



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞİDDETLİ JEOMANYETİK FIRTINALAR
SIRASINDA TÜRKİYE İYONKÜRESİNDEKİ
DEĞİŞİMLERİN TUSAGA-AKTİF
İSTASYONLARI KULLANILARAK
ARAŞTIRILMASI**

Mehmet GÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Temmuz-2023
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞİDDETLİ JEOMANYETİK FIRTINALAR
SIRASINDA TÜRKİYE İYONKÜRESİNDEKİ
DEĞİŞİMLERİN TUSAGA-AKTİF
İSTASYONLARI KULLANILARAK
ARAŞTIRILMASI**

Mehmet GÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Danışman. Doç. Dr. Ramazan ATICI

Temmuz-2023
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL ve ONAYI

Mehmet GÜR tarafından hazırlanan “**Şiddetli Jeomanyetik Fırtınalar Sırasında Türkiye İyonküresindeki Değişimlerin TUSAGA-AKTİF İstasyonları Kullanılarak Araştırılması**” adlı tez çalışması 20/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu 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. Ramazan ATICI
Muş Alparslan Üniversitesi,
TBMYO, Elektronik ve Otomasyon

.....

Üye

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

.....

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

.....

FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza
Mehmet GÜR

Tarih: 19/07/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞİDDETLİ JEOMANYETİK FIRTINALAR SIRASINDA TÜRKİYE İYONKÜRESİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN TUSAGA-AKTİF İSTASYONLARI KULLANILARAK ARAŞTIRILMASI

Mehmet GÜR

**Muş Alparslan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

Danışman. Doç. Dr. Ramazan ATICI

24. Güneş döngüsünde meydana gelen altı şiddetli jeomanyetik fırtınanın Türkiye iyonküresi üzerindeki etkisi Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) sistemindeki altı istasyon (*datc, hors, midy, oniy, tekr ve vezi*) kullanılarak araştırılmıştır. Bu istasyonlardan iyonküresel değişimi karakterize eden Toplam Elektron İçeriği (TEİ) değerleri İONOLAB-TEC yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. TEİ değerleri jeomanyetik olarak tedirgin ve sakin durumlar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Şiddetli jeomanyetik fırtınalar iyonküresel tepkiyi tespit etmek için istatistiksel olarak Fark ve Diferansiyel ROT (DROT) yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler ile elde edilen sonuçlara göre Türkiye iyonküresinde pozitif ve negatif iyonküresel fırtınaların meydana geldiği ifade edilebilir. Pozitif fırtınalar fırtına ana fazında meydana gelirken negatif iyonküresel fırtınalar ise geri dönüş fazında meydana gelmiştir. Ayrıca bu çalışmada fark yöntemine göre 24. Güneş döngüsünün son yıllarında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtınalar sırasında Türkiye iyonküresi üzerinde bir iyonküresel fırtınanın meydana gelmediği ifade edilebilir. DR-OT yöntemine göre ise ilk üç fırtınada Türkiye iyonküresi üzerinde jeomanyetik olarak tedirgin olan tüm günlerde genel olarak orta ölçekli iyonküresel tedirginliklerin meydana geldiği ifade edilebilir. Ancak son üç fırtınada genel olarak fırtınanın ana fazında büyük ölçekli iyonküresel tedirginliklerin olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Ağustos 2018 şiddetli fırtınasında jeomanyetik olarak tedirgin tüm günlerde büyük ölçekli iyonküresel tedirginliklere yol açtığı gözlenmiştir. Bu bulgular ışığında solar rüzgarlar ve yerin manyetik alanının Türkiye iyonküresi üzerinde sürekli olmasa da pozitif ve negatif fırtınalara yol açtığı ayrıca orta ve büyük ölçekli iyonküresel tedirginliklere sebep olduğu ifade edilebilir. Hem büyük ve orta ölçekli iyonküresel tedirginliklerin hem de negatif ve pozitif iyonküresel fırtınaların radyo iletişimi, uydu tabanlı navigasyon sistemleri ve iyonküreye dayanan diğer teknolojiler üzerinde önemli etkileri olabileceğinden dolayı bu bozulmaların izlenmesi ve anlaşılması, etkilerini azaltmak ve daha sağlam sistemler geliştirmek için oldukça önemlidir.

2023, 48 Sayfa

Anahtar Kelimeler. iyonküresel tedirginlikler, jeomanyetik fırtınalar, iyonküre, toplam elektron içeriği

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF VARIATIONS IN TURKEY IONOSPHERE DURING SEVERE GEOMAGNETIC STORMS BY USING TUSAGA-ACTIVE STATIONS

Mehmet GÜR

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

Advisor. Assoc. Prof. Ramazan ATICI

The effects of six severe geomagnetic storms occurring in the 24th solar cycle on the Turkey ionosphere were investigated using six stations (*datc, hors, midy, oniy, tekr and vezi*) in the Turkey National Basic GNSS Network-Active (TUSAGA-Active) system. Total Electron Content (TEC) values, which characterize the ionospheric exchange, were calculated from these stations using IONOLAB-TEC software. TEC values were calculated separately for geomagnetically disturbed and calm situations. Statistically Differential and Differential ROT (DROT) methods were used to detect the ionospheric response in severe geomagnetic storms. According to the results obtained with these methods, it can be stated that positive and negative ionospheric storms occur in the ionosphere of Turkey. Positive storms also occurred in the main phase of the storm, while negative ionospheric storms occurred in the return phase. In addition, according to the difference method in this study, it can be stated that an ionospheric storm did not occur over the ionosphere of Turkey during the severe geomagnetic storms that occurred in the last years of the 24th solar cycle. According to the DROT method, it can be stated that medium-sized ionospheric disturbances occur on all days that are geomagnetically disturbed on the Turkey ionosphere in the first three storms. However, in the last three storms, it can be stated that large-scale ionospheric perturbations have occurred in the main phase of the storm in general. However, it can be stated that the severe storm of August 2018 caused large-scale ionospheric perturbations on all geomagnetically disturbed days. In the light of these findings, it can be stated that solar winds and the magnetic field of the earth cause positive and negative storms on the Turkey ionosphere, but not continuously, and cause medium and large-scale ionospheric disturbances. Because both large and medium-sized ionospheric perturbations and negative and positive ionospheric storms can have significant impacts on radio communications, satellite-based navigation systems, and other ionospheric-based technologies, monitoring and understanding these disturbances is crucial to mitigate their effects and develop more robust systems.

2023, 48 Pages

Keywords. ionospheric perturbations, geomagnetic storms, ionosphere, total electron content

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yapılmasında çok büyük katkıları olan hocam Doç. Dr. Ramazan ATICI'ya, değerli yardım ve yönlendirmelerinden dolayı Doç. Dr. Selçuk SAĞIR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde her zaman desteklerini hissettiğim anneme ve babama, çalışmalarımda her zaman bana destek olan çok değerli eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Mehmet GÜR
MUŞ-2023



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-AKTİF)	2
1.2 Toplam Elektronik İçeriği	3
1.3 Jeomanyetik ve İyonküresel Fırtınalar	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	9
3.1 ROT'un Diferansiyel Değeri (DROT)	10
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	13
4.1 Temmuz 2012 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular.....	13
4.2 Mart 2015 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular	20
4.3 Haziran 2015 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular	26
4.4 Aralık 2015 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular.....	31
4.5 Eylül 2017 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular	35
4.6 Ağustos 2018 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular.....	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	41
5.1 Sonuçlar	41
5.2 Öneriler	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	48

SİMGELER ve KISALTMALAR

Kısaltmalar

Ağ-18	:	2018 Yılın Ağustos Ayı
Ar-2015	:	2015 Yılıının Aralık Ayı
CROS	:	Gerçek Zamanlı Sabit GNSS
DROT	:	Diferansiyel ROT
Dst	:	Disturbed stor time
Ey-17	:	2017 Yılıının Eylül Ayı
GPS	:	Global Position System
GW	:	Yer Çekimi Dalgaları
Haz-15	:	2015 Yılıının Haziran Ayı
IMF	:	Gezenler Arası Manyetik Alan
IONOLAB	:	İyonküre Araştırma Laboratuvarı
IPP	:	İyonküresel Delme Noktası
LSTID	:	Büyük Ölçekli Seyyar İyonküresel Bozukluklar
Mar-15	:	2015 Yılıının Mart Ayı
MSTID	:	Orta Ölçekli Seyyar İyonküresel Bozukluklar
ROT	:	Rate Of TEC
SID	:	Sudden Ionospheric Disturbances (Ani İyonosferik
Bozukluklar)	:	
SSC	:	Sudden-Storm Commencement (Ani Fırtına
Başlangıcı)	:	
TEC	:	Total Electron Content
TECU	:	Toplam Elektron İçeriği Birimi
TEİ	:	Toplam Elektron İçeriği
Tem-12	:	2012 Yılıının Temmuz Ayı
TID	:	Seyyar İyonosferik Bozukluklar
TUSAGA-Aktif	:	Türkiye Ulusal GNSS Ağı-Aktif

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Atmosferi ve iyonküreyi etkileyen süreçlerin gösterimi	2
Şekil 1.2	Türkiye Ulusal GNSS ağına dağılımı (TUSAGA-Aktif)	3
Şekil 4.1	2012 yılında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 15-17 Temmuz 2012 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 25-27 Temmuz 2012 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.	14
Şekil 4.2	2015 yılında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ' nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 17-19 Mart 2015 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 25-27 Mart 2015 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.	21
Şekil 4.3	2015 yılının haziran ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 21-23 Haziran 2015 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 02-04 Haziran 2015 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.	27
Şekil 4.4	2015 yılının Aralık ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 20-22 Aralık 2015 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 28-30 Aralık 2015 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.	32
Şekil 4.5	2017 yılının Eylül ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 07-09 Eylül 2017 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 25-27 Eylül 2017 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.	37
Şekil 4.6	2018 yılının Ağustos ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 25-27 Ağustos 2018 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 07-09 Ağustos 2018 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1	Temmuz 2012 maksimum tedirginlik anının yüzdelik değerleri	17
Çizelge 4.2	Tem-12 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları	19
Çizelge 4.3	Mart 2015 fırtınası maksimum tedirginlik anının yüzdelik değerleri	24
Çizelge 4.4	Mar-15 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları	25
Çizelge 4.5	Haziran 2015 fırtınası maksimum tedirginlik anının yüzdelik değerleri	30
Çizelge 4.6	Haz-15 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları	30
Çizelge 4.7	Aralık 2015 fırtınası maksimum tedirginlik anının yüzdelik değerleri	35
Çizelge 4.8	Ar-15 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları	35
Çizelge 4.9	Ey-17 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları	38
Çizelge 4.10	Ağ-18 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları	40



1. GİRİŞ

İyonküre tabakasından 1900`lü yıllarda Guglielmo Marconi`nin yaptığı trans Atlantik deneyi ile bahsedilmeye başlanmıştır. Trans Atlantik deneyi Guglielmo Marconi`nin gönderdiği radyo dalgasının Atlantik okyanusunu aşarak Avrupa`daki diğer radyo alıcısına ulaşmasını ifade eder. Bu deney sonucunda radyo dalgalarının kıtalar arası iletildiği araştırılmaya başlanmıştır(Bittencourt, 2004). Bir radyo dalgası diğer uçtaki alıcıya ulaşıyorsa gönderilen radyo dalgasının yansımaları sağlayan ayna misali bir tabakanın atmosferde bulunması gerekir. Geri yansıyan radyo sinyalleri sayesinde üst atmosferde iyonküre tabakasının varlığından ilerleyen yıllarda bahsedilmeye başlanmıştır (Bittencourt, 2004).

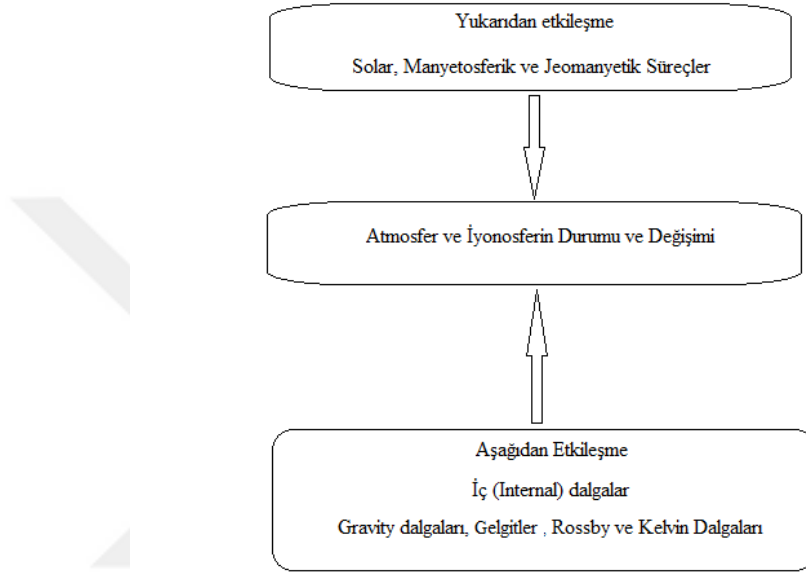
İyonküre tabakası yeryüzünden yaklaşık olarak 50 km`den başlayarak 1000 km`ye kadar uzanan bölgeye denir(Skone, 1998). Bu bölge elektron yoğunluğunun farklı oranlarda olduğu dört ayrı bölgeye ayrılarak farklı isimler verilmektedir. Genel olarak, 50 ile 90 km arası D bölgesi, 90 ile 140 km arası E bölgesi 140 km`nin yukarısına F bölgesi olarak isimlendirilmiştir. F bölgesi iyon-elektron yoğunluğunun en fazla olduğu bölgedir(Rishbeth ve Garriott, 1969).

İyonkürenin oluşumu sağlayan en temel etken Güneş`tir. Güneş`in manyetik kutuplarının yer değiştirme periyodu olan 11 yıllık Güneş döngüsü iyonküreyi büyük ölçüde etkiler(Rishbeth ve Garriott, 1969; Schunk ve Nagy, 2009). Bu manyetik kutupların yer değiştirmesi esnasında Güneş`te meydana gelen Güneş lekeleri sayısı değişiklik gösterir. Bu değişimden dolayı Güneş`ten gelen ışınların farklı dalga boylarında gelerek iyonküredeki iyon-elektron yoğunluğunun farklı olmasını sağlar. İyonkürede gece-gündüz, yerel zaman ve konuma bağlı olarak değişen elektron yoğunluğu, bu bölge hakkında bilgi toplamak kullanılan en temel parametredir. Gündüzleri Güneş`ten gelen ışık enerjisi daha fazla olacağı için elektron yoğunluğu daha fazla olur(Karatay ve ark., 2010). Elektron yoğunluğu daha fazla olduğu durumda iyonküre hakkında daha güvenilir bilgilere ulaşabiliriz.

İyonküredeki elektron yoğunluğu yerinde direkt olarak ölçülemez. Farklı yollardan iyonosonda, küresel yer konumlama sistemi (Global Position System, GPS) vb. yöntemlerle dolaylı olarak hesaplanabilir (Hawarey, 2006). Toplam elektron içeriği (TEİ) iyonkürenin tedirginliğini araştırmak için kullanılan parametrelerden biridir. Bu parametre uydu ile alıcı arasındaki ışın yolu bölgesindeki toplam elektron yoğunluğunu

ifade eder. GPS ağlarından elde edilen sade verilerin farklı yöntemleri ile işlenmesiyle elde edilir.

İyonküre aşağıdan ve yukarıdan olmak üzere birçok süreç tarafından etkilenmektedir. Yukarıdan Güneş ve jeomanyetik süreçler iyonkürede elektron iyonlaşmasını sağlarken, aşağıdan Gravity, Gel-Git, Rossby ve Kelvin dalgalarından meydana gelen atmosferik dalgalar ile meteorolojik süreçler elektron yoğunluğu üzerinde etkili olurlar (Yiğit ve ark., 2016). Bu süreçler Şekil 1.1.'de verilmektedir.



Şekil 1. 1 Atmosferi ve iyonküreyi etkileyen süreçlerin gösterimi (Yiğit ve ark., 2016).

1.1 Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-AKTİF)

TUSAGA-AKTİF ulusal yer konumlama sistemi Harita Genel Komutanlığı ve Tapu Kadastro Genel müdürlüğü iş birliği ile İstanbul Kültür Üniversitesi gözetimindeki proje sayesinde 146 adet GPS istasyonu ile kurulmuş olan bir sistemdir. Bunun 142 tanesi Türkiye’de 4 tanesi Kuzey Kıbrıs’ta bulunmaktadır (Şekil 1.2.). Uluslararası literatürde Gerçek Zamanlı Sabit GNSS (CORS) ağı olarak bilinen bu sistem Türkiye’de TUSAGA-AKTİF/CORS-TR isimlendirilmiştir. Bilimsel araştırma ve çalışmalar için ülke genelinde koordinatlar kullanılarak ekonomik, hızlı ve güvenli veri girişi sağlanır (Mekik ve ark., 2011).

Ülke genelinden gelen verilerin düzeltilmesi ve işlenmesi tek merkezden sağlanmaktadır. Birçok sektörde kullanılan bu sistem, bir yerin koordinatlarını yatayda 2-3 cm düşeyde ise 7-10 cm duyarlılığında ölçebilmektedir (Kutoglu ve ark., 2016).



