uyduları yükseklik açılarına göre ağırlıklandıran fonksiyon, uydu ve alıcı yanlılıklarının kestirimlere eklenmesinin IONOLAB-TEİ yöntemine etkisini incelemiştir. IONOLAB TEİ kestirimlerinin iyonküre yüksekliğindeki değişimlerden etkilenmediği gözlenmiş, diğer parametrelerin en uygun değerleri seçilerek yöntem bütün enlemler ve güneş aktivitesinin bütün durumları için kullanılabilir hale getirilmiştir. Uğurlu (2007) tarafından geliştirilen bir uygulama ile IONOLAB-TEİ yöntemi [www.ionolab.org](http://www.ionolab.org) üzerinden otomatik ve çevrimiçi olarak kullanıcılara sunulmaktadır. IONOLAB-TEİ yöntemine, internet üzerinden erişilerek istenilen bir gün ve istasyon için TEİ kestirimlerine ulaşılabilmektedir. Bunun yanında istasyonlar arası veya aynı istasyon için günler arası TEİ kestirim karşılaştırılması da sağlanmaktadır. Kestirimler, uygulama üzerinden kestirimler ile de karşılaştırılabilmektedir (Köroğlu, 2012).

### **3.2.Uluslararası Referans İyonküre (IRI) TEİ Modeli**

IRI dünya çapında yer-temelli gözlemlerden bir de uydu gözlemlerinden ulaşılabılır tüm verilere dayanan iyonküresel parametrelerin detaylı tanımlaması için uluslararası bir standart kurmak amacıyla Uzay Araştırma Komitesi (COMMITTEE ON SPACE RESEARCH- COSPAR) ve Radyo Bilim Birliği (URSI) tarafından desteklenen uluslararası bir projedir ve bu model gerçek-zamanlı IRI elde etmek için düzenli olarak geliştirilmektedir (Oiwendo vd., 2013; Bilitza vd., 2014; Alçay ve Öztan, 2016). 1968 yılından itibaren modelde çok sayıda iyileştirme gerçekleştirilmiş olup, en son geliştirilen model IRI-2016 (<http://www/irimodel.org/IRI-2016/>) dır (Alçay ve Öztan, 2016). Bu model 50-2000 km lik mevcut yükseklik bölgesinde yüksekliğin, konumun, yerel zamanın ve iyon sürüklenmesinin bir fonksiyonu olarak elektron yoğunluğunun, elektron içeriğinin, elektron ve iyon sıcaklıklarının ve iyon karışımının aylık ortalamasını tanımlar (Bilitza ve Reinisch, 2008). Veri temelli bir model olduğu için belli bir bölge ve zaman döneminde modelin doğruluğu o bölge ve zaman dilimi için güvenilir verilerin elde edilebilmesine bağlıdır.

IRI TEİ tahminleri modele girdi olarak konum, tarihler ve zaman periyodu kullanılarak IRI-2016 modellinden hesaplanır. IRI-2016'dan IRI-TEİ yi tahmin etmek için [http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2016\\_vitmo.html/](http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2016_vitmo.html/) web sayfasından interaktif olarak ulaşılabilen IRI ana sayfasını kullanabiliriz. IRI-2016 üst taraf elektron yoğunluğu ve taban yüzü kalınlığını üç farklı seçenek ile tanımlar. Bu seçeneklerden NeQuick iyonküresel TEİ'nin bazı çalışmalarda en iyi tahminini sağlıyor gibi görüldüğü ifade edilmiştir (Coisson vd., 2006; Chauhan ve Singh, 2010; Tariku, 2015).

### **3.3. IRI-PLAS TEİ Modeli**

IRI modeli ile TEİ değerleri ancak 2000 km yüksekliğe kadar elde edilebilmektedir. 2000 km'nin de üzerindeki bilgilerin IRI modeli ile elde edilmesi için, Global Core Plasma Model (GCPM-2000), Global Plasmasphere Ionosphere Density (GPID), IMAGE/RPI plasmasphere model ve IZMIRAN plasmasphere model gibi birçok model önerilmiştir (Bilitza ve Gulyaeva, 2012). IRI-PLAS modelinin üst sınırı GPS uydularının yörünge yüksekliği olan 20200 km'dir (Arikan vd., 2015). IONOLAB grubu oluşturdukları kullanıcı ara yüzü servise IRI-PLAS modeline ilişkin algoritmayı da eklendiğinden, IRI-PLAS tabanlı TEİ değerleri rahatlıkla elde edilebilmektedir. Bu servis verilen tarih, zaman ve konum için IZMIRAN plasmasphere modelinden yararlanarak TEİ verilerinin de bulunduğu birçok parametreyi sunmaktadır (Alçay ve Öztan, 2016).

## 4. TEİ DEĞERLERİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

TEİ değerlerini etkileyen süreçler, iç dinamikler (fiziksel ve kimyasal süreçler), güneş parametreleri, jeomanyetik parametreler, meteorolojik süreçler, Galaktik ve kozmik ışınlar şeklinde sıralanabilir (Lastovicka, 2006; Atıcı ve Sağır, 2016; 2017; Yiğit vd., 2016). Bu çalışmada bu süreçlerden sadece güneş (F10.7, IMF gibi) ve jeomanyetik (Dst, Kp gibi) etkenlerden bazıları göz önünde bulundurulmuştur.

### 4.1. Güneş Parametreleri

Atmosfer, güneşte farklı yollarla üretilen ışımanın büyük çoğunluğundan etkilenir. Güneş ultraviyole (UV) düzensizliği (115-420 nm), mezoküre alt termoküre, stratokürede momentum dengesi, foto kimyasal süreçler ve sıcaklık dağılımında baskın bir rol oynar. Bunun yanı sıra iyonküre elektron yoğunluğu, temelde güneş aktivite olayları tarafından üretilen güneş ışımaları (EUV, X ışınları vb.) aracılığıyla üretilir. Güneşte meydana gelen değişimlerin iyonküre üzerindeki etkisi tespit etmek için çeşitli güneş parametreleri tanımlanmıştır. İyonküre hakkında yapılan ilk çalışmalarda güneş parametrelerinden sadece Güneş Lekesi Sayısı (GLS-R) bilindiği için diğer parametreler göz önünde bulundurulmamaktaydı. Fakat teknolojinin gelişmesi ile güneş parametrelerinin sayısı gittikçe artmaktadır (Özgüç vd., 2008). Bu çalışmamızda güneş indislerinden F10.7 ve IMF hakkında bilgi verilecektir.

#### 4.1.1. F10.7 güneş akısı

Güneşin 10.7 cm dalga boyunda (2800 MHz) bant üzerindeki ışınım miktarını ifade eden indistir. Güneş Akısı, Güneş aktivite seviyesini gösteren en yaygın kullanılan parametredir. Bu parametre Penticton (Kanada) gözlemünde ölçülmektedir ve UV ve X-ışınlarıyla çok yakından ilişkilidir. Yüksek Güneş akısında iyonküre güçlüce iyonlaşır ve yüksek frekansların kırılmasına olanak sağlar. Güneş akısı görsel olarak Güneş Lekesi Sayısı (GLS) ile de ilişkilidir (URL-2, 2017).

$$SFU=63.7+0.727\times(GLS)+0.000895\times(GLS)^2 \quad (4.1)$$

Birimi s.f.u olarak tanımlanır ve s.f.u= $10^{-22}$  W m<sup>-2</sup>Hz<sup>-1</sup> dir. Bir güneş periyodunda bu değer 50 s.f.u dan 300 s.f.u ya kadar değişebilir. Bu karakteristiğinin iki tanımı vardır. “gözlenmiş” olarak adlandırılan değerler radyo teleskopundan elde edilir ve yeryüzüne

ait çalışmalar için kullanılır. “düzeltilmiş” olarak adlandırılan değerler ise Yer’in Güneş’e olan değişken uzaklığına göre düzeltilir ve Güneş araştırmaları için kullanılır (Mosna vd., 2007; Karatay, 2010).

10.7 cm (2800 MHz) deki Güneş radyo akımı güneş aktivitesinin mükemmel bir göstergesidir. Genellikle F10.7 indisi olarak adlandırılan indis güneş aktivitesinin en uzun süreli kayıtlarından biridir. F10.7 radyo emisyonu güneş atmosferinin çekirdeğinde düşük, kromosferde yüksek oranda üretilir. F10.7, güneş ışık sistemi kayıtları, UV sayısının yanı sıra SSN ile de güçlü ilişkiye sahiptir. F10.7 ilk kez Ottawa’da ardından Columbia’da 1947’den beri sürekli olarak ölçülmektedir. Pek çok güneş indisinin aksine F10.7 radyo akısı, havanın tüm durumlarında Dünya’nın yüzeyinden günlük olarak kolaylıkla güvenilir şekilde ölçülebilir.

F10.7 indisi uzay hava kestirimleri ve özelliklerinde çok değerli bilgiler sağlar. Uzun süredir kaydedildiği için 6 güneş devrini aşan güneş aktivitesi iklim bilimi hakkında da bilgi verir. Güneşin çekirdeği ve kromosferinden geldiği için güneş atmosferinin bu bölgelerinde oluşan diğer önemli emisyonlar hakkında da bilgiler verir. Üst atmosferi değiştiren Aşırı Ultraviole (EUV-Extreme Ultraviolet) emisyonu F10.7 indisi ile uyumludur. Stratoküreyi ve ozon tabakasını da etkileyen pek çok UV emisyonu F10.7 ile uyumludur. F10.7 ölçümleri havanın tüm durumlarında Dünya’nın yüzeyinden günlük olarak kolaylıkla güvenilir şekilde ölçülebildiği için kalibrasyon konularında veya birkaç boşluklu veri setleriyle çok sağlam verilerdir (URL-3, 2016).

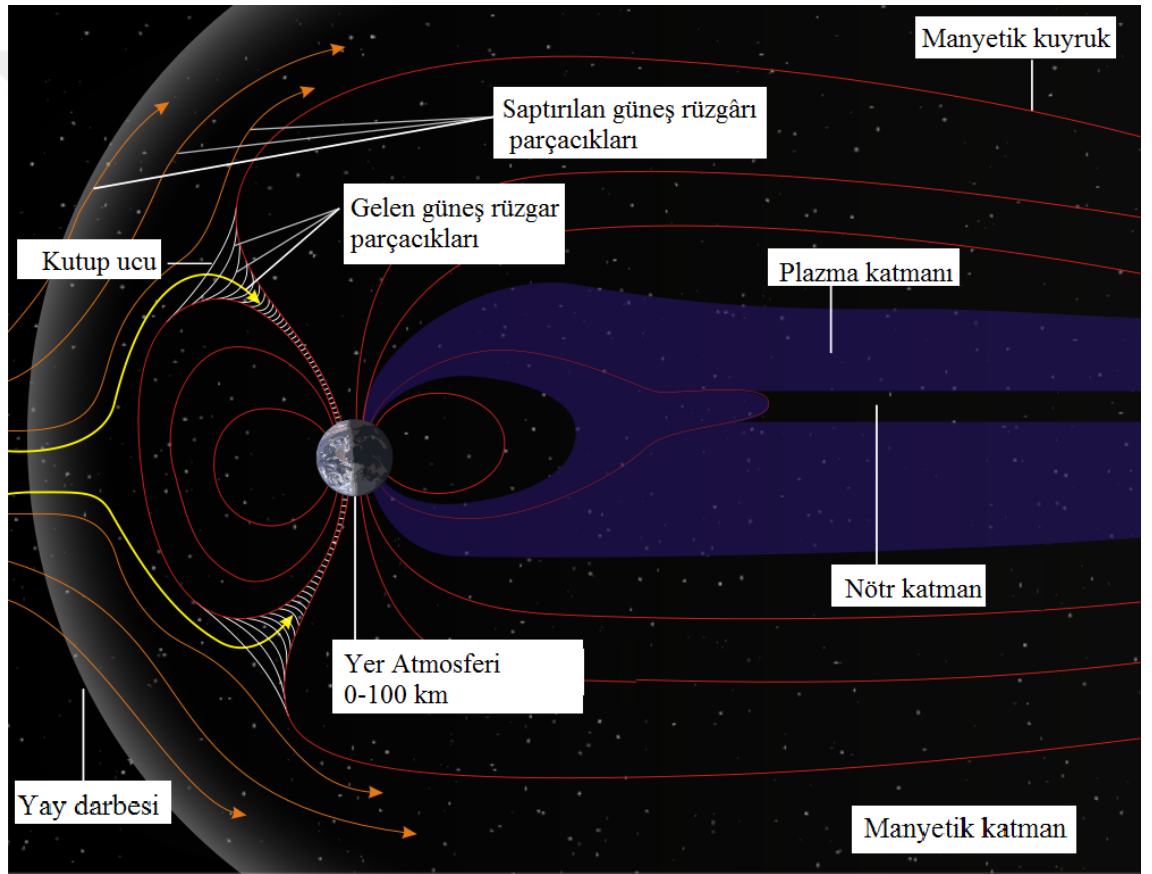
#### **4.1.2. Gezegenler arası manyetik alan (IMF)**

Güneş büyük bir mıknatıs gibidir. Güneş minimumu boyunca güneşin manyetik alanı dünyanınkine benzer şekilde yani demir bir çubuk mıknatıs şeklindedir. Ekvator yakınında büyük kapalı halka şeklinde ve kutup civarında açık alan çizgilileri şeklindedir. Bilimsel olarak bir ‘dipol’ alanı olarak adlandırılır. Güneşin dipolar alanı yaklaşık 50 gauss tur. Dünyanın manyetik alanı yüz kat daha zayıftır.