Şekil 1.2 Türkiye Ulusal GNSS ağına dağılımı (TUSAGA-AKTİF) (URL-1, 2020)

1.2 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, metrekare başına elektron cinsinden ölçülür. 1 TEİ birimi $TECU = 10^{16}$ elektron/m² dir. Dünya iyonkürsünde dikey TEİ değerleri bir kaçtan birkaç yüz TECU'ya kadar değişebilir. İyonküredeki TEİ, Güneş aşırı ultraviyole radyasyonun, jeomanyetik fırtınaların ve alt atmosferden yayılmış olan atmosferik dalgaların etkisi ile değişir. Bu nedenle, TEİ yerel saat, enlem, boylam, mevsim, jeomanyetik koşullar, Güneş döngüsü ve aktivitesi ve troposfer koşullarına bağlı olacaktır (URL-1, 2020). 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 büyük TEİ değeri gün doğumundan hemen önce ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber Güneş ışınları direkt ulaştığı için TEİ değişimi kuzeyden güneye doğru artmaktadır (Ulukavak ve Yalcinkaya, 2017).

1.3 Jeomanyetik ve İyonküresel Fırtınalar

Jeomanyetik fırtına, Güneş plazmasında biriken yüksek enerjili yüklü parçacıkların, elektron ve protonların, Güneş rüzgârı ile dünyaya doğru hareket etmesiyle Dünya'yı çevreleyen uzay ortamına verimli bir enerji değişimi olduğunda meydana gelen, Dünya'nın manyetosferindeki büyük bir tedirginliktir (Akasofu, 1964;

Burton ve ark., 1975; İnyurt, 2022). Bu fırtınalar, Dünya'nın manyetosferindeki akımlarda, plazmalarda ve alanlarda büyük değişiklikler üreten Güneş rüzgarındaki varyasyonlardan kaynaklanır. Bir jeomanyetik fırtına genel olarak üç aşamadan oluşur. Güneş rüzgâr hızında büyük bir artış olduğunda ve onu takip eden gezegenler arası manyetik alanda (IMF) kuzey yönlü bir ani bir değişim olduğunda fırtınanın ani başlangıç (sudden-storm commencement-SSC) evresi başlar. Bu evreyi fırtınanın başlangıç fazı takip eder. Daha sonra IMF güneye döner ve fırtınanın ana fazı başlar. Fırtınanın ana fazı IMF değerinin güney yönde maksimum değerine ulaşmasına kadar devam eder. Daha IMF taban durumdaki değerine dönmeye başlar ve bu evre fırtınanın geri dönüş fazı olarak bilinir. Jeomanyetik fırtınalar aynı zamanda dünyanın manyetik alanının yatay bileşeninde meydana gelen değişimler aracılığıyla da tanımlanırlar. Bu tanımlama tedirgin fırtına zamanı (Disturbance-storm time- Dst) indisi ile yapılır (Gulyaeva ve Stanislawski, 2008). Bu indise göre $Dst > -30$ nT, fırtına yok; -30 nT $> Dst > -50$ nT küçük fırtına; -50 nT $> Dst > -100$ nT orta fırtına; -100 nT $> Dst > -200$ nT büyük fırtına; $Dst < -200$ nT aşırı büyük fırtına olarak sınıflandırılır (Paznukhov ve ark., 2009; Žic ve ark., 2015; Manoharan ve ark., 2018).

Jeomanyetik fırtınalar direkt olarak iyonküreye yönelirse, iyonkürede önemli değişimlerin oluşmasına neden olabilir. Fırtınanın başlangıç fazı sırasında, manyetosferik elektrik alanı ve parçacık çökme modelleri genişler, elektrik alanları daha güçlü hale gelir ve yağış daha yoğun hale gelir. Bu aşamada Joule ve partikül ısıtma hızları ve elektrojet akımları artar. Ana faz sırasında üst atmosfere enerji girişi maksimuma çıkarken, geri dönüş fazı sırasında jeomanyetik aktivite ve enerji girişi azalır. Büyük fırtınalar için yoğunluk, bileşim ve iyonküre-termosfer sisteminin dolaşımı, küresel ölçekte önemli ölçüde değiştirilebilir. Bu değişiklikler, jeomanyetik aktivite sona erdikten sonra birkaç gün boyunca devam edebilir. Fırtına dinamiği sonucunda elektron yoğunluğu artarsa buna “pozitif iyonküresel fırtına”, elektron yoğunluğundaki azalmaya ise “negatif iyonküresel fırtına” denir. Negatif fırtınalar ağırlıklı olarak gece saatlerinde gözlenirken, pozitif fırtınalar genellikle gündüz periyotlarıyla ilişkilendirilir (Lu ve ark., 2008). Bununla birlikte, negatif fırtına etkileri, başlangıçta gece sektöründe olsalar bile, özellikle mutlak ölçekte gündüzleri daha büyük olma eğilimindedir (Paznukhov ve ark., 2009). Negatif fırtınaların ana mekanizması genellikle, daha hızlı bir rekombinasyon oranı ile sonuçlanan ve böylece plazmayı tüketen nötr atmosferin bileşim değişikliklerine atfedilir (Paznukhov ve ark., 2009). Pozitif iyonküresel fırtınayı açıklayan mekanizmalar şunları içerir. (a) oksijen

yoğunluğunda bir artış, (b) meridyen rüzgarlarındaki değişiklikler, iyonküre yeniden birleştirme oranlarının daha düşük olduğu daha yüksek irtifalara, (c) doğruya doğru elektrik alanı iyonküreyi yükseltir ve aynı zamanda iyonküreyi daha düşük rekombinasyon oranlarına sahip bölgelere yönlendirir, (d) aşağı doğru protonosferik plazma akışları, (e) seyahat eden iyonküresel rahatsızlıklar (TID'ler), ve (f) bozulmuş elektrik alanları nedeniyle plazma yeniden dağılımı. Öte yandan, negatif fırtına fazı, O/N'de azalmaya yol açan nötr bileşimdeki değişikliklerden kaynaklanır(Huang ve ark., 2005).

Bu tez çalışmasında Türkiye iyonküresinde 24. Güneş devrinde meydana gelen altı şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında meydana gelen tedirginlikler, altı (*datc, hors, midy, oniy, tekr and vezi*) TUSAGA-AKTİF istasyonu için istatistiksel fark ve diferansiyel-ROT (DROT) yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünya iyonküresinin şiddetli Güneş patlamaları nedeniyle oluşan jeomanyetik fırtınalara tepkisi, iyonküreyi zaman ve yer ile varyasyonunu anlamak ve iyonküresel aktivitelerin modellenmesini ve tahminini geliştirmek için en önemli konulardan biridir. Bu durum radyo iletişimi, uydu navigasyonu, radar algılama ve trans-iyonküresel elektromanyetik dalga sinyallerini kullanan birçok sistem için hayati önem taşımaktadır (Rishbeth ve Garriott, 1969; Bittencourt, 2004; Schunk ve Nagy, 2009).

Jeomanyetik fırtınalar Dünya iyonküresinde değişik homojen olmayan süreçler ile sonuçlanacak şekilde Dünya'nın manyetik alanında tedirginliklere sebebiyet verirler. Jeomanyetik fırtınalar süresince iyonküresel tedirginliklerin varlığı çok sayıda yazar tarafından doğrulanmıştır (Prölss ve ark., 1991; Tsagouri ve ark., 2000; Matamba ve ark., 2015; Inyurt ve Sekertekin, 2019; Atıcı, 2019; Inyurt, 2020; Atıcı ve ark., 2020; Karatay, 2020b; Özcan ve ark., 2020; Chernigovskaya ve ark., 2021). Fakat çoğu etkinin fizikî mekanizması halen yeterince anlaşılmamıştır. Jeomanyetik fırtınaların iyonküresel etkileri yerel zaman, enlem, mevsim, solar aktivite fazı, fırtına yoğunluğu ve daha birçok faktöre bağlıdır. İyonküresel fırtınalar gezegenimizde hem şirket hem sivil vatandaşların yaşamları üzerinde giderek daha fazla önemli olmaktadır. Bu fırtınalar, elektrik güç şebekelerinde elektrik kesintilerine, yüksek enerji parçacıklarından dolayı uydularda zarara, uzaydaki radyasyona ve yüksek irtifada uçan uçaklarda riske maruz kalma artışı, uydularda atmosferik sürüklemeye değişikliklere, Global Konumlandırma Sisteminde (GPS) ve VLF navigasyon sisteminde ve HF iletişim kaybı ve sintilasyonlar nedeniyle UHF uydu bağlantılarında hatalara neden olurlar.

İyonküresel TEİ, özellikle manyetik fırtına dönemlerinde, iyonkürenin durumu belirlemek için son dönemde yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Mendillo, 2006; Atıcı, 2019; Mishra ve ark., 2020; Sharma ve ark., 2020; Inyurt, 2020; Atıcı ve ark., 2020; Jenan ve ark., 2021; Basciftci ve Bulbul, 2023; Keskin ve Külahcı, 2023). Jeomanyetik fırtına süresince manyetosfer içinde depolanan Güneş rüzgar enerjisi aşamalı olarak iyonküre ve termosfer içerisine aktarılır. Bu sürecin iyonküresel TEİ değerinde büyük oranda artma veya azalmalara sebep olacağı ifade edilmiştir (Rastogi, 1977; Laštovička, 1996; Danilov ve Lastovicka, 2001; Kikuchi ve ark., 2003; Fejer ve ark., 2007; Blagoveshchenskii, 2013; Purohit ve ark., 2015; Atıcı ve Sağır, 2020; Karatay, 2020a; Ulukavak, 2021). TEİ parametresi güneş olayları ve jeomanyetik

fırtınalara bağılı olarak değişim gösterir(Purohit ve ark., 2015; Atıcı ve ark., 2020; Mishra ve ark., 2020; Morozova ve ark., 2020). TEİ'nin Jeomanyetik fırtınalara göre değişimi, iyonkürenin sakin ve tedirgin durumları için ayrı ayrı ele alınır. Dahası, TEİ'nin jeomanyetik fırtınalar süresince değişimi coğrafik enleme göre de çok sayıda çalışmada incelenmiştir(Sharma ve ark., 2011; Klimentko ve ark., 2016; Atıcı ve Sağır, 2020; Akala ve ark., 2020).

GPS sinyali bozulmasının, navigasyon ve konumlandırma hatalarının ana nedenleri, kendini geniş bir ölçek aralığında plazma düzensizlikleri olarak gösterebilen Ani İyonküresel Bozulmalardan (Sudden Ionospheric Disturbances, SID) kaynaklanmaktadır (Afraimovich ve ark., 2000; Chakrabarti ve ark., 2005; Moreno ve ark., 2011; Wisdom ve ark., 2021). TID'ler iyonkürenin hem üst tarafından hem de altı tarafından zorlamalardan meydana gelebilecek periyodik veya yarı periyodik dalga benzeri rahatsızlıklara denir. Bu dalga benzeri rahatsızlıklar, iyonkürenin alt tarafından esas olarak atmosferik Yerçekimi Dalgalarının (Gravity-waves, GW) mezosfer ve alt termosfere bağlanmasından kaynaklanmaktadır (Nekrasov ve Shalimov, 2002; Eswaraiah ve ark., 2018). Büyük bir GW grubu genellikle Seyyar (Gezici) İyonküresel Bozulmalar (TID'ler) olarak gruplandırılır. Plazma düzensizlikleri, SID'ler ve TID'ler, GPS sinyallerinin hem genliğini hem de fazını etkiler. Bu nedenle, ilgilenilen bölgenin sürekli izlenmesi ve olumsuz etkilerin düzeltilmesinden önce bozulmaların tespit edilmesi gerekmektedir (Pi ve ark., 1997; Karatay, 2020a)

TID'ler, iyonküreden yayılan plazma yoğunluğu dalgalanmaları (Kubota ve ark., 2000; Hernández-Pajares ve ark., 2006) ve yerçekimi dalgaları (Buonsanto, 1999; MacDougall ve ark., 2009) nedeniyle oluşur. TID'ler genel olarak Orta Ölçekli Gezici İyonküresel Bozukluklar (MSTID ve Büyük Ölçekli İyonküresel Bozukluklar (LSTID) olarak iki tipte gruplandırılır(Buonsanto, 1999; MacDougall ve ark., 2009; Karatay, 2020a).

Bu tedirginliklerden MSTID'lerin oluşumunun çoğunlukla yerçekimi, gezegensel ve akustik dalgalar gibi aşağıdan gelen zorlamalara ve iyonkürenin alt katmanlarındaki meteorolojik süreçlere bağılı olduğu ve daha çok orta ve ekvatorial enlemlerde gözlemlendiği bildirilmektedir(Laštovička, 2006). MSTID'ler birkaç yüz kilometrelik yatay dalga boylarına, 100–250 m/s'lik yatay hızlara ve 15–60 dakikalık periyotlara sahiptir, ancak bu genel yönergeleri aşan gözlemler de yapılmıştır (Hocke ve Schlegel, 1996; Hernández-Pajares ve ark., 2006). MSTID'ler genellikle yerel kış aylarında gündüz ve

yerel yaz aylarında gece gözlenir ve ekvatora ve batıya doğru hareket ederler (Hernández-Pajares ve ark., 2006).

LSTID'ler genellikle iyonküreyi yukarıdan etkileyen kaynaklardan olan jeomanyetik fırtınalarla ilişkilidir. LSTID'ler 1 ila 3 saatlik periyotlara ve 1000 ila 4000 km yatay dalga boylarına ve 300 m/s'den daha yüksek hızlara sahip olabilir (Ding ve ark., 2007; Tsugawa ve ark., 2007). Ding ve ark. (2007) göre büyük ölçekli iyonküresel tedirginliklere, Joule ısınması ve Lorentz kuvvetlerinin bir sonucu olarak jeomanyetik fırtınalar sırasında auroral bölgede üretilen atmosferik yerçekimi dalgaları neden olur.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada jeomanyetik fırtınanın oluşumunu tanımlamak için çeşitli Güneş ve jeomanyetik indisler kullanılmıştır. Jeomanyetik üç saatlik Kp indeksi, 1949'da J. Bartels tarafından tanıtılmıştır ve 13 manyetik alan gözlemevinin standart K indeksinden (Ks) elde edildi. Güneş parçacık radyasyonunu manyetik etkilerini ölçmek için tasarlanmıştır ve bugün Güneş rüzgârından Dünya'ya enerji girişi için bir vekil olarak kabul edilmektedir. Kp, Dünya'nın manyetik alanındaki bozulmanın mükemmel bir göstergesidir ve uzay havası tarafından bu rahatsızlıklardan etkilenen kullanıcılar için jeomanyetik uyarıların verilmesi gerekip gerekmediğine karar vermek için kullanılır. Kp değeri 4 ve daha üst bir değere ulaştığında bir jeomanyetik tedirginlik hakkında uyarıda bulunulabilir. Bozulma Fırtına Süresi (Disturbed storm time, Dst) ekvatorial manyetik bozulma indeksleri, düşük enlemli yatay manyetik varyasyonun saatlik ölçeklerinden elde edilir. Küresel olarak simetrik batıya doğru akan yüksek irtifa ekvator halka akımının etkisini gösterir. Dst indisi, küresel simetrik ekvatorial elektrojenin ("halka akımı") yoğunluğunu ölçen, ekvator yakınındaki bir jeomanyetik gözlem ağından türetilen bir manyetik aktivite indisidir. Her iki veri seti NASA tarafından sağlanan OMNIWeb internet arayüzü kullanılarak fırtına dönemini de içine alacak elde edilecektir (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>). Manyetik aktivite indislerinin yanı sıra Güneş parametrelerinden Gezegenlerarası Manyetik Alanın z-bileşesi (IMF-Bz) ve proton parçacıkların hızı (Vp) değerleri de aynı siteden elde edilerek jeomanyetik fırtınanın genel durumu değerlendirildi.

Fırtına koşullarında iyonküresel TEİ verileri Hacettepe Üniversitesi İyonküre Araştırma Laboratuvarı (IONOLAB) tarafından geliştirilen kestirim algoritması kullanılarak TUSAGA-AKTİF ağındaki istasyonlar için elde edilmiştir. TEİ uydusu ile alıcı arasındaki bir L yolu boyunca mevcut olan elektronların çizgi integrali olarak tanımlanır. Bu değer bir metre-kare alanlı bir silindirik boyunca toplam elektronların sayısını ifade eder ve 10^{16} el/m² ye eşit olan TECU birimi ile ölçülür. Bu çalışmada Türkiye Ulusal GNSS ağındaki (TUSAGA-Aktif) altı istasyon için göz önüne alınan fırtınalar için belirlenen günlerde RİNEX dosyaları indirilerek IONOLAB-TEC yazılımı aracılığıyla dikey TEİ (D-TEİ) değerleri elde edilmiştir. Bu istasyonlara ve çalışılan fırtınalara ait bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

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 şu şekilde tanımlayabiliriz. Belirli amaçlarla toplanan benzer sayısal bilgilere “veri” denir. Verileri inceleme işiyle uğraşan bilim dalına da istatistik denir. Bu anlamı ile istatistik, belirli amaçlar için belirli yollarla veri toplama ve verileri inceleme amacıyla geliştirilmiş teknikler ve yöntemler bilimidir(Sağır ve ark., 2018).

Bu tezde Türkiye iyonküresinde meydana gelebilecek iyonküresel fırtınaları araştırmak için kullanılan istatistiksel yöntemler minimum ve maksimum fark yöntemidir. Buna göre tedirgin günlerdeki elde edilen TEİ değerlerinden değerlerinin sakin günlerdeki ortalama TEİ değerleri çıkarılarak yüzde sapma değerleri elde edilmiştir. Yüzde sapma aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\%VTEİ = \frac{VTEİ_{ted} - VTEİ_{sak-ort}}{VTEİ_{ted}} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada $VTEİ_{ted}$ tedirgin günlerdeki TEİ değerlerini gösterirken, $VTEİ_{sak-ort}$ sakin günlerin ortalama TEİ değerlerini ifade eder.

3.1 ROT'un Diferansiyel Değeri (DROT)

Ayrıca Türkiye iyonküresinde meydana gelebilecek tedirginlikleri araştırmak için de diferansiyel rot (DROT) yöntemi uygulanmıştır(Karatay, 2020a). TEİ'nin Diferansiyel Hızı (DROT), iyonküresel bozuklukları otomatik olarak tespit etmek ve daha fazla araştırma için iyonküresel bozuklukların yoğunluğunu ölçeklendirmek için önerilen bir yöntemdir. Gün d , GPS alıcısı u için GPS-TEC değerleri şu şekilde gösterilsin.

$$x_{u,d} = [x_{u,d}(1) + \dots + x_{u,d}(n) + \dots + x_{u,d}(N)]^T \quad (3.2)$$

Burada N , u istasyon, d günü için GPS-TEC değerlerinin toplam sayısıdır ve T transpoz operatördür.

TEİ Oranı (ROT, **R**ate **O**f **T**EC), iyonkürenin zamansal değişkenliğini araştırmak için en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. ROT yöntemi genellikle iyonküresel dalgalanmaların bir ölçüsünü elde etmek için uygulanır. ROT, bir

zaman aralığında TEİ'nin değişim hızına eşdeğerdir ve TECU/s birimlerindedir. Bu çalışmada, zamansal türev ROT, TEİ verileri üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$ROT_{u,d}(n) = \frac{(x_{u,d}(n+1) - x_{u,d}(n))}{\Delta t} \quad (3.3)$$

Burada Δt örnek aralığının zamanının gösterir ve 30 s'dir. Daha sonra, elde edilen ROT değerlerini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$\mathbf{ROT}_{u,d} = [ROT_{u,d}(1) + \dots + ROT_{u,d}(n) + \dots + ROT_{u,d}(N)]^T \quad (3.4)$$

Bu değerlere daha sonra lineerleşme problemini çözmek için medyan filtresi kullanılır. Medyan filtresi, Dijital Sinyal/Görüntü İşleme'de, bir görüntü veya sinyalden gürültüyü gidermek veya yumuşatmak için sıklıkla kullanılan doğrusal olmayan bir dijital filtreleme tekniği olarak tanımlanabilir. Medyan filtreleri, gürültü genliği olasılığının büyük kuyruklara ve periyodik kalıplara sahip olduğu durumlarda rastgele gürültünün azaltılmasında faydalıdır. Medyan filtreleme işlemi, sinyal veya görüntü üzerinde kayan bir pencere ile gerçekleştirilir. DROT yöntemi ile medyan filtresini uygulamak için ilk önce farklı uzunluklarda iki kayan pencere, t_{f1} ve t_{f2} belirlenir ve verilere uygulanır. Bu çalışmada ilk filtre uzunluğu t_{f1} , GPS anteni faz hataları, sinyal işleme ve anlık veri kaybı ve düşük Sinyalden Taşıyıcıya (SCR) veya Sinyalden Gürültüye (SNR) veya güç oranları gibi iyonküresel değişkenlikle ilgili olmayan nedenlerle ani değişim veya kesinti gibi gürültü verilerini düzeltmek için uygulanır (Karatay, 2020a). Böylece, ilk medyan filtresi ROT'a şu şekilde uygulanır.

$$\mathbf{Y}_{u,d} = medfilt(\mathbf{ROT}, t_{f1}), \quad (3.5)$$

TEİ'nin yapısının eğilimini tahmin etmek için, ikinci sürgülü pencere medyan süre filtresi t_{f2} , uygulanır ve.

$$\widehat{\mathbf{Y}}_{u,d} = medfilt(\mathbf{ROT}, t_{f2}) \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem (3.6) , ROT'un yavaş değişen trend yapısını temsil eder ve bu doğrusal olmayan trend filtresi ile 15 dakikadan kısa ve 4 saatten uzun sürelerle sahip olabilecek diğer tüm olası bozulmalar düzeltilir.

İyonküreden kaynaklanamayan TEİ değişkenliğini azaltmak için, ilk kayan pencere medyan filtre uzunluğu 12.5 dakikaya karşılık gelecek şekilde $t_{f1} = 25$ olarak seçilmiştir (Karatay, 2020a). Bu değer Erol ve Arikan (2005), Sayin ve ark. (2010)'da tartışıldığı gibi orta enlem iyonküresinin geniş anlamda durağanlık periyoduna karşılık gelir. İkinci sürgülü pencere filtre uzunluğu $t_{f2} = 504$ olarak seçilmiştir. Bu değer 4.2 saate karşılık gelmiştir. DROT algoritmasının ikinci adımında fark, değişkenliğin bir göstergesi olan Denklem (3.5) ve (3.6)'dan elde edilebilir ve aşağıdaki gibidir.

$$D_{u,d} = Y_{u,d} - \widehat{Y}_{u,d} \quad (3.7)$$

Son olarak, DROT'un üçüncü adımında, DROT değerleri denklem (3.7) nın denklem (3.5)'e oranından elde edilebilir. Böylece;

$$DROT_{u,d} = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N [D_{u,d}(n)]^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N [Y_{u,d}(n)]^2}} \times 100 \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan istasyonların bilgileri ve sakin-tedirgin günler

Çalışmada Göz Öüne Alınan Fırtınalar ve Veri Alınan Tarihler	Fırtınalar	Veri Aralığı		Çalışmada Kullanılan İstasyonlar ve Koordinatları	İstasyon ismi	Enlem	Boylam
		Tedirgin	Sakin				
	16-Temmuz-2012	15-17 Temmuz	25-27 Temmuz		Datc	36, 42	27,41
	17-18-Mart-2015	17-19 Mart	25-28 Mart		Hors	40,02	42,10
	21-22-Haziran-2015	21-23 Haziran	2-4 Haziran		Midy	37,25	41,21
	21-22-Aralık-2015	20-22 Aralık	28-30 Aralık		Oniy	37,06	36,15
	7-8-Eylül-2017	07-09 Eylül	25-27 Eylül		Tekr	40,57	27,29
	25-Ağustos-2018	25-27 Ağustos	07-09 Ağustos		vezi	41,08	35,27

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

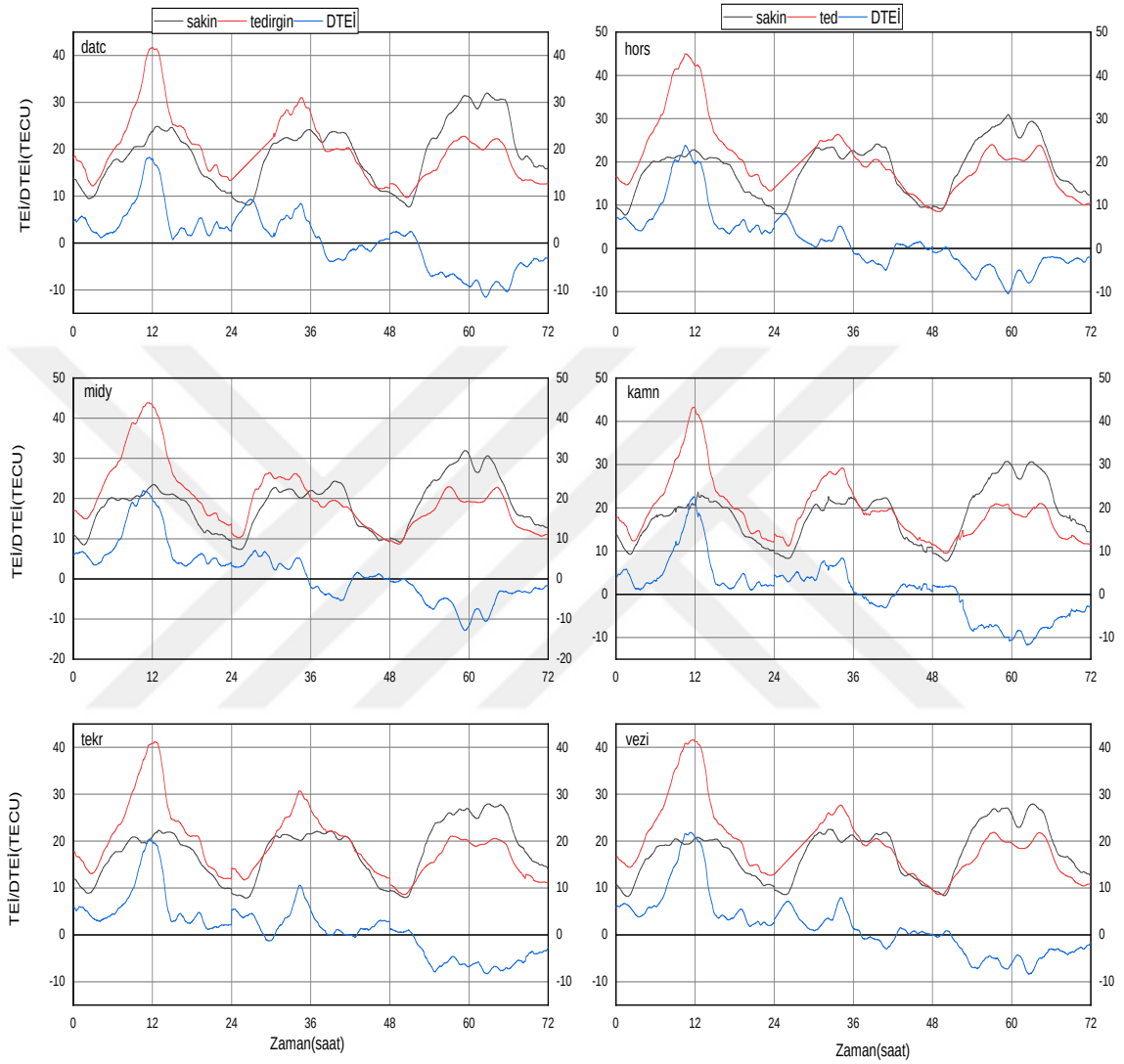
TEİ değerlerindeki küçük değişimin (%20-30) iyonküredeki rahatsız edici dinamo etkisi, fırtınalar sırasında veya yerel ısınma etkileriyle üretilebileceği gibi bölgesel rüzgar etkisi veya yerel yerçekimi dalgalarından kaynaklanabilecek olan günden güne değişkenliklerden dolayı meydana geldiği düşünülmektedir (Rishbeth ve Mendillo, 2001). Bir jeomanyetik fırtınanın iyonküresel bir fırtınaya yol açtığından söz edilebilmesi için TEİ değerlerinin sakin durumdakinden yüzde yirmi beş ve üzeri değerlere ulaşması ve bu tedirginliğin en az üç saat devam etmesi gerektiği literatürde ifade edilmektedir (Vijaya Lekshmi ve ark., 2011). Bu çalışmada fırtına ile aynı ay içerisindeki dört günlük sakin TEİ değerlerinin ortalaması alınarak sakin durumdaki değerler elde edilmiştir. Tedirgin durumundaki TEİ değerlerinden sakin durum için elde edilen ortalama TEİ değerleri çıkartılarak yüzdeler olarak TEİ'nin tedirginliği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken istasyonlardaki bazı değerler eksik çıktığı için excel programı kullanılarak eksik veriler lineer interpolasyon yöntemi ile tahmin edildi. Burada ifade edilen tüm işlemler Çizelge 3.1'de verilen fırtınalar ve istasyonlar için ayrı ayrı yapılmıştır.

4.1 Temmuz 2012 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular

2012 yılının Temmuz (Tem-12) ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye iyonküresindeki değişim TUSAGA-AKTİF sistemindeki altı istasyondan IONOLAB-TEC yazılımı ile elde edilen TEİ vasıtasıyla incelenmiştir. İnceleme fırtınanın meydana geldiği aydaki tedirgin (15-17 Temmuz 2012) ile sakin günler (25-27 Temmuz 2012) deki TEİ değerlerinin farkının alınması ile yapılmıştır.

Bu fırtına sırasında Güneş ve jeomanyetik parametrelerin değişimi incelendiğinde fırtınanın şiddetli bir jeomanyetik fırtına olduğu ifade edilebilir. Güneş parametrelerinden IMF-Bz bileşeninin 15 Temmuz saat 06.00 UT civarında kuzeyden güneye doğru yön değiştirdiği görülmektedir. Bu ani değişim jeomanyetik fırtınanın başlangıç fazının habercisidir. Aynı saatlerde jeomanyetik parametrelerden Kp değeri 6-7 arasındadır ve SYM-H değeri keskin bir şekilde azalmaya başlamıştır. SYM-H değeri yaklaşık saat 10.03 UT'de en düşük değeri olan -123 nT lık değere düşmüştür. Bu durum fırtınanın ana fazını ifade eder. Hem solar (IMF-Bz ve Vp) hem de jeomanyetik (Kp ve SYM-H) parametrelerin sakin ve tedirgin günlerde birbirinden önemli derecede farklı oldukları ifade edilebilir.

Tem-12 şiddetli jeomanyetik fırtınası sırasında Türkiye GPS ağı TUSAGA-AKTİF istasyonlarından *datc*, *hors*, *midy*, *kamn*, *tekr* ve *vezi* için *sakin* ve *tedirgin* günlerdeki RİNEX dosyalarından IONOLAB-TEC yazılımı kullanılarak elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 2012 yılında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 15-17 Temmuz 2012 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 25-27 Temmuz 2012 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.

Şekil incelendiğinde tüm istasyonlarda fırtınanın başlangıç ve ana fazlarını kapsayan günlerde Türkiye iyonküresinde pozitif fırtınaların, geri dönüş fazında ise negatif fırtınaların meydana geldiği ifade edilebilir. Bu davranış fark işleminde net bir şekilde görülmektedir.

Şekildeki değişim her ne kadar Türkiye iyonküresi üzerinde pozitif ve negatif iyonküresel fırtınaların meydana geldiğini ifade etse de, yapılan istatistiksel analiz bu fırtınaların sürekli olarak değil de belirli saatlerde oluştuğunu ifade eder. Tem-12 şiddetli jeomanyetik fırtınası için Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen fırtınaların tahmini için sakin gün olarak 25-28 Temmuz 2012 günleri, tedirgin gün olarak 15-17 Temmuz 2012 tarihleri göz önünde bulundurulmuştur. Her bir TUSAGA-Aktif istasyonu için elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

datc istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 15 Temmuz 2012 tarihinde gece 00.00.00 - 03.42.00 zaman aralığında bir pozitif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Sonraki zaman diliminde TEİ değerlerindeki tedirginlik %25 değerini aşmadığından dolayı 03.42.00'dan sabah 09.00.30 kadar herhangi bir iyonküresel fırtınanın meydana gelmediği ifade edilebilir. 09.01.00 den öğleden sonra saat 14.05.30 kadar yine pozitif yönde iyonküresel bir fırtına meydana gelmiştir. Bundan sonraki zaman diliminde TEİ değerlerindeki tedirginlik iyonkürenin gündengüne değişimini ifade eden % 25'lik değeri aşmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 16 Temmuz 2012 tarihinde gece 00.10.30 zamanından saat 04.52.30 zaman dilimine kadar pozitif iyonküresel bir fırtınadan bahsedilebilir. Sonraki zaman diliminde bazı durumlarda % 25 geçen TEİ değerleri olmasına rağmen bu tedirginlik üç saatten az sürdüğü için bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez. Daha sonra bazı zaman dilimlerinde negatif yönlü bir eğilim olsa da TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25'in üzerine çıkmadığı için negatif yönlü bir fırtınadan bahsedilemez. 17 Temmuz 2012 tarihinde genel olarak negatif yönlü iyonküresel fırtına oluşumuna yönelme söz konusudur. Bazı zaman dilimlerinde TEİ değerleri % 25 'in üzerine çıkmasına karşın genel olarak TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez.

hors istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 15 Temmuz 2012 tarihinde 03.50.00-04.07.00 arasında, 14.26.00-18.14.30 arasında, 19.57.00-20.42.00 ve 23.04.00-23.27.00 zaman aralıkları hariç diğer zamanlarda pozitif yönlü bir iyonküresel fırtınanın meydana geldiği ifade edilebilir. 16 Temmuz 2012 tarihinde gece saatlerindeki fırtınanın bir önceki günde meydana gelen pozitif iyonküresel fırtınanın 00.00.00 zamanından saat 03.17.00 zaman dilimine kadar devam ettiği söylenebilir. Diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik genel olarak % 25'i aşmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 17 Temmuz 2012 tarihinde ise *datc* istasyonundaki gibi genel olarak negatif yönlü iyonküresel fırtına oluşumuna

yönelme söz konusu olmasına rağmen, TEİ değerleri % 25'in üzerine çıkmadığı için gün boyunca iyonküresel bir fırtınadan bahsedilemez.

midy istasyonu için 15 Temmuz 2012 tarihinde gece 00.00.00 zamanından saat 05.53.30 zaman dilimine kadar pozitif bir iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. TEİ değerlerindeki tedirginliğin zamanla azaldığı bir iyonküresel fırtına meydana gelmiştir. Aynı gün 06.26.30'dan 14.26.00 kadar pozitif bir iyonküresel fırtına meydana gelmiştir. Diğer zaman dilimlerinde TEİ değerleri %25 'in üzerine bazen çıksa da bu tedirginlik üç saat devam etmediği için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 16 Temmuz 2012 tarihinde gece 01.09.30 zamanından saat 05.30.00 zaman dilimine kadar bir pozitif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilirken diğer zaman dilimlerinde TEİ değerleri %25'in üzerine çıkmadığı için iyonküresel bir fırtınadan söz edilemez. 17 Temmuz 2012 tarihinde her ne kadar negatif bir iyonküresel fırtına oluşumu yönünde bir eğilim olsa da TEİ değerleri üç saat boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz etmek mümkün olmaz.