Güneş maksimumu yılları boyunca (2000 ve 2001 yılları iyi birer örnektir.) güneşin yüzü karabiber şeklindedir. Güneş lekeleri yoğun manyetik döngülerin olduğu yerde bulunur. Bu döngülerin olduğu bir ortam dipol alanından yaklaşık 100 kat daha güçlüdür. Güneş lekesi manyetik alanı bu dipolü etkisi altına alır. Ve sonuç olarak yıldızın yüzeyine yakın güneşin manyetik alanı daha karmaşık olur.

Güneşin manyetik alanının etkisi sadece dünya ile sınırlı değildir. Güneş rüzgârları güneş sistemi boyunca ulaşır. Güneşin manyetik alanı olarak adlandırılan ifade “Interplanetary Magnetic Field-IMF” olarak ifade edilir. Güneş her 27 günde bir kez döndüğü için IMF küre şeklindedir.

Dünya dış uzaydan gelen güneş rüzgarlarını soğuran, manyetoküre olarak adlandırılan ve Şekil 3.1.’de verilen ve dünyayı çevreleyen bir manyetik alana sahiptir. Dünyanın manyetik alanı ve IMF manyetopauseta etkileşime girer. Eğer IMF güneyi gösterirse güneye doğru Bz olarak adlandırılan bilimsel bir koşul olur. O zaman IMF bu noktada kısmen Dünyanın manyetik alanından içeri girebilir.



Şekil 4.1. Manyetoküre ve Magnetopausenin gösterimi (URL-4, 2018)

Bz güney yönünde olduğunda, yani, Yer’in manyetik alanına ters olduğunda, iki alan birbiri ile birleşir. Bz’nin Güney-yönü güneş rüzgârından gelen enerjinin Yer’in atmosferine ulaşabildiği bir kapı açar. Bz’nin güney yönü güneş rüzgâr fırtınaları veya gezegenimizin manyetoküresinin içine enerji enjekte etme kabiliyetinde olan kronal kütle boşalımınları tarafından tetiklenen yaygın Auroraların (Kutup ışıkları) habercisidir (URL-5, 2016).

## 4.2. Jeomanyetik Parametreler

Jeomanyetik aktivite bazı indislerle ifade edilir. Manyetik aktivite indisleri adı verilen bu indisler, düzensiz akım sisteminden etkilenen jeomanyetik alandaki değişimleri tanımlamak için kullanılır. Bu çalışmada kullanılması düşünülen indislerden bazıları aşağıda verilmiştir.

### 4.2.1. K ve Kp indisi

K-indisi, 13 tane orta-enlem istasyonundan elde edilir. Yer'in manyetik alanının tüm Dünya üzerinden elde edilen değerlerinin ortalamasıdır (Trigunait, vd., 2004). Manyetik alanın değeri konuma göre büyük ölçüde değişiklik gösterdiğinden dolayı, manyetik alan ölçümleri K-indisini oluşturmak için her bir istasyonda toplanır (Bratsolis ve Sigelle, 2003). Yerel olan K-indisi, manyetik alandaki 3 saatlik düzensizliklerin ya da bozulmaların büyüklüğünü gösterir (00 00-03 00, 03 00-06 00,....., 21 00-24 00). Her bir istasyon için nT cinsinden manyetik alan ve K-indisi arasındaki dönüşüm logaritmiktir ve her bir istasyon için farklılık gösterir (Bratsolis ve Sigelle, 2003). Çizelge 4.1.'de K-indisi ile manyetik alan arasındaki ilişki verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** K-indisine karşılık gelen manyetik alan şiddeti değerleri (Bratsolis ve Sigelle, 2003)

K-indisi	nT
0	0-5
1	5-10
2	10-20
3	20-40
4	40-70
5	70-120
6	120-200
7	200-330
8	330-500
9	>500

K-indisi, 0 ile 9 arasında değerler alır.

Çizelge 4.2.'de K-indisine bağlı olarak manyetik fırtınanın dereceleri ifade edilmiştir.

**Çizelge 4.2.** K-İndisi'nin dereceleri (Trigunait vd., 2004)

K0	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Aktif değil	Çok sakin	Sakin	Tedirgin	Aktif	Küçük fırtına	Büyük fırtına	Şiddetli fırtına	Çok şiddetli fırtına	Uç, aşırı fırtına

Dünyasal Kp-indisi, dünya üzerine dağılmış 12-13 istasyondan alınan 3 saatlik K-indisi değerlerine dayalı olarak Gottingen/ALMANYA’da oluşturulan jeomanyetik indistir (Trigunait, vd., 2004). Kp-indisi, 44° ile 60° arasındaki güney ya da kuzey enlemlerinde yer alan 13 gözlem evinden elde edilen K-indisinin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır. Ölçeği 0 ile 9 arasında değişir. Güneşten gelen parçacık yayılımının etkilerini ölçmek için elde edilir (Bratsolis ve Sigelle, 2003; Karatay, 2010).

#### **4.2.2. Dst (Disturbance Storm Time) indisi**

Dst (Equatorial Disturbance Storm Time), ekvatorial tedirgin fırtına zamanı indisini temsil eder. Jeomanyetik indekslerin tümü arasında Dst indisi, muhtemelen tasarlandığı olguyu en iyi doğrulukla izleyen ve kaydeden bir indekstir. Bunun nedeni, halka akımının neden olduğu manyetik varyasyonların basit olmasıdır: neredeyse ekstenel olarak simetrik ve boylama veya yerel saate bağımlı değildirler. Türevde diğer geçici veya düzensiz varyasyonların ortalaması alındığı varsayılırsa, artık özetlenen bilgi değil, olgunun saf bir kaydı olan bir indeks elde edilir ve herhangi bir örnekleme oranı seçilebilir (Mayaud, 1980).

Ekvatorial akım zincirindeki değişimleri tanımlayan bir jeomanyetik indistir. Saatlik Dst-indisi ekvator bölgesi içindeki manyetometre istasyonlarından elde edilir. Ekvator bölgesini kapsayan düşük enlemlerde H manyetik alan bileşeni, Manyetosferik akım zincirinden etkilenir. Dst-indisi, bu sarsımın saatlik ortalamasıdır (Chiang ve Braatz, 2003). Bu veriler 1957’den 1994 yılına kadar günlük ortalamaları ile birlikte saatlik indeks değerlerine göre düzenlenmiş şekildedir. Bu veriler NASA ile ilişkili Kyoto Üniversitesi Fen Fakültesi tarafından düzenlenmiştir.

Ekvatorial manyetik tedirginlik indislerine eşdeğer olan Dst düşük enlem yatay manyetik değişimin saatlik ölçeklerinden türetilir. Dst, büyük manyetik fırtına süresince H bileşen alanında dünya çapında “ana faz” tedirginliğine sebep olan üst yüksekliklerdeki ekvatorial halka akımının küresel simetrik olarak batıya doğru akışını etkiler (URL-6, 2016).

Jeomanyetik fırtına gücünün bir indisi olarak Dst nin kullanımı uygundur. Çünkü düşük enlemlerde yüzey manyetik alanının gücü jeomanyetik fırtınalar boyunca artan halka akımının enerji içeriğiyle ters orantılıdır. Klasik manyetik fırtına durumunda Dst



ani bir artış gösterir. Ardından halka akımının yoğunlaştırılması olarak keskin bir şekilde azalma gösterir. Gezegenler arası manyetik alan (IMF-Interplanetary Magnetic Field) tekrar kuzeye döndükten sonra halka akımı yenilenmeye ve Dst kendi sakin zamanlı seviyesine yavaşça dönmeye başlar. Halka akımının enerji içeriği ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ters ilişki Dessler-Parker-Sckopke ilişkisi olarak bilinir. Aynı zamanda diğer akımlar da en önemli magnetopause akımı olan Dst ye katkı sağlar. Dst indisi sakin zamanlı halka akımının yanı sıra bu akımın katkısını ortadan kaldırmayı doğrular (Hamilton vd., 1998). Manyetik fırtınayı ifade eden Dst ve Kp indis değerleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Manyetik fırtına seviyeleri (Cveer, 2002)

Manyetik fırtınanın derecesi	Kp indisi	Dst indisi (nT)
G1 Küçük (Minor)	K=5	Dst>-20
G2 Orta (Moderate)	K=6	-20>Dst>-50
G3 Kuvvetli (Strong)	K=7	-50>Dst>-100
G4 Ağır (Severe)	K=8	-100>Dst>-250
G5 Asırı (Extreme)	K=9	-300>Dst

## 5. MATERYAL ve METOT

İstatistik, değişik anlamlarda kullanılan, bunun sonucu olarak da farklı tanımları olan bir kavramdır. Kavramın değişik anlamlarda kullanılması bir bakıma doğaldır. Çünkü istatistik günümüzde bütün çalışma alanlarında kullanılmaktadır. Tüm kavramlarıyla birlikte istatistiği genel olarak Őu Şekilde tanımlayabiliriz. Belirli amaçlarla toplanan benzer sayısal bilgilere “veri” denir. Verileri inceleme iŐiyle uęraŐan bilim dalına da istatistik denir. Bu anlamı ile istatistik, belirli amaçlar için belirli yollarla veri toplama ve verileri inceleme amacıyla geliştirilmiŐ teknikler ve yöntemler bilimidir (Sağır, 2013).

Bu tezde kullanılması düşünölen yöntem olan çoklu regresyon modeli, bir dönemden diğerine değişkenlerin değerlerinin ardışık bir Şekilde gözlendiği sayısal büyüklükler olan zaman serilerinin arasındaki ilişkiyi inceleyen bir modeldir. Değişkenlerin zaman içinde ardışık bir Şekilde gerçekteŐmesi bir koşul olmasa da düzenli aralıklarla dizinin gelişimini görme açışından gereklidir.