oniy istasyonunda tedirgin günlerden 15 Temmuz 2012 için gözlem yapılamadığından dolayı TEİ değerleri hesaplatılamamıştır. Dolayısıyla 15 Temmuz için herhangi bir yorum yapılmamıştır. 16 Temmuz 2012 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25'in üzerine çıkmadığı için iyonküresel bir fırtınadan bahsedilemez. 17 Temmuz 2012 de ise sabah saatlerinde negatif yönde iyonküresel fırtına meydana gelse de kısa sürdüğü için genel olarak iyonküresel bir fırtına söz konusu değildir.

vezi istasyonundan elde edilen TEİ değerlerindeki tedirginlik incelendiğinde 15 Temmuz 2012 tarihinde gece saat 00.00.00' dan 03.38.30'a kadar pozitif bir iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. TEİ değerlerindeki sapma yüksek değerlerden azalana doğru bir yönelim sergilemektedir. Günün diğer zaman diliminden 07.18.00'dan saat 14.29.00 kadar bir iyonküresel fırtına meydana gelmektedir. Bazı saatlerde TEİ değerlerindeki tedirginliğin % 100'ün üzerine çıktığı ve diğer istasyonlara göre daha şiddetli bir iyonküresel fırtınanın meydana geldiği görülmüştür. Diğer zaman dilimlerinde TEİ değerleri bazen % 25'in üzerine çıksa da kısa sürdüğü için sakinlik söz konusudur. 16 Temmuz 2012 tarihinde gece 00.00.00 zamanından saat 03.49.30 zaman dilimine kadar bir pozitif iyonküresel fırtınadan söz edilebilir. Günün diğer zamanlarında TEİ değerlerindeki tedirginlik %25'in üzerine çıksa da bu tedirginlik üç saatten az sürdüğü için iyonküresel olarak sakin bir durum söz konusudur. 17 Temmuz 2012 tarihinde negatif yönlü bir eğilim söz konusudur. Bazı zaman dilimlerindeki tedirginlik negatif

%25 üzerine çıkan TEİ değerleri üç saatten kısa sürdüğü için gün boyunca TEİ değerlerinde tedirginlikten söz edilemez.

tekr istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 15 Temmuz 2012 tarihinde gece 00.00.00 zamanından saat 03.45.30 zaman dilimine kadar bir pozitif azalma eğiliminde bir iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zamanlarında 08.14.30'dan saat 14.10.00 kadar tekrardan TEİ değerleri% 25'in üzerine çıkarak pozitif eğilimli bir iyonküresel fırtına meydana gelmiştir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir.16 Temmuz 2012 tarihinde gece 00.00.00 zamanından saat 03.46.00 zaman dilimine kadar bir pozitif bir iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zamanlarında TEİ değerleri bazen %25'in üzerine çıkmasına karşın üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez.16 Temmuz 2012 tarihinde genel olarak negatif bir iyonküresel fırtına eğilimindedir. Bazı zamanlarda TEİ değerleri negatif yönde %25 'in üzerine çıksa da kısa üç saatten daha az sürdüğü için gün boyunca iyonküredeki tedirginlik olarak sakinlik söz konusudur.

Bu fırtına dönemi için fark işlemine göre ilgili istasyonlarda meydana gelen iyonküresel fırtınaların maksimum değerleri Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Temmuz 2012 maksimum tedirginlik anının yüzdelik değerleri

İstasyon	Zaman aralığı	Max. Zaman anı	15 Temmuz Max. %değer	16 Temmuz max.% değer
datc	00.00.00 - 03.42.00	01.17.30	79,23	
	00.10.30- 04.52.30	02.54.00		110,58
hors	00.00.00- 03.49.30	00.15.00	92,54	
	00.00.00- 03.17.00	01.19.30		135,35
midy	00.00.00- 05.53.00	01.19.00	91,50	
	01.09.30- 05.30.00	03.19.00		45,58
oniy	00.41.00- 03.09.00	01.59.30		64,83
tekr	00.00.00- 03.45.30	00.13.00	82,44	
	00.00.00- 03.46.00	02.44.30		51,02
vezi	07.18.30- 14.29.00	10.31.30	105,23	
	00.00.00- 03.49.30	01.56.00		89,18

Çizelgeden de görüleceği üzere iyonküresel fırtınaların *vezi* istasyonu hariç gece saatlerinde maksimum tedirginliğe yol açtığı ifade edilebilir. Bununla birlikte en büyük tedirginliğin %135,35 lik bir sapma ile *hors* istasyonunda 01.19.30 UTC (031930 Yerel Zaman) de meydana gelmiştir. Literatürde aynı fırtına dönemi için yapılan çalışmalarda Chakraborty vd. (2015) tarafından Hindistan sektörü için iyonküresel tedirginliklerin ortalama TEİ değerinden %30-60 arasında saptığını ifade etmişler(Chakraborty ve ark., 2015). Diğer bir çalışmada Kuai ve ark. (2017) Dünya iyonküresi üzerinde pozitif ve negatif fırtınaların meydana geldiğini ve bu fırtınaların, belirgin bölgesel ve yükseklik farklılıklarına sahip olduklarını ifade etmişlerdir (Kuai ve ark., 2017). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Türkiye iyonküresinde genellikle pozitif iyonküresel fırtınaların meydana geldiğini ve yüzde sapmanın yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç Tesema ve ark. (2015) tarafından ifade edildiği gibi orta enlemlerde fırtınanın tamamında pozitif iyonküresel fırtınaların gözlemlendiği sonucunu doğrular (Tesema ve ark., 2015).

DROT değerleri, TEİ'nin zamansal türevi olan ROT üzerindeki bozulma seviyesinin göstergeleridir (Efendi ve Arıkan, 2017). İyonküresel değişkenliğin şiddeti, STEC orta enleminin arka planına eklenen genlikleri, frekansları ve süreleri ile karakterize edilen sentetik salınımlar kullanılarak üç sınıfa kalibre edilir. Bahsedilen çalışmada iyonküresel bozulmaların şiddeti DROT değerinin düzeyine göre kategorize edilebilir. DROT değerleri %50 ile %70 arasındaysa, bozulma olası bir MSTID olarak kabul edilebilir. DROT %70'ten büyükse, TEİ'de bir LSTID'den kaynaklanabilecek güçlü bir bozulma gözlemlenebilir. Köroğlu ve Arıkan'da (2020) bir gün altı zaman aralığına bölünmüştür ve her bir kategorinin DROT oluşum yüzdesi ve büyüklük olarak STEC trendinden sapma hesaplanmıştır ve 2010 (düşük güneş aktivitesi), 2011 ve 2012 (orta) için uydu izleme yönleri ve zaman aralıkları halinde gruplandırılmıştır. Söz konusu çalışmada, düşük Güneş aktivitesi yıllarında 1 ila 2 TECU büyüklüğünde $50 < \text{DROT} < 70$ 'e karşılık gelen bozulmalar gözlemlenmiştir. $\text{DROT} > 70$, büyüklüğü 5 TECU'ya ulaşan daha büyük ölçekli jeomanyetik bozulmalar sırasında gözlenir. Karatay (2020a), genlik, frekans ve süre parametrelerindeki değişimler için değişken sınırları ve bozulma seviyelerini belirlemek için sentetik olarak bozulmuş IONOLAB-TEC'e Efendi ve Arıkan (2017)'a benzer bir çalışma uygulanmış ve farklı olaylar için iyonküresel tepkiyi belirlemiştir. 17 Mart 2015 jeomanyetik fırtınası sırasında DROT değerini tüm gün için %62.81 olarak ifade etmiştir. Bu sonuç *tübi* istasyonu üzerindeki iyonsoferde orta ölçekli bir iyonküresel bozulmanın meydana geldiğini ifade eder.

STEC, İyonosferik Delme Noktasında (IPP) bir 'Haritalama' işleviyle VTEC'ye dönüştürülür. Hem STEC hem de VTEC, alıcının, uydunun ve ölçüm aralığının işlevleridir. DROT, VTEC üzerinden çalıştırılırsa muhtemelen benzer davranışlara sahip olacaklardır. DROT'un STEC veya VTEC üzerine uygulanması, bozulmalar hakkında daha ayrıntılı ve anlayışlı bir sonuç sağlar, ancak büyük ölçekli bir ağ için daha fazla zaman alır. IONOLAB-TEC, tüm uyduları, yerel zirvede TEİ'nin GPS alıcısının yerel zenit yönünde doğru ve sağlam bir tahminini sağlayan Düzenleştirilmiş Tahmin (Reg-Est) adı verilen son teknoloji bir algoritma ile birleştirir. Bu nedenle, IONOLAB-TEC üzerinde DROT uygulaması, STEC ve VTEC üzerinde DROT uygulamasına kıyasla daha hızlı ve hesaplama açısından daha verimlidir (Karatay, 2020a).

Bu çalışmada ele alınan altı farklı şiddetli jeomanyetik fırtınaya iyonküresel tepki DROT yöntemiyle de incelenmiştir. 24. Solar devirde Temmuz 2012'de meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına için elde edilen DROT değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Tem-12 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları

TEMMUZ 2012 Şiddetli Fırtınası				
İstasyon	DROT değerleri			
	16-03-2015(sakın gün)	15-07-2012	16-07-2012	17-07-2012
datc	44.55	60.66	59.72	55.31
hors	31.57	53.58	63.15	58.51
oniy	35.44		64.55	58.21
midy	41.58	46.47	63.05	63.33
tekr	34.67	63.30	60.84	59.20
vezi	31.05	53.89	61.09	59.60

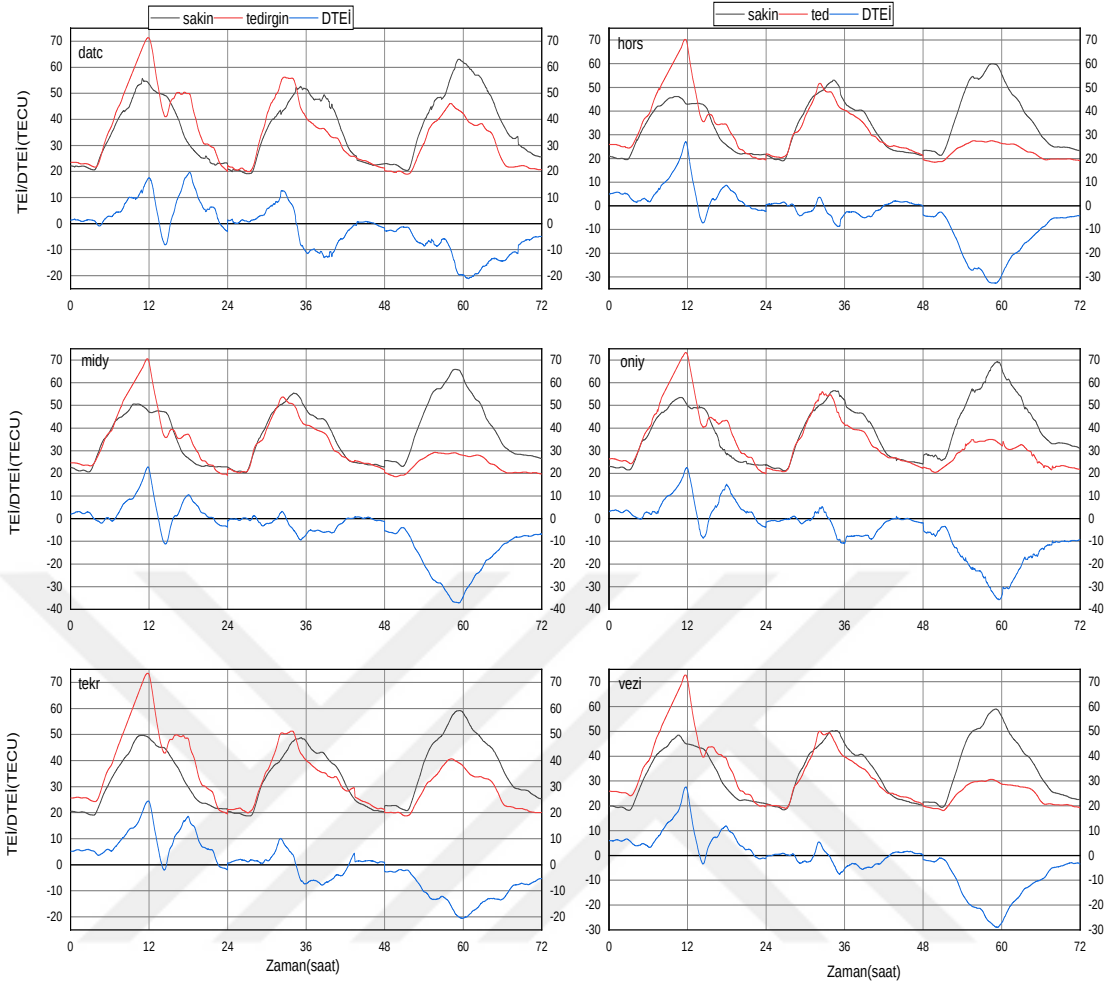
Çizelge 4.2'den de görüleceği üzere sakın gün olarak ele alınan 13 Şubat 2015 tarihinde TUSAGA-Aktif istasyonlarında elde edilen DROT değerleri % 50'nin altındadır. Bu sonuçlar bu istasyonlarda seyahat eden herhangi bir iyonküresel tedirginliğin (TID) meydana gelmediğini gösterir. Bununla birlikte 15-17 Temmuz 2012 tarihlerinde DROT değerleri % 50'den büyük % 70'ten küçüktürler. Efendi ve Arıkan (2017)'e göre üç gün için de bu değerler orta ölçekli seyahat eden iyonküresel tedirginliklerin (MLTID) bir göstergesi olabilir.

4.2 Mart 2015 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular

2015 yılının Mart (Mar-15) ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye iyonküresindeki değişim TUSAGA-AKTİF sistemindeki altı istasyondan elde edilen TEİ vasıtasıyla incelenmiştir. İnceleme fırtınanın meydana geldiği aydaki tedirgin (17-19 Mart 2015) ile sakin günler (25-27 Mart 2015) deki TEİ değerlerinin farkının alınması ile yapılmıştır.

Güneş parametrelerinden IMF-Bz nin 17 Mart saat 0523 UT civarında kuzey yönde 26 nT lık maksimum bir değişime sahiptir. Daha sonra bu değer azalmaya başlamış ve manyetik alan yön değiştirmiştir. Aynı saatlerde jeomanyetik parametrelerden Kp değeri 4-5 arasındadır ve SYM-H değeri 51 nT dır. SYM-H değeri yaklaşık saat 2248 UT'de en düşük değeri olan -234 nT lık değere düşmüştür. Bu durum fırtınanın ana fazını ifade eder. Hem solar (IMF-Bz ve Vp) hem de jeomanyetik (Kp ve SYM-H) parametrelerin sakin ve tedirgin günlerde birbirinden önemli derecede farklı oldukları ifade edilebilir. Bu fırtına sırasında güneş ve jeomanyetik parametrelerin değişimi incelendiğinde fırtınanın şiddetli bir jeomanyetik fırtına olduğu ifade edilebilir.

TUSAGA-AKTİF istasyonlarından *datc*, *hors*, *midy*, *oniy*, *tekr* ve *vezi* için sakin ve tedirgin günlerde elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4. 2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 2015 yılında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ' nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 17-19 Mart 2015 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 25-27 Mart 2015 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.

Mar-15 şiddetli jeomanyetik fırtınası sırasında Türkiye GPS ağı TUSAGA- Şekil incelendiğinde tüm istasyonlarda fırtınanın başlangıç ve ana fazlarını kapsayan günlerde Türkiye iyonküresinde pozitif fırtınaların, geri dönüş fazında ise negatif fırtınaların meydana geldiğinden söz edilebilir. Bu davranış fark işleminde net bir şekilde görülmektedir.

Şekildeki değişim her ne kadar Türkiye iyonküresi üzerinde pozitif ve negatif iyonküresel fırtınaların meydana geldiğini ifade etse de, yapılan istatistiksel analiz (denklem 1) bu fırtınaların sürekli olarak değil de belirli saatlerde oluştuğunu ifade edilebilir. Mar-15 şiddetli jeomanyetik fırtınası için Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen fırtınaların tahmini için sakın gün olarak 25-27 Mart 2015 günleri,

tedirgin gün olarak 17-19 Mart 2015 tarihleri göz önünde bulundurulmuştur. Her bir TUSAGA-Aktif istasyonu için elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

datc istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 16 Mart 2015 tarihinde genel olarak negatif yönlü iyonküresel fırtına oluşumuna yönelme söz konusudur. TEİ değerlerindeki tedirginlik sabah ve öğlen saatlerinde % 25 üzerine çıkmasına rağmen bu süre üç saatten daha kısa bir zaman aralığı sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınanın oluştuğu izlenimine varılamayabilir. Yani günün tamamında bir iyonküresel fırtınanın varlığından söz edilemeyebilir. 17 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde %25'in üzerinde çıkmasına karşın üç saatten daha kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınanın oluşmadığı sonucuna varılabilir. 18 Mart 2015 tarihinde öğle 11.51.00 zamanından saat 16.29.00 zaman dilimine kadar bir negatif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınanın meydana gelmediği ifade edilebilir. 19 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde negatif yönde tedirginlik meydana gelse de bu tedirginlik üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınanın varlığı söz konusu olmayabilir.

hors istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 16 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde negatif yönde %25'in üzerinde çıkmasına karşın kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınanın olmadığı ifade edilebilir. Gün boyunca TEİ değerlerindeki değişim negatif iyonküresel bir fırtınaya yönelimi söz konusudur. 17 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerinde meydana gelen tedirginlik günün bazı saatlerinde pozitif olarak %25'i aşmasına rağmen üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınanın varlığından söz edilemeyebilir. 18 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınanın oluşmadığı sonucuna varılabilir. 19 Mart 2015 tarihinde sabah 04.16.00 zamanından akşam saat 18.18.00 zaman dilimine kadar bir negatif iyonküresel tedirginlikten bahsedilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınanın olmadığı sonucuna varabiliriz.

midy istasyonu için 16 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde negatif olarak %25'in üzerinde çıkmasına rağmen kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınanın oluşumundan bahsedilemez. Gün süresince negatif

iyonküresel fırtınaya yönelimi söz konusudur. 17 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde pozitif yönde %25'in üzerinde çıkmasına rağmen üç saat zaman diliminden kısa olduğu için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez. Günün diğer zamanından genel olarak negatif iyonküresel fırtınaya yönelim söz konusudur. Fakat bu TEİ değerlerindeki tedirginlik %25 üzerine çıkmamasından dolayı iyonküresel olarak durgunluk söz konusu olabilir. 18 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün süresince %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınanın oluşmadığı sonucuna varılabilir. 19 Mart 2015 tarihinde sabah saat 04.12.30-18.45.00 zaman dilimleri arası negatif iyonküresel fırtınanın meydana geldiğinden söz edilebilir. Günün diğer sürelerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez.

oniy istasyonundaki veri hesaplamasından sonra 16 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde negatif gidişat %25'in üzerinde çıkmasına rağmen kısa zaman aralığı sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu olmayabilir. Gün boyunca negatif iyonküresel fırtınaya yönelim söz konusudur. 17 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı zaman dilimlerinde pozitif yönde %25'in üzerinde çıkmasına rağmen kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınanın oluşmadığı sonucuna varılabilir. 18 Mart 2015 tarihinde TEİ değerleri günün bazı saatlerinde negatif yönde %25'in üzerinde çıkmasına rağmen üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu olamayabilir. 19 Mart 2015 tarihinde sabah saat 05.17.30-17.49.00 zaman dilimine kadar bir negatif iyonküresel tedirginlikten söz edilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. Günün büyük bir bölümünde negatif yönde bir iyonküresel tedirginliğe yönelim söz konusu olabilir.

tekr istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 16 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün içerisinde %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. Gün içerisinde negatif yönde iyonküresel fırtınaya yönelim söz konusudur. Fakat bu yönelim TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25 'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez. 17 Mart 2015 tarihinde sabah saat 08.37.00-12.55.00 zaman dilimi ile öğleden sonra 16.33.30-19.50.30 kadar bir pozitif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik % 25'in aştığı zaman dilimleri

olsa da bu üç saatlik zaman dilimine ulaşmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 18 Mart 2015 tarihinde TEİ değerleri gün içerisinde %25'in üzerine çıkmadığı için her hangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez. 19 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde negatif olarak %25'in üzerinde çıkmasına rağmen kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. Gün boyunca negatif iyonküresel fırtınaya yönelimi söz konusudur.

vezi istasyonunda 16 Mart 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'i geçmediği için her hangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez. 17 Mart 2015 tarihinde gece 00.00.00-03.18.00 zaman dilimleri arasında pozitif yönlü iyonküresel fırtınadan söz edilebilir. Günün diğer zamanlarında bazen TEİ değerlerindeki tedirginlik %25'i aşıya da üç saatten kısa sürdüğü için iyonküresel olarak sakinlik söz konusu olabilir. 18 Mart 2015 tarihinde TEİ değerleri gün içerisinde %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir. 19 Mart 2015 tarihinde sabah 05.25.00 zamanından öğleden sonra saat 16.46.00 zaman dilimine kadar bir negatif yönlü iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zamanlarında TEİ değerlerindeki tedirginlik %25'in üzerine çıkmadığı için iyonküresel bir tedirginlik söz konusu olmayabilir. Yani günün diğer zamanlarında herhangi bir iyonküresel olarak sakinlikten söz edilebilir.

Bu fırtına dönemi için fark işlemine göre ilgili istasyonlarda meydana gelen iyonküresel fırtınaların maksimum değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Mart 2015 fırtınası maksimum tedirginlik anının yüzdelik değerleri

istasyon	Zaman Aralığı	Max. Zaman Anı	17 Mart max.% değer	18 Mart max.% değer	19 Mart max.% değer
Datca	11.51.00-16.29.30	15.32.00		-29,47	
Hors	04.16.30 - 18.18.00	10.13.30			-47,43
Midy	04.12.30-18.45.30	10.24.30			-47,96
Oniy	5.17.30 - 17.49.30	11.24.30			-42,83
Tekr	16.33.30 - 19.50.30	18.01.00	48,71		
Vezi	05.25.00 - 16.46.00	11.07.00			-40,83

Çizelgeden de görüleceği üzere 17 Mart günü *tekr* istasyonu hariç diğer günlerde iyonküresel fırtınaların gündüz saatlerinde maksimum tedirginliğe sebep olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte en büyük tedirginlik 17 Mart'ta pozitif yönde %48,71 lik

bir sapma ile *tekr* istasyonunda 18.01.00 UTC (200100 Yerel Zaman) de meydana gelmiştir. Aynı gün için diğer istasyonlarda herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir. Bunun yanı sıra 18 Mart'ta negatif bir iyonküresel fırtına sadece *datc* istasyonunda %-29,47 bir iyonküresel tedirginliğe neden olmuştur. 19 Mart'ta ise incelenen dört istasyonda (*hors* ,*midy* ,*oniy* ve *vezi*) sırasıyla %-47,43 , %-47,96 , %-42,83 , %-40,83 sapma ile negatif iyonküresel fırtınanın meydana geldiği ifade edilebilir. Bu sonuç literatürde ifade edilen şiddetli bir jeomanyetik fırtınanın dönüş fazında negatif iyonküresel fırtınaların meydana geleceği sonucu ile uyumludur. Örneğin Liu ve Shen, (2017) yapmış oldukları çalışmalarında Çin bölgesi üzerindeki orta ve düşük enlem istasyonlarında jeomanyetik fırtınanın dönüş fazında şiddetli negatif iyonküresel tepkiyi tespit etmişlerdir (Liu ve Shen, 2017).

Türkiye iyonküresi üzerinde şiddetli jeomanyetik fırtınaların etkisi DROT yöntemiyle de incelenmiş ve elde edilen sonuçlar çizelge 4.4 te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Mar-15 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları

MART 2015 Şiddetli Fırtınası				
İstasyon	DROT değerleri			
	16-Mart (sakin gün)	17 Mart	18 Mart	19 Mart
datc	44.55	51.70	51.63	44.38
hors	31.57	47.02	56.53	57.56
oniy	35.44	57.50	59.02	72.41
midy	41.58	44.97	59.33	50.94
tekr	34.67	52.71	51.91	45.78
vezi	31.05	44.99	51.12	56.61

Mar-15 şiddetli fırtınasına Türkiye iyonküresinin tepkisini DROT hesaplamasıyla incelediğimizde 16 Mart'ta sakinlik söz konusudur. Bunun yanı sıra çizelge 4.4 incelendiğinde 17 Mart *datc* ,*oniy* ve *tekr* istasyonlarda orta ölçekli seyahat eden iyonküresel bir tedirginlikten (MSTID) söz edilebilir.18 Mart'ta incelenen 6 istasyonda da MSTID meydana gelmiştir. 19 Mart'ta ise *datc* ve *tekr* istasyonları hariç diğer istasyonlarda *hors* ,*midy* ve *vezi* MSTID söz konusudur. *oniy* istasyonunda ise % 72.41 değere ulaşarak büyük ölçekli gezici iyonküresel bozulmanın meydana geldiği söylenebilir. Seçil (2020) Bu şiddetli jomanyetik fırtına günü için Türkiye iyonküresi üzerinde DROT alogaritması ile MSTID olduğunu tespit etmiştir. DROT alogaritmasını öneren Arıkan ve Efendi (2017) yapmış oldukları çalışmalarında üç şiddetli jeomanyetik fırtınanın meydana geldiği 29 Ekim – 01 Kasım 2003 tarihleri için *samp*,

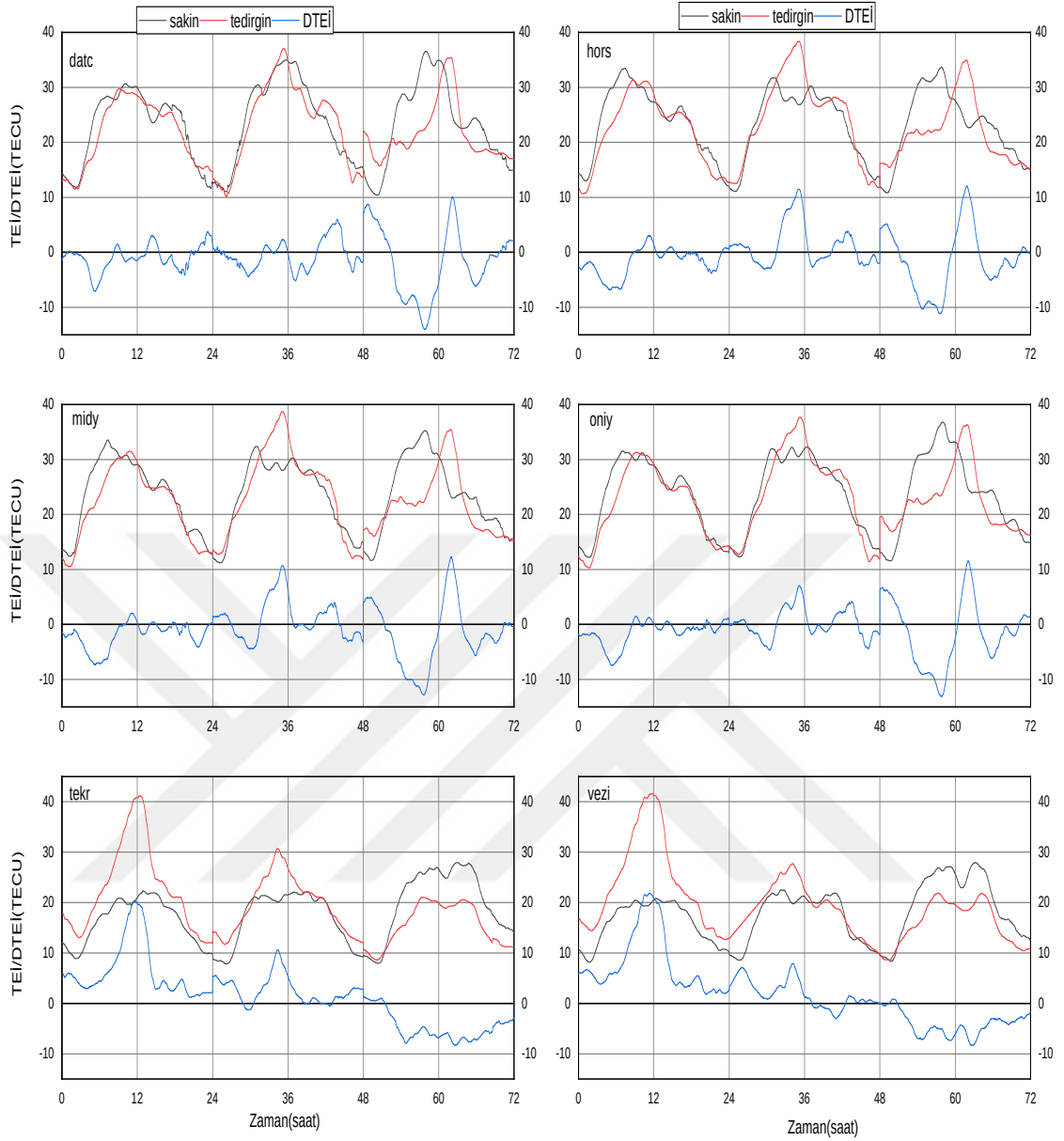
lbch, *pie1*, *amc2* ve *brew* istasyonlarında STEİ verilerine bu alogaritmayı uygulamışlar ve sırasıyla %96.59 , %99.80 ve %99.30 luk DROT değerlerini hesaplamışlardır. Bu değerler LSTID lerin meydana geldiğini ifade eder.

4.3 Haziran 2015 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular

2015 yılının Haziran (Haz-15) ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye iyonküresindeki değişim TUSAGA-AKTİF sistemindeki altı istasyondan elde edilen TEİ vasıtasıyla incelenmiştir. İnceleme fırtınanın meydana geldiği aydaki tedirgin (21-23 Haziran 2015) ile sakin günler (02-04 Mart 2015) deki TEİ değerlerinin farkının alınması ile yapılmıştır. Bu fark işlemi yapılırken ölçümün olmadığı günlerdeki veriler lineer enterpolasyon yöntemi ile varsayım ve fark işlemi gerçekleştirildi.

22-23 Haziran 2015 şiddetli jeomanyetik fırtınasını etkileyen temel olay, 22 Haziran'da UT 18.30'da meydana gelen ve uzay hava koşullarında önemli değişikliklere neden olan gezegenler arası şok dalgasıdır. Bu sırada proton hızı 400 km/s'den 700 km/s'ye, IMF-Bz bileşeni bu şok dalgasından sonra sürekli olarak pozitif-negatif değerler alarak ciddi bir dalgalanmaya maruz kalmıştır. Sym-H indeksi minimum değere (-208 nT) 23 Haziran 04.24 UT'de ulaştı. Bu aynı zamanda fırtınanın ana fazının sonunu ifade eder. Aynı saatlerde Kp değeri 7-8 arasındadır.

Haz-15 şiddetli jeomanyetik fırtınası sırasında Türkiye GPS ağı TUSAGA-AKTİF istasyonlarından *datc*, *hors*, *midy*, *oniy*, *tekr* ve *vezi* için sakin ve tedirgin günlerde elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.3'de gösterilmiştir



Şekil 4.3 2015 yılının haziran ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 21-23 Haziran 2015 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 02-04 Haziran 2015 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.

Şekil incelendiğinde tüm istasyonlarda fırtınanın başlangıç ve ana fazlarını kapsayan günlerde Türkiye iyonkürsünde pozitif fırtınaların, geri dönüş fazında ise negatif fırtınaların meydana geldiği ifade edilebilir. Bu davranış fark işleminde net bir şekilde görülmektedir.

Şekildeki değişim her ne kadar Türkiye iyonküresi üzerinde pozitif ve negatif iyonküresel fırtınaların meydana geldiğini ifade etse de, yapılan istatistiksel analiz bu

fırtınaların sürekli olarak değil de belirli saatlerde oluştuğunu ifade eder. Haz-15 şiddetli jeomanyetik fırtınası için Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen fırtınaların tahmini için sakin gün olarak 02-04 Haziran 2015 günleri, tedirgin gün olarak 21-23 Haziran 2015 tarihleri göz önünde bulundurulmuştur. Her bir TUSAGA-Aktif istasyonu için elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

datc istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 21 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde negatif olarak %25'in üzerinde çıkmasına rağmen üç saatten kısa sürdüğü için her hangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir. Gün süresince negatif iyonküresel fırtınaya yönelimi söz konusudur. 22 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 23 Haziran 2015 tarihinde gece 00.00.00 sabah saat 03.02.00 zaman dilimine kadar bir pozitif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün sabah saatlerinde 05.31.30'dan saat 10.52.00'a kadar geri dönüş fazına geçerek negatif bir iyonküresel fırtınadan söz edilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. Gün içerisinde hem negatif hem de pozitif yönlü iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir.

hors istasyonunda 21 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için her hangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. Gün boyunca genellikle negatif iyonküresel fırtınaya yönelimi söz konusudur. 22 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerleri günün bazı saatlerinde TEİ değerlerinde pozitif tedirginlik %25'in üzerinde çıkmasına rağmen kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 23 Mart 2015 tarihinde sabah 05.47.00-09.54.30 zaman dilimine kadar bir negatif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik pozitif olarak % 25'in üzerine çıkmasına karşın üç saatten kısa zaman dilimi sürdüğü için her hangi bir iyonküresel fırtınanın varlığından söz edilemez.

midy istasyonundan alınan verilerin hesaplanmasından sonra 21 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için her hangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir. 22 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde hem pozitif hem de negatif tedirginlik %25'in üzerinde çıkmasına rağmen üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 23 Haziran 2015 tarihinde sabah 06.06.30-10.09.00 zaman dilimine kadar negatif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün

diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik negatif ve pozitif olarak %25'in üzerine çıkmasına karşın kısa zaman dilimi sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez.

oniy istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 21 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün içerisinde %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir. Gün boyunca genellikle negatif iyonküresel fırtınaya yönelimi söz konusudur. 22 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde negatif %25'in üzerinde çıkmasına rağmen kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 23 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde hem pozitif hem de negatif olarak %25'in üzerinde çıkmasına karşın baz alınan üç saatlik zaman diliminden kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir.

tekr istasyonunda 21-22 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün süresince %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 21 Haziran Günü genellikle negatif iyonküresel fırtınaya yönelimi söz konusudur. 23 Haziran 2015 tarihinde sabah 05.07.30-10.24.00 zaman dilimine kadar negatif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik negatif ve pozitif olarak % 25'in üzerine çıkmasına karşın üç saat zaman diliminden kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez.

vezi istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 21 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz konusu değildir. Gün süresince genellikle negatif iyonküresel fırtınaya yönelimi söz konusudur. 22 Haziran 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde pozitif olarak %25'in üzerinde çıkmasına karşın üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 23 Haziran 2015 tarihinde sabah 05.03.00-10.12.30 zaman dilimine kadar bir negatif iyonküresel fırtına söz konusudur. Günün geri kalan zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik negatif ve pozitif olarak % 25'in üzerine çıkmasına karşın kısa zaman dilimi sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez.