Çoklu regresyon modelinde öncelikle bu zamanla değişen serilerinin durağanlık özellikleri irdelenir. Değişkenler arasında anlamlı istatistiksel ilişkilerin incelenebilmesi için serilerin durağan olması beklenmektedir. Zaman içerisinde ortalaması ve varyansı değişen seriler, durağan olamayan veya birim kök içeren seriler olarak adlandırılmaktadır. Zaman serilerinde birim kökün varlığını araŐtıran ve literatürde yaygın Şekilde kullanılan test Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testidir. Bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin modele dahil edildiği denklem, bir sabit ve bir zaman trendi içerecek Şekilde aşağıdaki gibi formöle edilebilir.

$$\Delta y_t = \mu + \beta t + \delta y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \alpha_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (5.1)$$

Burada  $\Delta$  fark iŐlemcisi,  $t$  bir zaman trendi,  $\varepsilon$  hata terimi,  $y$  bağımlı değişken,  $\mu$  ortalama değer,  $\beta$  zaman trendinin katsayısı,  $\alpha_j$  bağımsız değişkenlerin katsayıları ve  $k$  ise gecikme sayısıdır (Sağır, 2013). Ayrıca, ADF testinde gecikme uzunluklarının doğru seçilmesi testin gücü ve parametrelerin anlamlılık düzeyleri bakımından önemlidir. ADF testi  $\delta$  parametresinin tahminine dayanmaktadır.  $\delta$  parametresinin istatistiki olarak sıfırdan farklı olacak Şekilde anlamlı çıkması, serilerin durağan olmadığı Őeklindeki boş hipotezin reddedileceği anlamına gelmektedir (Sağır, 2013).

Hata terimleri konusundaki sınırlayıcı varsayımlara yer vermeyen ve yüksek derecedeki korelasyonu kontrol etmek için geliştirilen Phillips-Perron (PP) testi, ADF testini tamamlayıcı bir birim kök testidir. PP testinde otokorelasyonu gidermeye yetecek kadar bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri modele dahil edilmemekte, bunun yerine Newey-West tahmincisi ile uyarlanmaktadır (Enders, 1995; Sağır, 2013).

Bu birim kök testi dışında KPSS (Kwiatkowski D., Phillips PCB., Schmidt P., Shin Y.) testi de her bir değişkenin durağanlığını etraflıca analiz etmektedir. KPSS diğer testten farklı olarak boş hipotez altında serinin durağan olduğunu ifade etmektedir. KPSS istatistiği, zaman serisinin dışsal değişkenlerle regresyondan elde edilen hata terimlerine bağlıdır (Kwiatkowski vd., 1992). Her üç test için de, değişkenlerin test istatistiğinin ( $\tau$ ) mutlak değerinin MacKinnon (1996) tarafından tablolaştırılan kritik değerlerin mutlak değerinden büyük olması durumunda serinin durağan olduğu sonucuna ulaşılır (Enders, 1995).

İki zaman serisi durağan değil ancak bu değişkenlerin durağan doğrusal bir bileşimleri varsa eş-bütünleşme ilişkisinden söz edilir. Eş-bütünleşme analizi durağan olmayan zaman serileri arasındaki uzun dönem ilişkisinin tahmin edilmesine yöneliktir. Eş-bütünleşmenin varlığı değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu anlamına gelmektedir. Eş-bütünleşme analizinde Engle-Granger yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun dönem ilişkilerin Engle-Granger yöntemi ile aynı derecede durağan iki değişken arasındaki eş-bütünleşme analizine dayanır. Engle-Granger yönteminde ilk aşama denklemdeki değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin Sıradan En Küçük Kareler (SEKK) yöntemi ile tahmin edilmesidir (Engle ve Granger, 1987). SEKK yöntemi ile denklemdeki değişken katsayıları tahmin edildikten sonra, bu regresyonun hata terimleri serisinin düzeyde durağan olup olmadığına bakılır.

$$\varepsilon_t = X_t - \beta_0 - \beta_1 Y_t - \beta_2 Y_t^2 \quad (5.2)$$

Burada X bağımlı değişken Y bağımsız değişken olmak üzere  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ikinci dereceden regresyon katsayılarıdır (Sağır, 2013).

Literatürde çoklu regresyon modeli ile foF2 nin Quasi Biennial Oscillation (QBO) ve Güneş Lekesi Sayısı (GLS) ile ilişkisi Sağır (2013) tarafından incelenmiştir. Bu değişkenler arasında, lineer bir fitin doyum etkisinden dolayı veri değerleri regresyon

eğrisi etrafında toplanmadığı durumda ikinci dereceli bir fit ekleyerek ifade etmiştir. Bu çalışmaya göre foF2 kritik frekans değeri ile GLS arasındaki doğrusal ilişki;

$$\begin{aligned} \text{foF2}_t = & \beta_0 + \beta_1 \text{GLS}_t + \beta_2 \text{GLS}_t^2 + \beta_3 \text{QBO}_t + \text{Dummy1}_t + \text{Dummy2}_t \\ & + \text{Dummy3}_t + \text{Dummy4}_t + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (5.3)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  ikinci dereceden regresyon katsayılarıdır. “Dummy” değişkenleri temel alınan çalışmada bir rüzgâr olan QBO'nun yönlerinin etkisini kestirmek için modele eklenen kukla değişkenlerdir (Sağır, 2013). Burada düşünülen çalışmada bu kukla değişkenler kullanılmayacaktır. Regresyon modelini SEKK ve Zaman Serileri analiz tekniklerini kullanılarak tahmin edilmiştir.

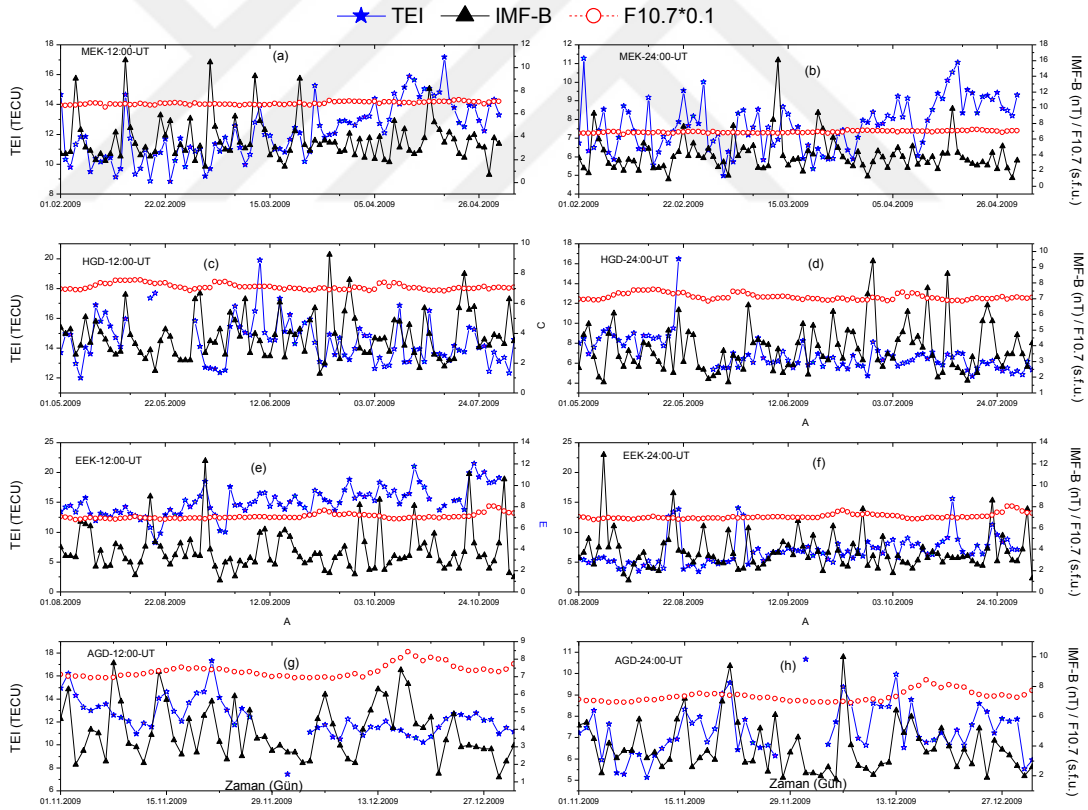
Yukarıda tanımlanan yöntem, tez çalışmasında TEİ nin, güneş ve jeomanyetik indislerle arasındaki ilişkinin araştırılmasında geliştirilerek kullanılmıştır.

## 6. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada 24. Güneş Devrinin (GD) minimum (2009) ve maksimum (2015) olduğu yıllar için Türkiye'nin Ankara ilinde bulunan GPS koordinatlarında (39.7 K; 32.76 D) IONOLAB grubu tarafından sağlanan web adresinden elde edilen TEİ değerlerinin güneş (IMF ve F10.7) ve jeomanyetik (Dst ve Kp) parametreler ile ilişkisi istatistiksel çoklu regresyon modeli aracılığıyla incelendi. Bu inceleme her iki yılda gece (24:00 UT) ve gündüz (12:00 UT) saatlerinde yapıldı.

### 6.1. Güneş Aktivitesinin Minimum Olduğu Durumda TEİ Değişimi

Literatürde uzun güneş minimumu olarak tanımlanan yıllardan biri olan 2009 yılında güneş parametrelerinden F10.7 güneş akısı ve gezegenler arası manyetik alan (IMF) orta enlem iyonküresi üzerindeki değişimi Şekil 6.1.'de gösterilmektedir.



**Şekil 6.1.** 2009 yılı için güneş parametreleri ile TEİ değerlerinin ekinoks ve gündönümlerinde zamanla değişimi. Burada Mart Ekinoksu (MEK, Şubat, Mart ve Nisan) aylarını, Eylül Ekinoksu (EEK, Ağustos, Eylül ve Ekim) aylarını, Haziran Gün Dönümü (HGD, Mayıs, Haziran ve Temmuz) ve Aralık Gün Dönümü (AGD, Kasım ve Aralık) aylarını içerir.

2009 yılı içerisinde Güneş'in oldukça sakin olmasından dolayı, şekilden hem ekinoks hem de gündönümü ayları için 12:00 ve 24:00 UT'de IMF ile TEİ değişiminin

genellikle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Fakat F10.7 güneş akısı ile TEİ arasında 2009 yılı içerisinde belirgin bir ilişkiden bahsedilemez. F10.7 güneş akısının tüm yıl süresince oldukça sabit kaldığı söylenebilir. Ayrıca, tüm zaman dönemlerinde TEİ değerlerinin beklendiği gibi gündüz gece değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Mevcut çalışmada çoklu regresyon analizi üç aşamadan meydana gelir. İlk aşamada değişkenlerin durağanlıkları kontrol edilir. Birim kök testinde amaç değişkenlerin durağanlığını test etmektir. Durağanlık, regresyon analizi için ön koşul olduğundan dolayı, bu çalışmada üç ayrı test (ADF, PP, KPSS) ile araştırılmıştır. Bu testin ana mantığı tablonun üst tarafında her bir test türünde değişkenler (TEİ, F10,7 ve IMF) için elde edilen değerlerin tablonun alt kısmında verilen MacKinnon (1996) kritik değerinden mutlak değer olarak büyük olmasıdır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak anlamlılık seviyesini de gösterir.

**Çizelge 6.1.** 2009 yılı evrensel zaman 12:00 ve 24:00 için TEİ, IMF ve F10.7 değerlerinin birim kök testi sonuçları

Değişkenler	SAAT 12:00			SAAT 24:00		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
TEİ	-1.72	-7.24	0.28	-9.36	-9.36	0.21
F10.7	-4.28	-4.92	0.14	-4.28	-4.92	0.14
IMF	-19.48	-19.62	0.06	-16.15	-16.34	0.06
D(TEİ)	-13.0	-87.0	0.29	-	-	-
D(IMF)	-13.13	-178.2	0.19	-	-	-
<b>İstatistiksel anlamlılık seviyesi</b>	<b>MacKinnon(1996) kritik değerleri</b>					
<b>1%</b>	-3.98	-3.97	0.21			
<b>5%</b>	-3.42	-3.42	0.14			
<b>10%</b>	-3.13	-3.13	0.11			

Çizelge 6.1. güneş aktivitesinin minimum olduğu durumda evrensel zamanı (UT) 12:00 ve 24:00'da TEİ, F10.7 ve IMF değişkenlerinin birim kök testi sonuçları göstermektedir. Çizelgede görüleceği üzere TEİ değişkeninin saat 12:00 UT'de PP ve KPSS testlerinde %1 oranında anlamlı ve durağan olduğu fakat ADF testinde ise durağan olmadığı görülmektedir. Değişkenimiz saat 12:00 UT'de ADF testinde durağan olmadığı için TEİ değerinin birinci farkı [D(TEİ)] alındı. Birinci fark değeri için TEİ değerinin ADF, PP, KPSS testlerinin tümünde %1 oranında anlamlı ve durağan olduğu

görülmektedir. F10.7 ve IMF değişkenlerinin ADF ve PP testlerinde %1 anlamlılık seviyesinde anlamlı ve durağan olduğu görülmektedir. Ancak, KPSS testinde F10.7 güneş akısının %5 oranında anlamlı ve durağan olduğu, IMF değişkeninin ise anlamlı ve durağan olmadığı görülmektedir. Bu yüzden IMF'in birinci fark değeri [D(IMF)] alınarak durağanlığı incelendi. IMF'nin birinci fark değerinin (D(IMF)) ADF ve PP testlerinde %1 oranında fakat KPSS testinde ise %5 seviyesinde anlamlı olduğu görülmektedir.