Bu fırtına dönemi için fark işlemine göre ilgili istasyonlarda meydana gelen iyonküresel fırtınaların maksimum değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Haziran 2015 fırtınası maksimum tedirginlik anının yüzdelik değerleri

istasyon	Zaman aralığı	Max. Zaman anı	23 Haziran % değer
datca	00.00.00-03.02.00	00.43.30	68,14
hors	05.47.00-09.54.30	06.52.00	-33,60
midy	06.06.30-10.09.30	07.12.30	-32,50
oniy	00.00.00-02.26.00	00.27.30	45,49
tekr	05.07.00-10.24.00	06.51.00	-36,55
vezi	05.03.00-10.12.30	06.40.30	-39,32

Çizelgeden de görüleceği üzere iyonküresel fırtınaların sabah ve gece saatlerinde meydana gelmiştir. Fakat maximum tedirginlik gece saatlerinde meydana gelmiştir. Bununla birlikte en büyük tedirginliğin %68,14 lük bir sapma ile *datc* istasyonunda 00.43.30 UTC (02.43.30 YZ) de meydana gelmiştir. *hors* , *midy* , *tekr* ve *vezi* istasyonlarında dönüş fazında negatif iyonküresel bozulmalar meydana gelmiştir. *oniy* istasyonunda ise pozitif yönde % 45,49 sapma ile iyonküresel fırtına meydana gelmiştir.

Türkiye iyonküresi üzerinde şiddetli jeomanyetik fırtınaların etkisi DROT yöntemiyle de incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Haz-15 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları

İstasyon	Haziran 2015 Şiddetli Fırtınası			
	DROT değerleri			
	16-Mart (sakin)	21 Haziran	22 Haziran	23 Haziran
datc	44.55	64.85	62.15	66.76
hors	31.57	46.25	59.04	42.96
oniy	35.44	50.31	55.63	49.63
midy	41.58	48.51	57.34	48.39
tekr	34.67	55.22	59.75	59.46
vezi	31.05	47.39	60.98	52.67

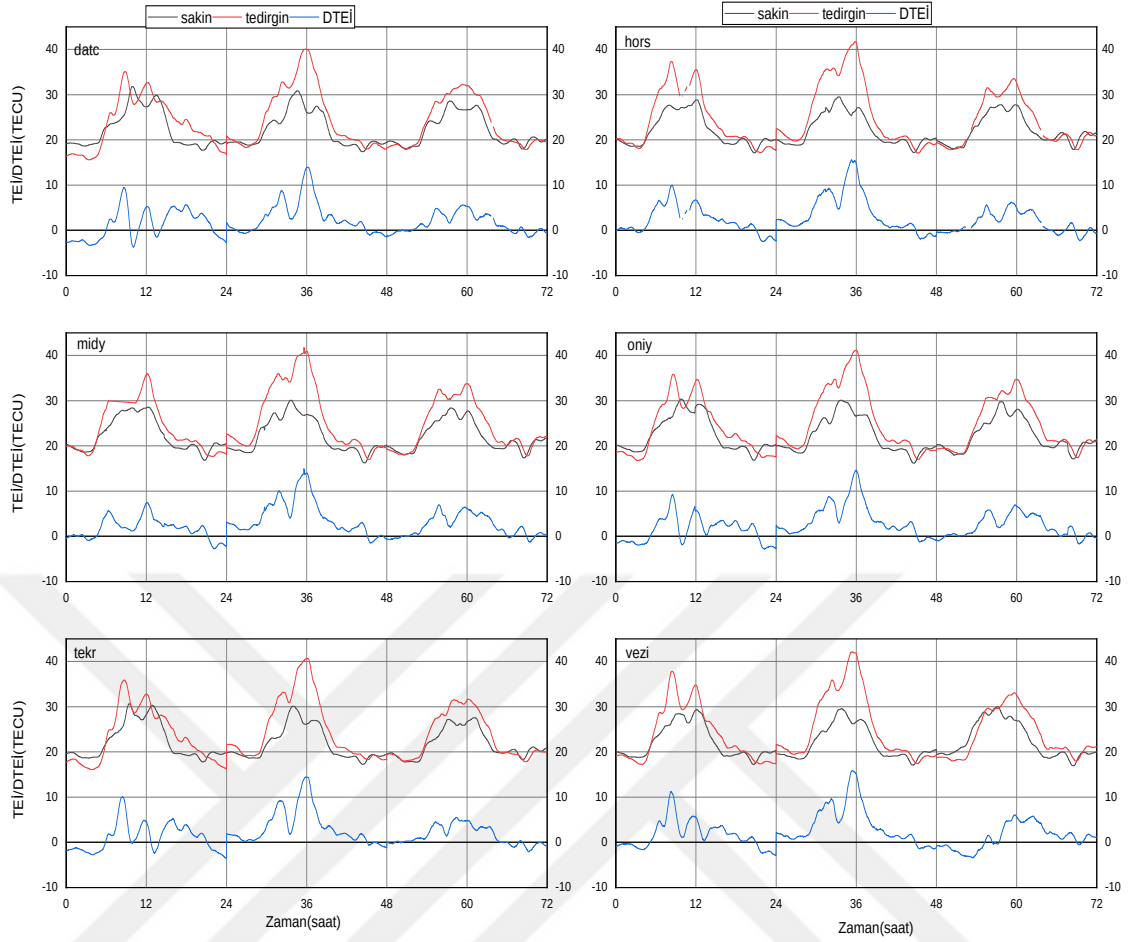
Haz-15 şiddetli fırtınasına Türkiye iyonküresinin tepkisini DROT hesaplamasıyla incelediğimizde 16 Mart günü bütün istasyonlarda herhangi bir tedirginliğin olmadığı ifade edilebilir. 21 Haziran'da *datc*, *oniy* ve *tekr* istasyonlarında orta ölçekli iyonküresel tedirginlikten söz edilebilir. 22 Haziran'da ise incelenen altı istasyonda da orta ölçekli iyonküresel bir tedirginlikten bahsedilebilir. 23 Haziran'da *hors*, *oniy* ve *midy* istasyonları dışında kalan diğer üç istasyonda da orta ölçekli iyonküresel tedirginlikten söz edilebilir.

4.4 Aralık 2015 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular

2015 yılının Aralık (Ar-15) ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye iyonküresindeki değişim TUSAGA-AKTİF sistemindeki altı istasyondan elde edilen TEİ vasıtasıyla incelenmiştir. İnceleme fırtınanın meydana geldiği aydaki tedirgin (20-22 Aralık 2015) ile sakin günler (28-30 Aralık 2015) deki TEİ değerlerinin farkının alınması ile yapılmıştır. Bu fark işlemi yapılırken ölçümün olmadığı günlerdeki veriler lineer enterpolasyon yöntemi ile varsayım ve fark işlemi gerçekleştirildi.

19–21 Aralık 2015'te meydana gelen güçlü bir jeomanyetik fırtınaya (G3 seviyesi) iyonküre tepkisini araştırdık. Bu fırtına, 16 Aralık 2015'te meydana gelen C6 sınıfı bir güneş patlaması ve gelen iki koronal kütle atımının bir sonucu olarak başladı. Güneş Rüzgarı ve gezegenler arası manyetik alan (IMF) parametrelerinde ani bir artışın kaydedildiği 19 Aralık 2015 tarihinde Dünya'nın manyetosferine. 19–21 Aralık 2015 için jeomanyetik koşulları sunar. Ani fırtına başlangıcı (SSC) 19 Aralık 2015'te ~1616 UT'de kaydedildi. Şok gelişinden kısa bir süre sonra, IMF dikey bileşeni (Bz) güçlü bir şekilde güneye doğru -10 nT'ye gitti, birkaç dakika sonra IMF Bz kuzeye döndü ve 1707 UT'de ~14 nT değerine ulaştı. IMF Bz, ~7 saat boyunca sıfır seviyesine yakın salınıyordu. 20 Aralık 2015'te ~03.20 UT'de IMF Bz ~17 nT'ye ulaştı ve ardından 03.38 UT'de keskin bir şekilde güneye -16 nT'ye döndü. Vp, plazma akış hızı, 19 Aralık günü 16.14 UT'de 363.2 km/s'den saat 16.16 UT'de 471.8 km/s'lik hıza ulaşmıştır. Daha sonra, IMF Bz'nin güney yönü çok uzun bir süreye sahipti, 21 Aralık 2015'te ~15.00 UT'ye kadar 35 saatten fazla sürdü. Aynı gün ~22.49 UT'de minimum -170 nT değeri. SYM-H varyasyonu açısından iyileşme aşaması, 22 Aralık 2015'e kadar 24 saatten fazla sürdü. Maksimum Kp değeri olan 7, 20 ve 21 Aralık 2015 tarihlerinde gözlemlendi.

Ar-15 şiddetli jeomanyetik fırtınası sırasında Türkiye GPS ağı TUSAGA-AKTİF istasyonlarından *datc*, *hors*, *midy*, *oniy*, *tekr* ve *vezi* için sakin ve tedirgin günlerde elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 2015 yılının Aralık ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 20-22 Aralık 2015 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 28-30 Aralık 2015 (sakın) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.

Şekil incelendiğinde tüm istasyonlarda fırtınanın başlangıç ve ana fazlarını kapsayan günlerde Türkiye iyonküresinde pozitif fırtınaların, geri dönüş fazında ise negatif fırtınaların meydana geldiği ifade edilebilir. Bu davranış fark işleminde net bir şekilde görülmektedir.

Şekildeki değişim her ne kadar Türkiye iyonküresi üzerinde pozitif ve negatif iyonküresel fırtınaların meydana geldiğini ifade etse de yapılan istatistiksel analiz bu fırtınaların sürekli olarak değil de belirli saatlerde oluştuğunu ifade eder. Mar-15 şiddetli jeomanyetik fırtınası için Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen fırtınaların tahmini için sakın gün olarak 28-30 Aralık 2015 günleri, tedirgin gün olarak 20-22 Aralık 2015 tarihleri göz önünde bulundurulmuştur. Her bir TUSAGA-Aktif istasyonu için elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

datc istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 20-21 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde pozitif %25'in üzerinde çıkmasına rağmen bu tedirginlik üç saatten daha kısa zaman sürdüğü için iki gün için genel olarak herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 22 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez.

hors istasyonundan alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 20 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı zaman dilimlerinde pozitif tedirginlik %25'in üzerinde çıkmasına rağmen referans alınan üç saatten daha kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 21 Aralık 2015 tarihinde sabah 05.59.00 zamanından saat 13.59.00 zaman dilimine kadar bir pozitif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik pozitif olarak % 25'in üzerine çıkmasına rağmen üç saatten kısa zaman dilimi sürdüğü için genelleme olarak herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir. 22 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün içerisinde %25'i aşmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez.

midy istasyonundaki verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 20 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde pozitif olarak %25'in üzerinde çıkmasına rağmen üç saatten daha kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir. 21 Aralık 2015 tarihinde öğlen 09.52.30 zamanından saat 13.51.30 zaman dilimine kadar TEİ değerlerindeki tedirginlikten pozitif iyonküresel fırtına oluşumuna sebep olmuştur. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki tedirginlik değerleri % 25'in üzerine çıkmasına karşın bu tedirginlik kısa zaman dilimi sürdüğü için genel olarak herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez. 22 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir.

oniy istasyonunda 20 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı zaman dilimlerinde pozitif olarak %25'in üzerinde çıkmasına rağmen referans alınan üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez. 21 Aralık 2015 tarihinde öğlen 10.12.30 zamanından saat 13.28.30 zaman dilimine kadar bir pozitif iyonküresel fırtına söz konusudur. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki pozitif tedirginlik % 25'in üzerine çıkmasına rağmen üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 22 Aralık 2015 tarihinde

TEİ değerlerindeki tedirginlik gün süresince %25'in aşmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir.

tekr istasyonundan alınan verilerin hesaplamasından sonra 20 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde pozitif %25'in üzerinde çıkmasına rağmen üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınanın varlığının bahsi yoktur. 21 Aralık 2015 tarihinde sabah 10.15.30 zamanından öğlen saat 13.19.30 zaman dilimine kadar bir pozitif iyonküresel fırtınadan bahsedilebilir. Günün diğer zaman dilimlerinde TEİ değerlerindeki pozitif tedirginlik % 25'in üzerine çıkmasına rağmen üç saatten daha kısa zaman dilimi sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 22 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerleri gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez.

vezi istasyonunda 20 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik günün bazı saatlerinde pozitif yönde %25'in üzerinde çıkmasına rağmen üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan söz edilemez. 21 Aralık 2015 tarihinde sabah 07.09.30 zamanından öğlen saat 13.38.30 zaman dilimine kadar bir pozitif yönlü iyonküresel fırtına meydana gelmiştir. Günün diğer sürelerinde TEİ değerlerinde pozitif tedirginlik % 25'in üzerine çıkmasına rağmen üç saatten daha kısa zaman dilimi sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 22 Aralık 2015 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün içerisinde %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir.

Bu fırtına dönemi için fark işlemine göre ilgili istasyonlarda meydana gelen iyonküresel fırtınaların maksimum değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4. 7. Aralık 2015 fırtınası maksimum tedirginlik anının yüzdelik değerleri

İstasyon	Zaman aralığı	Max. Zaman anı	21 Aralık max.% değer
Datca	10.46.30- 13.04.00	11.56.30	47,49
Hors	05.59.00- 13.50.00	11.48.00	49,82
Midy	09.52.30- 13.51.30	11.34.30	47,00
Oniy	10.12.30- 13.28.30	11.50.30	47,03
tekr	10.15.30- 13.20.00	11.34.00	49,03
vezi	10.03.30 -13.38.30	11.13.30	54,13

Çizelge incelendiğinde tüm istasyonlarda pozitif iyonküresel fırtınaların gündüz saatlerinde maksimum değere ulaştığı sonucuna varılabilir. En büyük tedirginlik %54,13 lük bir sapma ile *vezi* istasyonunda 11.13.30 UTC (13.13.30 YZ) de meydana gelmiştir.

Çizelge 4. 8. Ar-15 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları

Aralık 2015 Şiddetli Fırtınası				
İstasyon	DROT değerleri			
	16-Mart 2015 (sakin)	20 Aralık	21 Aralık	22 Aralık
datc	44.55	97.43	61.47	57.86
hors	31.57	80.15	53.59	69.56
oniy	35.44	86.62	54.09	62.77
midy	41.58	63.92	61.73	64.95
tekr	34.67	94.02	63.91	66.65
vezi	31.05	91.40	64.06	57.20

Ar-15 şiddetli fırtınasına Türkiye iyonküresinin tepkisini DROT hesaplamasıyla incelediğimizde 20 Aralıkta *midy* istasyonu hariç bütün istasyonlarda DROT değerleri % 70'ten daha büyük olduğundan dolayı büyük ölçekli iyonküresel bozulmaların meydana geldiği söylenebilir. 21-22 Aralık tarihlerinde ise DROT değerleri %50-%70 arasındadır ve bu değerler bütün istasyonlarda orta ölçekli iyonküresel bozulmaların meydana geldiğini ifade edebilir.

4.5 Eylül 2017 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular

2017 yılının Eylül (Ey-17) ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye iyonküresindeki değişim TUSAGA-AKTİF sistemindeki altı istasyondan elde edilen TEİ vasıtasıyla incelenmiştir. İnceleme fırtınanın meydana geldiği aydaki tedirgin (07-09 Eylül 2017) ile sakin günler (25-27 Eylül 2017) deki TEİ

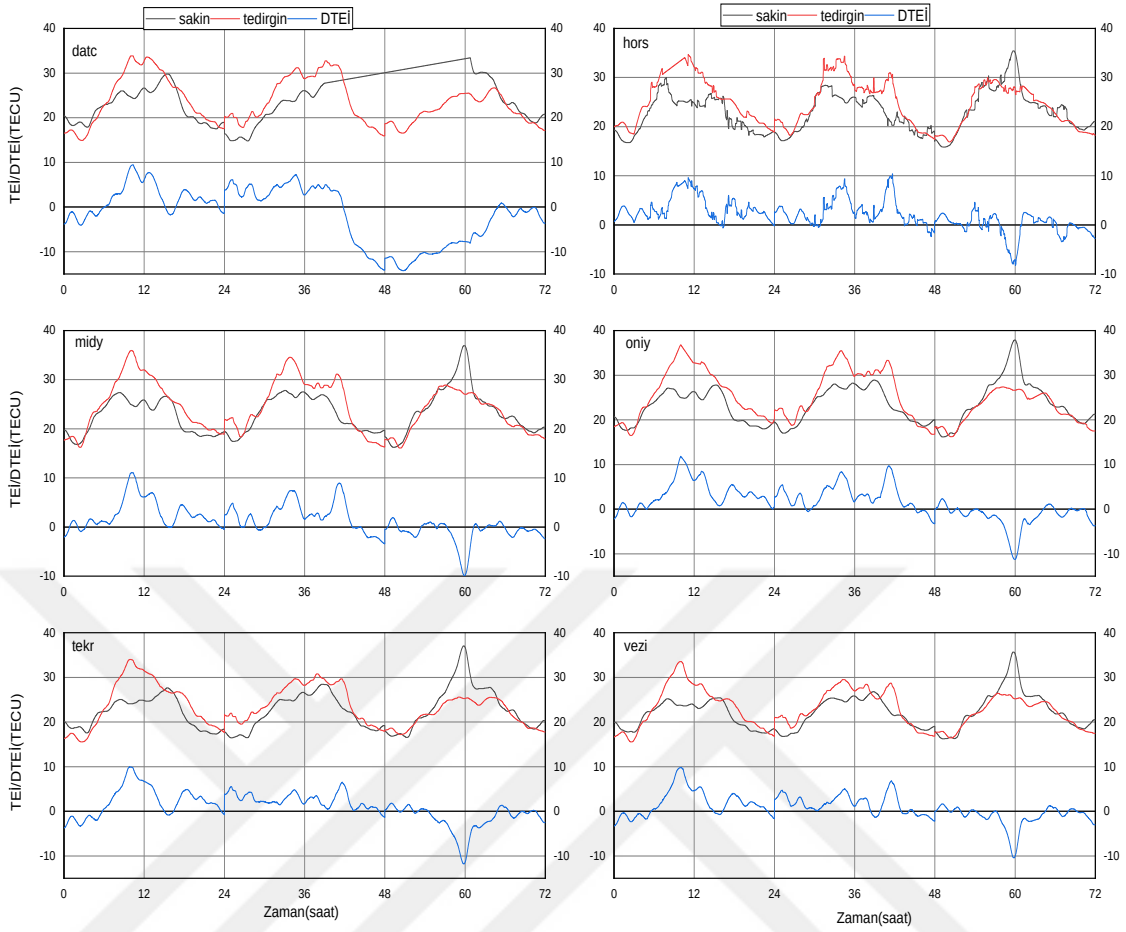
değerlerinin farkının alınması ile yapılmıştır. Bu fark işlemi yapılırken ölçümün olmadığı günlerdeki veriler lineer enterpolasyon yöntemi ile varsayım ve fark işlemi gerçekleştirildi.

İki gezegenler arası şok olayı manyetosferi etkiledi. Özellikle, ilk şok, 6 Eylül 2345 UT'de İlk Fırtınanın Başlamasına (SSC1) yol açtı. Bu anda saatlik Dst indeksine eşdeğer olan 1 dakikalık SYM-H simetrik indeksi -20 nT'den -38 nT'ye düşerken, yaklaşık 1 saat sonra gezegenler arası manyetik alan (IMF) Bz değeri kuzey yönünde yaklaşık 15 nT değerine ulaşmıştır. Ertesi gün (7 Eylül) SYM-H, 21.40 UT'ye (7 Eylül) kadar genel olarak pozitifdir ve burada azalmaya başlayarak 23.25 UT'De (7 Eylül) -56 nT değerinde orta şiddette bir fırtınaya işaret eder.

İkinci şokun gelişi, 7 Eylül'de 23.00 UT'de SSC2'ye yol açtı, 7 Eylül'de 22.27 UT'de Bz bileşeninde (-30nT civarında) dik bir düşüş olarak gözlemlendi ve 7'den 8 Eylül'e kadar süren olay bir G4 sınıfı büyük jeomanyetik fırtınayı tetikledi. IMF Bz bileşeni, 2 saatten fazla güneye doğru kaldı. SYM-H düşmeye devam etti, 8 Eylül 01.08 UT'de -146 nT ile en düşük değerine ulaştı ve sonraki iki gün boyunca negatif kaldı. Fırtına olayının açıklaması için kullanılan kalan parametreler de yaklaşık olarak bu zamanda tepe değerlerine ulaştı. IMF Bz'nin bir başka keskin güneye dönüşü 8 Eylül'de kaydedildi, 1155 UT'de -7.4 nT değerine ulaştı ve birkaç saat boyunca negatif kaldı. SYM-H, 8 Eylül'de 17.05 UT'de ikinci bir minimum -111 nT yaşadı. Ardından, SYM-H kademeli olarak jeomanyetik fırtına olayının uzun süreli bir iyileşme aşamasına girdi.

Ardışık iki SYM-H miniması, farklı güneş koşulları tarafından indüklenmiştir. Bu nedenle, 8 Eylül'deki yoğun jeomanyetik olayın, çift ana fazdan ziyade 8 Eylül 2017'de birbiri ardına meydana gelen iki ardışık fırtınadan oluştuğu sonucuna ulaşılabilir (Blagoveshchensky ve Sergeeva, 2019).

Ey-17 şiddetli jeomanyetik fırtınası sırasında Türkiye GPS ağı TUSAGA-AKTİF istasyonlarından *datc*, *hors*, *midy*, *oniy*, *tekr* ve *vezi* için sakin ve tedirgin günlerde elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.5'te gösterilmiştir



Şekil 4.5 2017 yılının Eylül ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 07-09 Eylül 2017 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 25-27 Eylül 2017 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakın günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.

Şekil incelendiğinde tüm istasyonlarda fırtınanın başlangıç ve ana fazlarını kapsayan günlerde Türkiye iyonküresinde pozitif fırtınaların, geri dönüş fazında ise negatif fırtınaların meydana geldiği ifade edilebilir. Bu davranış fark işleminde net bir şekilde görülmektedir.

Şekildeki değişim her ne kadar Türkiye iyonküresi üzerinde pozitif ve negatif iyonküresel fırtınaların meydana geldiğini ifade etse de yapılan istatistiksel analiz bu fırtınaların sürekli olarak değil de belirli saatlerde oluştuğunu ifade eder. Ey-17 şiddetli jeomanyetik fırtınası için Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen fırtınaların tahmini için sakın gün olarak 25-27 Eylül 2017 günleri, tedirgin gün olarak 07-09 Eylül 2017 tarihleri göz önünde bulundurulmuştur. Her bir TUSAGA-Aktif istasyonu için elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

datc hors, oniy, midy, vezi, tekr istasyonlarından alınan veriler kullanılarak yapılan fark hesaplaması neticesinde 07-08 Eylül 2017 tarihinde TEİ değerlerindeki

tedirginlik günün bazı saatlerinde pozitif olarak %25'in üzerinde çıkmasına rağmen üç saatten kısa sürdüğü için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez. 09 Eylül 2017 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtına söz konusu değildir

Çizelge 4. 9. Ey-17 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları

İstasyon	Eylül 2017 Şiddetli Fırtınası			
	DROT değerleri			
	16-Mart-2015 (sakin)	7 Eylül	8 Eylül	9 Eylül
datc	44.55	65.48	70.74	67.28
hors	31.57	83.22	82.43	85.71
oniy	35.44	60.38	72.48	65.47
midy	41.58	66.14	72.05	63.44
tekr	34.67	52.30	84.10	67.65
vezi	31.05	67.21	85.17	69.17

Ey-17 şiddetli fırtınasına Türkiye iyonküresinin tepkisini DROT yöntemiyle incelediğimizde 7 ve 9 Eylül tarihlerinde sadece *hors* istasyonunda DROT değerleri % 70 aşarken diğer istasyonlarda bu değer % 70 ten küçüktür. Bu sonuç her iki günde de *hors* istasyonundan büyük ölçekli iyonküresel bozulmaların diğer istasyonlarda ise orta ölçekli iyonküresel bozulmaların olduğunu ifade edebilir. 8 Eylül günü bütün istasyonlardaki sapmalar %70'ten fazla olduğu için daha büyük ölçekli iyonküresel bozulmaların meydana geldiği söylenebilir.

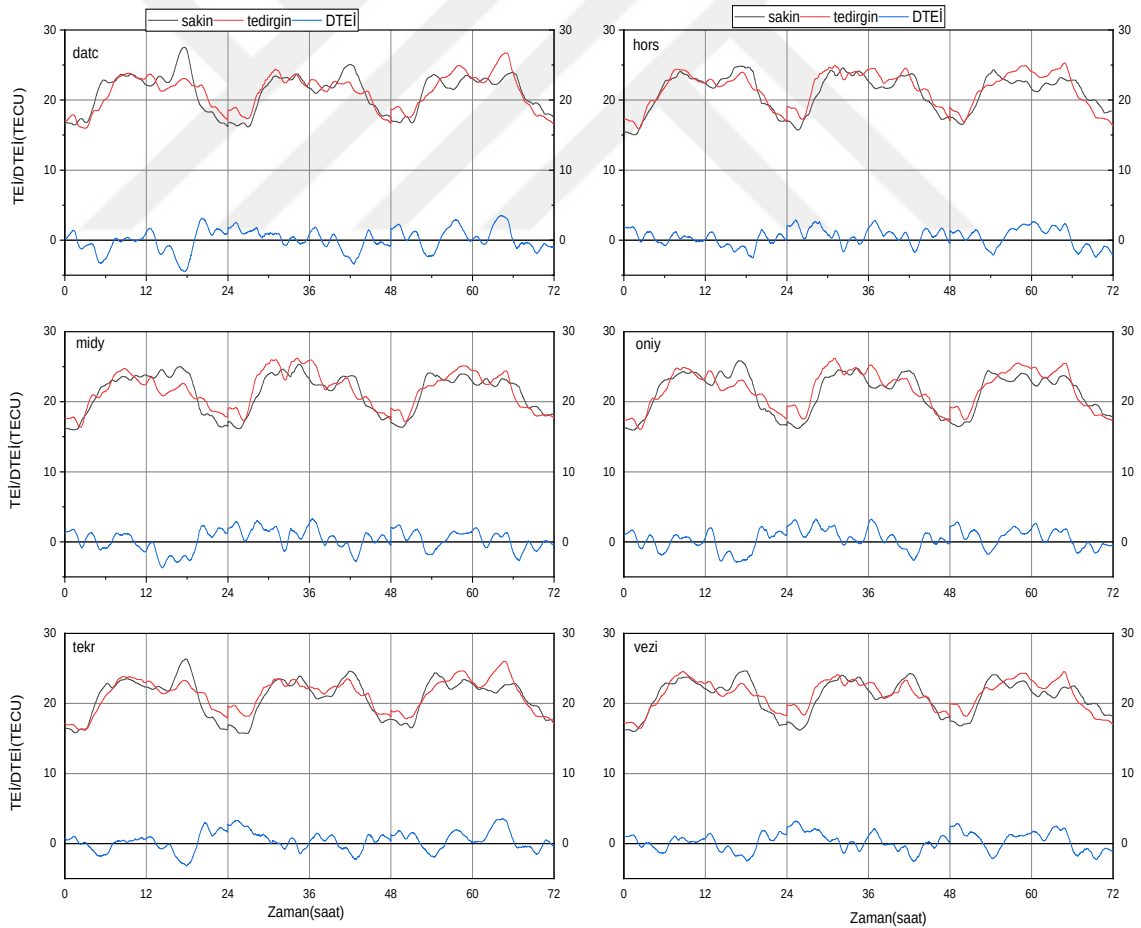
4.6 Ağustos 2018 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınası İçin Elde Edilen Bulgular

2017 yılının Ağustos (Ağ-18) ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye iyonküresindeki değişim TUSAGA-AKTİF sistemindeki altı istasyondan elde edilen TEİ vasıtasıyla incelenmiştir. İnceleme fırtınanın meydana geldiği aydaki tedirgin (25-28 Ağustos 2018) ile sakin günler (07-09 Ağustos 2018) deki TEİ değerlerinin farkının alınması ile yapılmıştır. Bu fark işlemi yapılırken ölçümün olmadığı günlerdeki veriler lineer enterpolasyon yöntemi ile varsayım ve fark işlemi gerçekleştirildi.

26 Ağustos 2018'de, 20 Ağustos 2018'de meydana gelen bir filament patlamasıyla ilişkili olduğu düşünülen G3 sınıfı ($K_p = 7$) şiddetli bir jeomanyetik rahatsızlık meydana geldi. 25 Ağustos 2018'de SYM-H 0351 UT'de kuzeye döndü ve 13.51 UT civarında 9 nT'ye yükseldi ve 18.00 UT'ye kadar kuzeyde kaldı. Jeomanyetik fırtına ani başlangıcı 25 Ağustos 2018'de ~ 09.00 UT'de başladı. 25 Ağustos 2018'de 23.00 UT'den sonra, SYM-H hızla düşerek 26 Ağustos 2018'de ~07.00 UT civarında -

206 nT'ye ulaşarak jeomanyetik fırtınanın güçlü olduğunu gösterir. Ana faz ~14 saat sürerken güneş rüzgar hızı 400 km/s değerine yükseldi ve K_p indeksi maksimum 7,3'e ulaştı. 26 Ağustos 2018'de 07.20 UT'de fırtınanın toparlanması başladı ve birkaç gün devam etti. Fırtınanın iyileşme aşamasında, güneş rüzgarı hızı 27 Ağustos 2018'de 17.00 UT civarında maksimum 633 km/s'ye yükseldi ve ardından birkaç gün boyunca ortalama ~520 km/s değerinde kaldı. IMF-Bz, fırtınanın iyileşme aşamasında 26 Ağustos 2018'de 09.00-21.00 UT arasında kuzeye ve güneye doğru dalgalanmalar ve üç pozitif tepe noktası (10 nT'nin üzerinde) sergiliyor. İyileşme fazı sırasındaki SYM-H varyasyonları, IMF-Bz'nin ikinci ve üçüncü tepe noktalarına denk gelen iki tepe noktası gösterir.

TUSAGA-AKTİF istasyonlarından *datc*, *hors*, *midy*, *oniy*, *tekr* ve *vezi* için sakin ve tedirgin günlerde elde edilen TEİ değerlerinin zamanla değişimi Şekil4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 2018 yılının ağustos ayında meydana gelen şiddetli jeomanyetik fırtına sırasında Türkiye üzerindeki iyonküresel fırtınaların tespiti için TEİ nin zamanla değişimi. Kırmızı çizgi 25-27 Ağustos 2018 (tedirgin) tarihlerindeki TEİ değerlerini gösterirken siyah çizgi 07-09 Ağustos 2018 (sakin) tarihlerindeki TEİ değişimlerini gösterir. Mavi çizgi ise tedirgin ve sakin günlerdeki TEİ değerlerinin farkını gösterir.

Şekil incelendiğinde tüm istasyonlarda fırtınanın başlangıç ve ana fazlarını kapsayan günlerde Türkiye iyonküresinde pozitif fırtınaların, geri dönüş fazında ise negatif fırtınaların meydana geldiği ifade edilebilir. Bu davranış fark işleminde net bir şekilde görülmektedir.

Şekildeki değişim her ne kadar Türkiye iyonküresi üzerinde pozitif ve negatif iyonküresel fırtınaların meydana geldiğini ifade etse de yapılan istatistiksel analiz bu fırtınaların sürekli olarak değil de belirli saatlerde oluştuğunu ifade eder. Ağ-18 şiddetli jeomanyetik fırtınası için Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen fırtınaların tahmini için sakin gün olarak 07-09 Ağustos 2018 günleri, tedirgin gün olarak 25-27 Ağustos 2018 tarihleri göz önünde bulundurulmuştur. Her bir TUSAGA-Aktif istasyonu için elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

datc, *vezi*, *hors*, *midy*, *oniy* ve *tekr* istasyonlarından alınan verilerin hesaplaması yapıldıktan sonra 25-28 Ağustos 2018 tarihinde TEİ değerlerindeki tedirginlik bütün istasyonlarda gün boyunca %25'in üzerine çıkmadığı için herhangi bir iyonküresel fırtınadan bahsedilemez.

Çizelge 4.10. Ağ-18 şiddetli fırtınası için DROT hesaplamaları

İstasyon	Ağustos 2018 Şiddetli Fırtınası				
	DROT değerleri				
	16-Mart-2015 (sakin)	25 Ağustos	26 Ağustos	27 Ağustos	28 Ağustos
datc	44.55	75.43	83.23	69.47	69.76
hors	31.57	75.39	84.05	81.25	82.40
oniy	35.44	92.54	88.23	74.39	75.44
midy	41.58	97.27	87.60	89.41	82.52
tekr	34.67	76.78	95.41	60.98	83.59
vezi	31.05	88.24	98.61	76.72	81.44

Ağ-18 şiddetli fırtınasına Türkiye iyonküresinin tepkisini DROT hesaplamasıyla incelediğimizde 27 Ağustos tarihinde *datc* ve *tekr* istasyonunda 28 Ağustos günü ise sadece *datc* istasyonunda orta ölçekli iyonküresel bir bozulma söz konusu iken diğer istasyonlarda 25-28 Ağustos tarihlerinde büyük ölçekli iyonküresel bozulmalar söz konusu olabilir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında Türkiye üzerindeki iyonkürenin 24. Solar devirde meydana gelen altı farklı şiddetli jeomanyetik fırtınaya tepkisi araştırılmıştır. Araştırma Türkiye ulusal GNNS ağındaki altı istasyondan elde edilen İONOLAB-TEC verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İyonküresel tedirginlikleri tespit etmek için ortalama fark ve diferansiyel rot metotları kullanılmıştır. Elde edilen nihai sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- 1) Yapılan çalışmada fark yöntemiyle en yüksek iyonküresel tedirginlik Temmuz 2012 tarihinde *hosr* istasyonunda % 135, 35 olarak elde edilmiştir. En düşük iyonküresel tedirginlik ise 18 Mart 2015 tarihinde *datc* istasyonunda negatif olarak %-29,47 olarak hesaplanmıştır.
- 2) DROT yöntemiyle elde edilen en yüksek iyonküresel tedirginlik 26 Ağustos 2018 tarihinde *vezi* istasyonunda % 98,61 olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra en düşük iyonküresel tedirginlik 23 Haziran 2015 tarihinde % 42,96 lık değerle *hors* istasyonundan elde edilmiştir.
- 3) Temmuz 2012 tarihinde fark yöntemiyle yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda Türkiye iyonküresi üzerinde tüm istasyonlarda en az bir pozitif iyonküresel fırtınanın meydana geldiği görülmüştür. iyonküredeki bu uyarılma genellikle gece saatlerinde meydana gelmiştir. DROT yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucunda orta ölçekli iyonküresel fırtınaların meydana geldiği ifade edilebilir.
- 4) Türkiye iyonküresi üzerinde 17 Mart 2015 tarihinde fark yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucunda sadece *tekr* istasyonunda pozitif iyonküresel fırtına meydana gelmiştir. Diğer istasyonlarda ise fırtınanın geri dönüş fazında negatif iyonküresel fırtınaların meydana ifade edilebilir. DROT yöntemiyle ise 19 Mart'ta *oniy* istasyonunda şiddetli bir jeomanyetik fırtına meydana gelirken diğer istasyonlarda orta ölçekli iyonküresel fırtınalar meydana geldiği belirlenmiştir.
- 5) Haziran 2015 te fark yönteminin sonucunda *datc* ve *oniy* istasyonlarında pozitif diğer üç istasyonda da negatif iyonküresel fırtınalar meydana geldiği ifade edilebilir. DROT yöntemiyle de yapılan hesaplamalar sonucunda 21-23 Haziran tarihleri arasında altı istasyonunda orta ölçekli tedirginliklerin meydana geldiği hesaplanmıştır.