Saat 24:00 UT'de ise TEİ değişkeninin ADF, PP, KPSS testlerinin tümünde %1 anlamlılık düzeyinde anlamlı ve durağandır. F10.7 ve IMF değişkenlerinin ise ADF ve PP testlerinde %1 seviyesinde durağanken, KPSS testinde F10.7 değişkeni %5 anlamlılık seviyesinde durağandır. Fakat IMF değişkeni durağan değildir. Bu çalışmada üç durağanlık testinden ikisinde durağanlığın elde edilmesi amacımız için yeterli olduğundan dolayı IMF değişkeninin KPSS testinde durağan olmaması bir sorun oluşturmaz.

TEİ ile güneş parametreleri arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak incelenmesi için Denklem (5.3) ile verilen regresyon denklemi değişkenlerin durağanlığına bağlı olarak her bir durum için ayrı ayrı ifade edildi. Buna göre güneş parametreleri için elde edilen yeni denklemlerimiz aşağıdaki gibi verilir:

Saat 12:00 için;

$$TEİ_t = \beta_0 + \beta_1 F10.7_t + \beta_2 D(IMF)_t + \varepsilon_t \quad (6.1)$$

Saat 24:00 için;

$$TEİ_t = \beta_0 + \beta_1 F10.7_t + \beta_2 IMF_t + \varepsilon_t \quad (6.2)$$

Modelimizde değişkenlerin durağanlıkları tespit edildikten sonra ikinci adımda bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin varlığı araştırılır. Eş-bütünleşme testi bu amaçla değişkenlere uygulanır. Eş-bütünleşme testi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.2.** 2009 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için güneş parametreleri ve TEİ arasında kurulan modelin eş bütünleşme test sonuçları

Regresyon Modeli	SAAT12:00		SAAT24:00	
	ADF	p-value	ADF	p-value
Model	-16.20	0.00	-10.16	0.00
İstatistiksel Önem seviyesi	MacKinnon (1996) kritik değerleri			
1%	-2.57			
5%	-1.94			
10%	-1.61			

Çizelge 6.2.'de güneş aktivitesinin minimum olduğu durum için kurulan modele ait eş bütünleşme test sonuçları görülmektedir. Test sonuçlarına göre değişkenler arası uzun dönemli bir ilişkinin olabilmesi için ADF değerinin MacKinnon (1996) kritik değerinden mutlak değer olarak büyük olması ve p-value değerinin ise 0,05 ten küçük olması gerekir. Elde edilen test sonuçlara göre, değişkenler arasında hem 12:00 UT hem de 24:00 UT de ADF değerleri MacKinnon (1996) kritik değerlerinden büyük ve %1 oranında anlamlı olduğundan ve p-value değerinin de 0.05'ten küçük olmasından dolayı, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu ifade edilir.

Değişkenlerin durağanlığı ve aralarında uzun dönemli bir ilişkinin varlığı belirlendikten sonra, son adımda regresyon denklemi ile bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi istatistiksel olarak tespit edilebilir. Çizelge 6.3.'de Ankara istasyonu için güneş minimumu durumunda 12:00 ve 24:00 UT' de kurulan modele ait regresyon analiz sonuçları gösterilmektedir. Tabloda verilen ARCH LM Test değerinin 0.05 ten büyük olması ve Durbin Watson değerinin 1.5 ile 2.5 arasında olması modelimizin doğruluğunu destekleyen diğer testlerdir. Çizelgede her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirten değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir. Saat 24:00 UT'de IMF değişkeni hariç, tüm değişkenler için %1 oranında güçlü bir istatistiksel anlamlılık elde edilmiştir.

Hem 12:00 hem 24:00 UT'de bağımlı değişkenimiz olan TEİ ile bağımsız güneş parametrelerimiz F10.7 ve IMF arasında pozitif bir ilişkinin olduğu görülmektedir. D(IMF) deki 1 nT'lık değişimin saat 12:00 UT'de TEİ değerinde 0.224 TECU'luk değişime, saat 24:00 UT'de ise 0.066 TECU'luk değişime sebep olacağı ifade edilebilir. Gündüz saatlerinde IMF'nin TEİ üzerindeki etkisi gece saatlerindeki etkisinden büyüktür.



F10.7'deki 1 s.f.u' luk değişimin saat 12:00 UT' de 0.023 TECU' luk saat 24:00 UT' de 0.096 TECU' luk değişime sebep olacağı söylenebilir.

**Çizelge 6.3.** 2009 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için güneş parametreleri ile TEİ arasında kurulan modelin regresyon analiz sonuçları

	SAAT 12:00	SAAT 24:00
<b>Sabit</b>	-1.45 (0.00)*	16.38 (0.00)*
<b>D(IMF)/IMF</b>	0.224 (0.00)*	0.066 (0.08)***
<b>F10.7</b>	0.023 (0.00)*	0.096 (0.00)*
<b>AR ( -/3 )</b>	- -	0.117 (0.01)*
<b>MA ( 3/1 )</b>	-0.114 (0.02)**	0.391 (0.00)*
<b>R<sup>2</sup></b>	0.11	0.23
<b>Adj. R<sup>2</sup></b>	0.10	0.22
<b>Durbin Watson</b>	2.50	1.79
<b>ARCH LM</b>	0.063	0.075

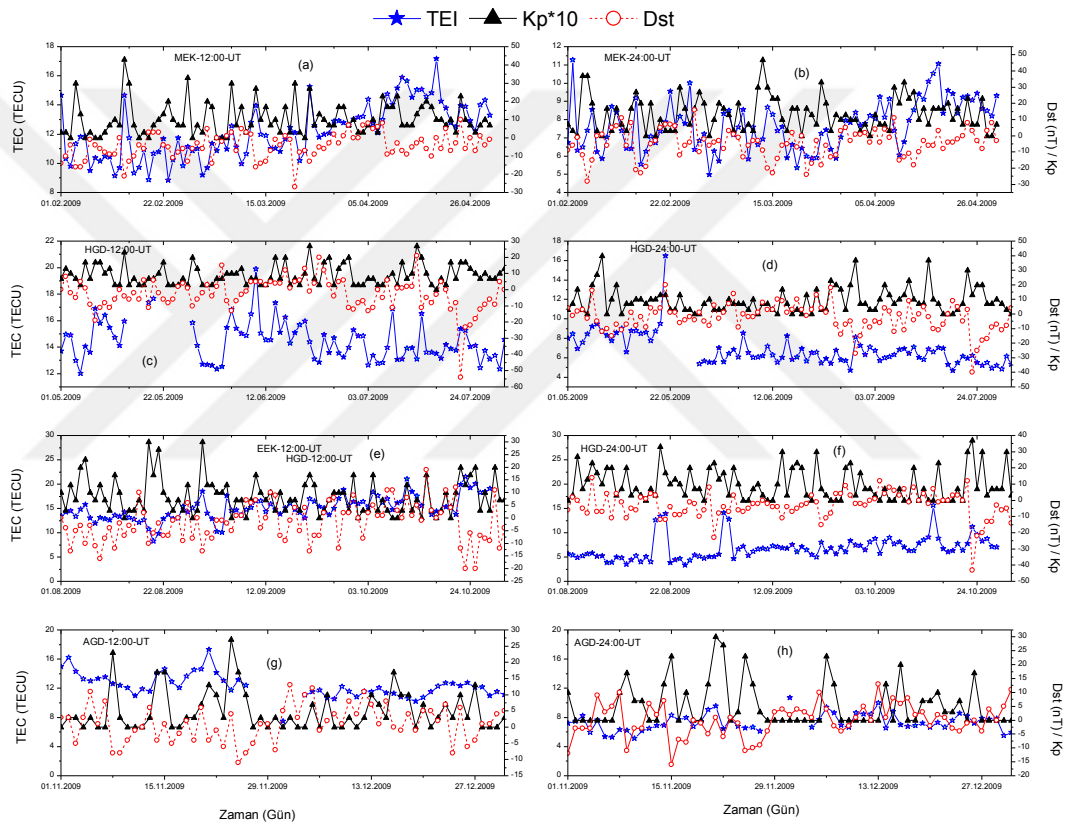
\*, \*\*, \*\*\* sırasıyla % 1 , %5 ve %10 oranında istatistiksel anlamlılık seviyesini gösterir.

Burada F10.7 güneş akısının gece saatlerinde gündüz saatlerine kıyasla TEİ üzerindeki etkisinin daha büyük olduğu bulunmuştur. Normalde gündüz saatlerinde TEİ üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olması beklenmektedir. Fakat literatürde 2009 yılı 24. GD'in uzun minimumu olarak tanımlanmıştır ve bu uzun minimum süresince güneş EUV ışınım etkilerini göstermekte F10.7'nin iyi bir indis olmadığı ifade edilmiştir (Chen vd., 2011; Lühr ve Xiong, 2010). Bu yüzden burada elde edilen sonuç da literatürdeki sonuçları desteklemektedir. D(IMF)/IMF deki 1 nT' lik değişimin TEİ değerinde gündüz 0.224 TECU ve gece 0.066 TECU'luk değişime sebep olacağı ifade edilir.

Bağımlı değişkendeki değişimlerin ne kadarının bağımsız değişkenler tarafından açıklanacağını ifade eden Adj.R<sup>2</sup> değerlerinin gündüz 0.10 gece 0.22 olduğu bulunmuştur. Bu değerler TEİ'deki değişimlerin gündüz %10'nun gece %22'sinin IMF ve F10.7 güneş akısı ile açıklanabileceğini ifade eder. Adj.R<sup>2</sup> nin gece değerinin gündüz

değerinden büyük olması F10.7 güneş akısının 2009 yılı için güneş etkilerini göstermekte uygun bir indis olmamasından kaynaklanabilir.

Güneş parametrelerinin iyonküre TEİ üzerindeki etkisi incelendikten sonra jeomanyetik parametrelerin etkisi de incelenmiştir. Şekil 6.2. 2009 yılının ekinoks ve gündönümü ayları süresince 12:00 ve 24:00 UT'de jeomanyetik parametreler ile TEİ değerlerinin zamana bağlı değişimlerini gösterir. Şekilden de görüleceği üzere Kp değerleri ile TEİ değerlerinin hem ekinoks hem de gündönümü aylarında her iki saat için genel olarak doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir.



**Şekil 6.2.** 2009 yılı için jeomanyetik parametreler ile TEİ değerlerinin ekinoks ve gündönümlerinde zamanla değişimi. Şekil 6.1 ile aynı dönemler için.

Dst değerleri ile TEİ değerleri arasında MEK aylarında hem gece hem gündüz saatlerinde genellikle doğru orantılı bir değişimin olduğu söylenebilir. EEK aylarında Dst değerleri ile TEİ arasında gündüz saatlerin genelde doğru orantılı bir değişimden söz etmek mümkünken, gece saatlerinde belirgin bir ilişkiden bahsedemeyiz. Hem HGD hem de AGD aylarında TEİ ile Dst arasında gündüz ve gece saatlerinde belirgin bir ilişkiden bahsetmek zordur. Ancak gündüz saatlerinde ilişkinin genellikle ters orantılı olduğu söylenebilir.

Jeomanyetik parametreler ve TEİ arasındaki ilişkinin istatistiksel çoklu regresyon analizi aracılığıyla belirlenmesi için güneş parametrelerinde olduğu gibi önce değişkenlerin durağanlıkları birim kök testi ile araştırıldı. Çizelge 6.4. Ankara istasyonu için güneş minimumu durumda evrensel zaman (UT) saat 12:00 ve 24:00 de TEİ, Dst ve Kp değişkenlerinin birim kök test sonuçlarını gösterir. Çizelgede belirtildiği gibi TEİ değişkeninin saat 12:00 de PP ve KPSS testlerinde %1 anlamlılık düzeyinde durağan olduğunu fakat ADF testinde durağan olmadığı görünmektedir. Bu değişkenin ADF testinde de durağanlığını elde etmek için saat 12:00 de TEİ değişkeninin D(TEİ) birinci farkı alındı. Böylece TEİ değişkeninin ADF, PP ve KPSS testlerinde %1 anlamlılık düzeyinde durağan olması sağlandı. Gece saat 24:00 de TEİ değişkeni ADF, PP ve KPSS testlerinde %1 anlamlılık seviyesinde durağandır.

**Çizelge 6.4.** 2009 yılı evrensel zaman 12:00 ve 24:00 için TEİ, Dst ve Kp değişkenlerinin birim kök testi sonuçları

Değişkenler	SAAT 12:00			SAAT 24:00		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
TEİ	-1.72	-7.24	0.28	-9.36	-9.36	0.21
DST	-9.13	-14.13	0.08	-9.39	-13.35	0.07
Kp	-17.46	-17.41	0.16	-15.67	-15.69	0.06
D(TEİ)	-13.0	-87.0	0.29	-	-	-
D(Dst)	-	-	-	-12.81	-117.7	0.16
<b>İstatistiksel Anlamlılık Seviyesi</b>	<b>MacKinnon(1996) değerleri</b>		<b>kritik</b>			
<b>1%</b>	-3.98	-3.97	0.21			
<b>5%</b>	-3.42	-3.42	0.14			
<b>10%</b>	-3.13	-3.13	0.11			

Dst ve Kp değişkenlerin hem gündüz hem de gece saatlerinde ADF ve PP testleri %1 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu, KPSS testinde ise saat 12:00 de Dst değişkeninin durağan olmadığı fakat Kp değişkenin %5 oranında durağan olduğu görülmektedir. Saat 24:00 UT' de Dst ve Kp değişkenlerinde KPSS testinde durağan olmadığı görülmektedir. Dst ve Kp değişkenlerinin saat 24:00 de durağanlıklarını elde etmek için birinci farkları (D(Dst), D(Kp)) alındı ve durağanlığa bakıldı. Bu işlem sonucunda Dst'nin ADF ve PP testleri %1 oranında fakat KPSS testi ise % 5 anlamlılık seviyesinde durağan olduğu, Kp değişkeninin ise yine ADF ve PP testlerinde durağan

olduğu, KPSS testinde ise durağan olmadığı görüldü. Bu yüzden Kp değişkeninin fark alınmadan elde edilen değerleri regresyon denkleminde kullanıldı.

Jeomanyetik parametreler ile TEİ arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak tespit edilebilmesi için, jeomanyetik değişkenlerin durağanlıklarına göre Denklem (5.3) aşağıdaki gibi güncellenmiştir:

Saat 12:00 için;

$$TEİ_t = \beta_0 + \beta_1 D(Kp)_t + \beta_2 Dst_t + \varepsilon_t \quad (6.3)$$

Saat 24:00 için;

$$TEİ_t = \beta_0 + \beta_1 D(Kp)_t + \beta_2 D(Dst)_t + \varepsilon_t \quad (6.4)$$

Değişkenlerin durağanlıkları elde edildikten sonra, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin varlığı eş bütünleşme testi ile araştırıldı. Çizelge 6.5. kurulan modele ait eş bütünleşme test sonuçlarını göstermektedir. Burada uzun dönemli bir ilişkinin olması için ADF değerinin MacKinnon (1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması, p-value değerinin ise 0,05 ten küçük olması gerekmektedir. Bu durum hem gündüz hem de gece saatlerinde %1 anlamlılık seviyesinde sağlandığından dolayı TEİ ile jeomanyetik indisler (Dst ve Kp) arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu ifade edilebilir.

**Çizelge 6.5.** 2009 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için jeomanyetik parametreler ile TEİ arasındaki kurulan modelin eş-bütünleşme testi sonuçları

Regresyon Modeli	SAAT 12:00		SAAT 24:00	
	ADF	p-value	ADF	p-value
<b>Model</b>	-18.34	0.00	-18.38	0.00
<b>İstatistiksel</b>				
<b>Anlamlılık Seviyesi</b>	<b>MacKinnon (1996) kritik değerleri</b>			
<b>1%</b>	-2.57			
<b>5%</b>	-1.94			
<b>10%</b>	-1.61			

Değişkenlerin durağanlığı elde edilip uzun dönemli ilişkinin varlığı tespit edildikten sonra regresyon denkleminin Dst ve Kp'nin TEİ üzerindeki etki katsayıları elde edilir. Çizelge 6.6.'da Ankara istasyonu için güneş minimumu durumunda saat 12:00 ve saat 24:00 UT'de kurulan modele ait regresyon analizi sonuçları gösterilmektedir. Tabloda alt bölümde verilen ARCH LM testi değerinin 0.05'ten büyük olması ve Durbin

Watson değerinin 1.5-2.5 arasında olması modelimizin doğruluğunu destekleyen diğer testlerdir. Tabloda her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir. Tüm değişkenler için anlamlılık düzeyinin %1 düzeyinde güçlü bir istatistiksel anlamlılık sergilediği görülmektedir.

Saat 12:00/24:00 UT’ de jeomanyetik değişkenlerin TEİ üzerinde pozitif/negatif bir etkiye sebep olduğu görülmektedir. Kp deki 1 birimlik artış/azalış TEİ değerinde gündüz saat 12:00 UT’de 0.030 TECU artışa/azalışa ve gece saat 24:00 UT’de ise 0.0092 TECU’ luk azalışa / artışa sebep olacağı ifade edilebilir. Benzer şekilde, Dst’ deki 1 nT’lik artış/azalışın ise gündüz saat 12:00 UT’ de 0.0085 TECU’ luk artışa / azalışa, saat 24:00 UT’ de 0.011 TECU’ luk azalışa/artışa sebep olacağı söylenebilir. Burada TEİ üzerinde jeomanyetik parametrelerden Kp nin gündüz saatlerinde Dst indisinin ise gece saatlerinde etkisinin daha büyük olduğu ifade edilebilir.

**Çizelge 6.6.** 2009 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için jeomanyetik parametreler ile TEİ arasında kurulan modelin regresyon analiz sonuçları

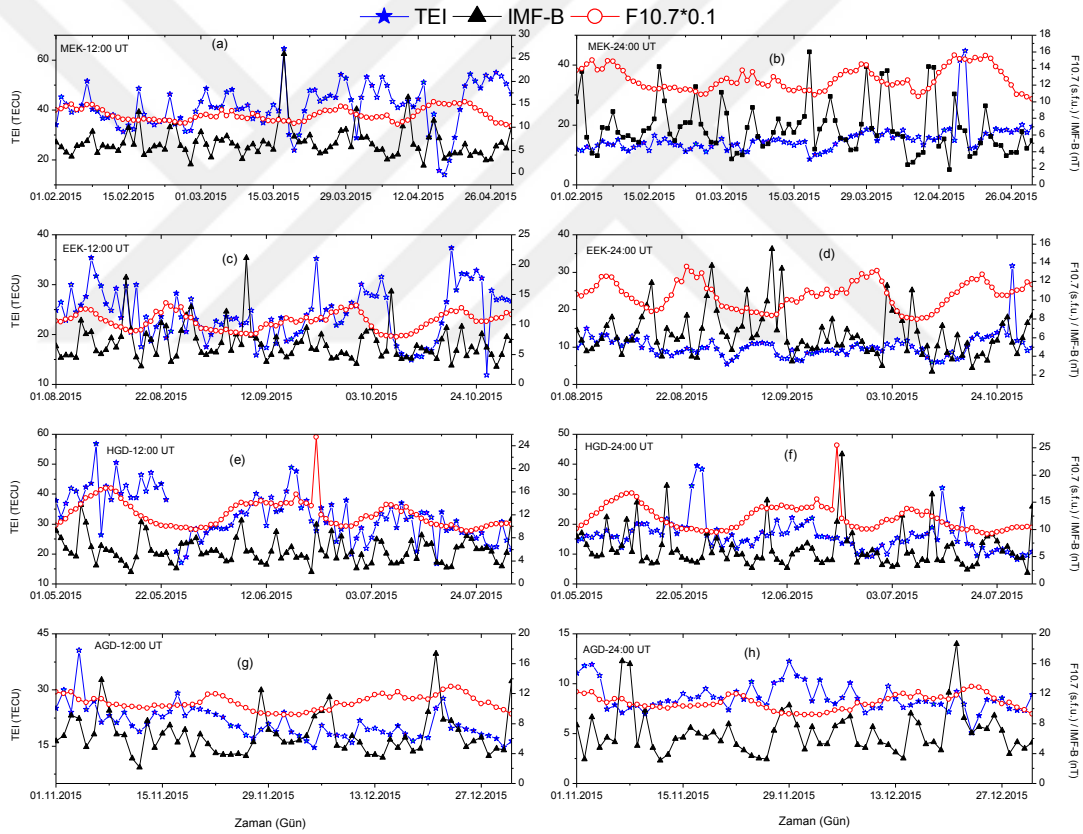
	SAAT 12:00	SAAT 24:00
<b>Sabit</b>	-0.24 (0.00)*	7.08 (0.00)*
<b>Kp</b>	0.030 (0.00)*	-0.0092 (0.09)***
<b>DST /D(DST)</b>	0.0085 (0.05)**	-0.011 (0.07)**
<b>AR ( 1/1)</b>	0.484 (0.00)*	0.659 (0.00)*
<b>MA ( 1/1)</b>	-0.937 (0.00)*	-0.189 (0.03)**
<b>R<sup>2</sup></b>	0.24	0.29
<b>Adj. R<sup>2</sup></b>	0.22	0.28
<b>Durbin Watson</b>	1.92	1.93
<b>ARCH LM</b>	0.155	0.061

\*, \*\*, \*\*\* sırasıyla % 1 , %5 ve %10 oranında istatistiksel anlamlılık seviyesini gösterir.

TEİ’deki değişimlerin ne kadarının Dst ve Kp değişkenleri tarafından açıklanacağını ifade eden Adj. R<sup>2</sup> değerlerinin gündüz 0.22 gece 0.28 olduğu bulunmuştur. Bu değerler TEİ’deki değişimlerin gündüz % 22’sinin gece % 28’inin Dst ve Kp ile açıklanabileceğini ifade eder.

## 6.2. Güneş Aktivitesinin Maksimum Olduğu Durumda TEİ Değişimi

24. GD'in maksimum olduğu yıllardan 2015 yılında güneş parametrelerinden F10.7 güneş akısı ve gezegenler arası manyetik alanın (IMF) orta enlem iyonküresi üzerindeki etkisi Şekil 6.3.'te gösterilmektedir. Şekil 6.3. (a)-(b) 2015 yılının Mart ekinoks ayları süresince 12:00 ve 24:00 UT için TEİ ve IMF ve F10.7 güneş akısının zamanla değişimini gösterir. Bu aylarda hem 12:00 hem de 24:00 UT'de TEİ değerlerinin IMF toplam gezegenler arası manyetik alan ile belirgin bir şekilde doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Bununla birlikte, TEİ ile F10.7 arasında belirgin olmasa da genel olarak doğru orantılı bir değişimin olduğunu söylemek mümkündür. TEİ değerlerinin beklendiği gibi gündüz saatlerinde gece saatlerinden daha büyüktür.



Şekil 6.3. 2015 yılı için güneş parametreleri ile TEİ değerlerinin ekinoks ve gündönümlerinde zamanla değişimi. Şekil 6.1. ile aynı dönemler için.

Eylül ekinoks ayları süresince TEİ ile güneş parametrelerinin zamana bağlı değişimi Şekil 6.3. (c)-(d)'de gösterilmiştir. Bu ekinoks döneminde TEİ ile güneş parametrelerinin genel olarak doğru orantılı bir değişim sergilediği görülmektedir. IMF ile TEİ'nin aynı zaman dilimindeki değişimleri F10.7 güneş akısına kıyasla daha belirgindir. Gündüz saatlerinde IMF ile TEİ'nin zamanla doğru orantılı değişiminin gece

saatlerinkinden daha iyi olduğu görülmektedir. Mart ve Eylül ekinokslarını karşılaştırdığımızda TEİ değerlerinin Mart ekinoksunda her iki zaman dilimi için de Eylül ekinoksundan büyük olduğu görülmektedir.

Hem haziran hem de Aralık gündönümü günlerinde gezegenlerarası manyetik alan ile TEİ değerlerinin her iki saat için zamanla değişimlerinin oldukça benzer oldukları görülmektedir. Bununla birlikte, F10.7 güneş akısı ile TEİ değerlerinin zamanla değişimlerinde belirgin bir benzerlik olmasa da genel olarak doğru orantılı bir değişim sergiledikleri söylenebilir. TEİ değerlerinin HGD aylarında AGD aylarından hem gece hem gündüz saatlerinde daha büyük olduğu görülmektedir.

Değişkenlere istatistiksel çoklu regresyon modelini uygulamak için değişkenlerin durağan olması gerekir. Durağanlık testi önemli olduğu için bu çalışmada birim kök testi aracılığıyla üç ayrı test (ADF, PP, KPSS) ile araştırılmıştır. Bu testin ana mantığı tablonun üst tarafında her bir test türü için yazılan değişken (TEİ, F10.7 ve IMF) değerlerinin tablonun alt kısmında verilen MacKinnon (1996) kritik değerinden mutlak değer olarak büyük olmasıdır. Büyük olduğu yüzdelik duruma göre anlamlıdır.

Çizelge 6.7 Ankara istasyonu için güneş maksimumu durumunda Evrensel Zaman (UT) 12:00 ve 24:00'da TEİ, F10.7 ve IMF değişkenlerinin birim kök testi sonuçlarını göstermektedir. Çizelgeden de görüleceği üzere TEİ değişkeni ADF, PP ve KPSS testlerinde durağan olduğu ve istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. F10.7 ve IMF değişkenlerinin ise ADF ve PP testlerinde %1 anlamlılık seviyesinde durağan olduğu, KPSS testinde ise %10 anlamlılık seviyesinde durağan olduğu görülmektedir.

24:00 UT'de ise TEİ değişkeninin ADF, PP ve KPSS testlerinde %1 anlamlılık düzeyinde durağandır. F10.7 ve IMF değişkenlerinin ise ADF ve PP testlerinde %1 anlamlılık seviyesinde durağanken, KPSS testinde F10.7 değişkeni %10 anlamlılık seviyesinde durağandır ve IMF değişkeni durağan değildir. Çalışmada üç durağanlık testinden ikisinde durağanlığın elde edilmesi amacımız için yeterli olduğundan IMF değişkeninin KPSS testinde durağan olmaması bir sorun oluşturmaz.

Denklem (5.3) ile verilen regresyon denklemi değişkenlerin durağanlığına bağlı olarak her bir durum için ayrı ayrı ifade edildi. Buna göre güneş parametreleri için elde edilen yeni denklemlerimiz aşağıdaki gibi verilir:

Saat 12:00 ve 24:00 için;

$$TEI_t = \beta_0 + \beta_1 F10.7_t + \beta_2 IMF_t + \varepsilon_t \quad (6.5)$$

**Çizelge 6.7.** 2015 yılı için saat 12:00 ve 24:00 UT'de güneş parametreleri ile TEİ'nin birim kök testi sonuçları

Değişkenler	SAAT 12:00			SAAT 24:00		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
TEİ	-6.38	-8.84	0.23	-9.41	-9.64	0.33
F10.7	-11.68	-17.21	0.12	-11.68	-17.21	0.12
IMF	-14.01	-13.65	0.13	-15.03	-14.61	0.06
İstatistiksel Anlamlılık Seviyesi	MacKinnon(1996) kritik değerleri					
	ADF	PP	KPSS			
1%	-3.98	-3.97	0.21			
5%	-3.42	-3.42	0.14			
10%	-3.13	-3.13	0.11			

Çizelge 6.8.'de güneş aktivitesinin maksimum olduğu durum için kurulan modele ait eş bütünleşme testi sonuçları görülmektedir. Uzun dönemli bir ilişkinin olabilmesi için ADF değerlerinin MacKinnon (1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması ve p-value değerlerinin 0.05 ten küçük olması gerekmektedir. Bu durum sağlandığından dolayı TEİ ile güneş parametreleri (F10.7 ve IMF) arasında her iki zaman dilimi için uzun dönemli bir ilişkinin olduğu ifade edilebilir.

**Çizelge 6.8.** 2015 yılı 12:00 UT ve 24:00 UT için güneş parametreleri ve TEİ arasında kurulan modelin eş-bütünleşme test sonuçları

Regresyon Model	SAAT12:00		SAAT24:00	
	ADF	p-value	ADF	p-value
Model	21.90	0.00	-10.16	0.00
İstatistiksel Anlamlılık Seviyesi	MacKinnon (1996) kritik değerleri			
1%	-2.57			
5%	-1.94			
10%	-1.61			

Çizelge 6.9.'da Ankara istasyonu için güneş maksimumu durumunda 12:00 ve 24:00 UT de kurulan modele ait regresyon analizi sonuçları gösterilmektedir. Tablonun alt bölümünde verilen ARCH LM testi değerinin 0.05 ten büyük olması ve Durbin Watson değerinin 1.5-2.5 arasında olması modelimizin doğruluğunu destekleyen diğer testlerdir.



Tabloda her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir. Tüm değişkenler için anlamlılık düzeyinin %1 düzeyinde güçlü bir istatistiksel anlamlılık sergilediği görülmektedir.

Hem 12:00 UT’de hem de 24:00 UT’de bağımsız güneş parametreleri (F10.7 ve IMF) ile bağımlı TEİ değişkeni arasında pozitif bir ilişkinin olduğu görülmektedir. IMF deki 1 nT’lık değişimin TEİ değerlerinde gündüz 0.306 TECU ve gece 0.102 TECU luk değişime sebep olacağı ifade edilebilir. F10.7’deki 1 s.f.u.’luk değişimin ise saat 12:00 UT’de 0.013 TECU’luk, saat 24:00 UT’de 0.008 TECU’luk bir değişime sebep olacağı söylenebilir. Bununla birlikte, beklendiği gibi gündüz saatlerinde TEİ üzerinde güneş parametrelerinin etkisi gece saatlerinden daha yüksektir. Ayrıca, TEİ üzerinde IMF’nin hem gündüz hem gece F10.7 güneş akısından daha fazla bir etkiye sahip olduğu da ifade edilebilir.

**Çizelge 6.9.** 2015 yılı 12:00 ve 24:00 UT de güneş parametreleri ile TEİ arasındaki ilişkiyi belirlemek için kurulan regresyon denklemi ile elde edilen sonuçlar

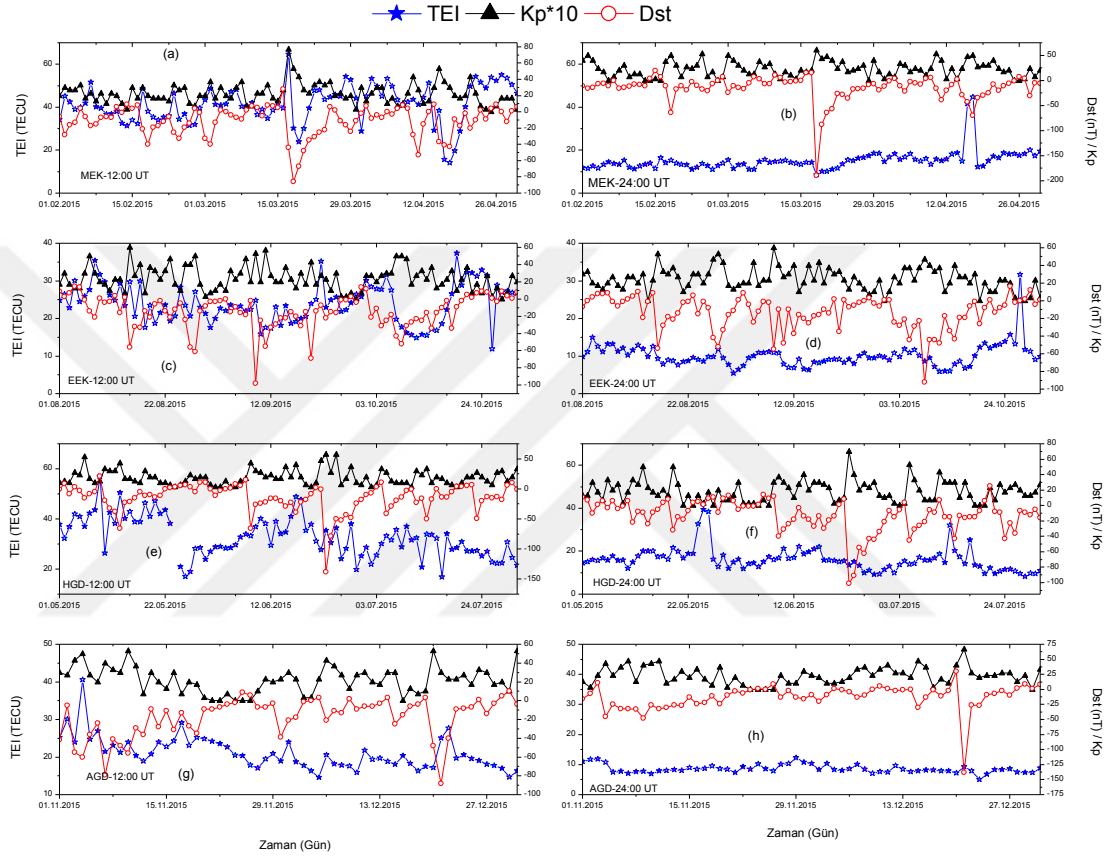
	SAAT 12:00	SAAT 24:00
<b>Sabit</b>	40.27 (0.00)*	16.38 (0.00)*
<b>IMF</b>	0.306 (0.00)*	0.102 (0.00)*
<b>F10.7</b>	0.013 (0.00)*	0.008 (0.00)*
<b>AR ( 1/3 )</b>	0.709 (0.00)*	0.538 (0.00)*
<b>MA ( -1 )</b>		0.236 (0.01)*
<b>R<sup>2</sup></b>	0.64	0.34
<b>Adj. R<sup>2</sup></b>	0.63	0.33
<b>Durbin Watson</b>	2.29	1.53
<b>ARCH LM</b>	0.548	0.660

\*, \*\*, \*\*\* sırasıyla % 1 , %5 ve %10 oranında istatistiksel anlamlılık seviyesini gösterir.

TEİ’deki değişimlerin ne kadarının IMF ve F10.7 güneş akısı tarafından açıklanacağını ifade eden Adj.R<sup>2</sup> değerlerinin gündüz 0.63 gece 0.33 olduğu bulunmuştur. Bu değerler TEİ’deki değişimlerin gündüz %63’ünün gece %33’ünün IMF ve F10.7 ile açıklanabileceğini ifade eder. Ayrıca, beklendiği gibi, maksimum

iyonlaşmanın olduğu gündüz saatlerinde açıklanabilirlik düzeyinin gece açıklanabilirlik düzeyinden yüksek olduğu görülebilir.

Güneş parametrelerini iyonküre TEİ üzerindeki etkisi incelendikten sonra jeomanyetik parametreler ile TEİ değerlerinin 2015 yılının ekinoks ve gündönümü ayları süresince 12:00 ve 24:00 UT'de zamana bağlı değişimleri Şekil 6.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4. 2015 yılı için jeomanyetik parametreler ile TEİ değerlerinin ekinoks ve gündönümlerinde 12:00 ve 24:00 UT'de zamanla değişimi. Şekil 6.1 ile aynı dönemler için.

Şekil 6.4. (a)-(b) Mart ekinoks (MEK) ayları boyunca TEİ değerlerinin Kp ve Dst indisleri ile olan değişimini gösterir. Gündüz saatlerinde Kp ile TEİ değerlerinin jeomanyetik fırtınaların olduğu zamanlar hariç genel olarak doğru orantılı olarak değiştikleri görülmektedir. 24. Güneş devrinin ilk şiddetli jeomanyetik fırtınasının gerçekleştiği 17 Mart 2015 tarihinde Kp değerleri ile TEİ değerleri ters orantılı olarak değişmiştir. Gece saatlerinde ise Kp ile TEİ nin belirgin bir ilişkisinden bahsetmek zordur. Dst değerlerinin her iki zaman diliminde TEİ ile ilişkisi fırtına zamanı hariç belirgin değildir. Fırtına zamanında Dst ile TEİ değerleri ters orantılı olarak değiştiği söylenebilir.

Eylül ekinoks (EEK) ayları süresince jeomanyetik parametreler ile TEİ'nin değişimi Şekil 6.4. (c)-(d) 'de gösterilmiştir. Bu aylarda Kp ile TEİ değerlerinin 12:00 UT'de genel olarak doğru orantılı olarak değiştiklerini söyleyebiliriz. Ancak 24:00 UT'de belirgin bir ilişkiden bahsetmek güçtür. Dst ile TEİ değerlerinin 12:00 UT'de kimi zaman doğru orantılı olarak değişirken kimi zaman ters orantılı olarak değiştikleri ifade edilebilir. 24:00 UT'de ise Dst ile TEİ'nin doğru orantılı değişiminin 12:00 UT'ye nazaran daha fazla olduğu söylenebilir. Her iki ekinoks döneminde TEİ değerleri hem gündüz hem de gece saatlerinde MEK'unda EEK'undan daha büyüktür.

Şekil 6.4. (e)-(f) Haziran gündönümü (HGD) ayları süresince Kp, Dst ve TEİ'nin zamanla değişimlerini gösterir. Gündüz Kp ile TEİ'nin genel olarak doğru orantılı olarak değiştiklerini söylenebilirken, gece belirgin bir ilişkiden bahsetmek zordur. Dst ile TEİ değerleri ise gündüzleri fırtına zamanlarında daha belirgin olmakla beraber genel olarak ters orantılıyken, geceleri belirgin bir ilişkiden söz etmek güçtür.

Şekil 6.4. (g)-(h) Aralık gündönümü (AGD) ayları süresince Kp, Dst ve TEİ'nin zamanla değişimlerini gösterir. Bu aylarda hem Kp hem de Dst nin TEİ ile her iki zaman diliminde belirgin bir ilişkisinden bahsetmek güçtür. Bununla birlikte jeomanyetik fırtınanın olduğu günlerde Dst ile TEİ arasında ters orantılı bir ilişkiden bahsetmek mümkündür. HGD ve AGD aylarında TEİ değerlerini karşılaştırdığımızda, hem gece hem gündüz HGD aylarında TEİ'nin daha büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.10. güneş aktivitesinin maksimum olduğu durumda 12:00 UT ve 24:00 UT'de, TEİ, Dst ve Kp değişkenlerinin birim kök testi sonuçlarını göstermektedir. Tablodan da görüleceği üzere TEİ değişkeninin hem 12:00 UT'de hem 24:00 UT'de ADF, PP ve KPSS testlerine göre %1 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu görülmektedir. Dst ve Kp değişkenlerinin ise her iki saat diliminde de ADF ve PP testlerinde %1 anlamlılık seviyesinde durağan olduğu, KPSS testinde durağan olmadığı görülmektedir. Bu jeomanyetik parametrelerin KPSS testinde durağanlığını elde etmek için hem gündüz hem gece saatlerinde her ikisinin de birinci farkları alındı ve durağanlıklarına bakıldı. Bu işlem sonucunda Kp değişkeninin her iki saat diliminde de yine durağan olmadığı, Dst değişkeninin ise 12:00 UT'de bu teste göre durağan olduğu 24:00 UT'de olmadığı bulundu. Böylece, 12:00 UT'de kurulacak olan regresyon denkleminde Dst değişkeninin birinci farkının alındığı biçiminin kullanılması gerekecektir. Daha önce de ifade edildiği gibi, durağanlığın üç testen ikisi tarafından sağlanması

amacımız için yeterli olduğundan Kp değişkenini regresyon denkleminde olduğu haliyle kullanacağız.

**Çizelge 6.10.** 2015 yılı saat 12:00 ve 24:00 UT için jeomanyetik parametreler ve TEİ'nin birim kök testi sonuçları

Değişkenler	SAAT 12:00			SAAT 24:00		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
TEİ	-6.38	-8.84	0.23	-9.41	-9.64	0.33
DST	-11.03	-11.28	0.03	-9.0	-13.12	0.07
Kp	-13.24	-13.51	0.05	-13.65	-13.64	0.05
D(Dst)	-	-	-	-13.15	-99.8	0.04
D(Kp)	-14.23	-110.7	0.38	-	-	-
İstatistiksel Anlamlılık Seviyesi	MacKinnon(1996) değerleri		kritik			
1%	-3.98	-3.97	0.21			
5%	-3.42	-3.42	0.14			
10%	-3.13	-3.13	0.11			

Jeomanyetik değişkenlerin durağanlıklarına göre Denklem (5.3) aşağıdaki gibi güncellenmiştir:

Saat 12:00 için;

$$TEİ_t = \beta_0 + \beta_1 D(Kp)_t + \beta_2 Dst_t + \varepsilon_t \quad (6.6)$$

Saat 24:00 için;

$$TEİ_t = \beta_0 + \beta_1 Kp_t + \beta_2 D(Dst)_t + \varepsilon_t \quad (6.7)$$

Çizelge 6.11. 2015 güneş aktivitesinin maksimum olduğu yıl için kurulan modele ait eş bütünleşme testi sonuçlarını göstermektedir. Uzun dönemli bir ilişkinin olabilmesi için ADF değerlerinin MacKinnon (1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması ve p-value değerlerinin 0.05 ten küçük olması gerekmektedir. Bu durum %1 anlamlılık seviyesinde sağlandığından dolayı TEİ ile jeomanyetik parametreler (Dst ve Kp) arasında her iki zaman dilimi için uzun dönemli bir ilişkinin olduğu ifade edilebilir.

**Çizelge 6.11.** 2015 yılı için 12:00 UT ve 24:00 UT’de jeomanyetik parametreler ve TEİ arasında kurulan modelin eş-bütünleşme test sonuçları

Regresyon Modeli	SAAT 12:00		SAAT 24:00	
	ADF	p-value	ADF	p-value
Model	-18.67	0.00	-7.90	0.00
<b>İstatistiksel</b>				
Anlamlılık Seviyesi	MacKinnon (1996) kritik değerleri			
1%	-2.57			
5%	-1.94			
10%	-1.61			

Çizelge 6.12.’de Ankara istasyonu için güneş maksimumu durumunda 12:00 ve 24:00 UT de kurulan modele ait regresyon analizi sonuçları gösterilmektedir. Tablonun alt bölümünde verilen ARCH LM testi değerinin 0.05 ten büyük olması ve Durbin Watson değerinin 1.5-2.5 arasında olması modelimizin doğruluğunu destekleyen diğer testlerdir. Tabloda her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir. Tüm değişkenler için anlamlılık düzeyinin %1 düzeyinde güçlü bir istatistiksel anlamlılık sergilediği görülmektedir.

Hem 12:00 UT de hem de 24:00 UT’de jeomanyetik değişkenlerden Dst ile TEİ değişkeni arasında negatif bir ilişki varken Kp ile pozitif bir ilişki vardır. Kp deki 1 birimlik artış/azalış TEİ değerlerinde gündüz 0.050 TECU artışa/azalışa ve gece 0.012 TECU luk artışa/azalışa olacağı ifade edilebilir. Dst’deki 1 nT’lık artış/azalışın ise saat 12:00 UT’de 0.050 TECU’luk azalış/artışa, saat 24:00 UT’de 0.010 TECU’luk azalış/artışa sebep olacağı söylenebilir. Bununla birlikte, beklendiği gibi gündüz saatlerinde TEİ üzerinde jeomanyetik parametrelerin etkisi gece saatlerinden daha yüksektir.

**Çizelge 6.12.** 2015 yılı 12:00 ve 24:00 UT de jeomanyetik parametreler ve TEİ arasında kurulan modelin analiz sonuçları

	SAAT 12:00	SAAT 24:00
<b>Sabit</b>	40.95 (0.00)*	15.22 (0.00)*
<b>D(Kp)/ Kp</b>	0.050 (0.00)*	0.012 (0.06)***
<b>DST /D(DST)</b>	-0.050 (0.08)***	-0.010 (0.00)*
<b>AR ( 1/3)</b>	0.835 (0.00)*	0.289 (0.00)*
<b>MA ( 1/1)</b>	-0.288 (0.00)*	0.339 (0.00)*
<b>R<sup>2</sup></b>	0.66	0.42
<b>Adj. R<sup>2</sup></b>	0.65	0.41
<b>Durbin Watson</b>	1.96	1.51
<b>ARCH LM</b>	0.493	0.422

\*, \*\*, \*\*\* sırasıyla % 1 , %5 ve %10 oranında istatistiksel anlamlılık seviyesini gösterir.

TEİ'deki değişimlerin ne kadarının Dst ve Kp tarafından açıklanacağını ifade eden Adj. R<sup>2</sup> değerlerinin gündüz 0.65 gece 0.41 olduğu bulunmuştur. Bu değerler TEİ'deki değişimlerin gündüz % 65'inin gece % 41'inin Dst ve Kp ile açıklanabileceğini ifade eder. Ayrıca, maksimum iyonlaşmanın olduğu gündüz saatlerinde açıklanabilirlik düzeyinin gece saatlerindeki açıklanabilirlik düzeyinden daha yüksek olduğu görülebilir.

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında orta enlemde bulunan Türkiye'nin Ankara GPS istasyonundan IONLAB grubu tarafından sağlanan TEİ değerlerinin 24. GD'nin minimum (2009) ve maksimum (2015) yıllarında 12:00 UT ve 24:00 UT'de güneş (IMF ve F10.7 güneş akısı) ve jeomanyetik (Dst ve Kp) parametreler ile ilişkisi çoklu regresyon modeli aracılığıyla incelendi. Çalışmanın ana amacı güneş aktivitesinin minimum ve maksimum olduğu yıllarda TEİ değişkenliğinin günlük iyonküresel tepkiler ve güneş ve jeomanyetik parametreler arasındaki ilişkiyi göstermektir. İnceleme neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Güneş minimumunun diğer GD'lerinden daha uzun sürdüğü 24. GD'nde güneş parametrelerinin TEİ üzerindeki etkisi beklenenin aksine gece saatlerinde daha yüksek çıkmıştır. Bu durum daha önceki çalışmalarda (Chen vd., 2011; Lühr ve Xiong, 2010) ifade edildiği gibi F10.7 güneş akısının 2009 yılında güneş aktivite değişiminin iyi bir indisi olmamasından ve iyonkürenin gece vakti yüksek hızlı güneş rüzgârı akımlarına tepki göstermesinden kaynaklanabilir (Verkhoglyadova vd., 2013).
- 2009 yılında jeomanyetik parametreler ile TEİ değerleri arasındaki ilişki güneş parametrelerinde olduğu gibi gece saatlerinde gündüzden daha yüksektir.
- Güneş maksimumu durumunda TEİ'de meydana gelen değişimlerin hem güneş hem de jeomanyetik parametreler tarafından açıklanabilirliğinin beklendiği gibi gündüz gece saatlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- 2015 yılında ~65 TECU'luk maksimum TEİ değerine 17 Mart 2015 şiddetli jeomanyetik fırtınasında ulaşılmıştır. Bununla birlikte 2009 yılında maksimum TEİ değeri ~13 TECU'dur ve 26 Aralık 2009 tarihinde elde edilmiştir. 2009 yılındaki zayıf iyonlaşmanın kaynağı, Hao vd. (2014) tarafından da ifade edildiği gibi, güneş EUV ışınmasının oldukça düşük olması olabilir.

İyonküre hem alt atmosfere hem de üstündeki manyetosfer'e bağlanmıştır. Altan gelen atmosferin etkisi günlük değişimin ana kaynağı olarak görülür, oysa manyetosferin etkisi Güneş'ten manyetosfer içine iletilen güneş-rüzgâr enerjisi, elektrik alanının karmaşık morfolojisi, sıcaklık, rüzgarlar ve bileşimin farklı büyüklükteki etkilerini indükleyebileceği şekildedir ve tüm iyonküresel parametreleri etkiler. Bu çalışmada

düşük ve yüksek güneş aktivitesi sırasında iyonküre-termosfer bağlantısının diğer muhtemel mekanizmalarını dikkate almadığımızı belirtmek gerekir. Nötr kompozisyon değişikliklerinin ve diğer bazı mekanizmaların da burada çalışılan zaman aralıklarında TEİ değişimlerine neden olabilir (Verkhoglyadova vd., 2013). Bununla birlikte, TEİ değişimleri üzerinde etkili olan olası mekanizmalar arasında karar vermek için, daha ileri çalışmalar gereklidir.





## 8. KAYNAKLAR

Adebiyi, S., Adimula, I., Oladipo, O., Joshua, B., Adebisin, B., Ikubanni, S., 2014. Ionospheric response to magnetic activity at low and mid-latitude stations. *Acta Geophysica*, 62(4), 973-989.

Adekoya, B. J., Chukwuma, V. U., Bakare, N. O., David, T. W., 2012. On the effects of geomagnetic storms and pre storm phenomena on low and middle latitude ionospheric F2. *Astrophysics and Space Science*, 340(2), 217-235.

Alçay, S.A., Öztan G., 2016. Manyetik Fırtınalı ve Fırtınasız Günlerde IRI-PLAS ve IRI-2012 Modellerinin TEİ Kestirim Performanslarının İncelenmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 131-140.

Aksakal, H., 2000. İyonkürede Termoküresel Rüzgarlar. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.

Arıkan, F., Erol, C.B., Arıkan, O., 2003. Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data. *Journal of Geophysical Research*.

Arıkan, F., Sezen, U., Gulyaeva T.L., Cilibas O., 2015. Online, automatic, ionospheric maps: IRI-PLAS-MAP. *Advances in Space Research*, 55 (8), 2106–2113.

Atıcı, R., Sağır, S., 2016. The Effect on Sporadic-E of Quasi-Biennial Oscillation. *Journal of Physical Science and Application*, 6(2), 10-17.

Atıcı, R., Sağır, S., 2017. The Effect of QBO on foE. *Advances in Space Research*, 60(2), 357-362.

Bilitza, D., Reinisch, B. W., 2008. International reference ionosphere 2007: improvements and new parameters. *Advances in Space Research*, 42(4), 599-609.

Bilitza, D., Gulyaeva, T., 2012. Towards ISO Standard Earth Ionosphere and Plasmasphere Model. 39th COSPAR Scientific Assembly, India.

Bilitza, D., Altadill D, Zhang Y, Mertens C, Truhlik V, Richards P, McKinnell L, Reinisch BB., 2014. The International Reference Ionosphere 2012—a model of international collaboration. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 4, A07.

Biqiang, Z., Weixing, W., Libo, L., Tian, M., 2007. Morphology in the Total Electron Content under geomagnetic disturbed conditions: results from global ionosphere maps. *Annales Geophysicae*, 25(7): 1555-1568.

Bratsolis, E., Sigelle, M., 2003. Kullback-Leibler Divergence and Markov Random Fields for speckled image restoration. *Signal Processing and Its Applications*, 1, 425-428.

Chauhan, V., Singh, O. P., 2010. A morphological study of GPS-TEC data at Agra and their comparison with the IRI model. *Advances in Space Research*, 46(3), 280-290.

Chen, Y., Liu, L., Wan, W., 2011. Does the F10.7 index correctly describe solar EUV flux during the deep solar minimum of 2007–2009? *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 116, A04304.

Chiang, L. H., Braatz, R. D., 2003. Process monitoring using causal map and multivariate statistics fault detection and identification. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 65, 159-178.

Coisson, P., Radicella, S. M., Leitinger, R., Nava, B., 2006. Topside electron density in IRI and NeQuick: features and limitations. *Advances in Space Research*, 37(5), 937-942.

Cveer, L.R., 2002. Space Weather Impact on Communications at Solar Maximum. Rutherford Appleton Laboratory Final Report, Projects at the Radio Communications Research Unit.

De Jesus, R., Sahai, Y., Guarnieri, F. L., Fagundes, P.R., De Abreu, A.J., Bittencourt, J. A., Pillat, V.G., 2012. Ionospheric response of equatorial and low latitude F-region during the intense geomagnetic storm on 24–25 August 2005. *Advances in Space Research*, 49(3), 518-529.

D'ujanga, F.M., Baki, P., Olwendo, J.O., Twinamasiko, B.F., 2013. Total electron content of the ionosphere at two stations in East Africa during the 24–25 October 2011 geomagnetic storm. *Advances in Space Research*, 51(5), 712-721.

Enders, W., 1995. *Applied Econometric Time Series*. John Wiley and Sons: UK. 63-150.

Engle, R.F., Granger, C.W.J., 1987. Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. *Econometrica*, 55, 251-276.

Hamilton, D. C., Gloeckler, G., Ipavich, F. M., Stüdemann, W., Wilken, B., Kremser, G., 1988. Ring current development during the great geomagnetic storm of February 1986. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 93(A12), 14343-14355.

Hao, Y. Q., Shi, H., Xiao, Z., Zhang, D. H., 2014. Weak ionization of the global ionosphere in solar cycle 24. *Annales Geophysicae*, 32 (7), 809-816.

Hunsucker, R.D., Hargreaves, J. K., 2003, *The High-Latitude Ionosphere and its Effects on Radio Propagation*. 1-50, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Karatay, S., 2010. Deprem ile iyonküredeki toplam elektron içeriği arasındaki ilişkinin araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Klimenko, M. V., Klimenko, V. V., Ratovskii, K. G., Goncharenko, L. P., 2011. Ionospheric effects of geomagnetic storms at mid latitudes. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 5(3), 377-386.

Köroğlu, O., 2012. TUSAGA ve TUSAGA-AKTİF Ağı verileri ile toplam elektron içeriğinin istatistiksel analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

Kwiatkowski, D., Phillips P. C. B., Schmidt, P., Shin, Y., 1992. Testing the Null Hypothesis of Stationarity Against the Alternative of a Unit Root: How Sure Are We That Economic Time Series Have a Unit Root? *Journal of Econometrics*, 54, 159–178.

Laštovička, J., 2006. Forcing of the ionosphere by waves from below. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 68(3), 479-497.

Lühr, H., Xiong, C., 2010. IRI-2007 model overestimates electron density during the 23/24 solar minimum. *Geophysical Research Letters*, 37(23).

MacKinnon, J.G., 1996. Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. *Journal of Applied Econometrics*, 11(6), 601-618.

Mayaud, P.N., 1980. The Dst Index. In *Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices: American Geophysical Union*, 115-129.

Mosna, Z., Sauli, P., Santolik, O., 2007. Preparation of a database for the study of scaling phenomena in the ionosphere. *WDS'07 Proceeding of Contributed Papers*, 2, 86-92.

Nayir, H., 2007. Yerküresel Konumlama Sistemi işaretleri kullanarak iyonküre Toplam Elektron İçeriği Kestirimi. Yüksek Lisans Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Olwendo, O. J., Baki, P., Cilliers, P. J., Mito, C., Doherty, P., 2013. Comparison of GPS TEC variations with IRI-2007 TEC prediction at equatorial latitudes during a low solar activity (2009–2011) phase over the Kenyan region. *Advances in Space Research*, 52(10), 1770-1779.

Özcan, O., Aydoğdu, M., Yeşil, A., Güzel, E., 1996. The Damping of Radio Waves in the Ionospheric Plasma over Elazığ. *F. Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, s. 113–123

Özgüç, A., Ataç, T., Pektaş, R., 2008. Examination of the solar cycle variation of foF2 for cycles 22 and 23. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70(2), 268-276.

Rishbeth, H., Garriot, O.K., 1969. *Introduction to Ionospheric Physics*. Academic Press, New York.

Sağır, S., 2008. IRI-2001 Modeli İle Elde Edilen F2-Bölgesinin Maksimum Elektron Yoğunluğunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.

Sağır, S., 2013. QBO'nun iyonküre üzerindeki etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.

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.

Tariku, Y. A., 2015. TEC prediction performance of the IRI-2012 model over Ethiopia during the rising phase of solar cycle 24 (2009–2011). *Earth, Planets and Space*, 67(1), 140.

Trigunait, A., Parrot, M., Pulinets, S.A., Li, F., 2004. Variations of the ionospheric electron density during the Bhuj seismic event. *Annales Geophysicae*, 22 (12), 4123-4131.

Uğurlu, O., 2007. IONOLAB Yöntemi ile web tabanlı toplam elektron içeriği hesaplanması ve sunumu, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Ulukavak, M., Yalçınkaya, M., 2014. Toplam Elektron İçeriği (TEC) Değerleri ve Deprem İlişkisinin İncelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 107-116.

Verkhoglyadova, O. P., Tsurutani, B. T., Mannucci, A. J., Mlynczak, M. G., Hunt, L. A., Runge, T., 2013. Variability of ionospheric TEC during solar and geomagnetic minima (2008 and 2009): external high speed stream drivers. *Annales Geophysicae*, 31(2), 263.

Vlasov, M., Kelley, M.C., Kil, H., 2003. Analysis of ground-based and satellite observations of F-region behavior during the great magnetic storm of July 15, 2000. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 65, 1223-1234.

Yiğit, E., Knížová, P. K., Georgieva, K., and Ward, W., 2016. A review of vertical coupling in the Atmosphere–Ionosphere system: Effects of waves, sudden stratospheric warmings, space weather, and of solar activity. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 141, 1-12.

Zhang, D., Xiao, Z., 2000. Study of the ionospheric TEC using GPS during the large solar flare burst on Nov. 6, 1997. *Chinese Science Bulletin*, 45(19), 1749-1752.

URL-1 <http://www.swpc.noaa.gov/phenomena/total-electron-content> 19.10.2017

URL-2 <http://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>  
21.03.2017

URL-3 High Frequency Active Auroral Research Program WEB  
<http://www.harp.alaska.edu> 11.11.2016

URL-4  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Structure\\_of\\_the\\_magnetosphere\\_mod.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Structure_of_the_magnetosphere_mod.svg)  
02.01.2018

URL-5 <http://www.swpc.noaa.gov/phenomena/coronal-mass-ejections>,  
09.12.2016

URL-6 <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-interplanetary-magnetic-field-imf>, 11.11.2016

## ÖZGEÇMİŞ

Abdulkerim AYTAŞ 1976 yılında Bingöl ilinin Solhan ilçesinde dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini Bingöl’de tamamladıktan sonra 2004 yılında Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. Evli ve iki çocuk babasıdır.