- 6) Aralık 2015 tarihinde gündüz saatlerinde bütün istasyonlarda yapılan fark işlemi sonucunda iyonküresel fırtınaların meydana geldiği görülmektedir. DROT yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucunda 20 Aralık'ta *midy* istasyonu hariç diğer beş istasyonda da büyük ölçekli iyonküresel tedirginlikler meydana geldiği sonucuna varabiliriz. Diğer günlerde ise bütün istasyonlarda orta ölçekli iyonküresel tedirginlikler meydana gelmiştir.
- 7) Eylül 2017 tarihinde fark yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucunda iyonküresel fırtınaların meydana gelmediği sonucuna varılabilir. DROT yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre 8 Eylül hariç diğer günlerde genel olarak orta ölçekli tedirginlikler meydana gelirken 8 Eylül de ise bütün istasyonlarda büyük ölçekli tedirginliklerin meydana geldiği sonucuna varılabilir.
- 8) Ağustos 2018 de fark yöntemine göre herhangi bir iyonküresel bir tedirginliğin meydana gelmediği sonucuna varılabilir. Bunun yanı sıra DROT yönteminde ise hemen hemen bütün istasyonlarda büyük ölçekli iyonküresel tedirginliklerin meydana geldiği sonucuna varılabilir.

5.2 Öneriler

- 1) Türkiye üzerindeki iyonküresel tedirginlikler daha fazla TUSAGA AKTİF istasyonu kullanılarak daha kapsamlı şekilde incelenebilir.
- 2) Sadece büyük ölçekli değil orta ve küçük ölçekli fırtınalar için de Türkiye iyonküresi üzerindeki değişimler incelenebilir.
- 3) Çok daha fazla fırtına için benzer çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Afraimovich, E.L., Kosogorov, E.A., Leonovich, L.A. 2000. The use of the international GPS network as the global detector (GLOBDET) simultaneously observing sudden ionospheric disturbances, *Earth, planets and space*, 52, 1077-1082.
- Akala, A., Oyeyemi, E., Amaechi, P., Radicella, S., Nava, B., Amory-Mazaudier, C. 2020. Longitudinal responses of the equatorial/low-latitude ionosphere over the oceanic regions to geomagnetic storms of May and September 2017, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 125 (8), e2020JA027963.
- Akasofu, S.-I. 1964. The development of the auroral substorm, *Planetary and Space Science*, 12 (4), 273-282.
- Atıcı, R. 2019. Investigation of Ionospheric Storms Occurred over Turkey during a Geomagnetic Storm, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (12), 301-305.
- 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. 2020. Global investigation of the ionospheric irregularities during the severe geomagnetic storm on September 7–8, 2017, *Geodesy and geodynamics*, 11 (3), 211-221.
- Basciftci, F., Bulbul, S. 2023. Statistical analysis of the regional and global ionosphere model on intense geomagnetic storm, *Indian Journal of Physics*, 1-15.
- Bittencourt, J.A., 2004, *Fundamentals of plasma physics*, Springer Science & Business Media,
- Blagoveshchenskii, D. 2013. Effect of geomagnetic storms (substorms) on the ionosphere. 1. A review, *Geomagnetism and Aeronomy*, 53 (3), 275-290.
- Blagoveshchensky, D., Sergeeva, M. 2019. Impact of geomagnetic storm of September 7–8, 2017 on ionosphere and HF propagation. A multi-instrument study, *Advances in Space Research*, 63 (1), 239-256.
- Buonsanto, M.J. 1999. Ionospheric storms—A review, *Space Science Reviews*, 88 (3-4), 563-601.
- Burton, R.K., McPherron, R., Russell, C. 1975. An empirical relationship between interplanetary conditions and Dst, *Journal of geophysical research*, 80 (31), 4204-4214.
- Chakrabarti, S.K., Acharyya, K., Bose, B., Mandal, S., Chatterjee, A., Nandi, N., Pal, S., Khan, R. 2005. Monitoring of sudden ionospheric disturbances (SID) from Kolkata (India), arXiv preprint astro-ph/0501289.
- Chakraborty, M., Kumar, S., De, B.K., Guha, A. 2015. Effects of geomagnetic storm on low latitude ionospheric total electron content. a case study from Indian sector, *Journal of Earth System Science*, 124, 1115-1126.
- Chernigovskaya, M., Shpynev, B., Yasyukevich, A., Khabituev, D., Ratovsky, K., Belinskaya, A.Y., Stepanov, A., Bychkov, V., Grigorieva, S., Panchenko, V. 2021. Longitudinal variations of geomagnetic and ionospheric parameters in the Northern Hemisphere during magnetic storms according to multi-instrument observations, *Advances in Space Research*, 67 (2), 762-776.
- Danilov, A., Lastovicka, J. 2001. Effects of geomagnetic storms on the ionosphere and atmosphere, *International Journal of geomagnetism and aeronomy*, 2 (3), 209-224.

- Ding, F., Wan, W., Ning, B., Wang, M. 2007. Large-scale traveling ionospheric disturbances observed by GPS total electron content during the magnetic storm of 29–30 October 2003, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 112 (A6).
- Efendi, E., Arikan, F. 2017. A fast algorithm for automatic detection of ionospheric disturbances. *DROT, Advances in Space Research*, 59 (12), 2923-2933.
- Erol, C., Arikan, F. 2005. Statistical characterization of the ionosphere using GPS signals, *Journal of electromagnetic waves and applications*, 19 (3), 373-387.
- Eswaraiah, S., Kim, Y.H., Lee, J., Ratnam, M.V., Rao, S. 2018. Effect of Southern Hemisphere sudden stratospheric warmings on Antarctica mesospheric tides. First observational study, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 123 (3), 2127-2140.
- Fejer, B., Jensen, J., Kikuchi, T., Abdu, M., Chau, J. 2007. Equatorial ionospheric electric fields during the November 2004 magnetic storm, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 112 (A10).
- Gulyaeva, T., Stanislawska, I., 2008, Derivation of a planetary ionospheric storm index, *Annales Geophysicae*, Copernicus Publications Göttingen, Germany, 2645-2648.
- Hawarey, M. 2006. Travelling ionospheric disturbance over California mid 2000, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 13 (1), 1-7.
- Hernández-Pajares, M., Juan, J.M., Sanz, J. 2006. Medium-scale traveling ionospheric disturbances affecting GPS measurements. Spatial and temporal analysis, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 111 (A7).
- Hocke, K., Schlegel, K., 1996, A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances. 1982–1995, *Annales geophysicae*, 917.
- Huang, C.S., Foster, J., Goncharenko, L., Erickson, P., Rideout, W., Coster, A. 2005. A strong positive phase of ionospheric storms observed by the Millstone Hill incoherent scatter radar and global GPS network, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 110 (A6).
- Inyurt, S. 2020. Investigation of ionospheric variations during magnetic storm over Turkey, *Geomagnetism and Aeronomy*, 60, 131-135.
- İnyurt, S. 2022. Zayıf 01 Şubat 2017 jeomanyetik fırtınasının matematiksel modeli, *Geomatik*, 7 (2), 128-138.
- Inyurt, S., Sekertekin, A. 2019. Modeling and predicting seasonal ionospheric variations in Turkey using artificial neural network (ANN), *Astrophysics and Space Science*, 364 (4), 62.
- Jenan, R., Dammalage, T.L., Panda, S.K. 2021. Ionospheric total electron content response to September-2017 geomagnetic storm and December-2019 annular solar eclipse over Sri Lankan region, *Acta Astronautica*, 180, 575-587.
- Karatay, S. 2020a. Detection of the ionospheric disturbances on GPS-TEC using Differential Rate Of TEC (DROT) algorithm, *Advances in Space Research*, 65 (10), 2372-2390.
- Karatay, S. 2020b. Estimation of frequency and duration of ionospheric disturbances over Turkey with IONOLAB-FFT algorithm, *Journal of Geodesy*, 94 (9), 89.
- Karatay, S., Arikan, F., Arikan, O. 2010. Investigation of total electron content variability due to seismic and geomagnetic disturbances in the ionosphere, *Radio Science*, 45 (05), 1-12.
- Keskin, S., Külahcı, F. 2023. ARIMA model simulation for total electron content, earthquake and radon relationship identification, *Natural Hazards*, 115 (3), 1955-1976.

- Kikuchi, T., Hashimoto, K., Kitamura, T.I., Tachihara, H., Fejer, B. 2003. Equatorial counterelectrojets during substorms, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 108 (A11).
- Klimenko, M.V., Klimenko, V.V., Zakharenkova, I.E., Vesnin, A.M., Cherniak, I.V., Galkin, I.A. 2016. Longitudinal variation in the ionosphere-plasmasphere system at the minimum of solar and geomagnetic activity. Investigation of temporal and latitudinal dependences, *Radio Science*, 51 (12), 1864-1875.
- Kuai, J., Liu, L., Lei, J., Liu, J., Zhao, B., Chen, Y., Le, H., Wang, Y., Hu, L. 2017. Regional differences of the ionospheric response to the July 2012 geomagnetic storm, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 122 (4), 4654-4668.
- Kubota, M., Shiokawa, K., Ejiri, M., Otsuka, Y., Ogawa, T., Sakanoi, T., Fukunishi, H., Yamamoto, M., Fukao, S., Saito, A. 2000. Traveling ionospheric disturbances observed in the OI 630-nm nightglow images over Japan by using a Multipoint Imager Network during the FRONT Campaign, *Geophysical research letters*, 27 (24), 4037-4040.
- Kutoglu, H.S., Toker, M., Mekik, C. 2016. The 3-D strain patterns in Turkey using geodetic velocity fields from the RTK-CORS (TR) network, *Journal of African Earth Sciences*, 115, 246-270.
- Laštovička, J. 2006. Forcing of the ionosphere by waves from below, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 68 (3-5), 479-497.
- Laštovička, J. 1996. Effects of geomagnetic storms in the lower ionosphere, middle atmosphere and troposphere, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 58 (7), 831-843.
- Lu, G., Goncharenko, L., Richmond, A., Roble, R., Aponte, N. 2008. A dayside ionospheric positive storm phase driven by neutral winds, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 113 (A8).
- MacDougall, J., Abdu, M., Batista, I., Fagundes, P., Sahai, Y., Jayachandran, P. 2009. On the production of traveling ionospheric disturbances by atmospheric gravity waves, *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, 71 (17-18), 2013-2016.
- Manoharan, P., Mahalakshmi, K., Johri, A., Jackson, B., Ravikumar, D., Kalyanasundaram, K., Subramanian, S., Mittal, A. 2018. Current state of reduced solar activity. Intense geomagnetic storms, *Sun and Geosphere*, 13, 135-143.
- Matamba, T.M., Habarulema, J.B., McKinnell, L.A. 2015. Statistical analysis of the ionospheric response during geomagnetic storm conditions over South Africa using ionosonde and GPS data, *Space Weather*, 13 (9), 536-547.
- Mekik, Ç., Salgın, Ö., Cankurt, İ., Ergüner, S., Bahadır, H. 2011. GPS/IMU Verilerinin TUSAGA-Aktif Sisteminin Sabit İstasyon Verileri İle Process Edilerek Resim Orta Noktası Koordinat Değerlerinin Belirlenmesi, *TUFUAB VI, Teknik Sempozyumu*.
- Mendillo, M. 2006. Storms in the ionosphere. Patterns and processes for total electron content, *Reviews of Geophysics*, 44 (4).
- Mishra, R.K., Adhikari, B., Chapagain, N.P., Baral, R., Das, P.K., Klausner, V., Sharma, M. 2020. Variation on solar wind parameters and total electron content over middle-to low-latitude regions during intense geomagnetic storms, *Radio Science*, 55 (11), e2020RS007129.
- Moreno, B., Radicella, S., De Lacy, M., Herraiz, M., Rodriguez-Caderot, G. 2011. On the effects of the ionospheric disturbances on precise point positioning at equatorial latitudes, *GPS solutions*, 15, 381-390.

- Morozova, A.L., Barlyaeva, T.V., Barata, T. 2020. Variations of TEC over Iberian Peninsula in 2015 due to geomagnetic storms and solar flares, *Space Weather*, 18 (11), e2020SW002516.
- Nekrasov, A., Shalimov, S. 2002. Nonlinear structures of internal gravitational waves and their effect on the ionosphere, *Cosmic Research*, 40, 517-520.
- 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.
- Paznukhov, V., Altadill, D., Reinisch, B. 2009. Experimental evidence for the role of the neutral wind in the development of ionospheric storms in midlatitudes, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 114 (A12).
- Pi, X., Mannucci, A., Lindqwister, U., Ho, C. 1997. Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network, *Geophysical Research Letters*, 24 (18), 2283-2286.
- Prölss, G., Brace, L., Mayr, H., Carignan, G., Killeen, T., Klobuchar, J. 1991. Ionospheric storm effects at subauroral latitudes. A case study, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 96 (A2), 1275-1288.
- Purohit, P., Mansoori, A.A., Khan, P.A., Atulkar, R., Bhawre, P., Tripathi, S.C., Khatarkar, P., Bhardwaj, S., Aslam, A., Waheed, M.A., 2015, Evaluation of geomagnetic storm effects on the GPS derived Total Electron Content (TEC), *Journal of Physics. Conference Series*, IOP Publishing, 012072.
- Rastogi, R. 1977. Geomagnetic storms and electric fields in the equatorial ionosphere, *Nature*, 268 (5619), 422-424.
- Rishbeth, H., Garriott, O.K. 1969. Introduction to ionospheric physics, *Introduction to ionospheric physics*.
- Rishbeth, H., Mendillo, M. 2001. Patterns of F2-layer variability, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 63 (15), 1661-1680.
- Sağır, S., Atıcı, R., Özcan, O. 2018. The possible effect of stratospheric quasi-biennial oscillation on the critical frequency of the ionospheric F2-layer, *Pramana*, 91 (4), 54.
- Sayin, I., Arikan, F., Akdogan, K. 2010. Optimum temporal update periods for regional ionosphere monitoring, *Radio Science*, 45 (06), 1-9.
- Schunk, R., Nagy, A., 2009, *Ionospheres. physics, plasma physics, and chemistry*, Cambridge university press,
- Sharma, S., Galav, P., Dashora, N., Pandey, R., 2011, Longitudinal study of the ionospheric response to the geomagnetic storm of 15 May 2005 and manifestation of TADs, *Annales Geophysicae*, Copernicus Publications Göttingen, Germany, 1063-1070.
- Sharma, S.K., Singh, A.K., Panda, S.K., Ahmed, S.S. 2020. The effect of geomagnetic storms on the total electron content over the low latitude Saudi Arab region. a focus on St. Patrick's Day storm, *Astrophysics and Space Science*, 365 (2), 35.
- Skone, S., 1998, Wide area ionosphere grid modelling in the auroral region, *University of Calgary*,
- Tesema, F., Damtie, B., Nigussie, M. 2015. The response of the ionosphere to intense geomagnetic storms in 2012 using GPS-TEC data from East Africa longitudinal sector, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 135, 143-151.
- Tsagouri, I., Belehaki, A., Moraitis, G., Mavromichalaki, H. 2000. Positive and negative ionospheric disturbances at middle latitudes during geomagnetic storms, *Geophysical Research Letters*, 27 (21), 3579-3582.

- Tsugawa, T., Otsuka, Y., Coster, A., Saito, A. 2007. Medium-scale traveling ionospheric disturbances detected with dense and wide TEC maps over North America, *Geophysical Research Letters*, 34 (22).
- Ulukavak, M. 2021. Deep learning for ionospheric TEC forecasting at mid-latitude stations in Turkey, *Acta Geophysica*, 69 (2), 589-606.
- Ulukavak, M., Yalcinkaya, M. 2017. Precursor analysis of ionospheric GPS-TEC variations before the 2010 M 7.2 Baja California earthquake, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8 (2), 295-308.
- URL-1, https://www.tkgm.gov.tr/sites/default/files/icerik/ekleri/tusaga-aktif_2018.pdf [Erişim Tarihi: 09/01/2020].
- Vijaya Lekshmi, D., Balan, N., Tulası Ram, S., Liu, J. 2011. Statistics of geomagnetic storms and ionospheric storms at low and mid latitudes in two solar cycles, *Journal of Geophysical Research. Space Physics*, 116 (A11).
- Wisdom, J.B., Yushau, S.M., Muhammad, G., Kangiwa, U.M., Mustapha, A., Olatunji, O.M. 2021. Monitoring of sudden ionospheric disturbance (SID) with 0–50 KHz frequency receiver over Aliero, Nigeria, *Int. J. Astrophys. Space Sci*, 9, 37.
- Yiğit, E., Knížová, P.K., Georgieva, K., 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.
- Žic, T., Vršnak, B., Temmer, M. 2015. Heliospheric propagation of coronal mass ejections. drag-based model fitting, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 218 (2), 32.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet GÜR
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi :
Telefon :
Faks :
e-mail : 2010102004@alparsla.edu.tr(mehmetaram.4949@gmail.com)

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Rekabet Kurumu Lisesi	2008
Üniversite	: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi	2013
Yüksek Lisans:		
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR