

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İYONOSFERİK TEC DALGALANMALARININ (MANYETİK FIRTINA, SOLAR
AKTİVİTE VE DEPREM KAYNAKLI) UYDU BAZLI KONUMLAMA
SİSTEMLERİYLE ARAŞTIRILMASI**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SAMED İNYURT

OCAK 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İYONOSFERİK TEC DALGALANMALARININ (MANYETİK FIRTINA, SOLAR
AKTİVİTE VE DEPREM KAYNAKLI) UYDU BAZLI KONUMLAMA
SİSTEMLERİYLE ARAŞTIRILMASI**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Samed İNYURT

TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Çetin MEKİK

İKİNCİ DANIŞMAN: Doç. Dr. Ömer YILDIRIM

ZONGULDAK

Ocak 2019

KABUL:

Samed İNYURT tarafından hazırlanan “İyonosferik TEC Dalgalanmalarının (Manyetik Fırtına, Solar Aktivite ve Deprem Kaynaklı) Uydu Bazlı Konumlama Sistemleriyle Araştırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 18/01/2019

Danışman: Prof. Dr. Çetin MEKİK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



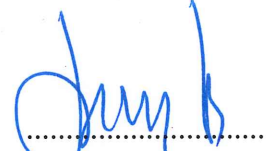
Üye: Doç. Dr. Niyazi ARSLAN

Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü



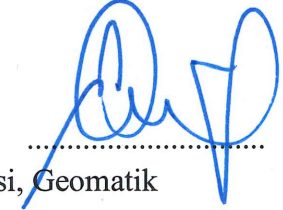
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Servet YAPRAK

Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Eray KÖKSAL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

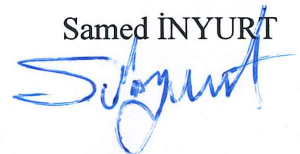
.../.../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Samed İNYURT



ÖZET

Doktora Tezi

İYONOSFERİK TEC DALGALANMALARININ (MANYETİK FIRTINA, SOLAR AKTİVİTE VE DEPREM KAYNAKLI) UYDU BAZLI KONUMLAMA SİSTEMLERİYLE ARAŞTIRILMASI

Samed İNYURT

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Çetin MEKİK

İkinci Danışman: Doç. Dr. Ömer YILDIRIM

Ocak 2019, 133 sayfa

İçerisinde serbest halde çok sayıda elektron barındıran iyonosfer tabakası yansıtıcı özelliğinden dolayı sinyal bazlı uygulamalar için oldukça önemlidir. Diğer yandan depremin üst atmosferde olası sebep olabileceği değişimlerin tespit edilebilmesi açısından da önemli bir tabakadır. Bu tez çalışması kapsamında 2010-2016 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen ve deprem büyüklüğü $M_w \geq 6$ olan 17 adet depreme ilişkin iyonosferik TEC değişimleri irdelenmiştir. Söz konusu olası iyonosferik TEC değişimlerinin deprem ile olan ilişkisinin daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla uzay iklim koşulları dikkate alınmıştır. İki farklı yöntemin uygulandığı çalışmanın ilk bölümünde toplam 60 günlük TEC datası kullanılmış ve her deprem için ayrı bir k değeri üretilmiştir. Söz konusu k değeri literatürde yaygın olarak kullanılan çeyrekler arası metot yönteminde kullanılarak deprem analizine ilişkin yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Diğer yöntemde ise deprem analizinde kullanılacak TEC değerleri oluşturulan

ÖZET (devam ediyor)

model aracılığıyla üretilmiş, bu model üzerinden elde edilen TEC değerleri ve gerçek TEC değerleri arasındaki fark üzerinden istatistiksel analiz yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, analizi yapılan depremlerin büyük bölümünde deprem öncesi veya sonrası pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir.

Yine bu tez çalışması kapsamında 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin TUSAGA-Aktif istasyonları kullanılarak Türkiye bölgesel iyonosfer haritalaması yapılmış ve TEC değişimlerinin davranışı irdelenmiştir. Diğer yandan yine bu yıllara ilişkin iyonosfer tabakasında meydana gelen G4 ve üstü manyetik fırtına veya jeomanyetik aktivitelerin ülkemizde sebep olduğu değişimler incelenmiştir. Bu tez çalışması ile iyonosfer-deprem, iyonosfer-manyetik fırtına, iyonosfer-güneş aktivitesi ilişkisi ortaya konmuş ve Türkiye iyonosfer modeli oluşturulmuştur.

2013, 2014, 2015 yıllarına ait TUSAGA-Aktif istasyonları kullanılarak yapılan bölgesel iyonosfer haritalamasından elde edilen sonuçlara göre en hareketli yılın 2014 yılı olduğu görülmektedir. Analizi yapılan yıllarda meydana gelen G4 ve üst seviyedeki manyetik fırtınaların tamamında iyonosferik değişimler tespit edilmiştir. Söz konusu bu değişimlerin miktarı ve türü farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İyonosfer, Deprem, Manyetik Fırtına, GNSS

Bilim Kodu: 616.01.00

ABSTRACT

PhD. Thesis

INVESTIGATION OF IONOSPHERIC TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) FLUCTUATION (MAGNETIC STORM, SOLAR ACTIVITY AND EARTHQUAKE BASED) SATELLITE BASED POSITIONING SYSTEM

Samed İNYURT

**Zonguldak Bulent Ecevit University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Çetin MEKİK
Co-Advisor: Assoc. Prof. Ömer YILDIRIM**

January 2019, 133 pages

The ionosphere layer, which contains many electrons in free form, is very important for signal based applications due to its reflective property. On the other hand, it is also important layer in terms of detecting possible changes in the upper atmosphere that may be caused by the earthquake. In the scope of this thesis, the ionospheric TEC changes related to 17 earthquakes in the world between the years of 2010-2016, $M_w \geq 6$, were investigated. Ionospheric conditions were also taken into consideration in order to interpret the possible ionospheric TEC changes in relation to the earthquake. In the first part of the study where two different methods were applied, total of 60 days of TEC data were used and a separate k value was generated for each earthquake. A new method for earthquake analysis was developed by using the quartile method commonly used in the literature. In the other method, TEC values to be used in earthquake analysis was produced by means of the model, statistical analysis was carried out by the

ABSTRACT (continued)

difference between TEC values obtained on this model and real TEC values. As a result of the study, positive or negative anomalies were obtained before and after the earthquake in most of the earthquakes analyzed.

Moreover, Turkey regional ionosphere model was created from 2013 to 2015 using TUSAGA-Active system and behaviour of ionosphere layer is also investigated for this period. On the other hand, ionospheric changes caused by G4 and above magnetic storm activities are monitored, and ionosphere-earthquake, ionosphere-magnetic storm, ionosphere-solar activity relationship are revealed and regional ionosphere model is created for Turkey.

In the study, where different statistical methods were applied, anomalies which may be caused by earthquakes on different or same days were obtained. It was thought that anomalies obtained on different days were caused by different statistical approaches. According to the results obtained from regional ionosphere mapping using TUSAGA-Active stations of 2013, 2014, 2015, it was seen that the year of highest ionospheric activity was 2014. In all these years, ionospheric changes were clearly revealed in all of the G4 and high magnetic storms.

Key Words: Ionosphere, Earthquake, Magnetic Storm, GNSS

Science Code: 616.01.00

TEŞEKKÜR

Doktora tezi danışmanlığımı üstlenerek, bu çalışmanın tamamlanmasında bilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. etin MEKİK'e ve Sayın Doç. Dr. Ömer YILDIRIM başta olmak üzere tüm jüri üyelerine teőekkürlerimi sunarım. Tez süreci boyunca desteğini benden esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Okan ERKAYMAZ'a teşekkür ederim.

Ailemizin yeni üyesi kızım Alya İNYURT'u ve sevgili eşim Fatma İNYURT'u oldukça ihmal ederek hazırlamış olduğum bu tezin süreci boyunca gösterdikleri sevgi, destek ve anlayış için teşekkür ederim. Bugünlere gelmemi sağlayan babam Adem İNYURT'a, annem Zöhre İNYURT'a ve kardeşim Semih İNYURT'a bugüne kadar göstermiş oldukları sevgi ve anlayışa teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 İYONOSFER.....	5
2.1 İYONOSFERİN BÖLGELERİ	7
2.2 İYONLAŞMA MEKANİZMASI.....	9
2.3 YENİDEN BİRLEŞME.....	11
2.4 İYONOSFERİK DEĞİŞİMLER	11
2.1.1 Günlük Değişim	12
2.1.2 Mevsimsel Değişim	13
2.1.2.1 11 Yıllık Güneş Döngüsü.....	13
2.1.2.2 27 Günlük Güneş Döngüsü	15
BÖLÜM 3 İYONOSFERİK ŞARTLAR HAKKINDA BİLGİ VEREN İNDİSLER.....	17
3.1 SOLAR AKTİVİTE İNDİSİ (F10.7 CM)	17
3.2 JEOMANYETİK FIRTINA (K _p) VE JEOMANYETİK AKTİVİTE (D _{sT}) İNDİSLERİ. 18	
3.3 İYONOSFER TABAKASININ GNSS ÖLÇÜLERİNE ETKİSİ	19

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.4 GNSS SİNYALLERİNDEN FAYDALANARAK TEC ELDE EDİLMESİ.....	21
3.4.1 Tek Tabaka Modeli.....	25
3.4.2 Küresel TEC Modeli.....	27
3.4.3 Yerel TEC Modeli.....	28
BÖLÜM 4 METODOLOJİ.....	29
BÖLÜM 5 UYGULAMA.....	37
5.1 EGE DENİZİ DEPREMİ.....	39
5.2 NORÇİA DEPREMİ.....	42
5.3 NEPAL DEPREMİ.....	47
5.4 ILLAPEL DEPREMİ.....	52
5.5 KARAKUL DEPREMİ.....	55
5.6 ELAZIĞ DEPREMİ.....	58
5.7 BAJA KALİFORNİYA DEPREMİ.....	61
5.8 ŞİLİ DEPREMİ.....	65
5.9 YENİ ZELANDA DEPREMİ.....	68
5.10 TOHOKU DEPREMİ.....	71
5.11 VAN DEPREMİ.....	74
5.12 TALTAL DEPREMİ.....	77
5.13 FARKHAR DEPREMİ.....	81
5.14 ATKA DEPREMİ.....	85
5.15 BANDA DENİZİ DEPREMİ.....	88
5.16 MYANMAR DEPREMİ.....	91
5.17 JAN MAYAN DEPREMİ.....	95
BÖLÜM 6 TÜRKİYE İYONOSFER HARİTASININ OLUŞTURULMASI VE İYONOSFERDE MANYETİK FIRTINA KAYNAKLI DEĞİŞİMLERİN İRDELENMESİ	99

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	121
KAYNAKÇA	125
ÖZGEÇMİŞ	133





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Atmosfer Tabakalarının Genel Gösterimi	7
Şekil 2.2 İyonosfer Bölgelerinin Genel Gösterimi	8
Şekil 2.3 Görünür Güneş lekerinin gösterimi	14
Şekil 2.4 11 yıllık güneş döngüsünün örnek gösterimi	14
Şekil 3.1 F10.7 cm indisine ilişkin gösterim	18
Şekil 3.1 Uydu-Alıcı Arasındaki TEC Gösterimi	22
Şekil 3.2 Tek tabaka modeli	26
Şekil 3.3 İki Değişkenli Enterpolasyon Gösterimi	28
Şekil 5.1 Analizi yapılan depremlerin harita üzerinde gösterimi.....	38
Şekil 5.2 Ege Denizi Deprem öncesi ve sonrası GPS-TEC Değişimleri	39
Şekil 5.3 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	40
Şekil 5.4 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	41
Şekil 5.5 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	42
Şekil 5.6 Norcia Depremi öncesi ve sonrası GPS-TEC Değişimleri	43
Şekil 5.7 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	45
Şekil 5.8 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	46
Şekil 5.9 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	46
Şekil 5.10 Nepal Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	47
Şekil 5.11 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	49
Şekil 5.12 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	50
Şekil 5.13 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	51
Şekil 5.14 Illapel Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri	52
Şekil 5.15 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	53
Şekil 5.16 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	53
Şekil 5.17 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	54
Şekil 5.18 Karakul Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri	55
Şekil 5.19 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	56
Şekil 5.20 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	57
Şekil 5.21 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.22 Elazığ Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri	59
Şekil 5.23 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	60
Şekil 5.24 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi	60
Şekil 5.25 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	61
Şekil 5.26 Baja Kaliforniya Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	62
Şekil 5.27 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	63
Şekil 5.28 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi	63
Şekil 5.29 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	64
Şekil 5.30 Şili Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	65
Şekil 5.31 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	66
Şekil 5.32 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi	66
Şekil 5.33 Analizi Yapılan Günlere İlişkin K_p , Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi	67
Şekil 5.34 Yeni Zelanda Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	68
Şekil 5.35 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	69
Şekil 5.36 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi	69
Şekil 5.37 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	70
Şekil 5.38 Tohoku Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	71
Şekil 5.39 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	72
Şekil 5.40 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	72
Şekil 5.41 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	73
Şekil 5.42 Van Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	74
Şekil 5.43 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	76
Şekil 5.44 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	76
Şekil 5.45 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	77
Şekil 5.46 Taltal Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri	78
Şekil 5.47 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	79
Şekil 5.48 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	79
Şekil 5.49 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	80
Şekil 5.50 Farkhar Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	81
Şekil 5.51 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	83
Şekil 5.52 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	83
Şekil 5.53 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	84
Şekil 5.54 Atka Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.55 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	86
Şekil 5.56 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	87
Şekil 5.57 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	87
Şekil 5.58 Banda Denizi Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri	88
Şekil 5.59 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	90
Şekil 5.60 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	90
Şekil 5.61 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	91
Şekil 5.62 Myanmar Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	92
Şekil 5.63 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	93
Şekil 5.64 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	93
Şekil 5.65 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	94
Şekil 5.66 Jan Mayan Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.....	95
Şekil 5.67 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi	96
Şekil 5.68 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.....	96
Şekil 5.69 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.....	97
Şekil 6.1 Bölgesel İyonosfer Modellemesinde Kullanılan GPS Ağının Genel Gösterimi.....	100
Şekil 6.2 01.01.2013 tarihine ait Türkiye İyonosfer Haritaları Örnek Gösterim	101
Şekil 6.3 01.01.2014 tarihine ait Türkiye İyonosfer Haritaları Örnek Gösterim	101
Şekil 6.4 01.01.2015 tarihine ait Türkiye İyonosfer Haritaları Örnek Gösterim	102
Şekil 6.5 2013 yılına ait TEC Değişimi	102
Şekil 6.6 2014 yılına ait TEC Değişimi	103
Şekil 6.7 2015 yılına ait TEC Değişimi	103
Şekil 6.8 Mart-Nisan-Mayıs ayları TEC değişimleri	104
Şekil 6.9 Haziran-Temmuz-Ağustos ayları TEC değişimleri	104
Şekil 6.10 Eylül-Ekim-Kasım ayları TEC değişimleri.....	105
Şekil 6.11 Aralık-Ocak-Şubat ayları TEC değişimleri.....	105
Şekil 6.12 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin F10.7 cm indis değerleri gösterimi	106
Şekil 6.13 2013 yılı 76. günü fırtınasına ilişkin K_p , DsT indis bilgileri.....	114
Şekil 6.14 2013 yılı 76. günü manyetik fırtına analizi.....	115
Şekil 6.15 2013 yılı 152. günü fırtınasına ilişkin K_p , DsT indis bilgileri.....	115
Şekil 6.16 2013 yılı 152. günü manyetik fırtına analizi.....	116
Şekil 6.17 2015 yılı 76. günü fırtınasına ilişkin K_p , DsT indis bilgileri.....	117
Şekil 6.18 2015 yılı 76. günü manyetik fırtına analizi.....	117

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.19 2015 Yılı 174. günü fırtınasına ilişkin Kp, DsT indis bilgileri	118
Şekil 6.20 2015 yılı 174. günü manyetik fırtına analizi	118
Şekil 6.21 2015 yılı 354. günü fırtınasına ilişkin Kp, DsT indis bilgileri	119
Şekil 6.22 2015 yılı 354. günü manyetik fırtına analizi	120



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 G Ölçeğine Göre İndislerin Gösterimi	19
Çizelge 5.1 Analiz Edilen Depremler İlişkin Bilgiler	37
Çizelge 5.2 Ege Denizi Depremi Anomali Miktarı ve Türü	40
Çizelge 5.3 Ege Denizi Depremi Anomali Miktarı ve Türü	42
Çizelge 5.4 Norcia Depremi Anomali Miktarı ve Türü	43
Çizelge 5.5 Norcia Depremi Anomali Miktarı ve Türü	47
Çizelge 5.6 Nepal Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	48
Çizelge 5.7 Nepal Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	50
Çizelge 5.8 Illapel Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	54
Çizelge 5.9 Karakul Depremi Anomali Miktarı ve Türü	56
Çizelge 5.10 Karakul Depremi Anomali Miktarı ve Türü	57
Çizelge 5.11 Elazığ Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	59
Çizelge 5.12 Elazığ Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	60
Çizelge 5.13 Baja Kaliforniya Depremi Anomali Miktarı ve Türü	62
Çizelge 5.14 Baja Kaliforniya Depremi Anomali Miktarı ve Türü	64
Çizelge 5.15 Şili Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	65
Çizelge 5.16 Şili Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	67
Çizelge 5.17 Yeni Zelanda Depremi Anomali Miktarı ve Türü	68
Çizelge 5.18 Yeni Zelanda Depremi Anomali Miktarı ve Türü	70
Çizelge 5.19 Tohoku Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	71
Çizelge 5.20 Tohoku Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	73
Çizelge 5.21 Van Depremi Anomali Miktarı ve Türü	75
Çizelge 5.22 Van Depremi Anomali Miktarı ve Türü	76
Çizelge 5.23 Taltal Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	78
Çizelge 5.24 Taltal Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	80
Çizelge 5.25 Farkhar Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	81
Çizelge 5.26 Farkhar Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	84
Çizelge 5.27 Atka Depremi Anomali Miktarı ve Türü	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.28 Atka Depremi Anomali Miktarı ve Türü	87
Çizelge 5.29 Banda Denizi Depremi Anomali Miktarı ve Türü	89
Çizelge 5.30 Myanmar Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	92
Çizelge 5.31 Myanmar Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	94
Çizelge 5.32 Jan Mayan Depremi Anomali Miktarı ve Türü.....	95
Çizelge 5.33 Jan-Mayan Depremi Anomali Miktarı ve Türü	97
Çizelge 6.1 2013 Yılı Aylık Ortalama TEC Değerleri Değişimi	107
Çizelge 6.2 2014 Yılı Aylık Ortalama TEC Değerleri Değişimi	109
Çizelge 6.3 2015 Yılı Aylık Ortalama TEC Değerleri Değişimi	111



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

M_w	: Moment büyüklüğü
O_2	: Oksijen Molekülü
O	: Oksijen atomu
N_2	: Azot Molekülü
NO^+	: İyonize Nitrik asit
N_2^+	: İyonize azot molekülü
NO	: Nitrit oksit
H_2O	: Su buharı
H_3O^+	: Hidrojen İyonu
$H_5O_2^+$: Hidrojen İyonu özel formu
$H_7O_4^+$: Hidrojen İyonu özel formu
n	: Kırılma indisi
c	: Işığın boşluktaki hızı
v	: Elektromanyetik dalganın ortamdaki hızı
X	: Appleton-Hartree katsayısı
Z	: Appleton-Hartree katsayısı
Y_T	: Manyetik alanın enlemsel etkileri
Y_L	: Manyetik alanın boylamsal etkileri
N_e	: Elektron yoğunluğu
e	: Elektron yükü
ϵ_0	: Serbest uzaydaki dielektrik sabiti
m_e	: Elektron kütlesi
w	: Radyal frekans
B_L	: Dünya manyetik alanının boyuna ilişkin bölümü
B_T	: Dünya manyetik alanının enine ilişkin bölümü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

f_0	: Plazma rezonans frekansı
n_p	: Faz ölçüsü kırılma indisi
n_g	: Kod ölçüsü kırılma indisi
f	: Temel frekans
S	: Gerçek uzunluk
I_{Fa}^u	: İyonosfer gecikme değeri
α	: Sabit($40.3m^3s^{-2}$)
E	: Sinyal yolu boyunca toplam elektron miktarı
f_F	: Frekans
$L1, L2$: GPS frekansları
$P_{1,a}^u, P_{2,a}^u$: Pseudo-range uzunlukları
ρ_a^u	: Uydu-alıcı arasında, sinyalin uydudan ayrıldığı ve alıcı tarafından alındığı epoklardaki toposentrik uzunluk
$\delta t^u(t)$: Uydu tarafından t zamanında kaydedilen sinyal fazı
$\delta t_a(t)$: Alıcı tarafından t zamanında üretilen sinyal fazı
$d_{trop,a}^u$: Troposferik hata; uydu ve alıcı donanım kod gecikmelerini
$d_{ion1,2,a}^u$: İyonosferik hata
$d_{1,2}^u$: Uydu kaynaklı kod gecikmesi
$d_{1,2,a}$: Alıcı kaynaklı kod gecikmesi
$\varepsilon_{1,2a}^u$: Artık hataları
$P_{4,a}^u$: Kod ölçüsü için geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon
$L_{4,a}^u$: Faz ölçüsü için geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon
$L_{1,a}^u$: Faz ölçüsü
$L_{2,a}^u$: Faz ölçüsü
$b_{1,2,a}^u$: Uydu ve alıcı kaynaklı faz donanım ilerlemesi
$N_{1,2,a}^u$: Başlangıç epoğunda faz başlangıç bilinmeyenini
λ_1, λ_2	: Frekanslara ait dalga boyları
ΔN_m	: Faz belirsizlikleri arasındaki fark
DCB^u, DCB_a	: Uydu ve alıcı diferansiyel kod farklılıkları
$MF(z)$: Haritalama Fonksiyonu
R	: Yeryuvarının ortalama yarıçapı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

H	: Elektronların en yoğun bulunduğu yükseklik
$E_V(\beta, s)$: β enlemi s güneş sabit boylamının fonksiyonu olan düşey TEC değeri
\hat{P}_{nm}	: Normalize edilmiş legendre fonksiyonu
β	: İyonosfer kesişim noktasının jeosantrik enlemi
s	: İyonosfer kesişim noktasının güneş sabit boylamı
n, m	: Derece ve mertebe
a_{nm}, b_{nm}	: Küresel veya bölgesel iyonosfer model katsayıları
P_{nm}	: Normalize edilmemiş Legendre Fonksiyonunu
Λ	: Normalizasyon Fonksiyonu
δ	: Kronecker Delta
DCB_T^u	: Toplam uydu diferansiyel kod farklılığı
z, z'	: İyonosferin kestiği noktalar
γ	: z ve z' açıları arasındaki fark
$E(z)$: Eğik toplam serbest elektron sayısı
$F_1(z)$: İzdüşüm fonksiyonu
C_{nm} ve S_{nm}	: Bilinmeyen Katsayılar
n_{max} ve m_{max}	: Maksimum derece ve mertebe
E_{int}	: Bulunması istenen TEC değeri
λ_0 ve β_0	: Başlangıç enlem ve boylam değerleri
$\Delta\lambda$ ve $\Delta\beta$: Enlem farkları grid genişlikleri
p ve q	: $0 \leq p, q < 1$ arasında değer alan eksenler
$E_{0,0}, E_{1,0}, E_{0,1}, E_{1,1}$: Komşu noktalarda bilinen TEC değeri
E_{nm}	: Taylor serisinin bilinmeyenleri
(β, s)	: İyonosfer geçiş noktasının güneş-coğrafi koordinatları
(β_0, s_0)	: Taylor serisi açılım merkezi koordinatları
M	: Medyan
IQR	: Çeyrekler arası açıklık
LQ	: Birinci çeyrek
UQ	: Üçüncü çeyrek
LB	: Alt sınır TEC değeri
UB	: Üst sınır TEC değeri
k	: Deprem analizi için kullanılacak katsayı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

D_x	: Sapma değeri
f_0F_2	: Kritik frekans
N_mF_2	: F_2 tabakası yoğunluğu
h_mF_2	: F_2 tabakası yüksekliği
σ	: Standart sapma
a_1, a_2, a_3	: Genlik
b_1, b_2, b_3	: Açısal frekans
c_1, c_2, c_3	: Faz

KISALTMALAR

CODE	: Center for Orbit Determination in Europe (Avrupa Uydu Yörünge Belirleme Merkezi)
Dst	: Disturbance Storm Time (Fırtına İndisi)
GIM	: Global Ionosphere Model (Küresel İyonosfer Model)
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems (Global Uydu Navigasyon Sistemleri)
GPS	: Global Positioning System (Küresel konum Belirleme Sistemi)
HF	: Yüksek frekans
IONEX	: Ionosphere map Exchange
K_p	: The Estimated Planetary Index (Jeomanyetik Fırtına İndisi)
RINEX	: Receiver Independent Exchange (Alıcıdan Bağımsız GNSS standart veri Formatı)
SLM	: Single Layer Model (Tek Tabaka Modeli)
STEC	: Slant Total Electron Content (Eğik toplam elektron miktarı)
TEC	: Toplam Elektron Miktarı
TUSAGA-AKTİF	: Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı
UV	: Ultraviyole
VLF	: Çok düşük frekans
VTEC	: Vertical Total Electron Content (Düşey toplam elektron miktarı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yer kabuğundaki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin yarattığı sarsma olayı deprem olarak adlandırılmaktadır. Geçmişten günümüze dünya üzerinde gerçekleşen depremler çok sayıda can ve mal kaybına yol açmıştır. Söz konusu manevi ve maddi yıkıcı etkinin önüne geçilebilmesi için deprem tahmini çalışmaları çok büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple farklı disiplinlerden çok sayıda bilim insanı bu alanda hem kendi disiplinleri içinde hem de disiplinler arası çalışma yapmaktadır. Bu disiplinlerden biri olan sismo-iyonosferik çalışmalar deprem tahmini çalışmalarında önem arz etmektedir. Geride bıraktığımız yıllar içerisinde ionosfer ile deprem arasındaki ilişkinin açıklanmasına yönelik çalışmalar oldukça ivme kazanmıştır. İlk olarak 1965 yılında Barnes ve Leonard tarafından depremin sismik bir hareket olmasından dolayı atmosferde olası yaratacağı değişimler irdelenmiştir. 27 Mart 1964 yılında meydana gelen Alaska depreminin (Mw 9,2) irdelendiği çalışmada ionosfer tabakasının parametrelerinden biri olan Total Electron Content (TEC) diğer adıyla toplam elektron miktarı değişimleri çevrede bulunan ionosonda cihazları yardımıyla irdelenmiş ve ionosfer tabakasında deprem kaynaklı değişimlerin saptandığı belirtilmiştir. Pulinets et al. (1994), Pulinets and Boyarchuk (2004), Afraimovich et al. (2004) ve James et al. (2009) yapmış oldukları çalışmada depremlerin oluş itibarıyla aynı fiziksel aşamalardan geçtiğini dolayısıyla aynı fiziksel mekanizmayla açıklanabileceğini ileri sürmüşlerdir. Çok sayıda gözlem sonucu elde edilen veriler ve model simülasyonları ile birçok deprem irdelenmiş ve çalışmalar sonucunda litosfer-atmosfer-iyonosfer (LAIC) modeli ilk olarak Pulinets et al. (1994) tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bu modele göre aktif fay hatları üzerinden yayılan bazı gazlar radonu yer kabuğundan dünya yüzeyine taşımaktadır. Bunun sonucunda radon gazı atmosfere salınmakta ve bu durum ionosfer tabakasında iyonizasyona ve su buharının yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. Söz konusu havada oluşan iyon bulutları gezegenler arası tabakanın hava iletkenliğini, aktif tektonik faylar üzerinde bulunan düşey elektrik alanında değişime sebep olacak küresel elektrik döngülerini etkilemektedir. Dolayısıyla model genel olarak deprem alanında meydana gelen jeokimyasal, atmosferik, ionosferik ve manyetosferin

fiziksel etkileşiminin açıklanmasını amaçlamaktadır. Freund (2005) yapmış olduğu çalışmada laboratuvar ortamında yapılan bir deneyde granit bir bloğun yüzeyine artırılarak yapılan mekanik basınçla birlikte havayla etkileşmesi sonucu iyonlaşmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yukarıda daha önce açıklandığı üzere bu modele göre iyonosfer tabakasında deprem kaynaklı değişime yol açan asıl etkenin yer kabuğunda bulunan radon gazının yayılması ve deprem öncesinde çok büyük enerji açığa çıkarabilecek kapasiteye sahip olması gösterilebilir. LAIC modeli ile yapılan çalışmalar sonucunda depremden 12 gün öncesine kadar deprem alanında meydana gelen çeşitli anomaliler elde edilmiştir. Dolayısıyla iyonosfer-deprem ilişkisinin deprem öncülü olarak göz önüne alınabilecek önemli parametrelerden biri olduğu düşünülmektedir (Lanyi and Roth 1988, Komjathy and Langley 1996, Komjathy 1997, Langley et al. 2002, Lang 2003, Chauhan et al. 2009, Kuo et al. 2011, Akhoondzadeh et al. 2010, Contadakis et al. 2012, Arıkan vd. 2012, Akhoondzadeh 2012, Akhoondzadeh 2013, Astafyeva et al. 2014, Cahyadi 2014). Pulinets and Legen'ka (2002) yaptıkları çalışmada iyonosfer tabakasında deprem kaynaklı anomalilerin ortaya çıkarılabilmesi için deprem büyüklüğünün $5 \leq M_w$ olması gerektiğini belirtmiştir. Larkina et al. (1989) yapmış olduğu çalışmada deprem alanındaki düşük frekanslı radyo dalgalarında (0.1-16 kHz) anomali gözlemlendiği ifade edilmiştir. Liu et al. (2001) 20 Eylül 1999 Chi-Chi depremi ($M_w=7.6$) öncesinde Chung-Li iyonosondası kullanılarak elde edilen foF2 plazma frekansı irdelenmiş ve depremden 1, 3 ve 4 gün önce bazı değişimler elde edilmiştir. Benzer şekilde 13 Global Positioning System (Küresel konumlama sistemi) (GPS) alıcısı kullanılarak elde edilen TEC değerlerinin zamansal ve konumsal değişimleri irdelenmiş yine benzer şekilde 1, 3 ve 4 gün önce değişimler elde edilmiştir.

Pulinets et al. (2003) 21 Ocak 2003 tarihinde $M_w 7.8$ Colima depremini deprem merkezi etrafında bulunan beş adet GPS alıcısıyla irdelenmiştir. Her bir GPS alıcısı için günlük çapraz korelasyon katsayısının hesaplandığı çalışmada depremden 2-3 gün önce analizi yapılan GPS alıcıları kullanılarak elde edilen TEC değerlerinde bir düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Bunun yanında TEC değerlerinin konumsal değişimi irdelenmiş ve sapmanın en az deprem bölgesinde gerçekleştiği belirtilmiştir. Sonuç olarak çalışmada iyonosfer tabakasında saptanan kısa süreli değişimlerin deprem öncülü olarak kullanılabilmesi vurgulanmıştır. Rios et al. (2004) 23 Kasım 1977 tarihinde San Juan yakınlarında gerçekleşen $M_w 7.4$ depreminde iyonosferin F2 tabakasının davranışını deprem merkezinden 50 km uzaklıkta Tucuman'da bulunan iyonosonda cihazı ile irdelenmiştir. Çalışma sonucunda depremden 5 gün önce F2 tabakasının kritik frekansının (f_0F2) istatistiksel olarak standart sapmanın 1,5 katından daha fazla düştüğünü

gözlemlenmiştir. Söz konusu bu düşüşün depremde yaklaşık 5 saat önce başladığı ve 5-15 saat arası devam ettiği belirtilmiştir. Çalışmanın devamında jeomanyetik koşulların oldukça sakin olduğu, dolayısıyla söz konusu düşüşün depremde kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Zakherenkova et al. (2006) çalışmasında 26 Aralık 2004 tarihinde meydana gelen Endonezya depremini küresel TEC değerlerini kullanarak deprem-iyonosfer ilişkisini ortaya koymaya çalışmıştır. Çalışma sonucunda depremde 2 gün önce TEC değerlerinde 20 TECU'ya (% 50-60) varan değişimler olduğu vurgulanmış ve söz konusu değişimlerin deprem kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Liu et al. (2009) GIM-TEC değerleriyle yapmış olduğu çalışmada 1 Mayıs 1998-30 Nisan 2008 arasında $M_w \geq 6$ olan 35 depremi irdelemiş ve çalışma sonucunda $M_w \geq 6,3$ olan 17 depremde depremde 3-5 gün önce TEC değerlerinde ciddi düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Çalışmanın diğer bölümünde FORMOSAT3/COSMIC (F3/C) uydularıyla yapılan inceleme sonucunda F2 tabakasındaki elektron yoğunluğunda, $N_m F2$ ve F2 tabakasının maksimum yüksekliği olan $h_m F2$ değerlerinde %40'a varan düşüşler yaşandığı kaydedilmiştir.

Perrone et al. (2010) 1979-2009 yılları arasında büyüklüğü $5,5 \leq M_w < 6$ arasında olan depremleri ionosferin E tabakasının fonksiyonu olan ($h' E_s$, $f_b E_s$) ve $f_0 F2$ kritik frekansının değişimlerinin deprem ile ilişkisini irdelemiş ve söz konusu değişimlerin depremle ilintili olduğunu belirtmiştir. Jhuang et al. (2010) tarafından, 12 Mayıs 2008 tarihinde meydana gelen Wenchuan depremi ($M_w = 8,0$) global ionosfer model (GIM) ile elde edilmiş TEC verileriyle irdelemiş ve depremde 5, 6 ve 13 gün önce TEC değerlerinde ciddi değişimler olduğu gözlemlenmiştir. Liu et al. (2010) yapmış olduğu çalışmada Tayvan'da 2001-2007 yılları arasında 150 adet depremin ($M_w \geq 5$) ionosfer ile olan ilişkisini GPS ölçülerinden elde edilen TEC değerleriyle irdelemiş ve daha sonra 15 günlük hareketli medyan yöntemi aykırılıkları tespit etmiştir. Klimenko et al. (2011) yapmış oldukları çalışmada sismo-iyonosferik etkilerin muhtemel mekanizması ve fiziksel açıklamasını 12 Mayıs 2008 tarihinde gerçekleşen Wenchuan depremi üzerinden açıklamaya çalışmıştır. Çalışmada depremde 3 gün önce TEC değerlerinde ciddi bir artış olduğu vurgulanmış ve bu artışın deprem kaynaklı olduğu ileri sürülmüştür. Liu et al. (2011) tarafından 26 Aralık 2004 tarihinde gerçekleşen Sumatra depremi ($M_w 9,3$), 26 Aralık 2006 tarihinde gerçekleşen Pingtung depremi ($M_w 7,0$), 16 Temmuz 2007 tarihinde meydana gelen Chuetsu Oki depremi ($M_w 6,8$) ve son olarak 12 Mayıs 2008 tarihinde gerçekleşen Wenchuan depremini ($M_w 8,0$) irdelemiştir. Bu çalışmada; kabuk gerilimleri, ses hızı altı dalga verileri, litosfer ve atmosferde meydana gelen olası anomalileri izleme kullanılırken, ionosferik anomaliler ise TEC değişimleri üzerinden irdelemiştir. Çalışma sonucunda Sumatra depreminden 5 gün önce, Pingtung depreminden 4 gün önce, Chunetsu Oki

depreminden 3 gün önce ve Wenchuan depreminden 4-6 gün önce deprem kaynaklı anomaliler elde edilmiştir. Chum et al. (2016) çalışmasında 25 Nisan 2015 tarihinde meydana gelen Nepal depremini (Mw 7,8) deprem merkezinden yaklaşık 3.700 km uzaklıkta bulunan Tayvan ve yine deprem merkezinden yaklaşık 6.300 km uzaklıkta bulunan Çekya bölgesinden irdelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda deprem kaynaklı bazı iyonosferik değişimler tespit edildiği belirtilmiştir. Catherine et al. (2017) yapmış olduğu çalışmada, 11 Nisan 2015 tarihinde meydana gelen Gorkha depremine ait GPS-TEC değerleri ile analiz etmiş ve deprem merkezine yakın alanlarda 5-7 dakika öncesinde iyonosferik bozulmalar tespit etmiştir. Li et al. (2018) 2006-2015 yılları arasında meydana gelen 100 adet Mw>7 depremi GIM verileri ile irdelemiştir. Güney yarım kürede elde edilen TEC anomalilerinin kuzey yarım küreden daha fazla olduğu görülmüştür. Diğer yandan yine elde edilen TEC anomalilerinin yüksek enlemlerde deprem merkezine genelde yakın alanlarda ortaya çıkarken çevresinde herhangi bir şekilde tespit edilmediği belirtilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, dünya genelinde 2010-2016 yılları arasında gerçekleşen depremlerin, $M_w \geq 6$, iyonosferde meydana getirdiği olası değişimler irdelenmiştir. Elde edilen değişimler uzay iklim koşulları hakkında bilgi veren indisler göz önüne alınarak detaylı olarak yorumlanmıştır. Diğer yandan Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağına (TUSAGA-Aktif) ait 71 istasyon kullanılarak 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin bölgesel iyonosfer haritalaması yapılmış ve her yıla ilişkin zaman serisi ortaya çıkarılmıştır. Son olarak yine iyonosfer tabakasına önemli ölçüde etkisi olan G4 ve üzeri seviyedeki manyetik fırtınaların Türkiye üzerindeki etkisi ANKR TUSAGA-Aktif istasyonu üzerinden incelenmiştir.

BÖLÜM 2

İYONOSFER

Atmosfer yapısı itibarıyla içerisinde çok sayıda gaz ve küçük parçacıklardan meydana gelmektedir. Bu yapının içeriği genel olarak açıklanacak olursa %99 Azot (N₂) ve Oksijen (O₂) geriye kalan kısmı ise Karbondioksit (CO₂) ve diğer gaz halinde bulunan yapılardan oluşmaktadır (Ratchliffe 1972, Kelley 1989). Atmosferde var olan bu kütlelerin %99'luk kısmı 30 km altında yer almaktadır (Memarzadeh 2009). 60 km ve üstü yükseklikte var olan atmosferde iyonize halde bulunan moleküller ve serbest halde dolaşan çok sayıda elektron bulunmaktadır. Atmosfer yerçekimi, manyetik alan, sıcaklık, iyonizasyon derecesine bağlı olarak kendi içerisinde değişime uğramaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosfer bölgelerine ayrılmaktadır. Atmosferin en alt katmanı olan troposfer tabakası yeryüzünden başlayıp, deniz seviyesinden 10 km uzaklığa kadar uzanabilen tabakaya verilen isim olarak ifade edilebilir. İnsanlığın yaşamını sürdürdüğü bu tabakada neredeyse tüm hava olayları meydana gelir. Çoğunlukla bulutlar burada ortaya çıkar ve su buharının %99'luk kısmı troposfer tabakasının içerisinde yer alır. Troposfer tabakasında yukarı doğru her km'de yaklaşık 6,5⁰ sıcaklık düşüşü meydana gelir. Aslında bu düşen sıcaklığın sebebi aynı zamanda düşen hava basıncıdır. Troposfer tabakasının en üst kısmı tropopoz adı verilir ve buranın yüksekliği 7km-10km arasındadır. Bu yükseklik ekvatorda 17km-18km arasında değişiklik göstermektedir.

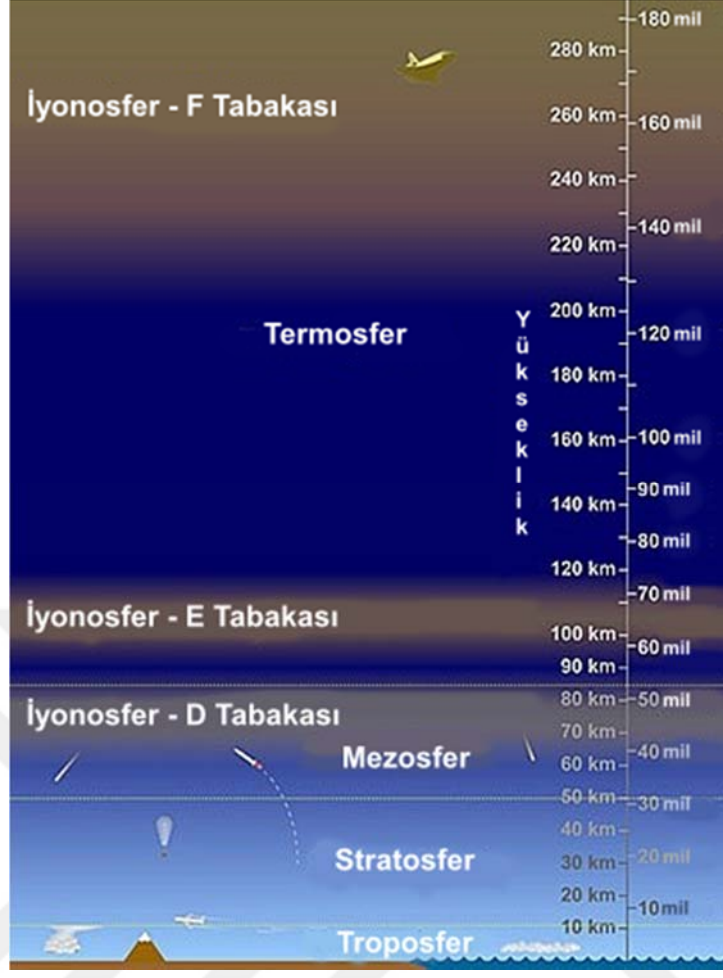
Troposferden sonra gelen tabaka Stratosfer olarak adlandırılır ve bu tabakanın yüksekliği 50 km'ye kadar uzanabilmektedir. Burada bulunan Ozon tabakası sayesinde güneş ışığı kaynaklı ultraviyole ışınları absorbe edilir. Troposfer tabakasının aksine bu tabakada yukarı doğru çıkıldıkça sıcaklık artar. Yükseklik ile yükselen sıcaklıkların bu eğilimi, stratosferdeki havanın altındaki troposferin türbülansından ve yukarı yönlü hava akımından etkilenmez ve bu durum özellikle yolcu uçaklarının daha konforlu uçuş yapabilmesine imkan tanır. Bu sebeple yolcu uçakları genellikle troposfer ile stratosfer tabakaları arasında uçuşlarını gerçekleştirmeye çalışmaktadırlar.

50-85 km arasında bulunan mezosfer tabakasında yükseklik arttıkça sıcaklık azalır ve atmosfer sıcaklığı ve basıncının en düşük olduğu katmandır. Nefes almanın oldukça zor olduğu bu katmanın orta noktasında basınç %1 seviyelerine düşmekte ve yukarılara çıktıkça söz konusu basınç daha da düşmektedir.

Havanın çok nadir olarak bulunduğu tabaka olan termosfer 80-300 km arasında yer almaktadır. Termosfer tabakasında güneşten gelen ultraviyole (UV) ve X ışınları absorbe edilir. 500°C'dan 2.000°C'da kadar ulaşan sıcaklık seviyesi sebebiyle atmosferin en sıcak ve en düşük yoğunluğa sahip tabakadır. Dolayısıyla bu katmanda gazlar iyonize halde bulunmaktadır ve iyonlar arasında güçlü bir alışveriş bağı bulunmaktadır. Bu sebeple radyo sinyalleri bu tabakada oldukça iyi iletilmektedir.

Bazı uzmanların atmosferin en üst tabakası olarak adlandırdığı tabaka olan ekzosfer tabakası aslında dünyanın gazlarla çevrili son tabakası olarak düşünülebilir. İçerisinde çok az miktarda hava bulunan bu tabakanın üst sınırı kesin olarak bilinmemekle birlikte 100.000 km ile 190.000 km arasında yer aldığı düşünülmektedir.

İyonosfer tabakasının ise yukarıda bahsedilen diğer tabakaların aksine keskin sınırları bulunmamaktadır. İyonosfer tabakası aslında termosfer ve mezosfer tabakalarının birleşimi gibi düşünülebilir. Yüklü atomların ve serbest halde bulunan elektronların olduğu bu katmana genel olarak iyonosfer adı verilmektedir. Şekil 2.1'de katmanlara ilişkin genel gösterim verilmiştir.



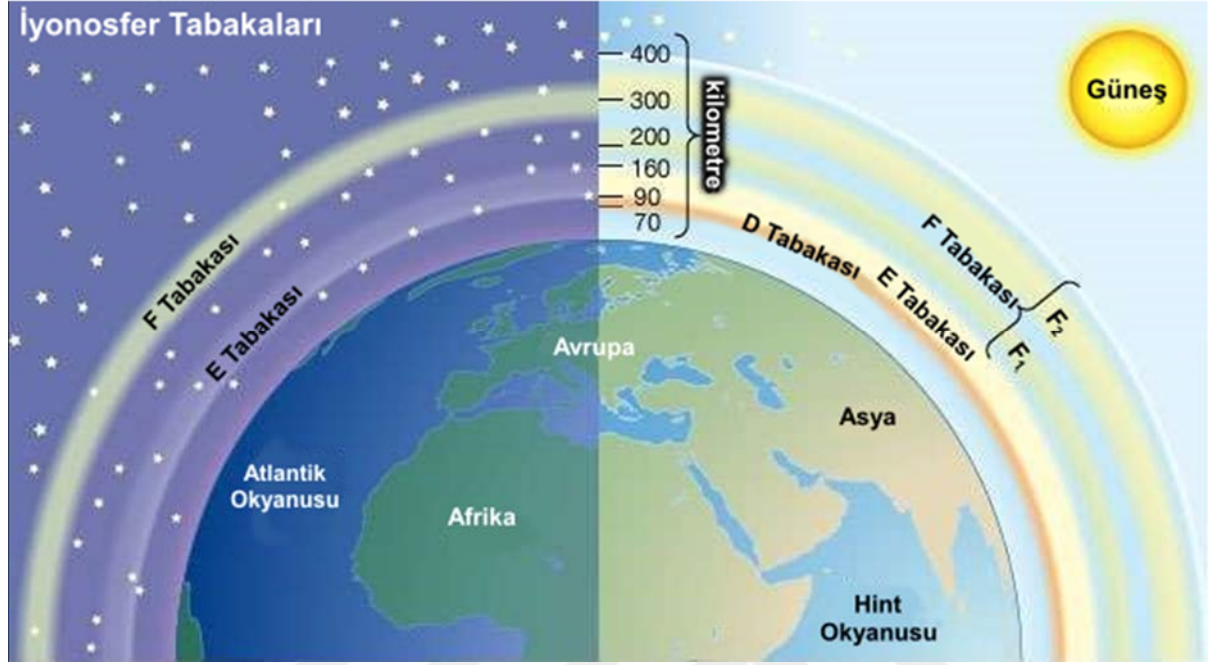
Şekil 2.1 Atmosfer Tabakalarının Genel Gösterimi. (URL-1)

Dünya atmosferi yukarıda bahsedildiği üzere çeşitli katmanlardan oluşmaktadır. Bu katmanlardan bazıları elektrik yüklü atom ve moleküllerden oluşmaktadır. Bu katmanların tamamına iyonosfer adı verilmektedir. Güneş kaynaklı yüksek enerjili X ve UV ışınları atmosferin üst kısmında bulunan gaz molekülleri ve atomlarla sürekli olarak çarpışırlar. Bu çarpışmalardan bazıları serbest halde bulunan atom ve moleküllerde bulunan elektronları elektrik yüklü serbest halde dolaşan iyon (elektron kaybetmiş atom veya moleküller) haline gelmesine sebep olur. Bu elektrik yüklü iyonlar normal halde bulunan elektrik yüklü atom ve moleküllerden farklı davranış gösterir. Bu elektronlar iyonosferin farklı bölgelerinde farklı oranlarda yer almaktadır.

2.1 İYONOSFERİN BÖLGELERİ

İyonosfer tabakası genel olarak üç ana bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar D, E ve F tabakaları olarak adlandırılmaktadırlar. Bu tabakaların keskin sınırları yoktur ve günden güne veya mevsimsel

olarak değişiklik göstermektedir. D tabakası iyonosferin en alt katmanı olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.2’de iyonosfer tabakasında bulunan bölgeler genel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 İyonosfer Bölgelerinin Genel Gösterimi. (URL-2)

Yerden yüksekliği 60-70 km olan D tabakasının üst sınır yüksekliği 90 km’ye çıkmaktadır. Bu bölgede var olan elektron yoğunluğu değişimi oranı gece ve gündüz saatlerinde neredeyse aynıdır (Wild 1994, Komjathy 1997, Zolesi and Cander 2014). Atmosfere doğru yol alan bir sinyalin geçtiği ilk tabaka olan D tabakası özellikle de düşük frekansa sahip sinyalleri sönümleyici etkisi bulunmaktadır. Bu sönümlenme etkisi frekansın karesinin tersi ile doğru orantılıdır. Bu sebeple, düşük frekansa sahip sinyaller atmosferin üst katmanlarına D tabakası kaybolmadığı sürece çıkamaz. D tabakası geceleri elektronlar moleküllere tutunduğu için negatif iyonların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum da D tabakasının ortadan kaybolmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak; D tabakasından geçen sinyal bir sönümlenme etkisine maruz kalır ve bu durum serbest halde bulunan elektronların hareketlenmesine sebep olur. Bu hareketlenme sonucunda, elektronlar atom ve moleküllerle çarpışırlar ve belirli bir miktar enerji kaybederler. Bu olay olurken radyo sinyalleri çok az bir oranda yön değiştirirler. Bu yön değiştirme orada var olan gaz moleküllerinin miktarı ve çarpışma sayısı ile doğru orantılıdır. Frekans arttıkça dalga boyu azalır ve serbest halde bulunan elektronlar ve moleküller arasında çarpışma sayısı artacağı için burada bulunan iyonizasyon seviyesi oldukça önemlidir.

Sonuç olarak bu bölgede düşük frekanstaki sönümlenme etkisi yüksek frekansa nazaran çok daha fazladır.

D tabakasında olduğu gibi, sinyal E tabakasına girdiğinde elektronların hareketlenmesine neden olur. E tabakası yer kabuğundan 90-140 km arasında yer alan iyonosfer tabakasının ikinci bölgesidir. Bu tabakada hava yoğunluğunun az olmasından dolayı çarpışma ve açığa çıkan enerji çok daha az olmaktadır. Burada elektronlar gaz molekülleriyle çarpışma sonucu ortaya çıkan enerji kaybından ziyade sinyali tıpkı bir taşıyıcı gibi iletme eğilimi gösterirler. Bu bölgede meydana gelen değişim büyük oranda güneş aktivitesi ve güneş zenit açısına bağlıdır. E bölgesinin bir diğer önemli özelliği ise herhangi bir durumdan kaynaktan bağımsız ve günlük olarak değişim gösterebilmesidir. Sinyaller üzerinde sönümlenme etkisi D tabakasına göre oldukça azdır. Diğer yandan, güneşten gelen UV ışınlarından kaynaklanan iyonlaşma mevsimsel ve günlük değişimlere göre farklılık göstermektedir. Burada meydana gelen iyonizasyon büyük oranda düşük enerjili X ışınları kaynaklıdır. E bölgesinde bulunan elektron varlığı D tabakasında olduğu gibi geceleri tamamen yok olmaz (Komjathy 1997).

İyonosfer tabakasının en üst katmanı olan F tabakası 140-350km arasında yer almaktadır. Bazı durumlarda söz konusu üst yüksekliğin 500 km'ye kadar uzandığı görülmektedir. Geceleri bir bütün halinde bulunurken, gündüz vakitlerinde F1 ve F2 tabakaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. 140-200km arasına yer alan F1 katmanı sadece gündüz görülmektedir. F2 katmanı ise iyonlaşmanın en fazla olduğu dolayısıyla en aktif tabaka olarak isimlendirilmektedir. Bu katman yüksek frekanstaki sinyallerin yayılımı için oldukça önem arz etmektedir. Dolayısıyla özellikle Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) gibi sinyal bazlı sistemler için bu tabakanın doğru şekilde modellenmesi gerekmektedir. F2 tabakasındaki iyonizasyon zenit açısından bağımsız olup bu tabakaya ait f_0f_2 kritik frekansı yaz aylarında küçük değişim gösterirken, kış aylarında yaz ayına göre 2 kat daha fazla değişim göstermektedir (Ulukavak 2016).

2.2 İYONLAŞMA MEKANİZMASI

İyonosferde var olan elektriksel aktivitenin çoğu foto-iyonizasyondan kaynaklanmaktadır. Kısa dalga boylarındaki fotonlar atmosferdeki gazlar tarafından emilir. Atmosferde serbest halde dolaşan atom veya moleküllere aşırı mor ötesi ışınların ve X ışınlarının çarpması sonucu foto-iyonizasyon olayı meydana gelir. Güneşin ortadan kaybolması sonucu iyon ve elektronlar

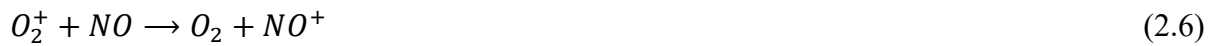
tekrardan birleşerek nötr atom ve molekülleri oluştururlar. F1 tabakasındaki iyonizasyon O_2 , O ve N_2 moleküllerinden koparılan elektron kaynaklı olmaktadır. O_2 'de koparılan elektron kaynaklı oluşan iyonizasyon dalga boyu olarak 102,7 nm iken, O ve N_2 'den koparılan elektron kaynaklı iyonizasyonun dalga boyu karşılığı ise sırasıyla 9,11 nm ve 79,6 nm'dir. Pozitif yüklü iyonlar nötr gazlarla tepkimeye girebilir ve bu durum daha kararlı iyonların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu sebeple iyonize olmuş O^+ , N_2 ve O_2 ile tepkimeye girebilir ve sonucunda iyonize moleküller oksijen (O_2^+) ve iyonize nitrik oksit (NO^+) elde edilmiş olur.



Benzer şekilde iyonize halde bulunan nitrojen molekülü (N_2^+) oksijen atomu (O) ve oksijen molekülü ile tepkimeye girdiğinde (O_2);



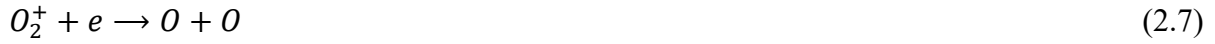
İyonosfer tabakasının E ve F1 bölgelerinde en fazla bulunan iyon O_2^+ ve NO^+ olarak göze çarpmaktadır. İyonosferin alt bölgesinde O_2^+ atomik halde bulunan N ve nitrik oksit (NO) ile tepkimeye girerek NO^+ formunu oluştururlar.



D bölgesinde NO^+ su buharı (H_2O) ile tepkimeye girerek H_3O^+ , $H_5O_2^+$, $H_7O_4^+$ gibi formları oluştururlar. Bu şekilde hidratlaştırılmış halde bulunan iyonların miktarı bulunan su miktarı ile doğru orantılıdır.

2.3 YENİDEN BİRLEŞME

D, E ve F1 tabakalarında bulunan elektron yoğunluğu, ilgili bölgenin elektron üretimi ve kaybı arasındaki dengenin izlenmesinde göz önüne alınabilecek önemli bir parametredir. Elektronlar çoğunlukla pozitif yüklü iyonlar ile birleşerek daha kararlı (stabil) molekül halini alırlar ve bu şekilde yok olurlar. Oluşan bu moleküller yeniden hızlı bir şekilde ayrılarak sahip oldukları enerjiyi kinetik enerjiye çevirirler. Bu olay iyonosfer tabakasında en çok O_2^+ ve NO^+ yeniden birleşme esnasında görülmektedir. Bu tepkimelerle ilgili denklem aşağıda gösterilmiştir.



(2.7) ve (2.8) denklemlerinde açığa çıkan bir kısım enerji ya nitrojen ya oksijen ya da her ikisi olarak kendini gösterebilir. Ortaya çıkan bu atomlar spektrumun kırmızı ve yeşil soluk görünür halde ışık yayar ve göğün aydınlığına katkı sağlar. Gök aydınlanma olayı 80 km üstü yüksekliklerde meydana gelen bir olgudur ve yeryüzündeki nesnelere karanlık gecelerde ayırt edilebilmesini mümkün kılan aydınlığı sağlar. Bu gök aydınlanması oksijen molekülünün yeniden birleşmesi esnasındaki reaksiyonlarda üretilmektedir. Bununla birlikte (2.7) ve (2.8) tepkimelerinin katkısı kolayca tespit edilebilir ve yeryüzünden iyonosferin değişimlerini gözlemlemek için faydalı bir teknik olarak düşünülebilir. Yıllar boyunca gök aydınlanma konusu üst atmosferdeki süreçlerin bilimsel olarak anlaşılabilmesi adına önemli katkıda bulunmuştur.

2.4 İYONOSFERİK DEĞİŞİMLER

İyonosfer tabakası uzay ve zaman bağlamında değişiklik göstermektedir. Bu değişimlerden bazıları kimyasal değişimlerdir ve daha önceki bölümlerde ana hatlarıyla belirtilen genel hususlara dayanarak kolayca anlaşılabilir. Gün içerisinde iyonosfer her zaman diliminde farklı davranışlar sergilemektedir. Sabahın erken saatlerinde D, E ve F1 tabakalarında iyonlaşma seviyesi düşüktür ve bu tabakalar daha üst rakımlara doğru hareket ederler. Güneş yükselmeye başladığı zaman bu tabakalar aşağı yönlü kaymaya başlarlar ve öğle saatlerinde iyonlaşma maksimum seviyeye ulaştığı için en alt seviyeye inerler.

F2 katmanının günlük ani değişimi diğer tabakalara göre daha azdır. Gün boyunca yüksek irtifalarda üretilen iyonlar, F2 tepe noktasında büyük bir elektron yoğunluğunu korur ve daha sonra geceleri aşağı doğru yayılır. Düşük irtifada iyonlaşma (D bölgesinde meydana gelen iyonlaşma) gün boyunca radyo iletimlerine müdahale etme eğilimindedir. D tabakasındaki iyonlaşma Güneş'in akşam saatlerinde olmamasından dolayı sinyal bazlı uygulamalarda meydana gelen parazit gece saatlerinde minimum olmaktadır.

İyonlaşmanın yoğunluğu, Güneş'ten gelen ışınların yoğunluğu ve özelliğine göre değişim göstermektedir. Güneş enerjisinin çıkışı, spektrumun görünür ve yakın ultraviyole kısımlarında nispeten sabit iken kısa dalga boylarında önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. E ve F katmanlarında hala daha önemli ölçüde değişimler meydana gelmesine rağmen D katmanındaki değişimler daha büyüktür.

F2 tabakasının maksimum yksekliliğinin üzerindeki iyonlaşma esas olarak iyonların ve elektronların aşağı doğru yayınımla giderilir. Bununla birlikte, iyonlar manyetik alan boyunca hareket etmek için kısıtlanır. Alan, manyetik Kuzey Kutbu ile manyetik Güney Kutbu arasında eşdeğer olan manyetik ekvatorda yatay olarak yönlendirilir. Bu nedenle, düşük enlemlerde iyonize atomik oksijen (O⁺) ve elektronların yoğunluğu, yüksek enlemlerde olduğundan daha büyük ölçüde kontrol edilir.

2.1.1 Günlük Değişim

Dünya'nın 24 saat boyunca kendi etrafında dönmesinden kaynaklı meydana gelen değişimlerdir. Modern iyonosfer fiziğinde iyonosfer tabakasındaki günlük değişimlerin tam anlamıyla tespit edilebilmesi oldukça karmaşık bir problemdir. Bu problemin bu denli büyük olmasının sebebi ise günlük değişime sebep olan asıl etkenin tespit edilememesidir. Birçok farklı etmenin etkisinin olması bu fenomenin deterministik kısmının tasvir edilmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Diğer yandan iyonosfer tabakasının net olarak tanımı yapılamaması bu durumu daha da karmaşık hale getirmektedir. Günlük değişimi ele alırken iyonosferi iki yönlü düşünmek gerekmektedir. Bunlardan birincisi iyonosferin üst kısmı iken ikinci kısmı ise iyonosferin alt kısmıdır. İyonosfer etkisinin büyük bir bölümü güneş kaynaklıdır. Bu durumda kendi içerisinde optiğe olan etki ve auroral bölgedeki parçacık yağışı etkisi olarak ikiye ayrılabilir. İyonosferde meydana gelen günlük değişim büyük oranda iyonosferin alt kısmından kaynaklanmaktadır. Bu etkiler atmosferik elektrik ve radyoaktivitedir. Diğer yandan parçacık

yağışı kaynaklı meydana gelen değişim genellikle yüksek ve orta-yüksek enleme sahip bölgelerde meydana gelmektedir.

İyonosferin D bölgesi çok düşük frekansı (VLF) yansıttığı için VLF iletişimi için oldukça önem arz etmektedir. E tabakasında ise iyonizasyon güneşin zenit açısına bağımlı olduğu için gün boyunca 20 Megahertz'e kadar HF dalgalarını yaklaşık 1.200 mil mesafeye kadar kırmaktadır ve geceleri bu iyonizasyon büyük oranda kaybolmaktadır. F tabakasının yapısı ve içerisinde barındırdığı elektron yoğunluğu günün saatine ve güneşin zenit açısına bağımlıdır. Bu sebeple bu tabaka gece boyunca tek tabaka halinde kalırken, gündüz saatlerinde daha önce bahsedildiği üzere F1 ve F2 olarak ikiye ayrılmaktadır. F1 tabakasının iyonizasyon yoğunluğu güneşin zenit açısına bağımlıdır ve bu tabakanın en önemli görevi F2 tabakasına yüksek frekanslı dalgaları absorbe etmektir. F2 tabakası ise yüksek frekanslı (HF) haberleşme için en önemli tabakadır. F2 frekansının kritik frekansı olan f_0F_2 'nin %10-30 arasında değişimine sebep olabilmektedir.

2.1.2 Mevsimsel Değişim

Mevsimsel değişiklikler, Dünya'nın güneşin etrafında dönmesiyle meydana gelir. Güneşin göreceli konumu, değişikliklerle birlikte bir yarım küreden diğerine doğru hareket eder. D, E ve F1 katmanlarının mevsimsel değişimleri güneşin açısının maksimum olduğu zamana denk gelmektedir. Bu durum iyonlaşma yoğunluğunun en fazla yaz aylarında meydana geldiği sonucunu doğurmaktadır. F2 tabakası ise yukarıda bahsedilen bu davranışta bulunmaz. Bu tabakada iyonlaşma en fazla kış aylarında görülürken, en az iyonizasyon yaz mevsiminde görülmektedir. Sonuç olarak, F2 katmanı için iyonizasyon davranışı D, E ve F1 tabakalarının davranışının tersi olarak düşünülebilir.

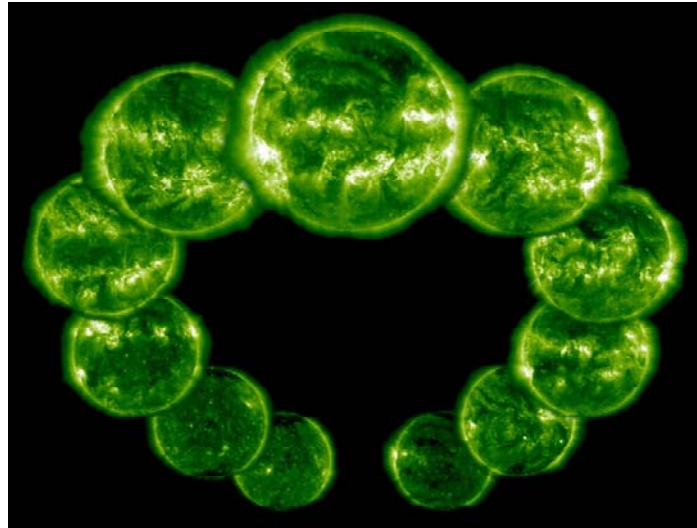
2.1.2.1 11 Yıllık Güneş Döngüsü

Güneşin yüzeyindeki en önemli fenomenlerden biri, güneş lekeleri olarak bilinen karanlık, düzensiz şekilli alanların ortaya çıkması ve kaybolmasıdır. Güneş lekelerinin doğası tam olarak bilinmemektedir, ancak bilim adamları güneşte şiddetli patlamalara neden olduklarına ve olağandışı güçlü manyetik alanlara sahip olduklarına inanmaktadır. Bu güneş lekeleri, iyonosfer iyonlaşma seviyesindeki değişime sebep oldukları bilinmektedir.

Güneş lekeleri beklenmedik bir şekilde oluşmakla birlikte bireysel güneş lekelerinin ömrü değişkenlik göstermektedir. Ancak, yapılan gözlemler sonucunda düzenli bir güneş lekeleri aktivitesi de tespit edilmiştir. Yaklaşık olarak her 11 yılda bir gerçekleşen bu aktivitenin hem minimum hem de maksimum olduğu seviyeler vardır. Bu 11 yıl rakamı sabit bir sayı olmamakla birlikte yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı değişkenlik gösterebilmektedir. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4 sırasıyla görünür güneş lekeleri ve 11 yıllık solar döngünün genel gösterimini ifade etmektedir.



Şekil 2.3 Görünür Güneş lekelerinin gösterimi. (URL-3)



Şekil 2.4 11 yıllık güneş döngüsünün örnek gösterimi. (URL-4)

2.1.2.2 27 Günlük Gne Döngüsü

Herhangi bir zamanda var olan güneş lekelerinin sayısı sürekli olarak değişmektedir. Güneşin kendi ekseni etrafında dönmesinden dolayı, güneş lekeleri yaklaşık 27 gün aralıklarla görülmekte, bunun tam periyodu ise güneşin bir tam periyodunun tamamlamasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. 27 günlük solar döngü günlük bazda iyonosferin tabakalarında var olan iyonlaşma seviyesinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu sebeple F2 tabakasının kritik frekansının günlük değişiminin hassas olarak belirlenmesini imkansız hale getirmektedir.



BÖLÜM 3

İYONOSFERİK ŞARTLAR HAKKINDA BİLGİ VEREN İNDİSLER

İyonosfer tabakası yapısı gereği güneş aktivitesi, mevsimsel değişim, gece-gündüz, konum, jeomanyetik aktivite gibi etmenlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu tabakada meydana gelen değişim çoğunlukla güneş kaynaklı olsa da sözü edilen diğer etkiler göz önünde bulundurulmalıdır.

3.1 SOLAR AKTİVİTE İNDİSİ (F10.7 CM)

Güneşten yayılan UV ve X-ışınlarının miktarının ölçülmesinde kullanılan bu sistem güneş aktivite seviyesini göstermekle birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman içerisinde güneşte meydana gelen değişimlerin irdelenmesinde önemli bir araç olan bu sistem ile iyonosferde güneş kaynaklı meydana gelen değişim izlenebilmektedir. F10.7cm indisi (2.800 MHz) yaklaşık 6 solar döngünün izlenebildiği en uzun kayıtlara sahiptir. Diğer indislerin aksine bu indisle günlük bazda her türlü hava koşulunda ölçüm yapılabilmektedir. Birimi sfu (solar flux unit) olan bu indis genel olarak 50 sfu'nun altı ile 300 sfu arasında değişim göstermektedir. Uzun süredir ölçüm yapılabilen bir indis olmasından dolayı uzay hava koşullarının izlenebilmesi ve tahmin edilebilmesinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda stratosfer tabakasını etkileyen aşırı morötesi ışınlar ile Şekil 3.1'de örnek ölçüm grafiği sunulan F10.7 cm indisi arasında güçlü bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Bu durum alınan ölçülerin sağlıklı ve doğru olduğunu ortaya koymaktadır. Kanada'da bulunan üç adet teleskop ile ölçüm alınan bu indiste ölçüm alınamayan zamanlara ortaya çıkan veri boşluğu robust tekniği ile doldurulmaktadır. Şekil 3.1'de F10.7 cm indisine ilişkin örnek gösterim verilmektedir.



Şekil 3.1 F10.7 cm indisine ilişkin gösterim. (URL-5)

3.2 JEOMANYETİK FIRTINA (K_p) VE JEOMANYETİK AKTİVİTE (Dst) İNDİSLERİ

Manyetik fırtınalar dünyada meydana gelen manyetik alandaki değişimlerin sonucunda oluşmaktadır (Arslan 2004). Bir diğer tanımlama ile dünyanın manyetik alanındaki geçici bozukluk olarak adlandırılabilir. Güneş rüzgarının basıncındaki artış ilk olarak manyetosferi sıkıştırmakta ve içerisinde barındırdığı enerji miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu etkileşim sonucunda manyetosfere doğru artan plazma hareketi ve iyonosferdeki elektrik akımının artmasına sebep olmaktadır. Manyetik fırtına esnasında elektron yoğunluğundaki değişim GPS sinyallerini olumsuz yönde etkilemektedir. Manyetik fırtınanın şiddeti ve iyonosfer tabakasında yarattığı değişimler sırasıyla Disturbance Storm Time (Dst) ve The Estimated Planetary Index (K_p) indisleri ile ifade edilmektedir. K_p indisi gezegenin manyetik etkilerini belirleyen ve güneş ışınından kaynaklanan jeomanyetik alandaki düzensiz bozulmaların incelenmesinde kullanılan bir parametredir. 1932 yılından bugüne kadar sürekli olarak üretilmektedir. Bu indis K indisinin ortalaması alınarak elde edilmektedir. Enlem ve mevsimsel özelliklere bağımlı ve günlük değişimlerin etkisinden bağımsızdır. 1957'den sonraki yıllar için saatlik veriler üretilmeye başlanmıştır. K_p indisi 1 saat aralıklarla elde edilirken K_p indisinin veri formatı $0_0, 0_+, 1_-, 1_0, 1_+, 2_-, 2_0, 2_+, \dots, 9_-, 9_0$ şeklindedir. Yani 0'dan 9'a kadar ki her bir değer 3'e bölünmüştür. Örnek vermek gerekirse $2_0 = 2$, $1_- = 2/3$, $1_+ = 4/3$ değerine karşılık gelmektedir. Her bir + veya - işaretinde 1/3 ekliyor veya çıkarıyorken, eğer işaret 0 ise

sayı aynı değerini koruyor anlamına gelmektedir. K_p indisi $0 \leq K_p \leq 9$ arasında değer almaktadır. Çalışmada K_p indisinin gösteriminin daha iyi yapılabilmesi için her bir değer on ile çarpılmış ve $(K_p * 10)$ şeklinde gösterilmiştir. Dst indisi ise jeomanyetik fırtınanın derecesini hakkında bilgi veren parametredir (Masci 2013). Dst indisi düşük enlem ölçüm istasyonlarında jeomanyetik alanın H bileşeni kullanılarak türetilmektedir. Birimi nanotesla (nT) olan bu indis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordaki azalmasını ifade etmektedir. Bu indis bir saat aralıklarla elde edilmektedir. Dst indisi ne kadar küçük olursa jeomanyetik aktivite o kadar şiddetli olur (İnyurt 2015). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından yayınlanan G ölçeği kapsamında K_p indisi G1' den başlayarak G5'e kadar beş seviyeye ayrılmıştır. Nwankwo and Chakrabarti (2013) çalışmasında F10.7cm indisini benzer şekilde A, B, C, D, E olarak beş seviyeye ayırmıştır. Aşağıdaki Çizelge 3.1'de K_p , DsT ve F10.7cm indislerine ilişkin bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.1 G Ölçeğine Göre İndislerin Gösterimi.

ÖLÇEK	($K_p * 10$)	Dst	Solar Aktivite F10.7 (sfu)
G5 En Büyük	$90 \geq K_p$	$Dst < -300$	251-300
G4 Şiddetli	$80 > K_p \geq 89$	$-100 \geq Dst > -250$	201-250
G3 Güçlü	$70 > K_p \geq 79$	$-50 \geq Dst > -100$	151-200
G2 Orta	$60 > K_p \geq 69$	$-20 \geq Dst > -50$	100-150
G1 Küçük	≤ 50	$Dst > -20$	65-99

3.3 İYONOSFER TABAKASININ GNSS ÖLÇÜLERİNE ETKİSİ

Herhangi bir GNSS uydusundan çıkan sinyal iyonosfer tabakasından geçerken kırılmaya uğramaktadır. Elektromanyetik dalganın bir ortamdaki yayılımını gösteren kırılma indisi,

$$n = c/v \quad (3.1)$$

şeklinindedir. Söz konusu denklemde c ışığın boşluktaki hızını; v elektromanyetik dalganın ortamdaki hızını ifade etmektedir. İyonosfer sahip olduğu özellikler nedeniyle 30 MHz ve altındaki frekanslardaki dalgaları yansıtırken, 50 MHz ve üstündeki sinyaller ise iyonosferden geçebilir fakat iyonosferde zayıflama ve gecikme etkisine uğrarlar (Schaer 1999). Söz konusu

kırılma indisi troposfer tabakasında $n > 1$, iyonosfer tabakası için ise $n < 1$ şeklindedir. Troposferde meydana gelen kırılma frekansa bağımlı değilken, iyonosferdeki kırılma frekansa bağımlıdır. İyonosfer tabakasındaki bu kırılma Appleton-Hartree tarafından aşağıdaki denklemdeki şekliyle açıklanmıştır.

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

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

olup, burada; N_e : elektron yoğunluğu; e : elektron yükü; m_e : elektron kütlesi; ϵ_0 , vakum için sınır değer; v , elektron çarpışma frekansdır. T ve L indisleri dünyanın manyetik alanı B'nin en ve boyuna ilişkin bölümlerini ifade etmektedir. Elektron plazma rezonans frekansı,

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{N_e e^2}{\epsilon_0 m_e} \quad (3.4)$$

(3.4) denklemindeki gibi ifade edilmektedir. GNSS'de kullanılan frekanslar için dünyanın manyetik alanını içeren terimlerin bir kısmı ve elektron çarpışmaları ihmal edildiğinde;

$$n = 1 - \frac{X}{2(1 \pm Y_L)} \quad (3.5)$$

şeklinde olmaktadır (Wild 1994). Yine dünyanın manyetik alanının boylamsal etkileri (Y_L) yok sayıp gerekli düzenlemeler yapılırsa faz ölçüleri için kırılma indisi,

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

şeklinde elde edilir. Aynı işlemler kod ölçüleri için tekrarlandığında;

$$n_g = 1 + \frac{40.3}{f^2} N_e \quad (3.7)$$

eşitliği elde edilir; k alıcısı ve i uydusu arasındaki gerçek uzunluk S için,

$$S = \int_a^u n_p ds \quad (3.8)$$

eşitliği geçerlidir. Sonuçta bu integral yardımıyla GPS gözlemleri için iyonosferik gecikme değeri,

$$I_{Fa}^U = \frac{\alpha E}{f_F^2} \quad (3.9)$$

eşitliği ile elde edilir.

I_{Fa}^U : F frekansı için iyonosferik gecikme;

f_F : GPS taşıyıcısının frekansı (F=1,2);

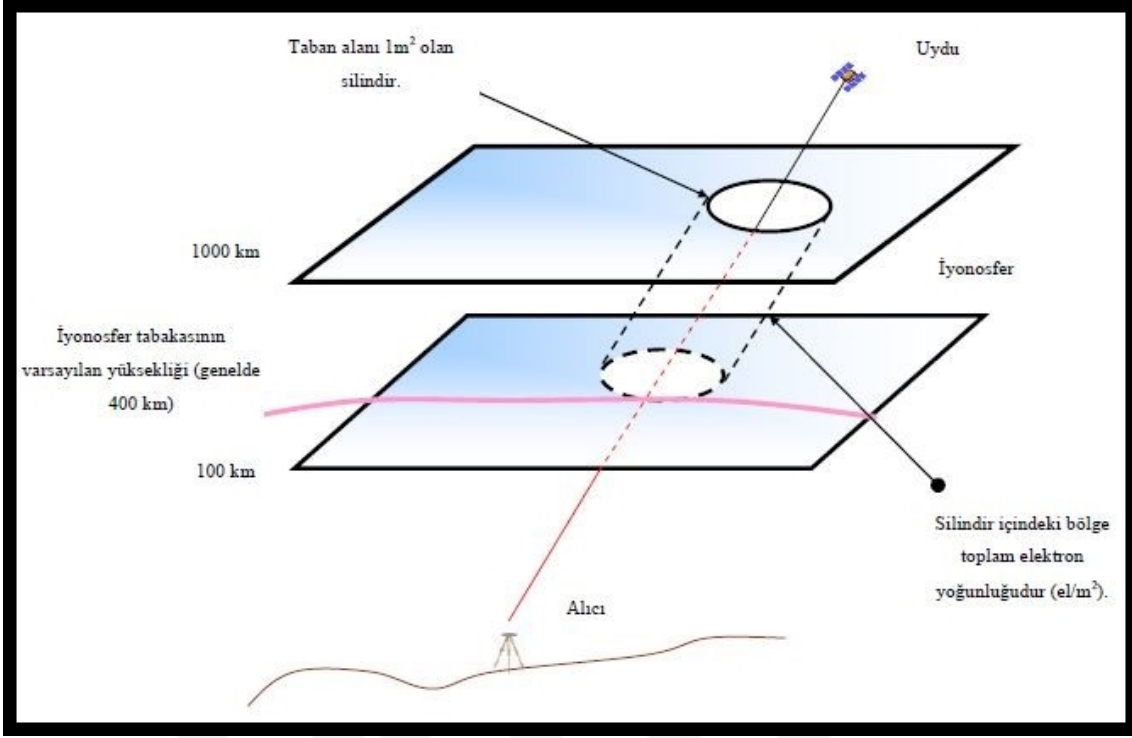
E: sinyal yolu boyunca toplam elektron miktarı (TECU biriminde);

$\alpha = 4.03 \cdot 10^{17} \text{ m s}^{-2} \text{ TECU}^{-1}$ sabit katsayıdır (Wild 1994).

İyonosferik gecikme kod ölçülerine (+) ve faz ölçülerine (-) olarak eklenir. İyonosfer tabakası kaynaklı bu sinyal gecikmesinin sebep olduğu etkilerin önüne geçebilmek için çift frekanslı alıcılar kullanılmaktadır. Bu sayede iyonosferik hatanın büyük bir bölümü elimine edilmektedir.

3.4 GNSS SİNYALLERİNDEN FAYDALANARAK TEC ELDE EDİLMESİ

İyonosfer tabakası coğrafi konum, mevsimsel değişim, jeomanyetik etki, solar aktivite gibi etkilere karşı değişim göstermektedir (Sardon et al. 1994, Saroso et al. 2008, Norsuzila et al. 2010, Pajares et al. 2010, Petrie et al. 2011, Namgaladze et al. 2012). Bu sebeple iyonosferin doğru şekilde modellenmesi önem arz etmektedir. TEC, 1 m² kesitli silindir içerisinde bulunan toplam elektron miktarı olarak adlandırılır. Birimi TECU (Total Electron Content Unit) olan TEC değeri 1 TECU = 10¹⁶ elektron/m² dir (Schaer 1999). TEC, Eğik Toplam Elektron Miktarı (Slant Total Electron Content - STEC) ve Düşey Toplam Elektron Miktarı (Vertical Total Electron Content - VTEC) olarak iki şekilde ifade edilir. STEC, alıcı ile uydusu arasındaki yol üzerinde eğik toplam elektron miktarı, VTEC ise alıcıya göre dik doğrultuda hesaplanan toplam elektron miktarıdır (Zou 2010).



Şekil 3.1 Uydu-Alıcı Arasındaki TEC Gösterimi. (Arslan 2004)

Çift frekanslı GNSS alıcıları L1 ve L2 frekansları bünyesinde hem kod hem de faz ölçülerini barındırmaktadır. Bilindiği üzere ön-uzunluk (pseudorange) uydu-alıcı arasındaki kesin mesafedir ve dolayısıyla 1-5 TECU doğruluğunda TEC değeri elde etmede kullanılabilir (Liu et al. 2005). Fakat ön-uzunlukları çok fazla gürültü ve sinyal yansıması (multipath) etkisine maruz kaldığından elde edilecek TEC değerinin doğruluğunun düşük olmasına sebep olacaktır. TEC değerinin elde edilmesinde kullanılan bir diğer yöntem ise sadece faz ölçüleri kullanılarak elde edilmesidir. Bu yöntem sadece kod ölçüleri kullanılarak elde edilen TEC değerine göre doğruluğu daha yüksektir. Fakat bu yöntemin kullanılmamasının en büyük nedeni tamsayı faz belirsizliğinin doğru şekilde giderilmesi zorunluluğudur. Dolayısıyla kullanım pratikliği açısından tercih edilmemektedir. Son yöntem ise kod ölçülerinin faz ölçüsü yardımıyla yumuşatılarak yumuşatılmış kod ölçülerinin kullanılmasıdır. Elde edilen TEC doğruluğu sadece faz ölçüleri kullanılarak elde edilen TEC doğruluğundan daha düşük olmasına rağmen kullanım pratikliği açısından bakımından en avantajlı yöntemdir (Liu et al. 2005, Yildirim et al. 2016, Başçiftçi 2017). Bu çalışmada GNSS bazlı TEC değeri elde etmede yumuşatılmış kod ölçüleri kullanılmıştır. Çift frekanslı GPS alıcısı kullanılarak TEC'in elde edilmesinde kod ve faz denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$P_{1,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) + d_{trop,a}^u + d_{ion1,a}^u + d_1^u + d_{1,a} + \varepsilon_{1,a}^u \quad (3.10)$$

$$P_{2,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) + d_{trop,a}^u + d_{ion2,a}^u + d_2^u + d_{2,a} + \varepsilon_{2,a}^u \quad (3.11)$$

$P_{1,a}^u, P_{2,a}^u$; Pseudorange gözlemi, ρ_a^u ; uydu-alıcı çifti arasındaki gerçek uzaklığı, $d_{trop,a}^u, d_{ion1,2,a}^u$; troposfer ve iyonosfer hataları, $d_{1,2}^u, d_{1,2,a}$; uydu ve alıcı donanım kod gecikmelerini $\varepsilon_{1,2,a}^u$; artık hataları ifade etmektedir. Pseudorange ölçülerinde geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon (L4) uygulandığında troposferik hata, uydu-alıcı arası gerçek uzunluk, uydu-alıcı saat hataları elimine olur. Dolayısıyla yeni denklem;

$$P_{4,a}^u = P_{1,a}^u - P_{2,a}^u = d_{ion1,a}^u - d_{ion2,a}^u + DCB^u + DCB_a \quad (3.12)$$

Denklem faz ölçüleri için yazılacak olursa;

$$L_{1,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) - d_{ion1,a}^u + d_{trop1,a}^u - \lambda(b_{1,a}^u + N_{1,a}^u) \quad (3.13)$$

$$L_{2,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) - d_{ion2,a}^u + d_{trop2,a}^u - \lambda(b_{2,a}^u + N_{2,a}^u) \quad (3.14)$$

$b_{1,2,a}^u$; uydu ve alıcı kaynaklı faz donanım ilerlemesini, $N_{1,2,a}^u$; tamsayı faz belirsizliğini göstermektedir.

$$L_{4,a}^u = -(d_{ion1,a}^u - d_{ion2,a}^u) - \lambda(b_{1,a}^u - b_{2,a}^u) - \lambda(N_{1,a}^u - N_{2,a}^u) \quad (3.15)$$

Burada ΔN_m ;

$$\Delta N_m = \lambda_1 N_1^u - \lambda_2 N_2^u \quad (3.16)$$

Uydudan çıkan sinyalin kod ve faz ölçüleri yaklaşık olarak eşit ve zıt yönde etkilenir. Matematiksel ifadesi;

$$d_{ion,a}^u \sim A \frac{STEC_a^u}{f^2} \quad (3.17)$$

Burada $A = 40.3 \text{ m}^3/\text{sn}^2$ ve $STEC_a^u$ uydu-alıcı arasındaki eğik toplam elektron miktarını ifade eder. Sonuç eşitlik kod ve faz ölçüleri için aşağıdaki gibi olmaktadır.

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

$$STEC = - \frac{f_1^2 f_2^2}{40.3(f_1^2 - f_2^2)} P_{4,a}^u - c(DCB^u + DCB_a) \quad (3.19)$$

STEC değeri her bir uydu-alıcı çifti arasındaki eğik toplam elektron miktarını ifade ettiği için haritalama amaçlı kullanılmamaktadır. Bir iyonosfer haritası oluşturabilmek için elde edilen STEC değerlerinin düşeye çevrilmesi gerekmektedir. Düşeydeki toplam elektron miktarına VTEC adı verilmektedir. VTEC değeri;

$$VTEC = MF(z) * STEC \quad (3.20)$$

$$MF(z) = \cos\left(\arcsin\left(\frac{R}{R+H} \sin(\alpha z)\right)\right) \quad (3.21)$$

(3.20) denklemlerindeki z uydu yükseklik açısını, R dünya yarıçapını, H elektronların en yoğun bulunduğu yüksekliği (aslında bu yükseklik F2 tabakasının en üst noktasıdır) ve $\alpha = 0.9782 H = 450 \text{ km}$ değerini ifade etmektedir (İnyurt 2015).

Küresel harmonik fonksiyonlar küresel ve bölgesel iyonosfer modellemesi için kullanılabilir (Alizadeh et al. 2011; Inyurt et al. 2017)

$$VTEC = E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \dot{P}_{nm}(\sin\beta) (a_{nm} \cos(ms) + b_{nm} \sin(ms)) \quad (3.22)$$

Burada (n,m) derece ve mertebeyi, β iyonosfer kesişim noktasının jeosantrik enlemini, $s = \lambda - \lambda_0$ iyonosfer kesişim noktasının güneş merkezli boylamını, λ ve λ_0 ; sırasıyla iyonosfer kesişim noktasının boylamı ve görünür güneş zamanı boylamını, a_{nm} ve b_{nm} küresel veya bölgesel iyonosfer model katsayılarını, $\dot{P}_{nm} = P_{nm} \Lambda(n, m)$ normalize edilmiş Legendre polinomlarını, Λ normalizasyon fonksiyonunu, P_{nm} normalize edilmemiş Legendre polinomlarını ifade eder. Λ normalizasyon fonksiyonu;

$$\Lambda = \sqrt{2 \frac{2n+1(n-m)!}{1+\delta_{0m}(n+m)!}} \quad (3.23)$$

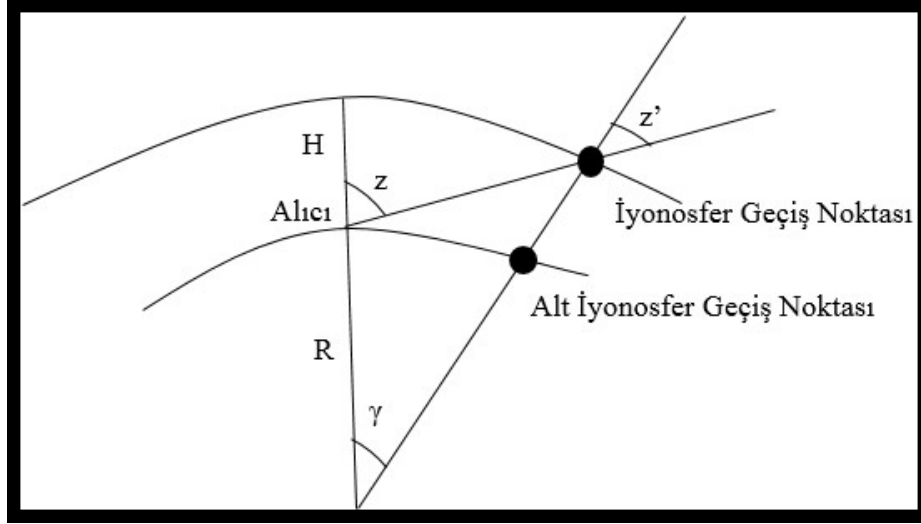
δ Kronecker Deltayı ifade etmektedir. Denklemler birbirine eşitlenirse;

$$VTEC = E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \dot{P}_{nm}(\sin\beta) (a_{nm} \cos(ms) + b_{nm} \sin(ms)) = \left[-\frac{f_1^2 f_2^2}{40.3(f_1^2 - f_2^2)} P_{4,a}^u - c(DCB^u + DCB_a) \right] * \cos(\arcsin\left(\frac{R}{R+H} \sin(\alpha z)\right)) \quad (3.24)$$

ifadesi elde edilir. Burada $P_{4,a}^u$ ölçüleri yumuşatılmış kod ölçülerini ifade etmektedir. Denkleme bakıldığında a_{nm} , b_{nm} , DCB^a ve DCB_u bilinmeyen olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel harmoniklerin katsayısı çalışma bölgesinin yerine göre değişiklik göstermektedir. Global çalışmalarda derece ve mertebe genellikle (15,15) kullanılmaktadır. Çalışmada (n,m) (6,6) alınmıştır. Denklemdaki bilinmeyen sayısı ölçü sayısından daha az olduğu için en küçük kareler ilkesiyle a_{nm} , b_{nm} , DCB^u ve DCB_a kestirilebilir. Söz konusu denklem tekil bir denklem olduğundan uydu ve alıcı donanım gecikmelerini (DCB^u ve DCB_a) birbirinden ayırmak için bir dış kısıt getirilmesi gerekmektedir. Bu dış kısıt için tüm GPS uydularına ait donanım gecikmesi toplamının 0 olacağı düşünülür $DCB_T^u=0$. Bu aşamadan sonra rahatlıkla tüm bilinmeyenlerin çözümü sağlanmış olur (Inyurt et al. 2017).

3.4.1 Tek Tabaka Modeli

Yukarıda daha önce tanımlandığı üzere uydu-alıcı arasındaki elektron miktarı STEC olarak adlandırılmaktadır (Agostino and Piras 2011). Söz konusu bu STEC değeri farklı uydulardan farklı yükseklik (eğim) açılarıyla toplanır. Bu da GPS sinyallerinin iyonosferin farklı bölümlerinden alınmasına sebep olur. Farklı yükseklik açılarıyla toplanan bu değerleri karşılaştırmak için eğik olarak toplanan TEC değerinin ortalama bir iyonosferik yükseklikte düşeye çevrilmesi gerekmektedir. Tek tabaka modeli olarak adlandırılan bu model GPS alıcılarından yararlanarak elde edilen toplam elektron miktarının iki boyutlu haritalanması için geliştirilen güçlü bir yöntemdir. Bu modelde uydu alıcı arası yataydaki elektron miktarı değişimi göz ardı edilmektedir. Tek tabaka modeli iyonosferi modelleme ve tahmini için sıklıkla kullanılan bir modeldir. Model, iyonosferde yer alan tüm elektronların dünyadan yaklaşık 300 km ile 450 km arasındaki sonsuz incelikte bir tabakada toplandığını kabul eder. Tek Tabaka modeli (SLM) şekil olarak aşağıda gösterilmektedir (İnyurt 2015).



Şekil 3.2 Tek tabaka modeli (İnyurt 2015)

Şekil 3.2' de gösterilen tek tabaka modelinde; z : alıcının konumundaki zenit açısı, z' : İyonosfer geçiş noktasındaki zenit açısı, R : Yeryuvarının ortalama yarıçapı, γ : z ve z' açıları arasındaki farkı, H : Yeryuvarı yüzeyinden tek tabakaya olan uzaklığı ifade etmektedir (Fedrizzi et al. 2002, Rao et al. 2006, Spogli et al. 2013, Chakraborty et al. 2014). STEC değerinin formülasyonu aşağıdaki gibidir. STEC ile VTEC arasındaki ilişki;

STEC ile düşey TEC (VTEC) arasındaki ilişki;

$$F_z = \frac{E(z)}{E_v(\beta, s)} \quad (3.25)$$

Yukarıda belirtilen F_z tek tabaka izdüşüm fonksiyonunu göstermektedir. $E(z)$ eğik toplam serbest elektron miktarını, $E_v(\beta, s)$ ise düşeydeki toplam elektron miktarını göstermektedir. Burada $E_v(\beta, s) = E(0)$ olarak alındığında yeni F_z ;

$$F_z = \frac{1}{\cos z'} \quad (3.26)$$

şeklinde. Sinyalin iyonosfer tabakasına geldiği açı (z') ile alıcıya geldiği açı (z) arasındaki ilişki ise;

$$\sin z' = \frac{R}{R+H} \cdot \sin z \quad (3.27)$$

biçimindedir.

İyonosferik bilgi, düşey elektron yoğunluğunu temsil eden alt iyonosfer noktasında dönüştürülmektedir (Arslan 2004). Tek tabaka modelinin elektronların ince bir tabakada toplandığı varsayımıyla hareket etmesi iyonosfer tabakasının temsilini tam olarak yansıtamaması sebebiyle dezavantaj olarak görülmektedir (Liu and Gao 2004).

3.4.2 Küresel TEC Modeli

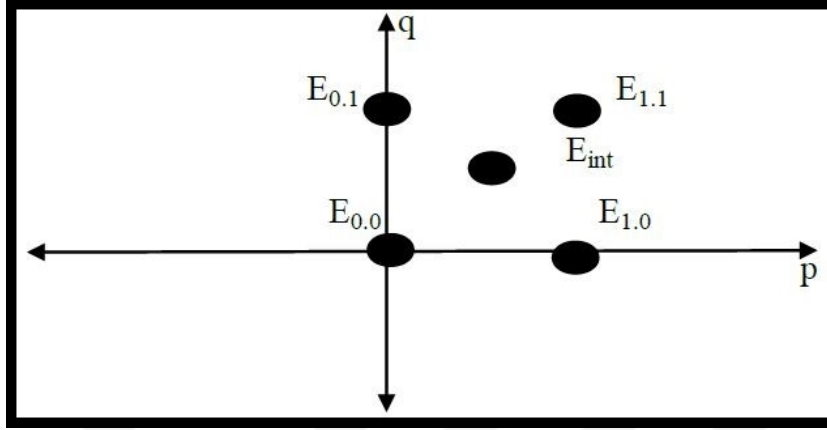
Taylor açılımı ile yapılan TEC temsili küresel anlamda yetersiz kaldığı için küresel TEC temsili küresel harmonik açılımı ile yapılmaktadır. Daha önceki bölümde anlatıldığı üzere küresel harmonik açılıma ilişkin denklem aşağıdaki gibidir.

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n P_{nm}((\sin(\beta)) (C_{nm} \cos(ms) + S_{nm} \sin(ms)) \quad (3.28)$$

Küresel TEC modeli formülünden anlaşılacağı üzere içerisinde harmonik fonksiyonun derece ve mertebesini barındırmaktadır. Bu değerler çalışma bölgesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Tüm dünyayı kapsayacak şekilde yapılan haritalarda derece ve mertebenin 10 ve üzerinde olması uygun iken, diğer taraftan bölgesel anlamda yapılacak çalışmada derece ve mertebenin çalışma bölgesinin yerine göre belirlenmesi uygun olacaktır. Bu tez çalışmasında Center for Orbit Determination in Europe (CODE) tarafından üretilen Global Ionosphere Model (GIM) IONEX (IONosphere map EXchange) formatında yayınlanmakta olup TEC değerlerinin konumsal çözünürlüğü $2.5^\circ \times 5^\circ$, zamansal çözünürlüğü 2014 yılının belirli bir bölümüne kadar 2 saat, daha sonraki dönemlerde ise 1 saat zamansal çözünürlükte üretilmektedir. IONEX formatında yayınlanan değerler bütün dünyayı kapsayacak biçimde oluşturulmuştur (Dach et al. 2007). Herhangi bir noktaya ilişkin enlem ve boylamda ki TEC değeri o noktayı kapsayan en yakın 4 noktadan iki değişkenli enterpolasyon yardımıyla ilgili noktaya ait TEC değeri hesaplanabilmektedir. İki değişkenli enterpolasyon formülasyonu aşağıdaki gibidir. Bulunan değer 0,1 ile çarpıldığında ilgili noktaya ait TEC değeri TECU biriminde belirlenmektedir. IONEX formatından yayınlanan TEC değerlerinin doğruluğu 2-8 TECU arasında değişiklik göstermektedir.

$$E_{\text{int}}(\lambda_0 + p\Delta\lambda, \beta_0 + q\Delta\beta) = (1-p)(1-q)E_{0,0} + p(1-q)E_{1,0} + q(1-p)E_{0,1} + pqE_{1,1} \quad (3.29)$$

Burada; p ve q : $0 \leq p, q < 1$ arasında değer almaktadır. $\Delta\lambda$ ve $\Delta\beta$: Enlem farkları grid genişliklerini, λ_0 ve β_0 : Başlangıç enlem ve boylam değerlerini, $E_{0,0}$, $E_{1,0}$, $E_{0,1}$, $E_{1,1}$: Komşu noktalarda bilinen TEC değerini, E_{int} : Bulunması istenen TEC değerini göstermektedir.



Şekil 3.3 İki Değişkenli Enterpolasyon Gösterimi.

3.4.3 Yerel TEC Modeli

$E_v(\beta, s)$ VTEC değerini hesaplamak için Taylor serisine göre açılırsa;

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^{m_{\max}} E_{nm} (\beta - \beta_0)^n (s - s_0)^m \quad (3.30)$$

Eşitliği elde edilir. n_{\max} ve m_{\max} enlem ve boylamdaki 2 boyutlu Taylor serisi açılımının maksimum derecesini, E_{nm} Taylor serisinin bilinmeyenlerini, (β, s) iyonosfer geçiş noktasının güneş-coğrafi koordinatlarını, (β_0, s_0) Taylor açılım merkezi koordinatlarını temsil etmektedir. Bu model kullanım olarak daha çok bölgesel alanda yapılan çalışmalarda ön plana çıkmaktadır. Küresel TEC değerlerini elde edilme çalışmalarına yetersiz kaldığı görülmüştür. (İnyurt 2015).

BÖLÜM 4

METODOLOJİ

Günümüzün en büyük sorunlarından biri olan deprem dünya genelinde çok sayıda can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Depremle ilgili geçmişten bugüne çok sayıda bilim insanı çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; deprem öncesi, anı veya sonrasında iyonosfer tabakasında bazı değişimler meydana geldiği, bu sebeple deprem tahmini çalışmalarında iyonosfer tabakasının incelenmesi gerekliliği ortaya koyulmuştur. Liu et al. (2001), Plotkin (2003), Pulinets et al. (2003), Liu et al. (2004), Fujiwara et al. (2004), Lognonné et al. (2006), Liu et al. (2006), Liu et al. (2009b), Saroso et al. (2008), Akhoondzadeh et al. (2010), Sharma et al. (2010), Le et al. (2011), Saradijan and Akhoondzadeh (2011), Tsugawa et al. (2011), He et al. (2012), Yao et al. (2012), Ho et al. (2013), Occhipinti et al. (2013), Aggarwal et al. (2016), Jiang et al. (2017), Pundhir et al. (2017) yapmış oldukları çalışmalarda dünya genelinde büyüklükleri farklılık gösteren çeşitli depremleri incelemiş ve TEC değişimi ile ilişkisini ortaya koymuşlardır. Plotkin (2003) çalışmasında 13 Şubat 2001 tarihinde El Salvador'da meydana gelen M_w 6,6 büyüklüğündeki depremi incelemiş ve depremden 2 gün önce GPS alıcısından elde edilen TEC değerlerinde düşüş yaşandığı kaydedilmiştir. Çalışmada söz konusu değişimin jeomanyetik aktivite veya solar rüzgar kaynaklı olabileceği belirtilmiştir.

Pulinets et al. (2003) yapmış olduğu çalışmada $M_w > 5$ olan depremlerin %73'ünde $M_w > 6$ olan depremlerin %100'ünde depremden önceki 5 gün içerisinde iyonosferik anomaliler meydana geldiğini saptamıştır. Liu et al. (2004) yapmış olduğu çalışmada Tayvan'da 1999-2002 yılları arasında meydana gelen 20 adet depremi hareketli medyan yöntemi ile irdelemiştir. Çalışmanın sonucunda $M_w \geq 6$ depremleri için söz konusu yöntemin depremden önceki 5 gün içerisinde deprem kaynaklı iyonosfer değişimlerini saptamada %80 oranında başarı sağladığını belirtmiştir. Fujiwara et al. (2004) yapmış olduğu çalışmada $M_w \geq 4,8$ olan depremlerde deprem öncesi iyonosferik anomalileri hareketli medyan yöntemi ile irdelemiştir. Çalışma sonucunda depremden önceki 5 gün içerisinde iyonosferde ciddi değişimler meydana geldiğini saptamıştır. Lognonné et al. (2006) çalışmasında iyonosfer tomografisini ortaya çıkarmış ve

tsunami kaynaklı iyonosferik değişimler yakalamıştır. Liu et al. (2006) Tayvan bölgesinde 1994-1999 yılları arasında $M_w \geq 5$ olan 184 adet depremin, iyonosferin F2 tabakasının yüksekliği ve f_0F_2 kritik frekansı değişimleri ile olan ilişkisini irdelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda f_0F_2 kritik frekansındaki anormal düşüşlerin %25'lik kısmının depremden önceki 5 gün içerisinde yerel zamanda 12:00-18:00 saatleri arasında gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bunun yanında deprem öncesi iyonosferik değişimlerin depremin büyüklüğü ile doğru orantılı olduğu, deprem merkezinden uzaklaştıkça iyonosferik anomalilerin düşüş gösterdiği anlaşılmıştır. Söz konusu durumun deprem kaynaklı enerji salınımı ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Liu et al. (2009a) yapmış olduğu çalışmada GPS alıcıları kullanılarak üretilmiş olan GIM haritaları yardımıyla 01.05.1998-30.04.2008 yılları arasında Çin'de gerçekleşen $M_w \geq 6,0$ olan 35 adet depremi irdelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda $M_w \geq 6,3$ olan 17 adet depremde, depremden önce 3-5 gün içerisinde TEC değerlerinde ciddi azalmalar meydana geldiği anlaşılmıştır. Çalışmanın diğer bölümünde 12.05.2008 tarihinde Çin'in Wenchuan bölgesi yakınlarında meydana gelen $M_w=7,9$ büyüklüğündeki depremin iyonosfer tabakasında meydana getirdiği olası değişim hem GIM-TEC değerleriyle hem de FORMOSAT3/COSMIC (F3C) uydularından elde edilen elektron yoğunluğu değerleriyle izlenmiştir. Çalışma sonucunda GIM-TEC değerlerinde deprem öncesi azalma görüldüğü, F3C uydularından elde edilen sonuçlar irdelendiğinde N_mF_2 , h_mF_2 değerlerinde yaklaşık %40 düşüş yaşandığı kaydedilmiştir. Saroso et al. (2008) yapmış olduğu çalışmada 1993-2002 yılları arasında büyüklüğü $M_w \geq 5,9$ olan Sulawesi depremlerini ve 26.12.2004 tarihinde gerçekleşen Sumanda-Andaman depremini irdelenmiştir. Deprem kaynaklı TEC değişimlerinin tespit edilmesi amacıyla deprem öncesi ve sonrası 15 günlük TEC değerleri kullanılarak üst ve alt sınırlar oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda depremden 2-7 gün önce TEC değerlerinde ciddi düşüşler yaşandığı görülmüştür. Özellikle Sumanda-Andaman depreminde meydana gelen deprem kaynaklı anomalilerin deprem merkezinden 1.600 km uzaklıkta tespit edilebildiği belirtilmiştir. Akhoondzadeh et al. (2010) yapmış olduğu çalışmada $M_w > 6,0$ büyüklüğündeki depremlere ilişkin iyonosferik anomalileri GPS ve DEMETER uydularını kullanarak belirlemiştir. Çalışma sonucunda $M_w > 6,0$ olan depremlerden 5 gün önce iyonosferik anomalilerin meydana geldiği ve bu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği ifade edilmiştir.

Sharma et al. (2010) yapmış olduğu çalışmada Çin'de meydana gelen $M_w > 6,0$ depremler ile iyonosferde meydana gelen değişimler arasındaki ilişkiyi irdelemiştir. Çalışmada TEC ve F_2

tabakasının kritik frekansındaki değişimler iyonosonda cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda TEC ve f_0F_2 kritik frekansında depremden önceki 1-4 günler arasında önemli değişimler kaydedilmiştir. Le et al. (2011) global iyonosfer modelinden elde edilen TEC değerlerini kullanarak 2002-2010 yılları arasında $M_w \geq 6,0$ olan 736 depremin iyonosfer tabakası ile olan ilişkisini irdelemiştir. Çalışmada depremden 1-21 gün öncesi göz önünde bulundurularak anormal TEC değişimleri hesaplanmıştır. Yapılan istatistiksel çalışma sonucunda söz konusu anormal değişimlerin depremin büyüklüğü, deprem merkezine yakınlık ve depremin derinliğine bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Saradijan and Akhoondzadeh (2011) çalışmasında iki saat zamansal çözünürlüklü global iyonosfer modele ait TEC değerlerini kullanarak 12.01.2010 tarihinde meydana gelen Haiti depremini ve 29.09.2009 tarihinde meydana gelen Samoa depreminin iyonosferde yol açtığı olası değişimleri irdelemiştir. Çalışmada her iki deprem için sırasıyla 45 ve 65 günlük TEC değerleri kullanılarak zaman serisi oluşturulmuş daha sonra istatistiksel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda her iki depremden önce bazı değişimler saptandığı ve bu değişimlerin yüksek olasılıkla depremden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Tsugawa et al. (2011) çalışmasında 2011 yılında $M_w=9,0$ büyüklüğünde gerçekleşen Tohoku depreminin iyonosfer tabakası ile olan ilişkisini irdelemiştir. GPS istasyonları kullanılarak elde edilen TEC değerlerinin kullanıldığı çalışmada deprem öncesi ve sonrası TEC değerlerinde değişimler yaşandığı ifade edilmiştir.

Yao et al. (2012) 2010 yılında dünya genelinde meydana gelen $M_w \geq 7,0$ depremlerin CODE merkezi tarafından üretilen global iyonosfer modele ait TEC değerleri ile olan ilişkisini ortaya koymuştur. Çalışmada 12 Ocak 2010 tarihinde $M_w=7,0$ büyüklüğündeki Haiti depremi, 27 Şubat 2010 tarihinde meydana gelen $M_w=8,8$ büyüklüğündeki Şili depremi, 4 Nisan 2010 tarihindeki $M_w=7,2$ Meksika depremi, 12 Ağustos 2010 tarihindeki $M_w=7,1$ Ekvador depremi, 3 Eylül 2010 tarihindeki $M_w=7,0$ Yeni Zelanda depremi, 29 Eylül 2010 tarihindeki Endonezya depremi ve son olarak da 21 Aralık 2010 tarihindeki $M_w=7,4$ Japonya depremi irdelenmiştir. Depremden önceki 1-30 günler için TEC değerlerinin alt ve üst sınır değerleri istatistiksel analizlerle belirlenmiş ve ilgili güne ilişkin TEC değerlerindeki farklılıkların deprem ile olan ilişkisi irdelenmiştir. Diğer yandan söz konusu değişimlerin deprem kaynaklı olup olmadığını anlayabilmek için jeomanyetik aktivite hakkında bilgi veren Kp, Dst, F10.7 indisler kullanılarak söz konusu değişimlerin jeomanyetik aktivite kaynaklı olabileceği göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma sonucunda Haiti depreminden 1 gün önce ve deprem günü anomali tespit edildiği ve bu anomalinin depremden kaynaklanabileceği, Şili depremi ile ilgili yapılan

çalışmada 15-16 Şubat 2010 ve 18-20 Şubat 2010 tarihlerinde anomaliler tespit edilmiştir. 15-16 Şubat 2010 tarihlerinde görülen anomalinin jeomanyetik aktivite kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan 20 Şubat 2010 tarihinde iyonosfer tabakasının jeomanyetik aktivite açısından oldukça sakin olduğu, dolayısıyla söz konusu anomalilerin jeomanyetik aktivite kaynaklı olmadığı tespit edilmiştir. 20 Şubat 2010 tarihinden deprem gününde dahil olmak üzere TEC değerlerinde deprem öncesi herhangi bir anomali görülmemiştir. Dolayısıyla bu tarihteki anomalinin depremle ilgili olduğu düşünülmektedir. Şili depremi oldukça büyük bir deprem olmasına rağmen herhangi bir iyonosferik anomali tespit edilememiştir. Occhipinti et al. (2013) GPS ölçüleri kullanılarak elde edilen TEC değerleriyle 2011 yılında meydana gelen Tohoku depremini irdelemiş ve çalışma sonucunda anormal TEC değişimlerinin deprem kaynaklı olabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Aggarwal et al. (2016) yapmış olduğu çalışmada 13 Nisan 2010 tarihinde $M_w=6,9$ büyüklüğünde Çin bölgesinde meydana gelen depremi irdelemiştir. GPS-TEC değerlerinin üretilerek kullanıldığı çalışmada depremden 3-4 gün önce TEC değerlerinde anormal değişimlerin görüldüğü saptanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda söz konusu değişimin deprem kaynaklı olduğu ortaya konulmuştur. Jiang et al. (2017) yaptıkları çalışmada 1 Nisan 2014 tarihinde Şili'de meydana gelen $M_w=8,2$ depremine ilişkin iyonosferik değişimleri 14 adet GPS istasyonu kullanmasıyla elde edilen TEC ve GIM'e ait TEC değerlerinden ayrı ayrı irdelenmiştir. Söz konusu değişimlerin deprem kaynaklı olup olmadığının anlaşılabilmesi için jeomanyetik ve solar aktivite indisleri göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda söz konusu değişimin jeomanyetik veya solar aktivite kaynaklı olmadığı, bu değişimin deprem kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Pundhir et al. (2017) Hindistan bölgesinde bulunan Agra (27.2^0 N, 78^0 E) ve Surat (21.16^0 N, 72.78^0 E) GPS istasyonları kullanılarak üretilen TEC değerleri ve GIM-TEC değerleriyle 2013 yılının Nisan ve Eylül aylarında meydana gelen $M_w>6,5$ olan depremler incelemiştir. Kartil bazlı istatistik metodunun uygulandığı çalışmada bulunan iyonosferik anomaliler jeomanyetik aktivite koşulları da göz önüne alınmıştır. Çalışma sonucunda söz konusu anomalilerin jeomanyetik aktivite kaynaklı olmadığı, deprem kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Deprem kaynaklı iyonosferik anomalilerin belirlenmesinde çok sayıda istatistiksel yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerden biri Liu et al. (2009) önermiş olduğu çeyrekler arası fark bazlı hareketli medyan istatistik analizidir. Bu yöntemde, ilk olarak hareketli ortanca (M), birinci

çeyrek (LQ) ve üçüncü çeyrek(UQ) değerleri elde edilir. Daha sonra kestirilen GPS-TEC değerlerinin ortalama değeri (m) ve standart sapması (σ) olan normal dağılımda oldukları varsayımı ile m ve $1,34 \sigma$ aralığında kabul aralığı olarak seçilmektedir (Klotz and Johnson 1983). Sonuç olarak GPS-TEC değerlerinin deprem öncesi ve sonrası 15 gün için hareketli alt sınır ve üst sınır elde edilmektedir. Kullanılan yöntem bir örnekle anlatılacak olursa, ilk 15 güne ait TEC verileri kullanılarak üretilecek medyan, LQ ve UQ değerleri 16. gündeki TEC değerlerinin analizinde referans veri olarak kullanılacaktır. Yine benzer biçimde 2 ile 16'ncı gün arasındaki TEC verileri 17. güne ait LB ve UB sınırlarının oluşturulmasında kullanılacaktır. Bu durumda ilgili epoktaki TEC değeri %60-65 güvenilirlik seviyesi ile söz konusu sınır değerlerin arasında olacaktır (Liu et al. 2009). Eğer analiz edilen güne ilişkin TEC değerlerinin $1/3$ ve daha fazlası üst sınır değerden fazla veya alt sınır değerden az ise bugün anomalinin yaşandığı gün olarak ifade edilmektedir (Liu et al. 2004). Örnek verecek olursak CODE merkezinin yayınlamış olduğu 1 saat zamansal çözünürlüklü TEC değerleri kullanılarak yapılan analizde toplam 24 adet veri bulunmaktadır. Bunlardan sekiz ve daha fazlası üst sınırın üstüne veya alt sınırın altına inmişse o gün anomalinin yaşandığı gün olarak ifade edilmektedir. Eğer bu veriler üst sınırın üstüne çıkmışsa pozitif anomali, alt sınırın altına inmişse negatif olarak adlandırılmaktadır.

Saradijan and Akhoondzadeh (2011) yapmış oldukları çalışmada, Liu et al. (2009)'da önermiş olduğu yöntemdeki LB ve UB sınırlarını belirlemede kullanılan k değerinin sabit olduğunu bu nedenle k değerinin her deprem için farklı olması gerekliliğini ortaya koymuştur. Diğer yandan, UB ve LB değerlerinin belirlenmesinde yaklaşık 55 günlük veri kullanılmasının iyonosfer tabakasında var olan mevsimsel değişim etkilerinden arındırılması açısından uygun olacağı düşünülmüştür. Akhoondzadeh et al. (2010) yapmış oldukları çalışmada LB ve UB sınırlarını aşağıdaki denklemler aracılığıyla belirlemiştir.

$$LB = M - k * IQR \quad (4.1)$$

$$UB = M + k * IQR \quad (4.2)$$

$$LB < x < UB \quad -k < \frac{x-M}{IQR} < k \quad D_x = \frac{x-M}{IQR} \quad (4.3)$$

Burada x , t zamanına ait gözlemlenen TEC değerini, LB alt sınır TEC değerini, UB üst sınır TEC değerini, M medyan değerini, IQR çeyrekler arası açıklığı, D_x gözlemlenen TEC değerinin farkını ifade etmektedir.

Söz konusu çalışmada k değerinin depremin büyüklüğüyle orantılı seçilmesi gerektiğini vurgulanmış ve eğer herhangi bir zamana ait hesaplanan D_x değeri seçilen k değerinden büyük ise, bu zamana ait TEC değerinin anomaliye sebep olduğu düşünülmektedir. Fakat burada k değerinin elde edilmesiyle ilgili herhangi bir matematiksel ifade ortaya konulmamıştır. Diğer yandan (Liu et al. 2009) çalışmasında m ortalama ve σ sapmasına sahip GPS-TEC ölçüleri için beklenen m ve $1,34\sigma$ kabul aralığının iyonosferin alt ve üst sınırlarının belirlenmesi için yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Bilindiği üzere iyonosfer tabakası orta enlem bölgesinde ekvatorial ve kutup bölgelerine göre daha sakin davranış göstermektedir. Dolayısıyla her iki bölge için kestirilen TEC değerleri için üst ve alt sınırlarının oluşturulmasında m ve $1,34\sigma$ kullanılması doğru bir tanımlama olmayacaktır. Yine benzer şekilde iyonosferi etkileyen jeomanyetik etki, solar aktivite gibi etkenler iyonosfer tabakasında farklı bölgelerde farklı etki göstermektedir. Bu sebeple GPS-TEC değerlerinin alt ve üst sınırlarını oluştururken bölgeye uygun olacak şekilde sınırların belirlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Eğer analiz edilen bölgeye ilişkin alt ve üst sınır değerler doğru şekilde oluşturulursa, deprem kaynaklı oluşabilecek iyonosferik anomalilerin belirlenmesi daha kolay olacaktır. Sonuç olarak deprem kaynaklı iyonosferik anomalilerin doğru bir şekilde tespiti için öncelikle sınırları oluşturacak k değerinin hassas bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında deprem kaynaklı iyonosferik anomalilerin belirlenebilmesi için deprem öncesi, anı ve sonrasını kapsayacak şekilde toplam 60 günlük TEC verisi kullanılmıştır. LB ve UB sınırlarının hassas şekilde belirlenebilmesi için ilk 30 güne ilişkin TEC verilerinden faydalanarak deprem analizi için kullanılacak k değeri aşağıda açıklandığı şekilde belirlenmiştir. Deprem analizi için kullanılacak k değeri elde edildikten sonra deprem kaynaklı iyonosfer anomalinin belirlenebilmesi için LB ve UB değerleri her epok için üretilmiştir. Bu sayede iyonosfer tabakasına etki eden mevsimsel değişim ile küçük ve orta seviyedeki jeomanyetik etkilerin deprem kaynaklı iyonosferik değişim analiz sonuçlarına olan etkisinin azaltılması sağlanmış olacaktır.

Çalışmada Liu et al. (2009) yönteminde UB ve LB değerlerinin belirlenmesi için kullanılan formülde yer alan 1.5 sabit değeri Saradijan and Akhoondzadeh (2011) yönteminde olduğu gibi

k değeri olarak düşünölmüştür. Dolayısıyla LB ve UB için oluşturulacak yeni denklem aşğıdaki şekilde ifade edilmektedir. Yazarların çalışmada belirttiğı D_x değeri gözlemlenen TEC değerinin sapmasını belirtmektedir. Dolayısıyla her epok için gözlemlenen TEC değeri için (Liu et al. 2009) yönteminde olduğı gibi bir sapma değeri elde edilebilir.

$$LB=M-k(M-LQ) \quad (4.4)$$

$$UB=M+k(UQ-M) \quad (4.5)$$

$$k_i = \frac{x_i - M_i}{IQR_i} \quad (4.6)$$

(4.6) denkleminde k_i ilgili epöğa ait sapma değerini, x_i gözlemlenen TEC değerini, M_i medyan değerini, IQR_i kartiller arası farkı ifade etmektedir. Her saate ilişkin k değeri analiz edilen günlerden önceki 30 güne ait TEC verisi kullanılmıştır. (4.6) denklemi kullanılarak her saat için 30 adet k değeri elde edilmiş ve bunların maksimum değeri alınmıştır. Daha sonra her saate ilişkin elde edilen k değerlerinin ortalaması alınarak deprem analizi için kullanılacak tek bir k değeri elde edilmiştir. Bu sayede iyonosferi etkileyen mevsimsel değışim, solar etki, jeomanyetik aktivite gibi etkenlerin anomali olarak analiz sonuçlarına olan etkisinin önüne geçileceğı düşünölmektedir. Daha sonra (4.4) ve(4.5) denklemleri kullanılarak sırasıyla LB ve UB değerleri elde edilmiştir. Tüm bu işlemler için gerekli verilerin indirilmesi, analiz edilmesi gibi işlemler MATLAB ortamında hazırlanan program ile elde edilmiştir.

Çalışmada ikinci yöntem olarak, deprem kaynaklı anomalilerin tespit edilebilmesi amacıyla deprem öncesi ve sonrasını kapsayan 60 günlük gerçek TEC değerlerinden faydalanılarak model oluşturulmuş, bu model aracılığıyla TEC değerlerinin genel davranışı belirlenmiştir. Model sonucunda üretilen TEC değerleri, gerçek TEC değerlerinden çıkarılmış ve elde edilen farklar istatistiksel teste tabi tutularak anomali tespiti yapılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda analiz için kullanılacak modele ilişkin denklem aşğıda sunulmuştur.

$$TEC(x) = a1*\sin(b1*x+c1) + a2*\sin(b2*x+c2) + a3*\sin(b3*x+c3) \quad (4.7)$$

Burada $a1, a2, a3$ genliğı; $b1, b2, b3$ açısal frekansı; $c1, c2, c3$ fazı; x ise zamanı temsil etmektedir.

Bu tez çalışmasında yukarıda anlatılan iki model kullanılarak her deprem için ayrı ayrı uygulanacak ve ortaya çıkan sonuçlar detaylı olarak irdelenecektir.



BÖLÜM 5

UYGULAMA

Tez çalışması kapsamında bu iki yöntemden faydalanılarak dünyanın farklı bölgelerinde farklı büyüklüklerde gerçekleşmiş 17 adet deprem irdelenmiş ve detaylı analizler yapılmıştır. Analizi yapılan depremler ile ilgili genel bilgiler aşağıdaki Çizelge 5.1’de ve Şekil 5.1’de sunulmuştur.

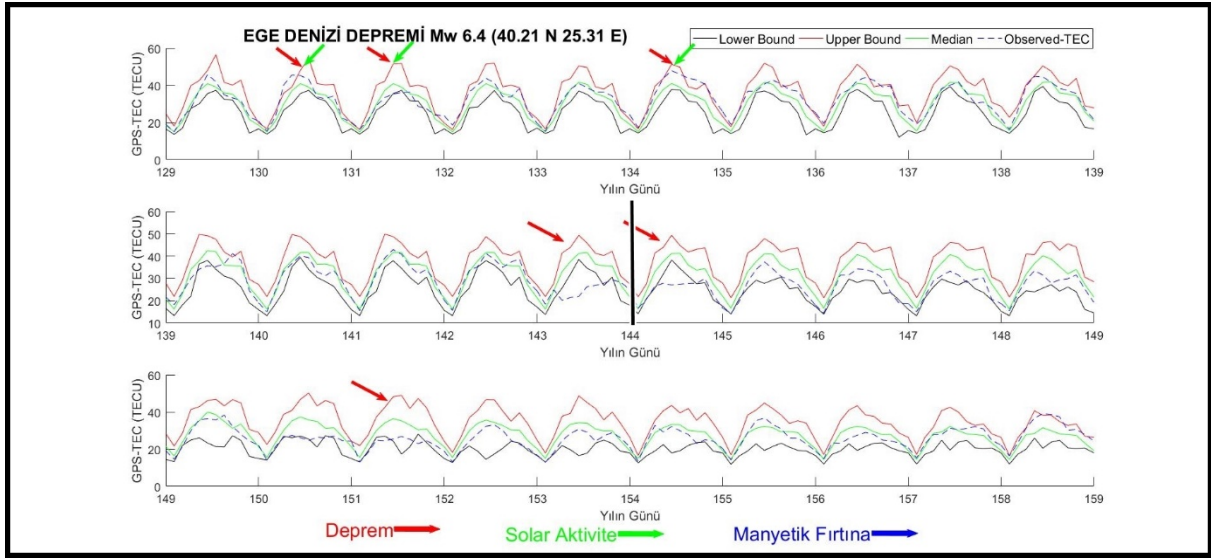
Çizelge 5.1 Analiz Edilen Depremlere İlişkin Bilgiler.

No	Depremin Adı	Oluş Tarihi	Büyükklük (Mw)
1	Ege Denizi Depremi	25.04.2014	6,4
2	Norcia Depremi	30.10.2016	6,6
3	Nepal Depremi	25.04.2015	7,8
4	Illapel Depremi	16.09.2015	8,3
5	Karakul Depremi	25.11.2016	6,6
6	Elazığ Depremi	08.03.2010	6,0
7	Baja Kaliforniya Depremi	04.04.2010	7,2
8	Şili Depremi	27.02.2010	8,8
9	Yeni Zelanda Depremi	14.11.2016	7,8
10	Tohoku Depremi	11.03.2011	9,1
11	Van Depremi	23.10.2011	7,2
12	Taltal Depremi	27.11.2015	6,2
13	Farkhar Depremi	26.10.2015	7,5
14	Atka Depremi	30.08.2013	7,0
15	Banda Denizi Depremi	10.12.2012	7,1
16	Myanmar Depremi	11.11.2012	6,8
17	Jan Mayan Depremi	30.08.2012	6,8

Deprem kaynaklı anomalinin daha iyi anlaşılabilmesi için iyonosferik koşullar hakkında bilgi veren Kp, Dst ve F10.7 cm indisleri her deprem için irdelenmiş ve söz konusu anomalilere olan etkisi incelenmiştir.

5.1 EGE DENİZİ DEPREMİ

24 Mayıs 2014 (yılın günü 144) tarihinde Türkiye saati ile 12:25'te Gökçeada açıklarında büyüklüğü Mw 6,4 olan deprem meydana gelmiştir. Merkez koordinatları 40,21 N, 25,31 E olarak belirlenen depremin süresi 42 sn. olarak kayıt edilmiştir. Depremden sonraki 48 saat içerisinde değişik büyüklüklerde 405 adet artçı deprem meydana gelmiştir.

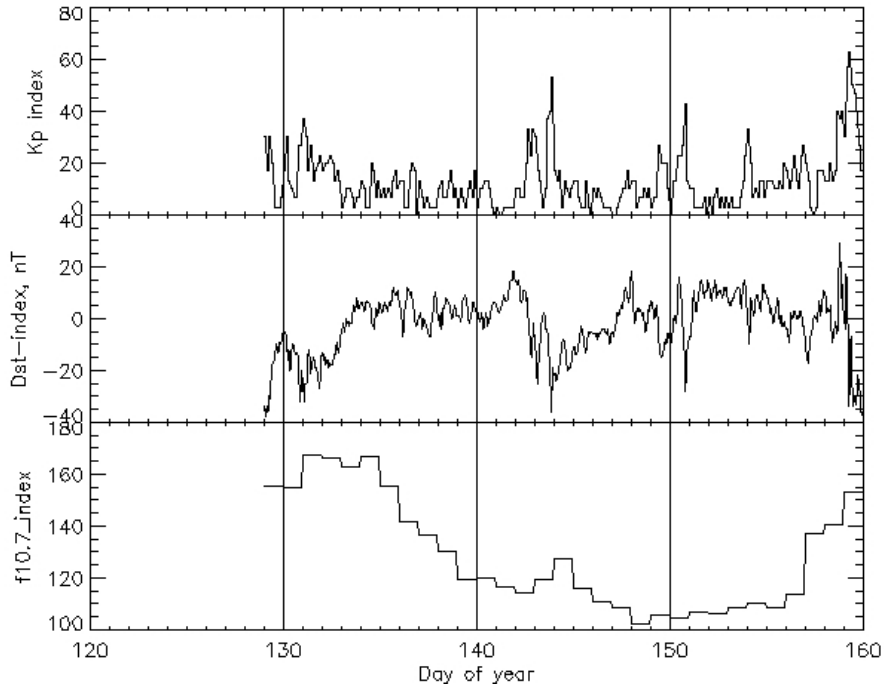


Şekil 5.2 Ege Denizi Deprem öncesi ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Şekil 5.2 Ege denizi açıklarında 24 Mayıs 2014 tarihinde meydana gelen Mw 6,4 büyüklüğündeki deprem öncesi, anı ve sonrasında meydana gelen TEC değişimlerini göstermektedir. Siyah, kırmızı, yeşil ve kesikli çizgilerle gösterilen değişimler sırasıyla alt sınır, üst sınır, medyan ve gözlemlenen TEC değerlerini ifade etmektedir. Yukarıda bahsedildiği üzere eğer gözlemlenen TEC değeri alt sınırın altına inmişse negatif anomali, üst sınırın üstüne çıkmışsa pozitif anomali olarak ifade edilmektedir. Analiz sonucu ortaya çıkan değerler Çizelge 5.2' de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda k değeri 2,46 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.2 Ege Denizi Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
130	0	0,97	Pozitif	143	3	5,53	Negatif
130	3	4,51	Pozitif	143	4	10,45	Negatif
130	4	6,53	Pozitif	143	5	16,59	Negatif
130	11	0,37	Pozitif	143	6	8,18	Negatif
131	5	0,19	Negatif	143	7	5,81	Negatif
131	6	1,18	Negatif	143	9	1,28	Negatif
131	8	2,85	Negatif	144	2	0,26	Negatif
131	0	0,37	Pozitif	144	4	4,05	Negatif
131	1	0,17	Pozitif	144	5	11,25	Negatif
131	11	3,87	Pozitif	144	6	7,02	Negatif
134	0	2,30	Pozitif	144	7	3,28	Negatif
134	1	0,73	Pozitif	144	11	0,88	Negatif
134	4	0,11	Pozitif	151	1	0,04	Negatif
134	7	4,62	Pozitif	151	2	0,72	Negatif
134	8	4,97	Pozitif	151	3	1,51	Negatif
134	10	2,34	Pozitif	151	4	2,48	Negatif
134	11	2,62	Pozitif	151	8	5,09	Negatif



Şekil 5.3 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

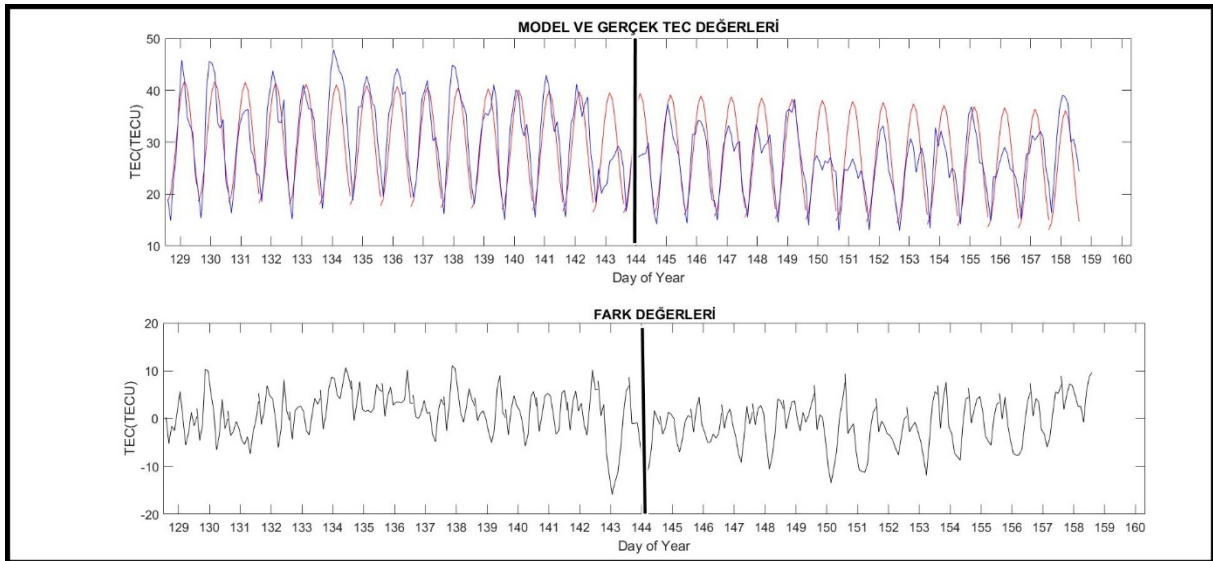
Söz konusu değişimlerin jeomanyetik veya solar aktivite kaynaklı etki olup olmadığını anlamak için servisinden Kp, Dst ve F10.7 cm indisleri irdelenmiştir. Şekil 5.3 irdelendiğinde 130, 131 ve 134. günlere ilişkin ortalama solar aktivite değerleri sırasıyla 155,1 sfu, 167,7 sfu, 166,7 sfu

olarak belirlenmiş ve güçlü seviyede solar aktivite meydana geldiği tespit edilmiştir. Diğer yandan jeomanyetik aktivite açısından Kp, Dst indisleri irdelenmiş ve söz konusu günlerde iyonosferik şartların sakin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bugünlerde gözlemlenen anomalilerin solar aktivite ve deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Yine benzer şekilde 143 ve 144'ncü güne ilişkin yapılan analizde jeomanyetik açıdan sakin, solar aktivite açısından orta seviyede (119,2 sfu, 127,7 sfu) olduğu dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır. 151'nci güne ilişkin jeomanyetik koşulların oldukça sakin olduğu, solar aktivitenin orta şiddette olduğu (F10.7=106,6 sfu) tespit edilmiştir. Söz konusu günde gözlemlenen anomalinin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

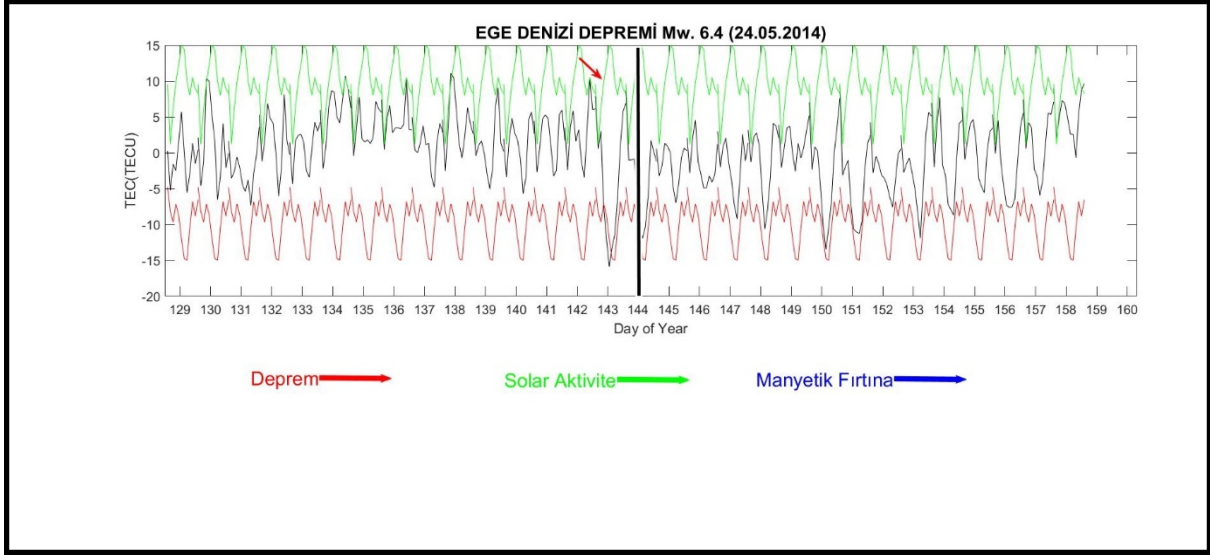
Anomali tespiti için yapılan ikinci analizde ilk olarak TEC değerlerinin genel davranışının tespiti için aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$TEC(x) = 87,78 \cdot \sin(0,021 \cdot x + 1,359) + 55,44 \cdot \sin(0,025 \cdot x + 4,399) + 11,56 \cdot \sin(6,282 \cdot x - 2,085) \quad (5.1)$$

Söz konusu denklem kullanılarak elde edilen model TEC değerleri ile gerçek TEC değerleri arasındaki fark alınarak TEC değerlerinin genel davranışı ölçülerden çıkarılmıştır. Daha sonrasında elde edilen fark değerlerinin her epoğuna ilişkin üst ve alt sınır değerleri $UB = M + 2\sigma$ VE $LB = M - 2\sigma$ denklemleri kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 5.4 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.



Şekil 5.5 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

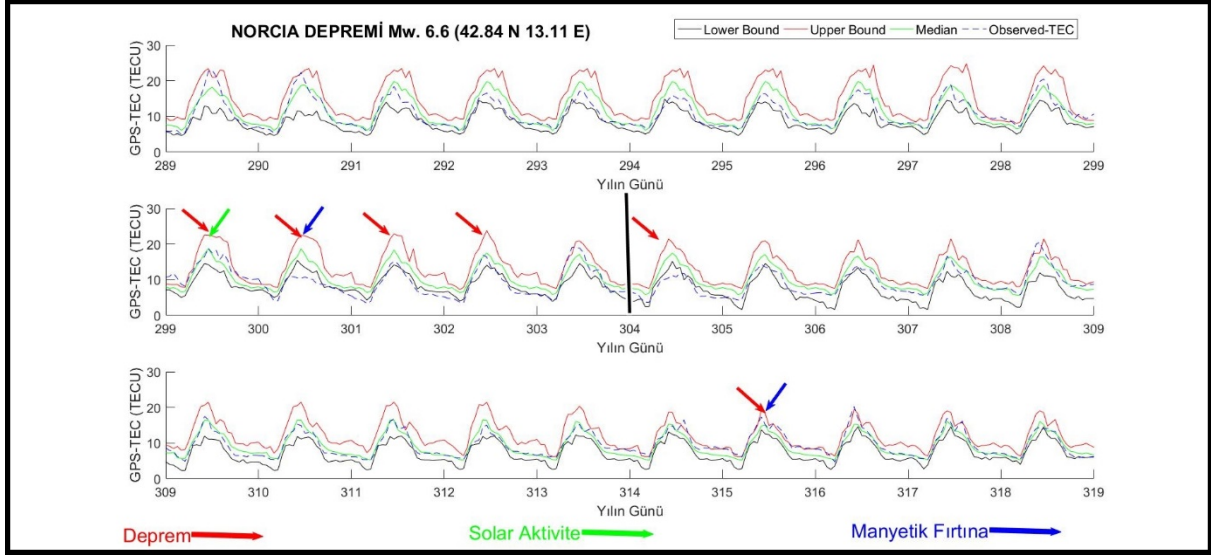
Çizelge 5.3 Ege Denizi Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
143	5	3,30	Negatif
143	6	3,92	Negatif

İkinci yöntemden elde edilen modelde ise sadece depremden bir gün önce (143. gün) negatif anomali elde edilmiştir (Çizelge 5.3). Söz konusu güne ilişkin iyonosferik şartlar irdelendiğinde solar ve manyetik aktivite açısından sakin olduğu, dolayısıyla söz konusu anomalinin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.2 NORCİA DEPREMİ

30 Ekim 2016 (yılın günü 304) tarihinde saat 6.40'da (UTC) meydana gelen depremin büyüklüğü Mw 6,6 olarak belirlenmiştir. Depremi merkez koordinatları (42,84 N;13,11 E) olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda k değeri 2,12 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.6 Norcia Depremi öncesi ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

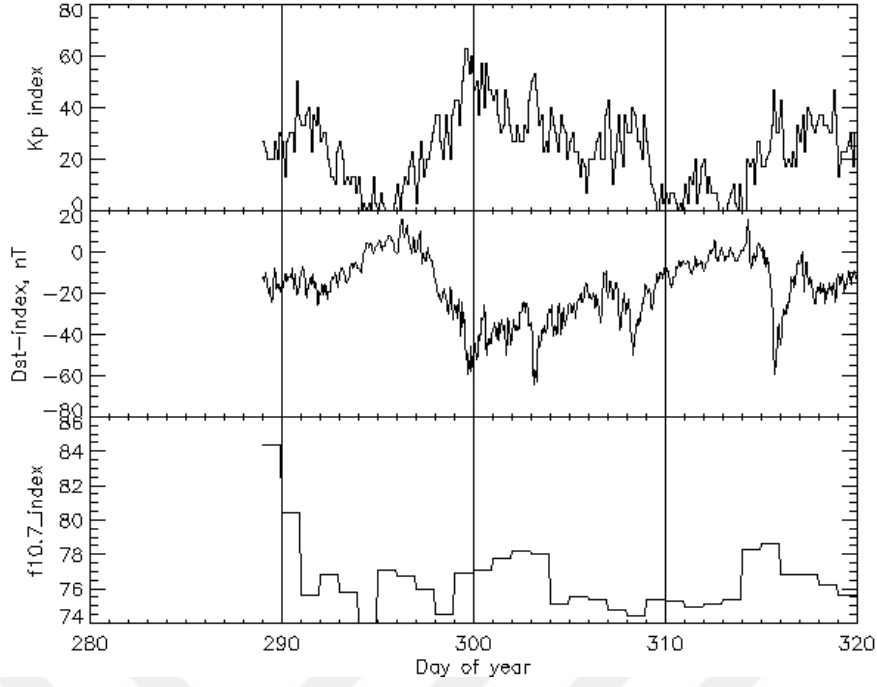
Çizelge 5.4 Norcia Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
299	0	1,85	Pozitif	301	20	0,91	Negatif
299	1	2,34	Pozitif	301	21	0,91	Negatif
299	2	3,15	Pozitif	301	22	1,04	Negatif
299	3	1,72	Pozitif	301	23	1,31	Negatif
299	4	0,71	Pozitif	302	0	1,31	Negatif
299	5	0,34	Pozitif	302	1	1,95	Negatif
299	18	0,45	Pozitif	302	2	1,09	Negatif
299	19	0,29	Pozitif	302	3	0,79	Negatif
299	20	0,60	Pozitif	302	4	0,37	Negatif
299	21	1,04	Pozitif	302	5	0,88	Negatif
299	22	1,02	Pozitif	302	6	1,35	Negatif
299	23	1,45	Pozitif	302	13	0,54	Negatif
300	3	0,11	Negatif	302	15	1,78	Negatif
300	4	0,91	Negatif	302	16	0,48	Negatif
300	5	1,42	Negatif	302	17	0,80	Negatif
300	6	0,61	Negatif	302	18	1,31	Negatif
300	8	0,34	Negatif	302	19	1,02	Negatif
300	9	2,17	Negatif	302	20	0,41	Negatif
300	10	4,94	Negatif	302	21	0,71	Negatif
300	11	3,85	Negatif	302	22	0,11	Negatif
300	12	2,60	Negatif	304	6	2,05	Negatif
300	13	2,47	Negatif	304	7	1,51	Negatif
300	14	1,82	Negatif	304	8	0,85	Negatif
300	15	3,60	Negatif	304	9	1,60	Negatif

Çizelge 5.4 (devam ediyor)

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
300	16	0,94	Negatif	304	10	2,51	Negatif
300	19	0,04	Negatif	304	11	3,97	Negatif
300	20	0,26	Negatif	304	12	2,31	Negatif
300	21	0,14	Negatif	304	13	1,65	Negatif
300	22	0,55	Negatif	304	15	0,55	Negatif
300	23	1,65	Negatif	304	16	1,11	Negatif
301	0	1,65	Negatif	304	17	1,00	Negatif
301	1	2,47	Negatif	304	18	2,76	Negatif
301	2	1,92	Negatif	304	19	1,40	Negatif
301	3	1,39	Negatif	304	20	1,32	Negatif
301	4	0,88	Negatif	304	21	0,77	Negatif
301	5	1,41	Negatif	304	22	0,80	Negatif
301	6	1,04	Negatif	315	3	0,56	Pozitif
301	7	0,78	Negatif	315	4	0,55	Pozitif
301	8	0,83	Negatif	315	8	0,20	Pozitif
301	9	0,30	Negatif	315	9	0,47	Pozitif
301	13	0,01	Negatif	315	14	0,90	Pozitif
301	14	0,84	Negatif	315	15	0,90	Pozitif
301	15	1,37	Negatif	315	16	1,40	Pozitif
301	16	1,58	Negatif	315	17	0,17	Pozitif
301	17	0,61	Negatif	315	21	0,01	Pozitif
301	18	1,92	Negatif	315	22	0,31	Pozitif
301	19	1,30	Negatif				

299, 300, 301, 302, 304 ve 315'nci günlerde görülen pozitif ve negatif anomalilerin deprem kaynaklı olup olmadığının anlaşılabilmesi için söz konusu günlerde jeomanyetik ve solar aktivite indisleri irdelenmiştir.



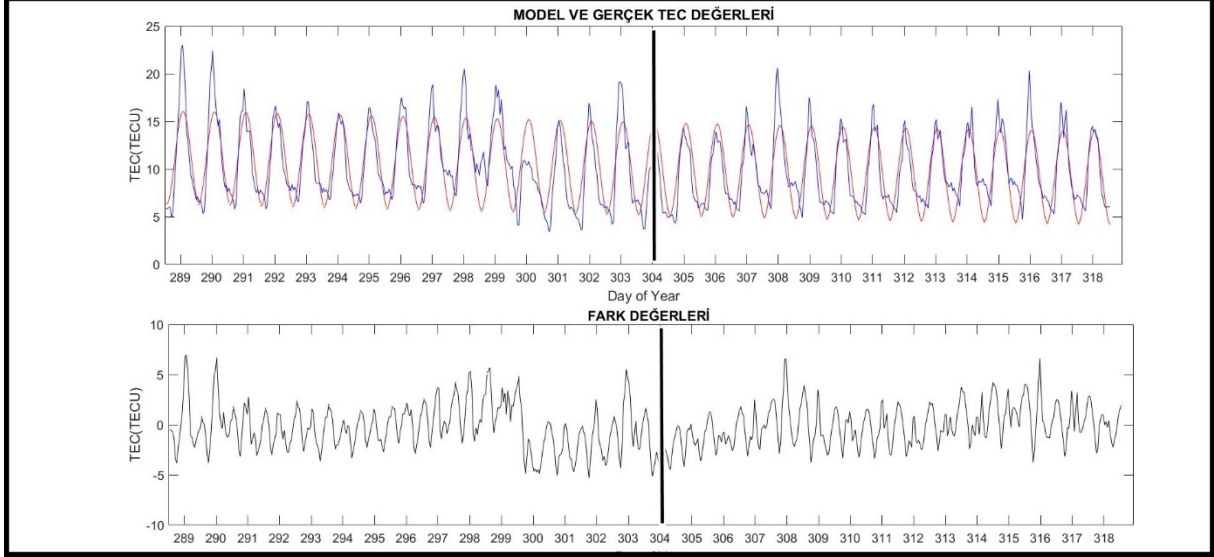
Şekil 5.7 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

299'ncü güne ilişkin yapılan analizde orta seviyede manyetik fırtına gerçekleştiği, solar aktivite açısından gün boyunca sakin kaldığı gözlemlenmiştir. Yine 300'ncü gün içerisinde orta ve küçük seviyede manyetik fırtına gerçekleştiği (Kp*10=57) tespit edilmiştir. Söz konusu günün solar aktivite açısından oldukça sakin olduğu (F10.7= 77,1 sfu) anlaşılmıştır. 301 ve 302'nci günlerde jeomanyetik ve solar aktivite açısından oldukça sakin olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Yine benzer şekilde 304'ncü günde (deprem günü) jeomanyetik ve solar aktivitenin oldukça sakin olduğu, bu nedenle söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. 315'ncü gün içerisinde jeomanyetik aktivite açısından günün belirli saatlerinde orta seviyede manyetik fırtına gerçekleştiği (Kp*10=57) tespit edilirken, solar aktivite açısından oldukça sakin olduğu görülmektedir. Dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı veya manyetik aktivite kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

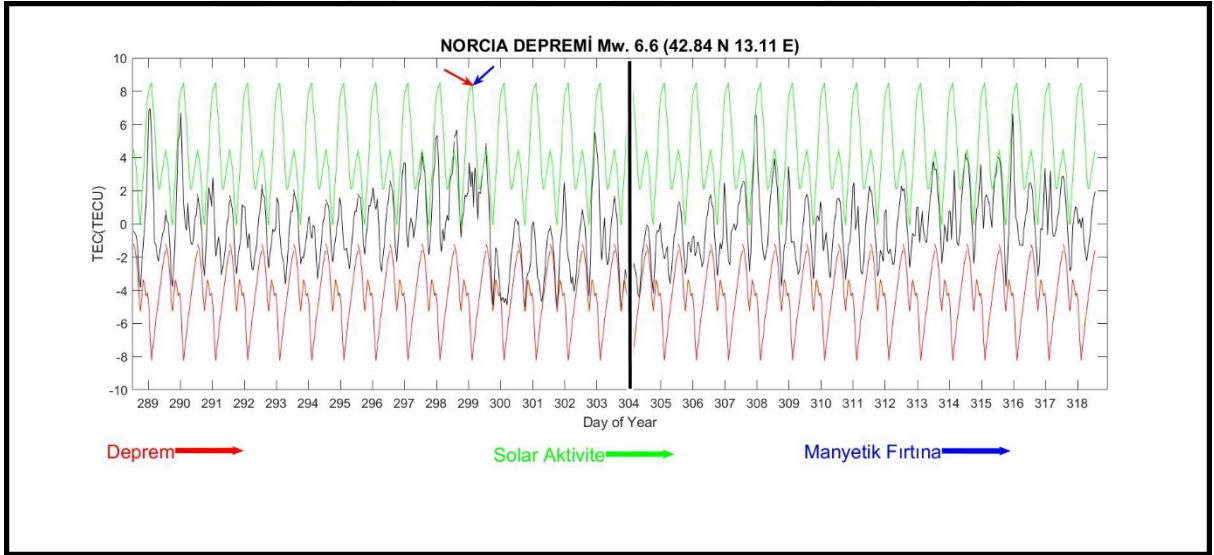
İkinci yöntem olarak Norcia depremi için oluşturulan modele ilişkin denklem;

$$TEC(x)= 22,410*\sin(0,007*x+0,273)+13,820*\sin(0,012*x+2,670)+4,906*\sin(3,146*x-2.194) \quad (5.2)$$

şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen model ile yapılan analiz sonucunda model ve gerçek TEC değerleri, farklar ve istatistiksel analiz sonucu bulunan anomaliler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.8 ve 5.9).



Şekil 5.8 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.



Şekil 5.9 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Söz konusu denklem kullanılarak elde edilen model TEC değerleri ile gerçek TEC değerleri arasındaki farklar alınmıştır. Anomali tespiti için son adım olarak her epöğe ilişkin TEC değerlerine $UB= M+2\sigma$ $LB= M-2\sigma$ uygulanarak alt ve üst sınır değerleri elde edilmiştir.

Şekildeki ilk grafikte mavi renk gerçek TEC değerlerini ifade ederken, kırmızı renk ise model sonucu üretilmiş TEC değerlerini göstermektedir. Diğer şekilde ise siyah renk model sonucu üretilmiş TEC değerleri ile gerçek TEC değerleri arasındaki farkı ifade etmektedir. Söz konusu fark değerlerinden yapılan istatistiksel test sonucu elde edilen anomali miktarları aşağıda sunulmuştur.

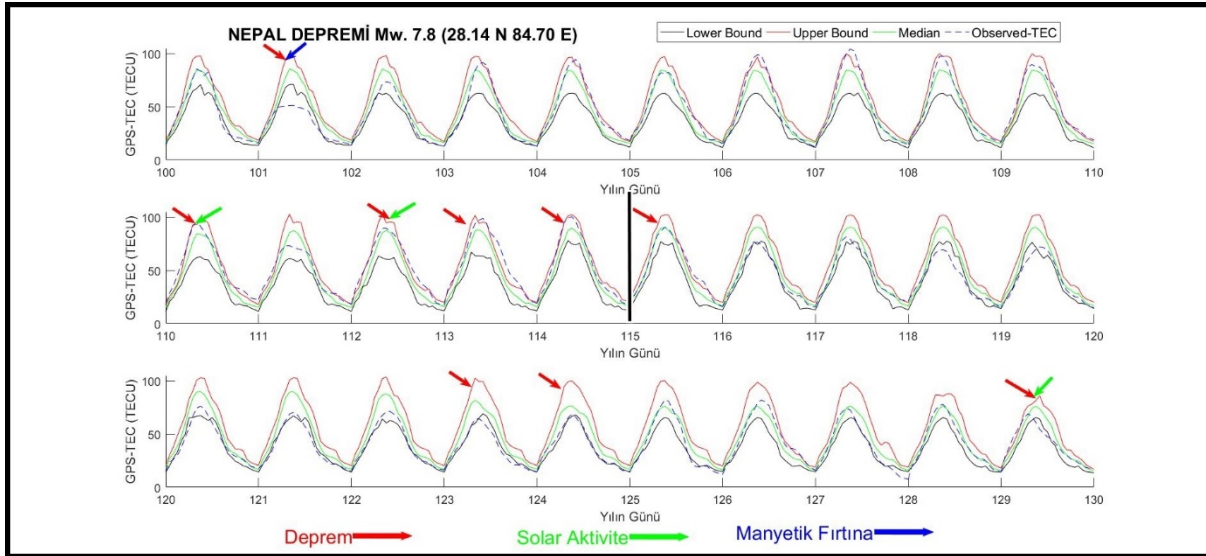
Çizelge 5.5 Norcia Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
299	2	1,43	Pozitif
299	3	2,32	Pozitif
299	4	1,51	Pozitif

İkinci yöntem ile yapılan analiz sonucunda sadece 299'ncü günde pozitif anomali elde edilmiş, Çizelge 5.5'te anomali miktarı ve türü gösterilmiştir.

5.3 NEPAL DEPREMİ

25 Nisan 2015 tarihinde (yılın günü 115) meydana gelen Nepal depreminin merkezi 28,14 N, 84,70, büyüklüğü Mw 7,8 dir. Deprem öncesi ve sonrası 15 günlük GPS-TEC değişimleri Şekil 5.10'daki gibidir. Analizde kullanılacak k sabiti 1,68 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.10 Nepal Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Çizelge 5.6 Nepal Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
101	6	4,76	Negatif	113	23	0,16	Pozitif
101	7	11,42	Negatif	114	0	0,16	Pozitif
101	8	12,33	Negatif	114	1	1,85	Pozitif
101	9	17,02	Negatif	114	3	1,11	Pozitif
101	10	6,86	Negatif	114	4	1,47	Pozitif
101	11	12,36	Negatif	114	10	7,06	Pozitif
101	12	11,21	Negatif	114	11	0,61	Pozitif
101	13	4,42	Negatif	114	12	5,53	Pozitif
101	14	8,79	Negatif	114	13	2,46	Pozitif
101	15	2,89	Negatif	114	17	0,25	Pozitif
101	16	0,09	Negatif	114	21	0,05	Pozitif
110	0	0,61	Pozitif	115	10	0,37	Pozitif
110	1	3,25	Pozitif	115	12	5,13	Pozitif
110	2	1,00	Pozitif	115	13	4,86	Pozitif
110	3	4,01	Pozitif	115	14	1,34	Pozitif
110	4	3,07	Pozitif	115	15	1,82	Pozitif
110	18	1,45	Pozitif	115	16	4,81	Pozitif
110	20	1,60	Pozitif	115	17	7,85	Pozitif
110	21	4,25	Pozitif	115	18	8,15	Pozitif
110	22	1,84	Pozitif	115	19	6,59	Pozitif
110	23	3,56	Pozitif	115	20	4,30	Pozitif
112	1	6,15	Pozitif	115	21	1,55	Pozitif
112	2	6,51	Pozitif	123	5	2,59	Negatif
112	3	6,71	Pozitif	123	6	5,67	Negatif
112	4	2,67	Pozitif	123	7	4,02	Negatif
112	12	5,43	Pozitif	123	9	3,92	Negatif
112	13	4,86	Pozitif	123	11	4,56	Negatif
112	15	0,72	Pozitif	123	12	5,91	Negatif
112	16	6,02	Pozitif	123	13	2,32	Negatif
112	17	7,95	Pozitif	123	14	6,29	Negatif
112	18	5,15	Pozitif	123	15	1,99	Negatif
112	19	1,99	Pozitif	124	0	1,28	Negatif
112	20	1,90	Pozitif	124	6	2,57	Negatif
112	21	0,75	Pozitif	124	7	3,43	Negatif
113	1	7,25	Pozitif	124	11	0,46	Negatif
113	2	4,90	Pozitif	124	12	2,21	Negatif
113	3	3,71	Pozitif	124	13	1,32	Negatif
113	10	9,76	Pozitif	124	14	5,49	Negatif
113	11	7,00	Pozitif	124	15	0,39	Negatif
113	12	11,03	Pozitif	129	0	0,78	Negatif
113	13	12,96	Pozitif	129	1	2,95	Pozitif
113	14	10,05	Pozitif	129	2	1,90	Pozitif

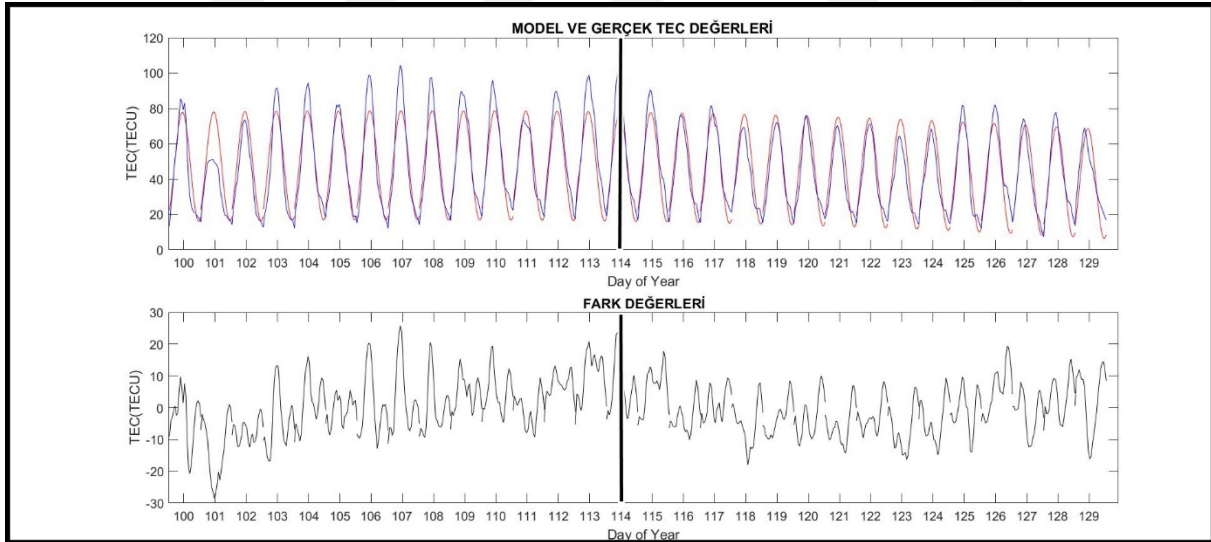
Çizelge 5.6 (devam ediyor)

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
113	15	9,72	Pozitif	129	3	4,41	Pozitif
113	16	11,62	Pozitif	129	9	1,38	Negatif
113	17	10,75	Pozitif	129	10	7,52	Negatif
113	18	10,45	Pozitif	129	11	1,86	Negatif
113	19	5,59	Pozitif	129	12	10,81	Negatif
113	20	4,60	Pozitif	129	13	11,41	Negatif
113	21	2,75	Pozitif	129	14	4,22	Negatif

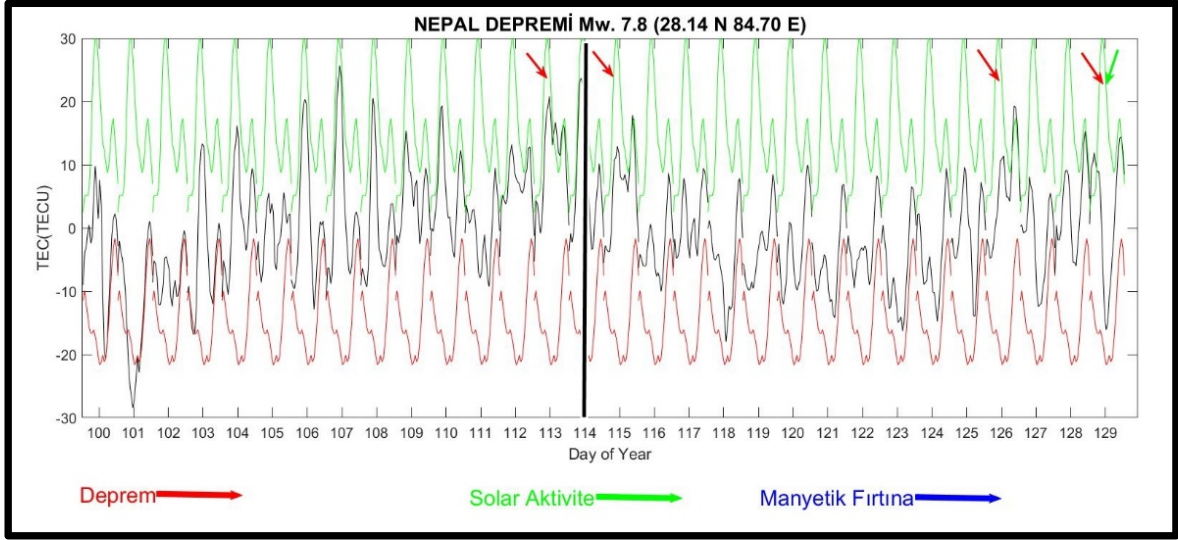
Yukarıda daha önce bahsedilen model sonucu üretilen TEC değerlerinden faydalanılarak üretilen analiz sonucu aşağıda verilmiştir.

Yapılan ikinci analizde TEC değerlerinin genel davranışının tespit edilmesinde kullanılan denklem ve katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$TEC(x) = 997,1 * \sin(0,019 * x + 0,980) + 31,06 * \sin(3,141 * x - 1,148) + 955,3 * \sin(0,019 * x + 4,122) \quad (5.3)$$



Şekil 5.11 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

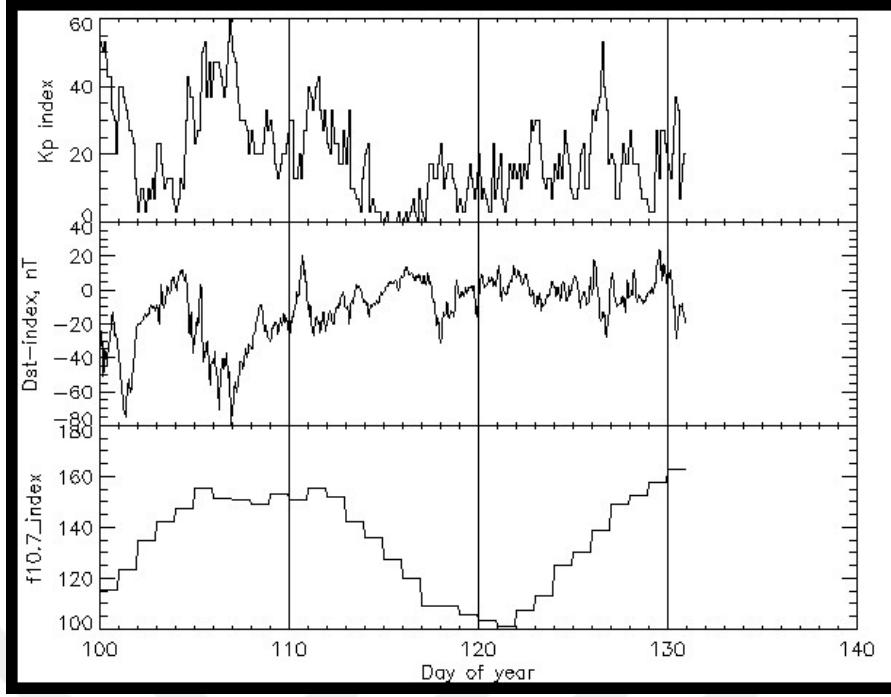


Şekil 5.12 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Elde edilen model ile yapılan analiz sonucunda model ve gerçek TEC değerleri, farklar ve istatistiksel analiz sonucu bulunan anomaliler Şekil 5.11 ve 5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 Nepal Depremi Anomali Miktarı ve Türü

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
101	8	5,27	Negatif
101	9	7,79	Negatif
101	10	8,32	Negatif
101	11	8,01	Negatif
101	12	5,20	Negatif
101	13	2,80	Negatif
113	14	1,90	Pozitif
113	15	4,36	Pozitif
113	16	4,34	Pozitif
113	17	3,24	Pozitif
113	18	1,67	Pozitif
113	19	1,74	Pozitif
115	20	1,58	Pozitif
126	19	2,17	Pozitif
126	20	3,06	Pozitif
126	21	1,66	Pozitif
126	22	2,30	Pozitif
129	2	4,36	Pozitif
129	3	5,06	Pozitif
129	4	6,79	Pozitif
129	5	3,99	Pozitif
129	23	1,21	Pozitif
129	24	1,49	Pozitif

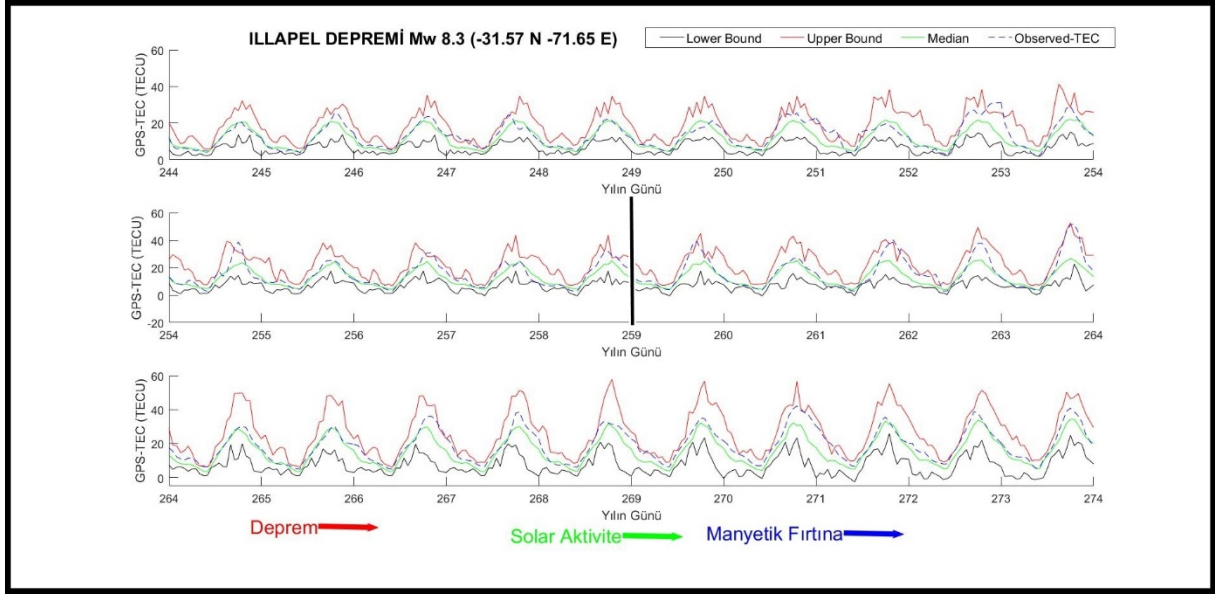


Şekil 5.13 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

Şekil 5.13'te jeomanyetik ve solar aktivite indisleri hakkında bilgi veren Kp, Dst ve F10.7 cm indisleri gösterilmiştir. 101. güne ilişkin iyonosferik anomalinin sebebi irdelendiğinde söz konusu günde orta seviyede (123 sfu) solar aktivitenin meydana geldiği aynı zamanda günün belirli zamanları içerisinde güçlü seviyede jeomanyetik fırtına $Dst=-75$ nT (UT: 8:00) gerçekleştiği kaydedilmiştir. Dolayısıyla, söz konusu anomalilerin manyetik aktivite veya deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. 110. günde güçlü seviyede solar aktivite (151 sfu) tespit edilmiş, bu sebeple ilgili gündeki anomalilerin solar aktivite veya deprem kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde 112. ve 113. ve 114. günlerde sırasıyla güçlü (151,8 sfu) ve orta seviyede (142 sfu), (136 sfu) solar aktivite meydana gelmiştir. Bu sebeple 112. güne ilişkin anomalilerin deprem ve solar aktivite kaynaklı olabileceği, 113. ve 114. güne ilişkin gözlemlenen anomalilerin ise sadece deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Deprem günü olan 115'nci günde orta seviyede (127,4 sfu) solar aktivite meydana gelmiştir. Bu sebeple ilgili gündeki anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde 123., 124. ve 129. günlerde orta ve güçlü seviyede (112,9 sfu, 125,4 sfu ve 157,5 sfu) solar aktivite tespit edilmiştir. Dolayısıyla 129'ncü günde gözlemlenen anomalilerin deprem veya solar aktivite düşünülürken, 123. ve 124. günlerde elde edilen anomalilerin sadece deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.4 ILLAPEL DEPREMİ

16 Eylül 2015 (yılın günü 259) tarihinde gerçekleşen depremin büyüklüğü Mw 8,3 olarak belirlenmiştir. Depremi merkez koordinatları -31,57 N, -71,65 E olarak belirlenmiştir. Analizde kullanılacak k sabiti 3.62 olarak belirlenmiştir.



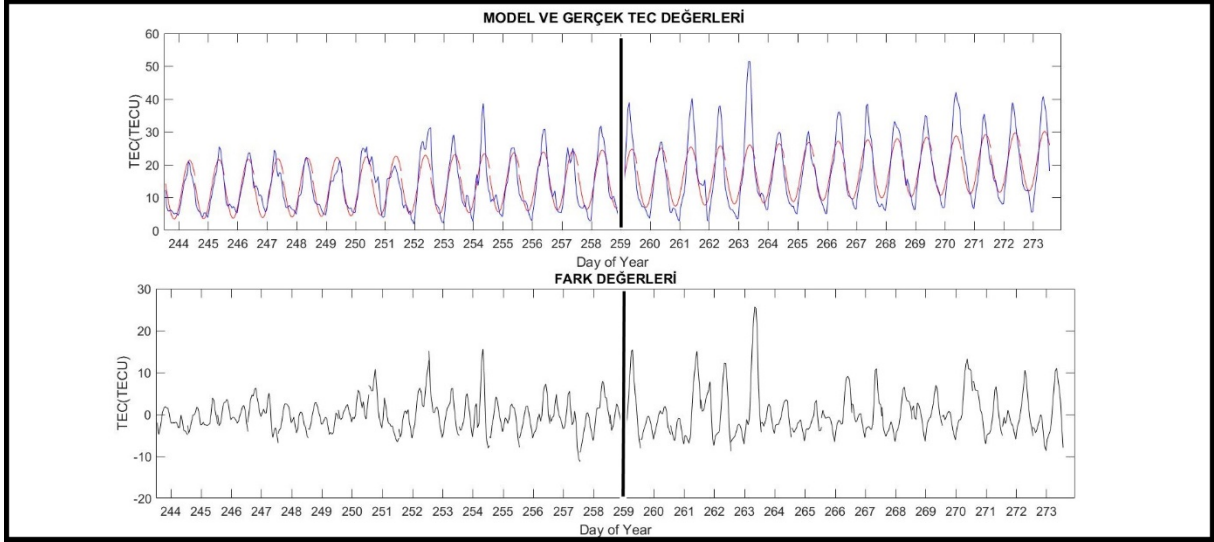
Şekil 5.14 Illapel Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Deprem öncesi ve sonrası herhangi bir anomali tespit edilmemiştir.

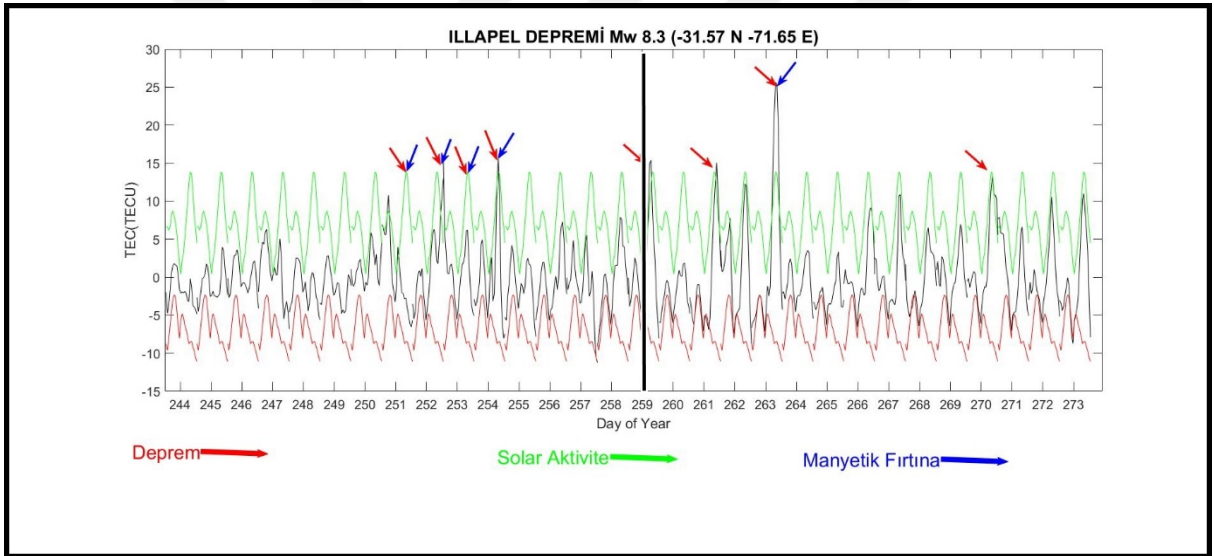
İkinci yöntem ile yapılan analiz sonucunda elde edilen model denklemi (5.4) numaralı denklemde verilmiştir.

$$TEC(x) = 101,90 \cdot \sin(0,008 \cdot x + 0,271) + 8,976 \cdot \sin(3,14 \cdot x + 2,733) + 75,49 \cdot \sin(0,010 \cdot x + 3,361) \quad (5.4)$$

Elde edilen model ve gerçek TEC değerlerinden faydalanılarak yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen anomali miktarı, türü ve ilgili şekiller aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.15 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

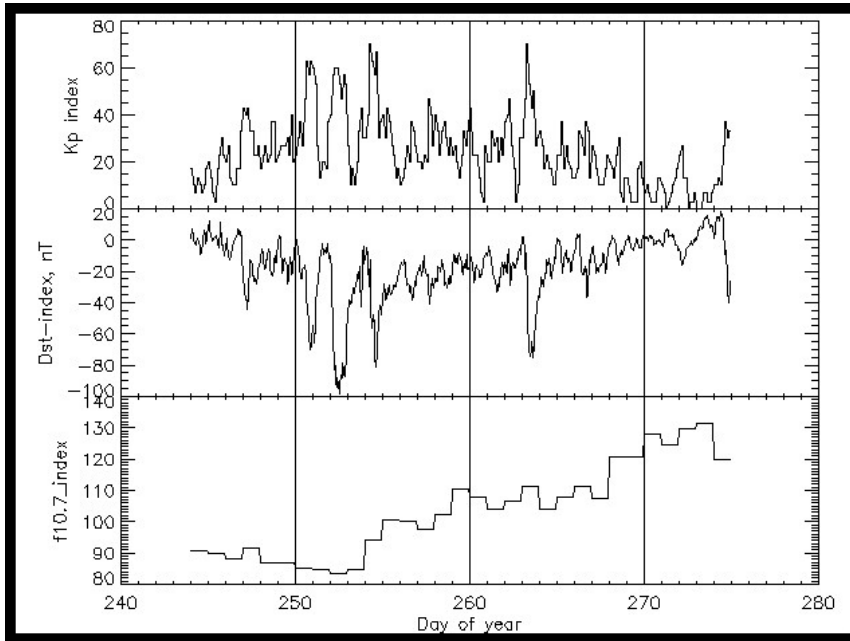


Şekil 5.16 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.8 Illapel Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
251	6	2,06	Pozitif
251	13	1,70	Pozitif
252	23	4,29	Pozitif
252	24	8,47	Pozitif
253	01	8,49	Pozitif
254	19	1,70	Pozitif
259	16	1,91	Pozitif
259	17	5,14	Pozitif
259	18	3,09	Pozitif
261	21	3,86	Pozitif
261	22	2,62	Pozitif
263	17	5,09	Pozitif
263	18	9,12	Pozitif
263	19	11,74	Pozitif
263	20	11,83	Pozitif
263	21	8,87	Pozitif
270	22	2,50	Pozitif
270	23	3,77	Pozitif

Burada ilk yöntem ile yapılan analiz sonucunda herhangi bir anomali tespit edilememiş iken, diğer yöntemde 251, 252, 253, 254, 259, 261, 263 ve 270. günlerde pozitif anomali elde edilmiştir. Söz konusu anomalilerin deprem ile ilişkisinin daha iyi irdelenebilmesi için K_p*10 , Dst ve F10.7 cm indisleri anomali çıkan günlere ilişkin detaylı şekilde irdelenmiştir.

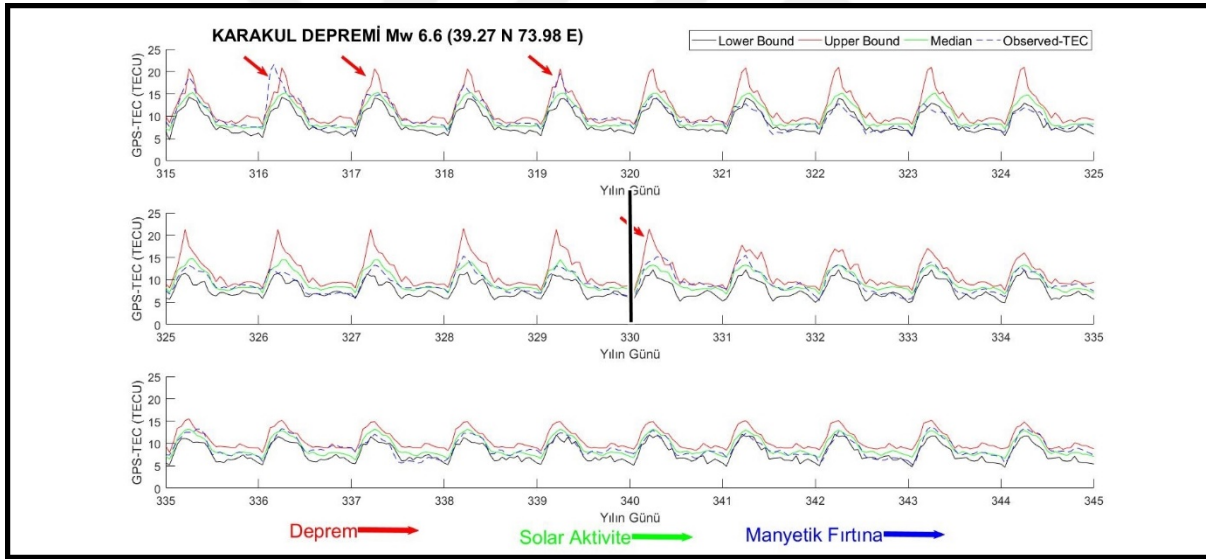


Şekil 5.17 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (K_p*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

251, 252, 254 ve 263. günlerde günün ilk saatlerinde güçlü derecede jeomanyetik fırtına ve manyetik aktivite meydana geldiği dolayısıyla söz konusu anomalilerin bu sebeple meydana geldiği düşünülmektedir. 253. güne ilişkin yapılan analizde bugünün manyetik açıdan sakin olduğu fakat ortaya çıkan anomalinin günün ilk saatinde olmasının sebebiyle önceki günde (252) gün sonuna kadar devam eden manyetik fırtınanın etkisi olarak düşünülebilir. 259, 261 ve 270 güne ilişkin yapılan analizde manyetik ve solar aktivite açısından sakin olduğu dolayısıyla söz konusu anomalinin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.5 KARAKUL DEPREMİ

25 Kasım 2016 tarihinde (yılın günü 330) meydana gelen depremin büyüklüğü Mw 6,6 olarak belirlenmiştir. Depremin merkez koordinatları 39,27 N, 73,97 E olarak tespit edilen depremin analizinde kullanılacak k değeri 2,12 olarak belirlenmiştir.



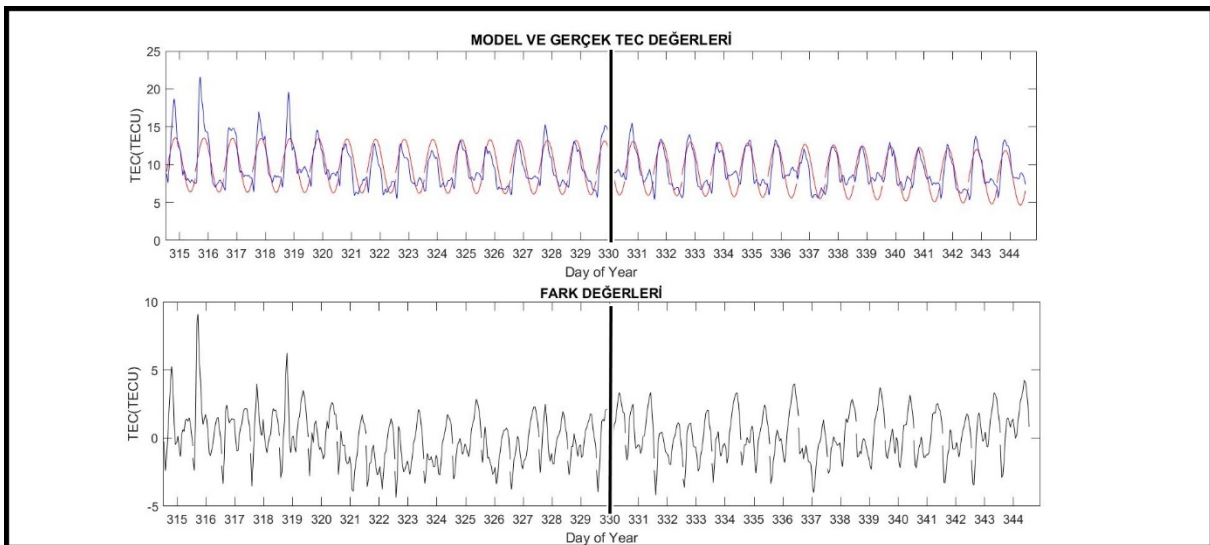
Şekil 5.18 Karakul Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Çizelge 5.9 Karakul Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

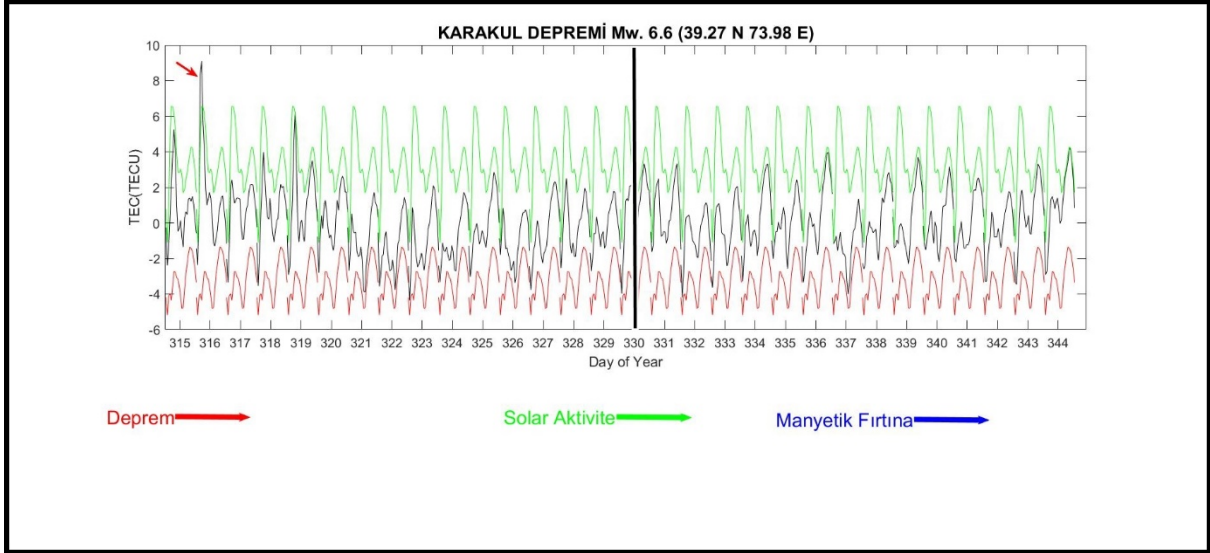
Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
316	2	1,28	Pozitif	319	6	0,38	Pozitif
316	3	7,46	Pozitif	319	14	0,54	Pozitif
316	4	7,1	Pozitif	319	15	0,86	Pozitif
316	5	4	Pozitif	319	16	0,6	Pozitif
316	9	0,34	Pozitif	319	17	0,68	Pozitif
316	10	1,4	Pozitif	319	18	1,28	Pozitif
316	11	0,64	Pozitif	319	19	1,3	Pozitif
316	12	0,78	Pozitif	319	20	0,5	Pozitif
317	3	1,16	Pozitif	330	8	0,1	Pozitif
317	4	0,4	Pozitif	330	9	0,74	Pozitif
317	9	0,34	Pozitif	330	10	1,4	Pozitif
317	10	1	Pozitif	330	13	0,54	Pozitif
317	13	0,04	Pozitif	330	14	0,74	Pozitif
317	14	0,44	Pozitif	330	15	0,36	Pozitif
317	15	0,36	Pozitif	330	16	0,7	Pozitif
317	16	0,1	Pozitif	330	17	0,58	Pozitif
317	18	0,38	Pozitif	330	18	1,18	Pozitif
319	5	2,8	Pozitif	330	19	0,5	Pozitif

Anomali tespiti için yapılan analiz sonucunda model TEC değerleri aşağıdaki denklem aracılığıyla üretilmiştir.

$$TEC(x) = 217,2 * \sin(0,011 * x + 2,017) + 198,3 * \sin(0,013 * x + 5,112) + 3,583 * \sin(3,142 * x - 0,568) \quad (5.5)$$



Şekil 5.19 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

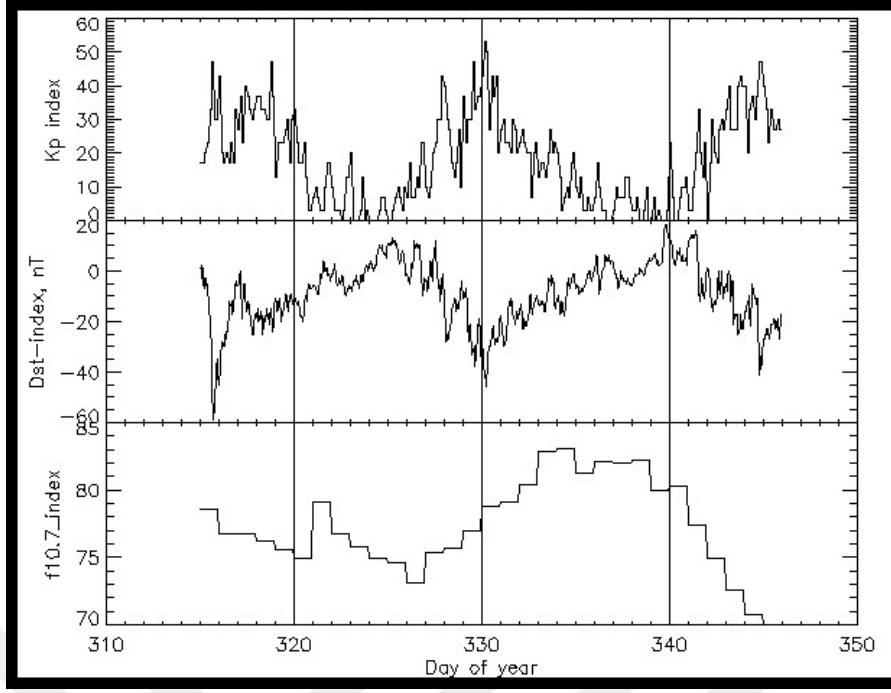


Şekil 5.20 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.10 Karakul Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
316	4	3,48	Pozitif
316	5	2,53	Pozitif

Şekil 5.19’da model ve gerçek TEC değerleri çizdirilmiş, yine aynı şekilde ikisi arasındaki fark değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.20’de ise bu fark değerlerinden yararlanılarak istatistiksel test uygulanmış ve anomali görülen gün ve saatler elde edilmiştir.

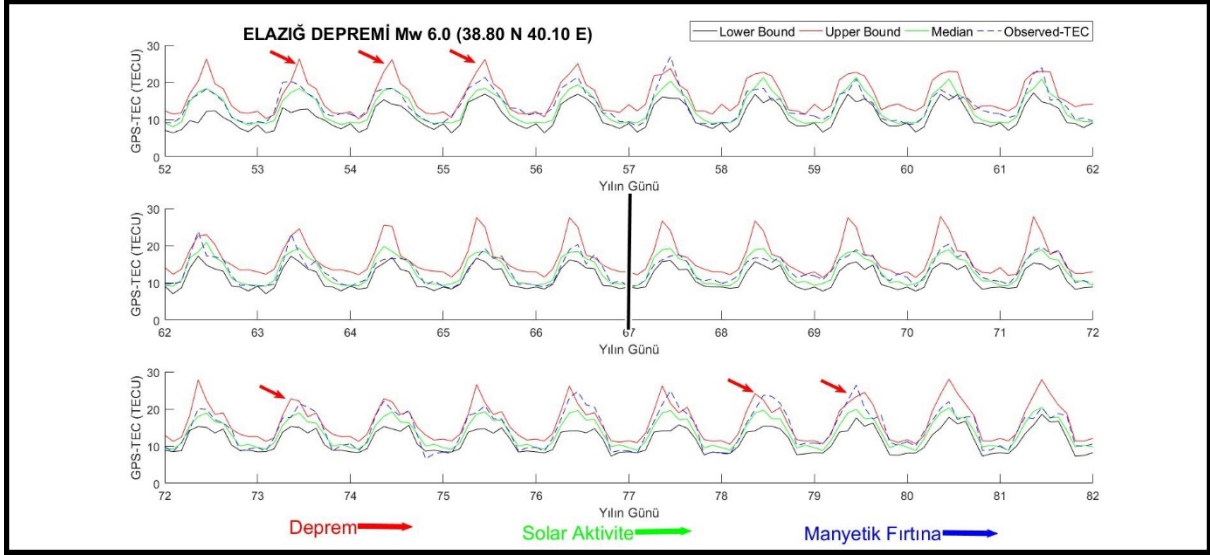


Şekil 5.21 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

İlk yöntem ile yapılan analiz sonucunda 316, 317, 319 ve 330. günlerde pozitif anomali görülmüştür. Söz konusu günlere ilişkin Kp, Dst ve F10.7cm indisleri irdelenmiş, iyonosfer koşullarının oldukça sakin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. İkinci yöntemden elde edilen analiz sonucunda sadece 316'ncı güne ilişkin pozitif anomali elde edilmiştir.

5.6 ELAZIĞ DEPREMİ

8 Mart 2010 (yılın günü 67) tarihinde meydana gelen depremin koordinatları (38,80 N, 40,10 E), büyüklüğü Mw 6,0 olarak belirlenmiştir. UB ve LB değerlerinin belirlenmesinde kullanılan k değeri 2,28 olarak tespit edilmiştir.



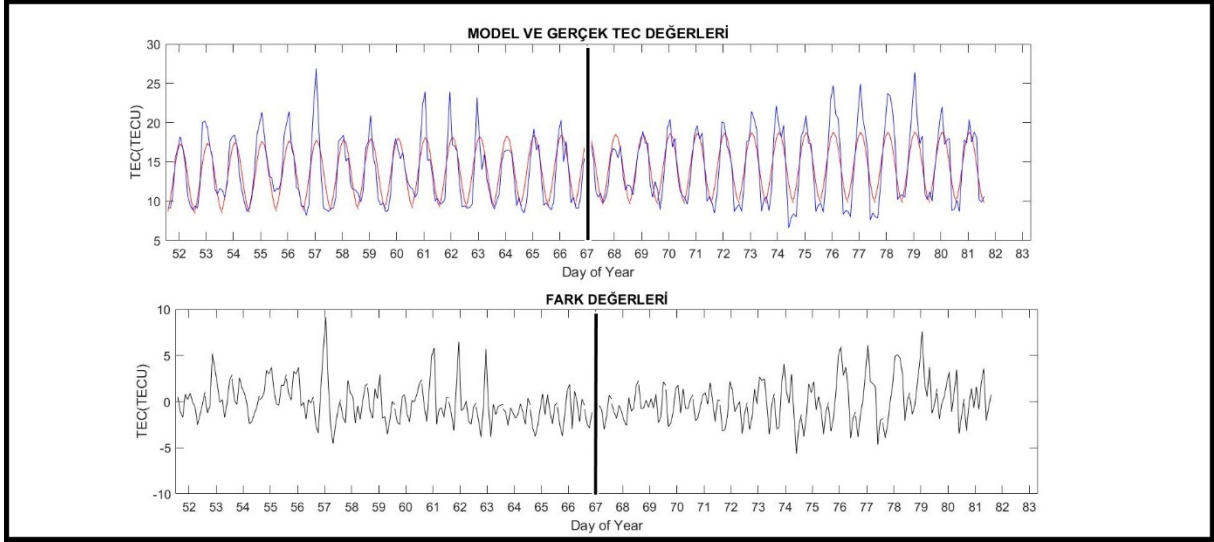
Şekil 5.22 Elazığ Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Çizelge 5.11 Elazığ Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

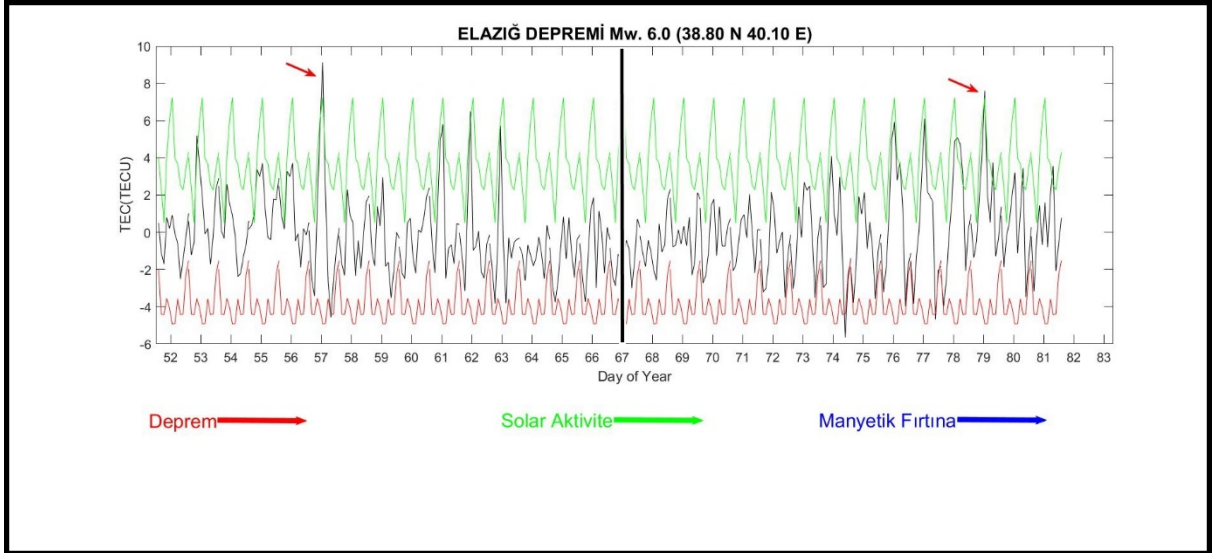
Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
53	3	3,23	Pozitif	73	3	0,28	Pozitif
53	9	0,59	Pozitif	73	5	0,08	Pozitif
53	10	1,18	Pozitif	73	6	2,49	Pozitif
53	11	0,18	Pozitif	73	7	0,03	Pozitif
54	0	0,18	Pozitif	78	5	1,63	Pozitif
54	1	1,04	Pozitif	78	6	3,08	Pozitif
54	2	0,28	Pozitif	78	7	0,43	Pozitif
54	3	0,28	Pozitif	78	8	1,78	Pozitif
55	1	1,24	Pozitif	79	1	0,29	Pozitif
55	3	0,22	Pozitif	79	2	0,23	Pozitif
55	8	0,53	Pozitif	79	4	0,52	Pozitif
55	9	2,94	Pozitif	79	5	1,96	Pozitif
55	10	1,44	Pozitif	79	8	3,03	Pozitif
55	11	0,08	Pozitif	79	9	0,29	Pozitif
73	2	0,44	Pozitif				

İkinci yöntem ile yapılacak analiz için ihtiyaç duyulan model denklem aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$TEC(x) = 25,88 * \sin(0,018 * x + 0,808) + 12,43 * \sin(0,019 * x + 4,164) + 4,491 * \sin(6,284 * x - 1,688) \quad (5.6)$$



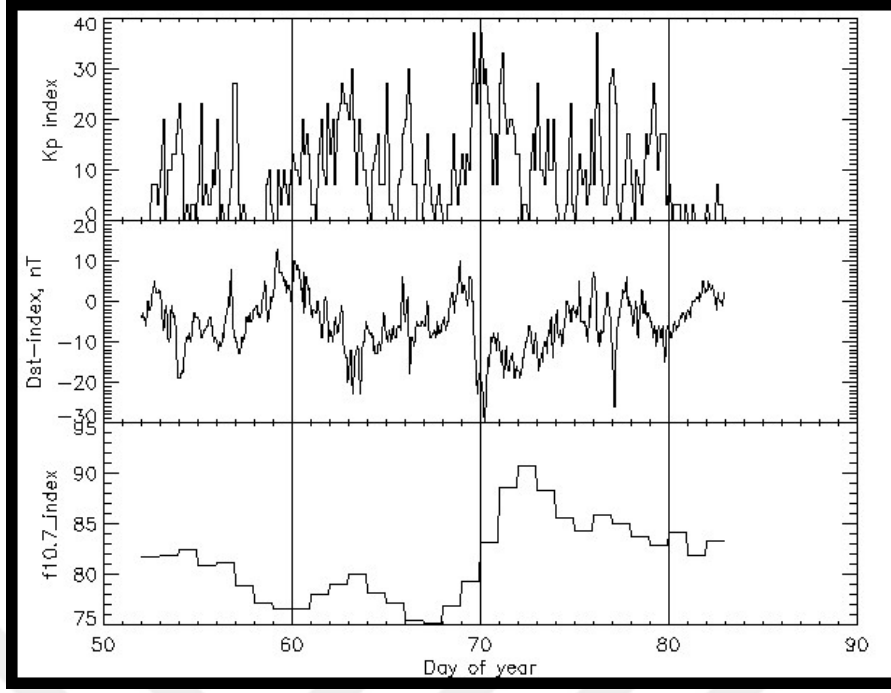
Şekil 5.23 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.



Şekil 5.24 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.12 Elazığ Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
57	6	1,89	Pozitif
79	5	1,20	Pozitif

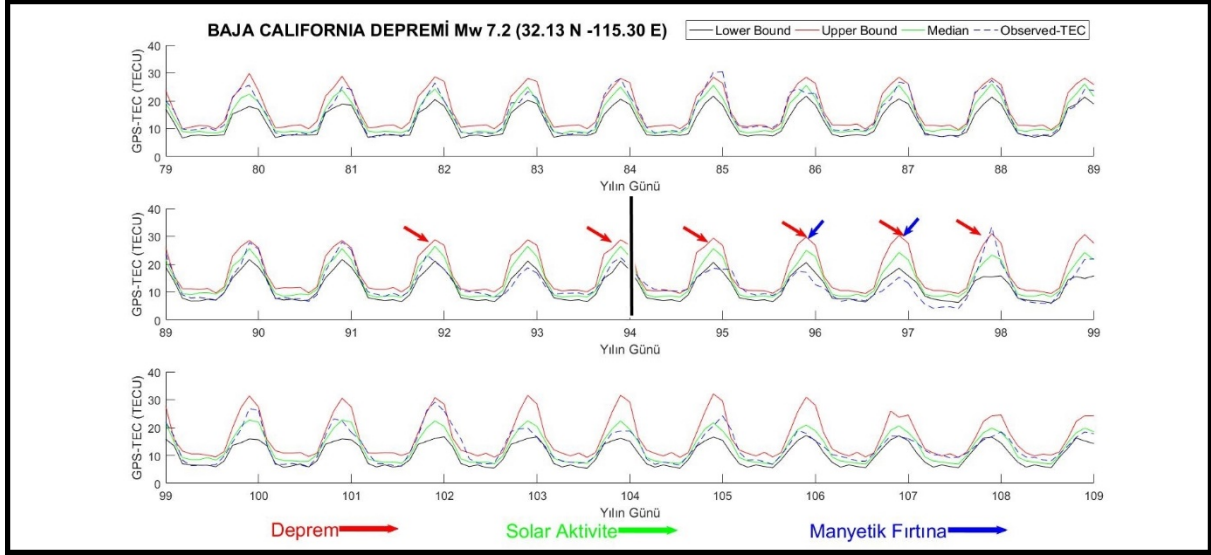


Şekil 5.25 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

53, 54, 55, 73, 78 ve 79. günlerde pozitif anomali meydana gelmiş ve anomalilerin sebeplerinin daha iyi irdelenebilmesi amacıyla iyonosferik koşullar Kp, Dst ve F10.7 cm indisleri yardımıyla incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda anomali görülen günlerde solar aktivite ve jeomanyetik koşulların sakin olduğu görülmüştür. Söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan ikinci yöntem ile yapılan analiz sonucunda 57 ve 79. günlerde pozitif anomali elde edilmiştir. Burada 57. gün için ortaya çıkan anomalinin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir (Şekil 5.23, 5.24 ve Çizelge 5.12).

5.7 BAJA KALİFORNİYA DEPREMİ

4 Nisan 2010 tarihinde gerçekleşen depremin büyüklüğü Mw 7,2'dir. Depremin merkez koordinatları 32,13 N, -115,30 E olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.26 Baja Kaliforniya Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Şekil 5.26, 4 Nisan 2010 tarihinde meydana gelen Mw 7,2 şiddetindeki Baja depreminin deprem öncesi, anı ve sonrasında meydana gelen TEC değişimlerini ifade etmektedir. Analizde kullanılan k değeri 1,70 elde edilmiştir.

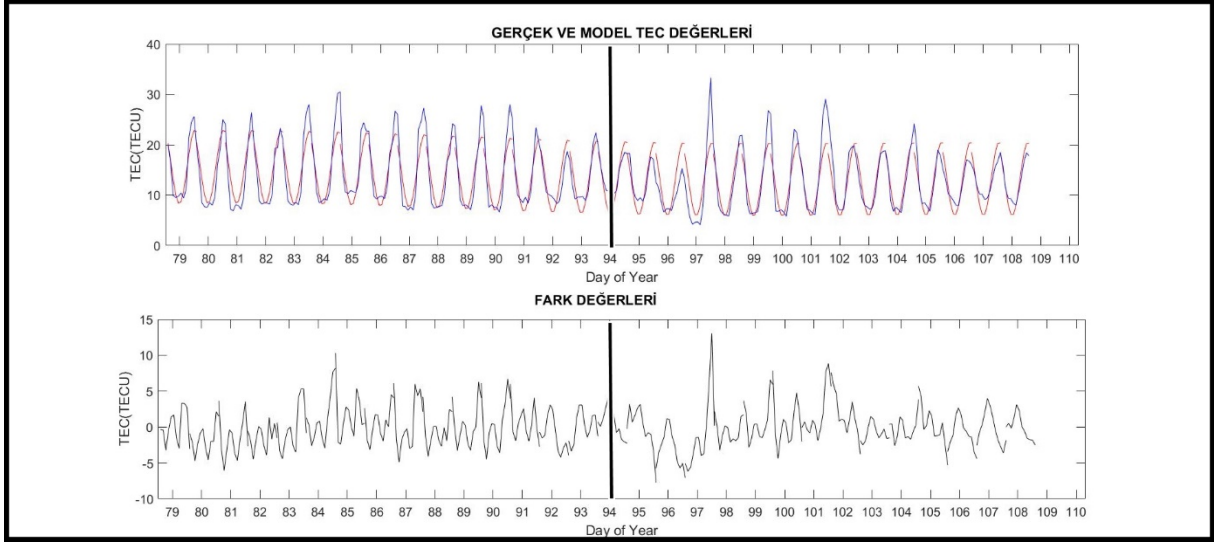
Çizelge 5.13 Baja Kaliforniya Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
92	1	0,56	Negatif	96	1	1,94	Negatif
92	7	0,27	Negatif	96	3	0,88	Negatif
92	8	3,02	Negatif	96	4	0,35	Negatif
92	9	1,50	Negatif	96	7	0,04	Negatif
92	10	2,43	Negatif	96	8	3,85	Negatif
92	11	1,31	Negatif	96	9	3,62	Negatif
94	2	1,90	Pozitif	96	10	3,29	Negatif
94	3	0,49	Pozitif	96	11	2,62	Negatif
94	4	0,26	Pozitif	97	0	2,62	Negatif
94	5	0,03	Pozitif	97	1	4,64	Negatif
94	6	0,74	Pozitif	97	2	2,69	Negatif
94	9	0,72	Negatif	97	3	3,28	Negatif
94	10	2,17	Negatif	97	4	2,37	Negatif
95	1	2,99	Pozitif	97	5	1,95	Negatif
95	2	0,45	Pozitif	97	6	2,16	Negatif
95	8	0,84	Negatif	98	3	0,46	Negatif
95	9	0,69	Negatif	98	4	1,14	Negatif
95	10	3,48	Negatif	98	5	1,06	Negatif
95	11	4,32	Negatif	98	6	1,4	Negatif
96	0	4,32	Negatif	98	8	1,62	Negatif

İkinci yöntemde elde edilen modele ilişkin denklem 5.7’de gösterilmiştir.

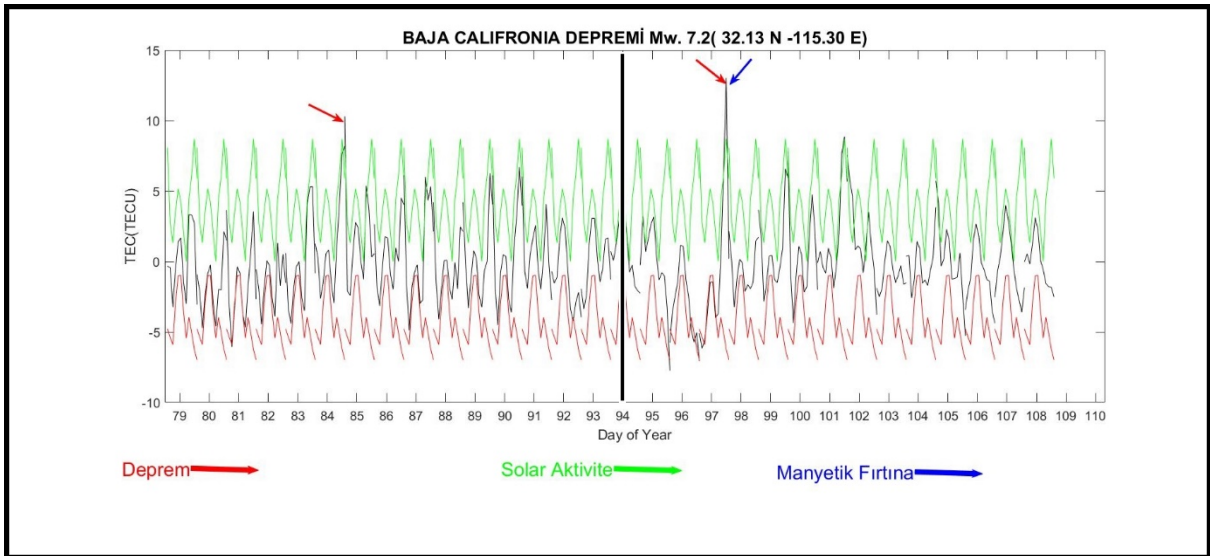
$$TEC(x) = 14,81 * \sin(0,022 * x + 0,865) + 7,328 * \sin(6,28 * x + 2,014) + 0,867 * \sin(0,203 * x - 1,396) \quad (5.7)$$

Söz konusu model denklemi kullanılarak oluşturulan her epoga ilişkin TEC değerleri ve gerçek TEC değerleri Şekil 5.27’de gösterilmiştir.



Şekil 5.27 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

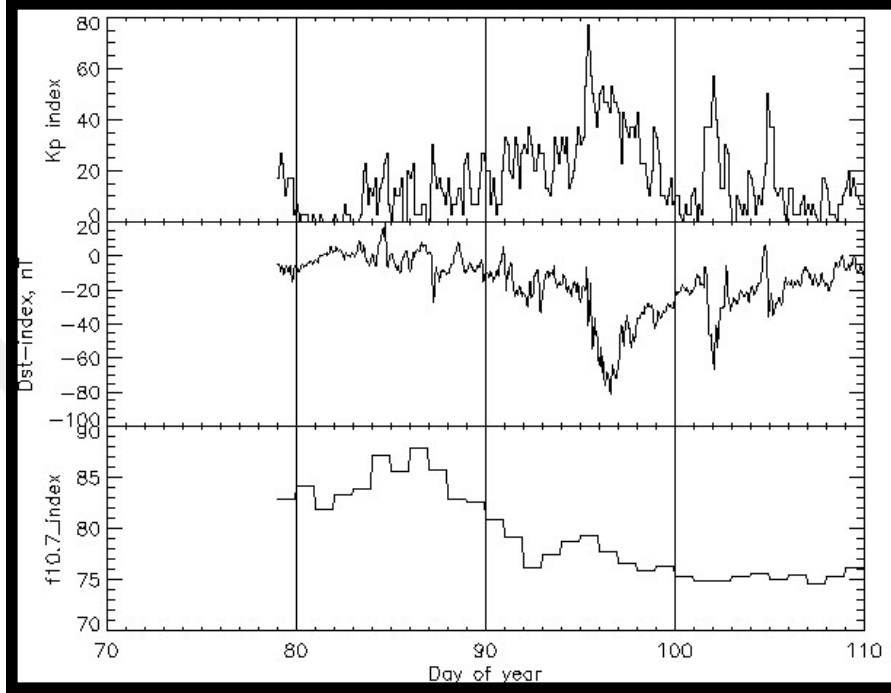
Elde edilen fark değerleri kullanılarak yapılan istatistiksel analiz sonucu elde edilen alt sınır, üst sınır ve fark değerleri Şekil 5.28’de gösterilmiştir.



Şekil 5.28 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.14 Baja Kaliforniya Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
84	12	2,29	Pozitif
97	11	4,32	Pozitif



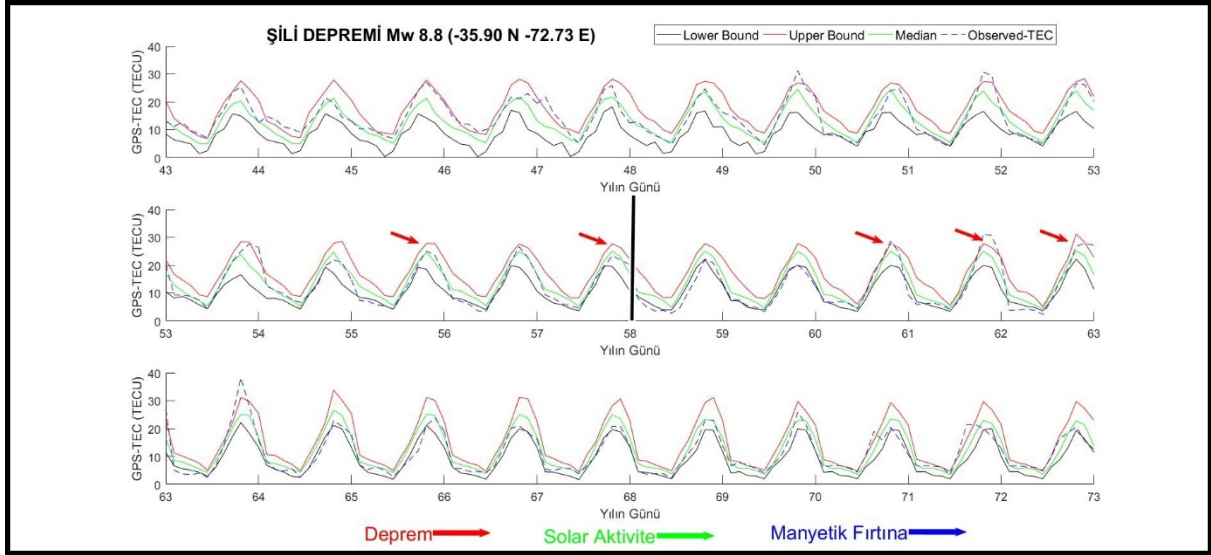
Şekil 5.29 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

İlk yöntemle yapılan analiz sonucu anomali gözlemlenen günlerde solar aktivite ve jeomanyetik koşulların 92 ve 94 ve 95. günlerde oldukça sakin olduğu dolayısıyla söz konusu pozitif ve negatif anomalilerin deprem kaynaklı olduğu, 96 ve 97. günlerin belirli saatlerinde güçlü seviyede jeomanyetik fırtına gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu sebeple söz konusu anomalilerin deprem ve jeomanyetik aktivite kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. 98. güne ilişkin solar ve jeomanyetik koşulların sakin olduğu, dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

İkinci yöntemle yapılan analiz sonucunda 84 ve 97. günlerin belirli saatinde pozitif anomaliler elde edilmiştir (Çizelge 5.14). Diğer yöntemden farklı olarak burada anomaliler kendini pozitif anomali olarak göstermiştir. Diğer yandan ilk yöntemden farklı olarak 84. günde pozitif anomali görülmüştür. İlgili günün manyetik ve solar aktivite açısından oldukça sakin olduğu görülmektedir. Dolayısıyla söz konusu anomalinin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.8 ŞİLİ DEPREMİ

27 Şubat 2010 (yılın günü 58) tarihinde gerçekleşen depremin büyüklüğü Mw 8,8 olup, depremin merkez koordinatları -35,90 N, -72,73E olarak tespit edilmiştir. Depreme ait GPS-TEC değişimleri Şekil 5.30'da verilmiştir. Analiz sonucunda k değeri 1,74 olarak elde edilmiştir.



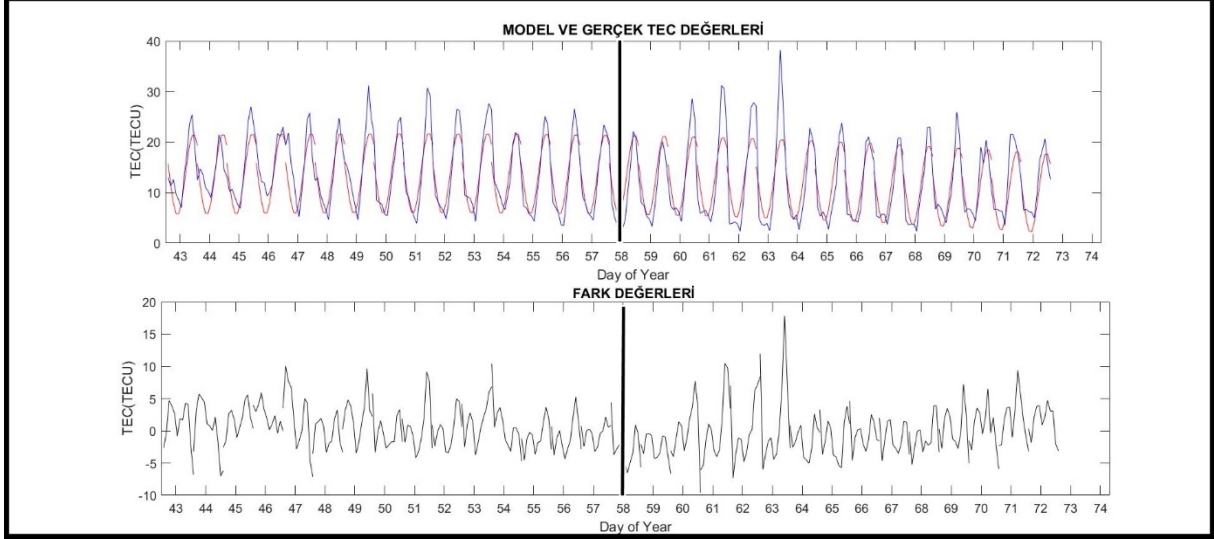
Şekil 5.30 Şili Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Çizelge 5.15 Şili Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

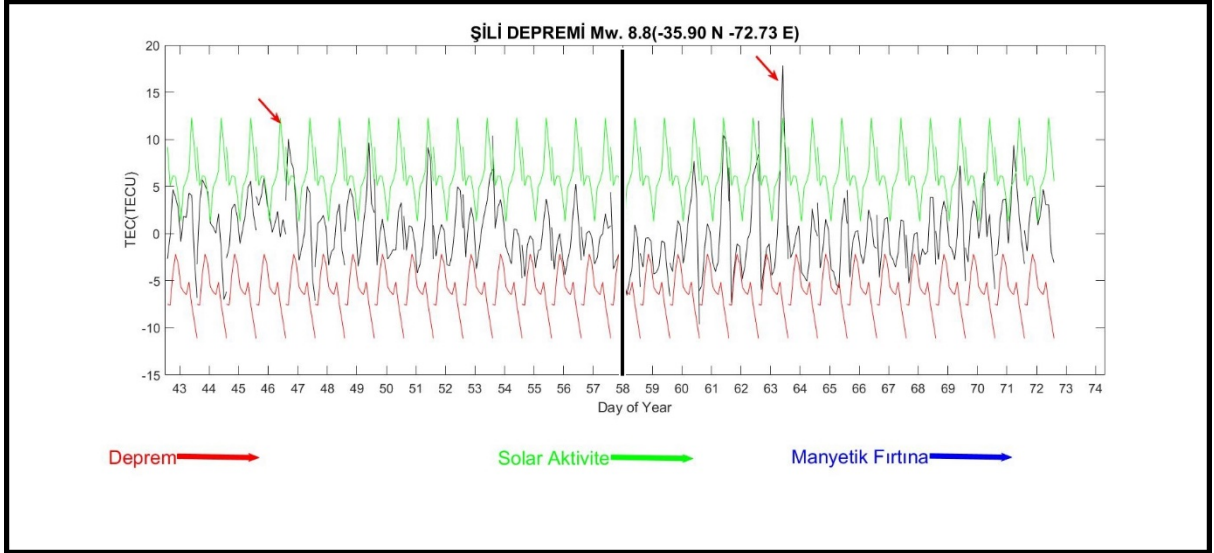
Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
56	1	0,03	Pozitif	61	7	1,85	Negatif
56	2	1,17	Pozitif	62	1	4,42	Negatif
56	3	1,28	Pozitif	62	2	2,31	Negatif
56	4	2,78	Pozitif	62	3	1,21	Negatif
56	5	0,38	Pozitif	62	4	0,82	Negatif
56	6	0,79	Pozitif	62	5	0,69	Negatif
58	1	0,24	Pozitif	62	6	0,15	Negatif
58	2	1,49	Pozitif	62	0	2,78	Negatif
58	3	2,36	Pozitif	62	10	0,22	Negatif
58	4	0,85	Negatif	62	11	5,82	Negatif
58	5	1,04	Negatif	63	1	1,74	Negatif
58	6	3,96	Negatif	63	2	1,90	Negatif
58	7	2,52	Negatif	63	3	2,46	Negatif
58	8	4,21	Negatif	63	4	1,44	Negatif
61	0	3,58	Negatif	63	9	7,37	Pozitif
61	1	2,86	Negatif	63	10	2,25	Pozitif
61	2	0,41	Negatif				
61	6	0,55	Negatif				

İkinci yöntemde kullanılacak olan modele ilişkin denklem ve katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$TEC(x)=228,90*\sin(0,027*x+2,091)+8,020*\sin(6,282*x+2,384)+207,50*\sin(0,029*x+5,190) \quad (5.8)$$



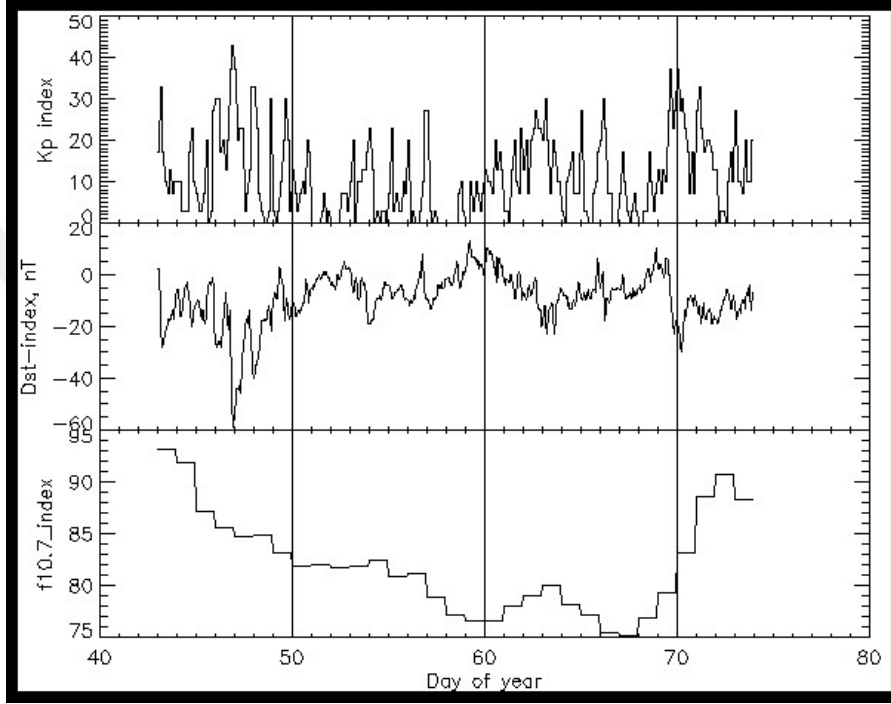
Şekil 5.31 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.



Şekil 5.32 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.16 Şili Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
47	2	4,96	Pozitif
47	3	1,52	Pozitif
63	1	2,76	Pozitif
63	10	5,55	Pozitif



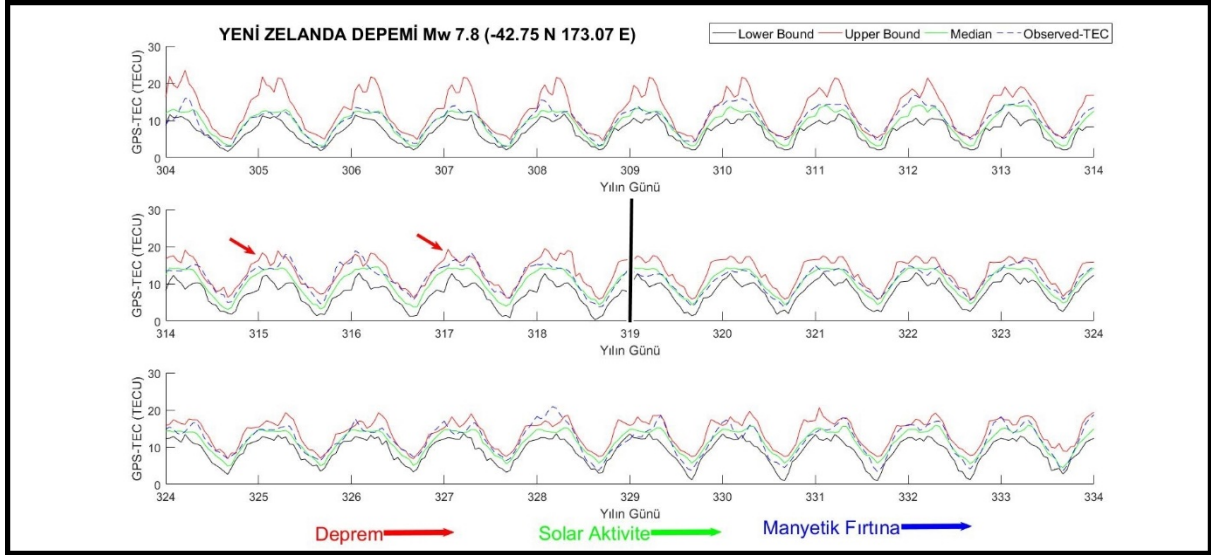
Şekil 5.33 Analizi Yapılan Günlere İlişkin Kp, Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

İlk yöntemle yapılan analiz sonucu Şili depremine ilişkin iyonosferik anomaliler irdelendiğinde 56, 58, 61, 62, 63. günlerde pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir (Şekil 5.30 ve Çizelge 5.15). Söz konusu günlerin tamamında jeomanyetik ve solar aktivite koşullarının oldukça sakin olduğu görülmüştür. Dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

İkinci yöntemle yapılan analiz irdelendiğinde ise 47 ve 63. günlerde pozitif anomali ortaya çıkmıştır (Şekil 5.32 ve Çizelge 5.16). 47. Günde ortaya çıkan analiz irdelendiğinde günün belirli saatlerinde güçlü derecede manyetik aktivite olmasından dolayı söz konusu anomalinin bu sebeple ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.

5.9 YENİ ZELANDA DEPREMİ

Şekil 5.34’de 14 Kasım 2016 (yılın günü 319) tarihinde meydana gelen Yeni Zelanda depreminin GPS-TEC değişimleri gösterilmiştir. Merkez koordinatları -42,75 N, 173,07 E olan depremin büyüklüğü Mw 7,8’dir. Analizde k sabiti 2,50 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.34 Yeni Zelanda Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

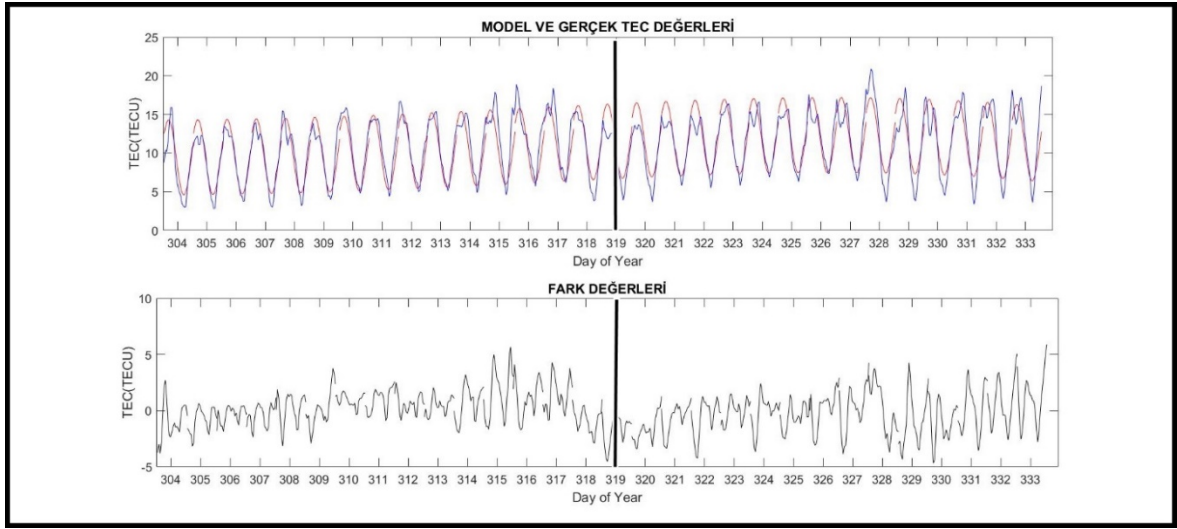
Çizelge 5.17 Yeni Zelanda Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
315	7	0,60	Pozitif
315	8	1,60	Pozitif
315	9	1,10	Pozitif
315	10	0,85	Pozitif
315	11	1,65	Pozitif
315	12	0,30	Pozitif
315	20	2,50	Pozitif
315	21	2,85	Pozitif
317	7	1,10	Pozitif
317	8	0,24	Pozitif
317	9	0,50	Pozitif
317	10	1,00	Pozitif
317	11	0,25	Pozitif
317	16	0,25	Pozitif
317	17	0,10	Pozitif
317	19	0,25	Pozitif
317	20	0,25	Pozitif
317	21	1,10	Pozitif

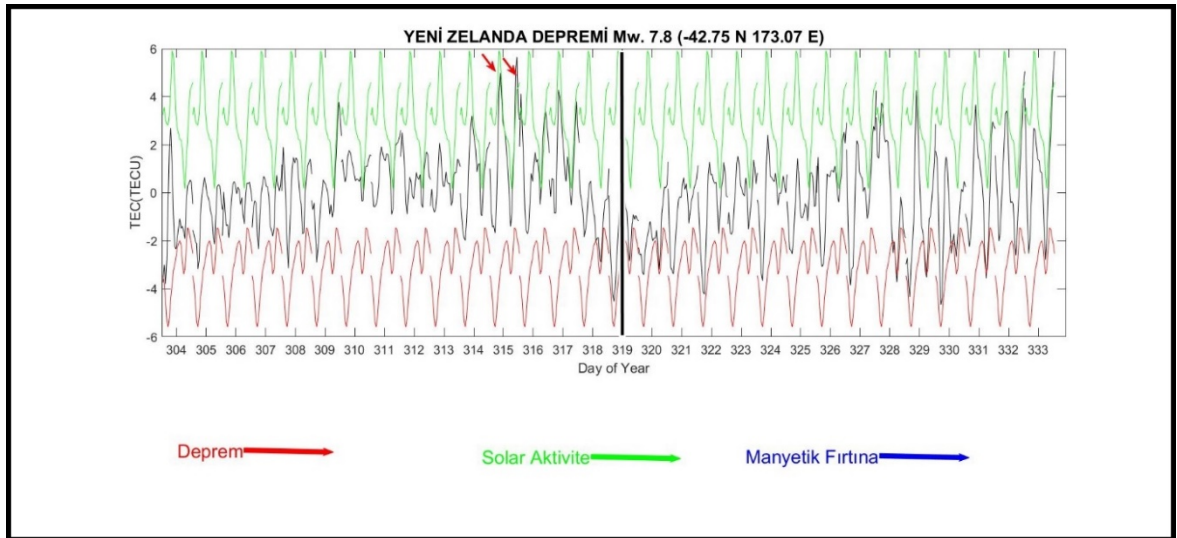
İkinci yöntemde kullanılacak olan model TEC değerlerinin ortaya çıkarılmasını sağlayacak olan denklem (5.9)'da verilmiştir.

$$TEC(x)=34,30*\sin(0,058*x-0,359)+24,74*\sin(0,074*x+2,304)+4,877*\sin(6,28*x+0,509) \quad (5.9)$$

Söz konusu denklem aracılığıyla elde edilen TEC değerleri ve gerçek TEC değerleri aşağıda gösterilmiştir. Devamında her epöğe ilişkin elde edilen iki TEC değeri arasındaki fark üzerinden yukarıda daha önce açıklanan alt ve üst sınırın oluşturulması için istatistiksel test uygulanmış ve sonuçları gösterilmiştir.



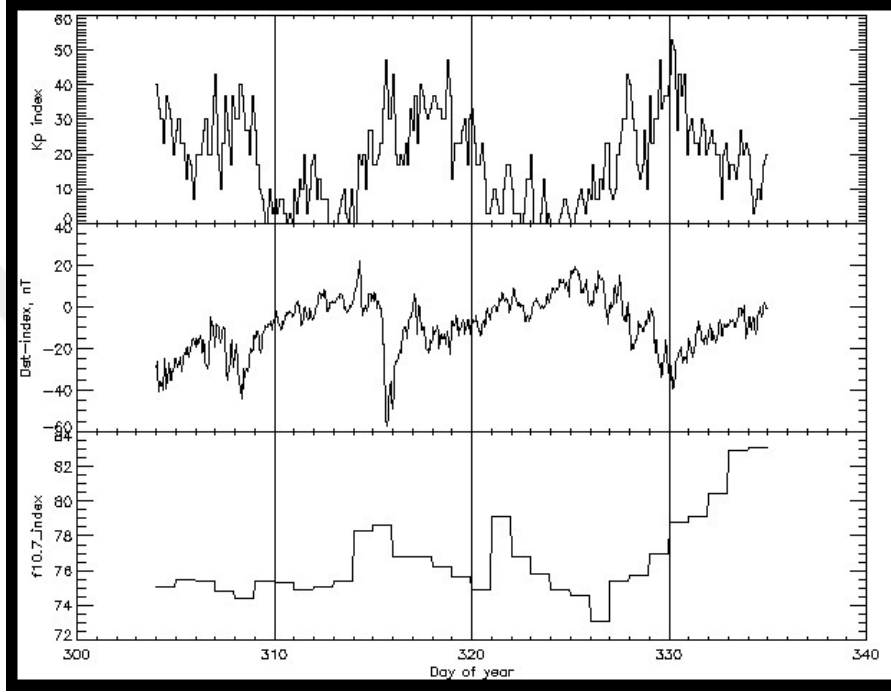
Şekil 5.35 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.



Şekil 5.36 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.18 Yeni Zelanda Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

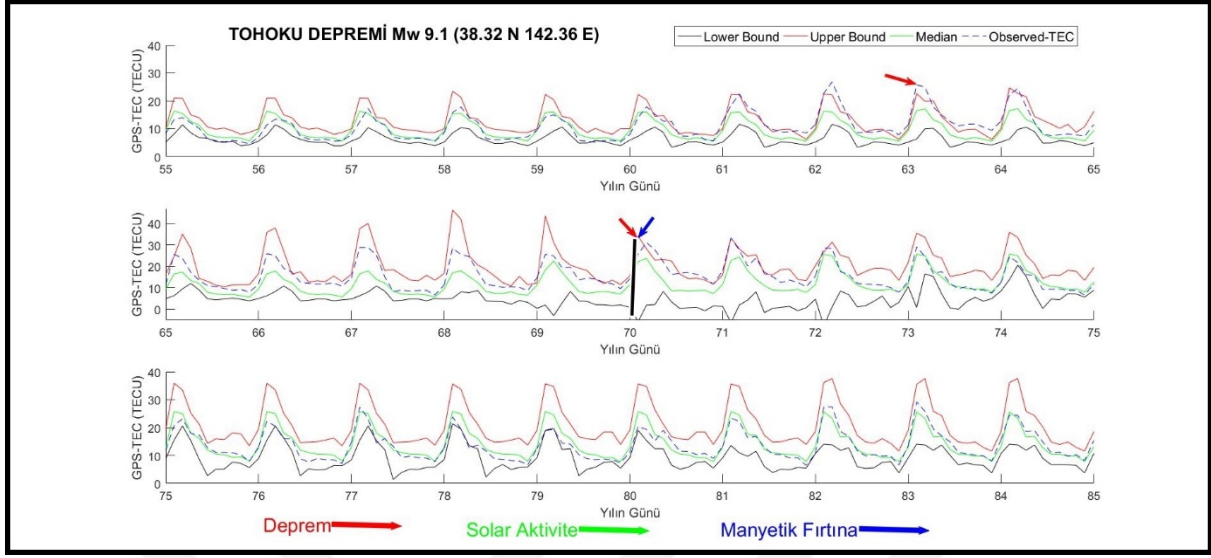
Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
315	21	1,71	Pozitif
315	22	1,37	Pozitif
316	19	1,10	Pozitif
316	20	1,12	Pozitif



Şekil 5.37 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

Yapılan analiz sonucunda 315, 316 ve 317. günlerde pozitif anomaliler görülmüş ve anomali miktarları Çizelge 5.17 ve 5.18’de gösterilmiştir. Söz konusu anomalilerin depremle ilgili olup olmadığının anlaşılabilmesi için anomali görülen günlerde iyonosferik şartlar detaylı olarak irdelenmiş ve gösterilmiştir. Söz konusu günlerde iyonosferik şartların oldukça sakin olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

5.10 TOHOKU DEPREMİ



Şekil 5.38 Tohoku Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Merkezi 38,32 N, 142,36 E olan Mw 9,1 büyüklüğündeki Tohoku depremi tarihte bilinen en büyük depremlerden biridir. 11 Mart 2011 tarihinde (yılın günü 70) meydana gelen ve yaklaşık 6 dakika süren depreme ait GPS-TEC değişimleri Şekil 5.38’de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda k değeri 3,40 olarak tespit edilmiştir.

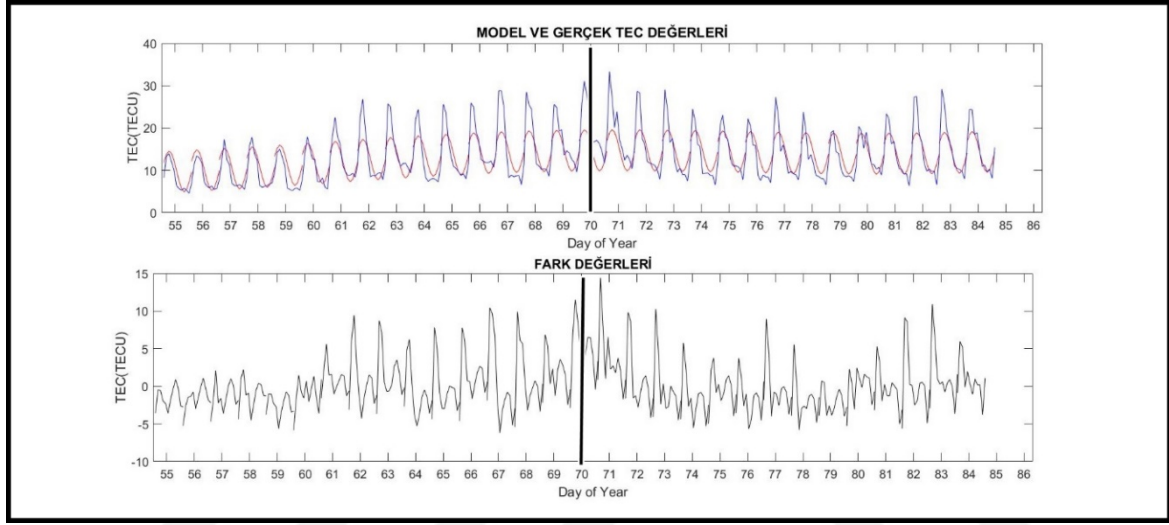
Çizelge 5.19 Tohoku Depremi Anomali Miktarı ve Türü

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
63	0	1,42	Pozitif
63	1	3,07	Pozitif
63	2	5,18	Pozitif
63	4	0,62	Pozitif
63	5	1,6	Pozitif
63	6	2,46	Pozitif
63	7	1,90	Pozitif
63	8	1,84	Pozitif
63	9	2,60	Pozitif
63	10	3,22	Pozitif
63	11	2,82	Pozitif
70	2	2,97	Pozitif
70	3	4,79	Pozitif
70	6	0,51	Pozitif
70	7	2,81	Pozitif
70	8	1,81	Pozitif
70	9	0,93	Pozitif

İkinci yöntemde TEC değerleri için üretilen modele ilişkin denklem aşağıdaki gibidir.

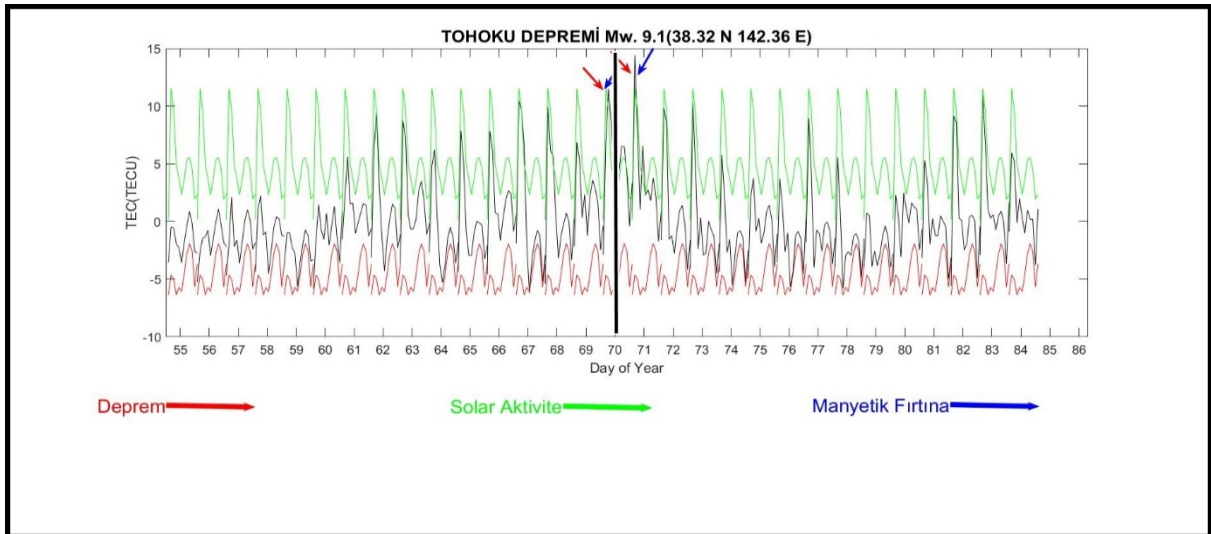
$$TEC(x)=128,7*\sin(0,001*x+0,047)+1,388*\sin(0,210*x-1,288)+4,895*\sin(6,284*x-0,071) \quad (5.10)$$

Model sonucu üretilen TEC değerleri ve gerçek TEC değerleri arasındaki ilişki ve bunun devamında ikisi arasındaki farklar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.39 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

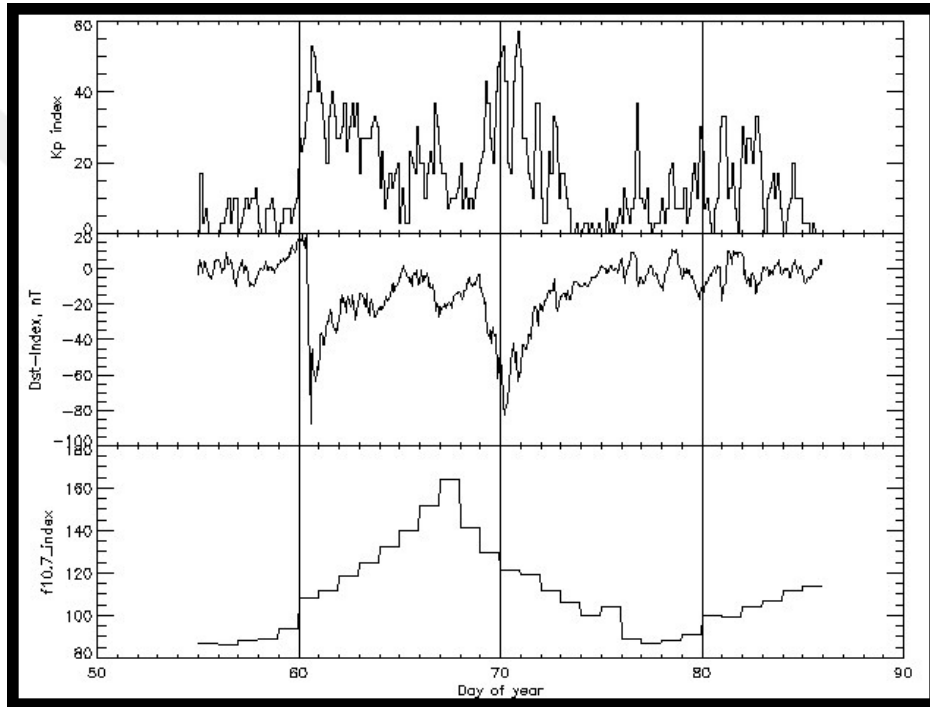
Fark değerlerine yapılan istatistiksel analiz sonucu elde edilen anomalilerin gösterimi aşağıdaki şekilde mevcuttur.



Şekil 5.40 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.20 Tohoku Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
70	3	1,85	Pozitif
70	4	3,74	Pozitif
70	5	1,05	Pozitif
70	8	1,17	Pozitif
70	12	1,02	Pozitif
71	2	2,90	Pozitif
71	5	2,84	Pozitif



Şekil 5.41 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

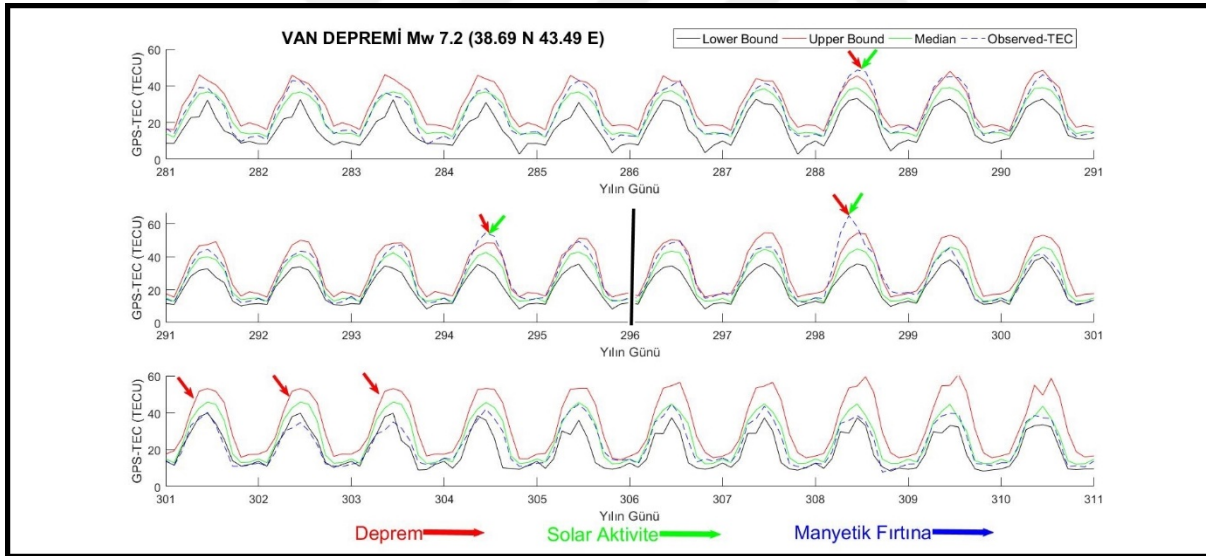
Yapılan istatistiksel test sonucunda 63 ve 70. günlerde pozitif anomaliler tespit edilmiş ve Çizelgede detaylı olarak anomali miktarları gösterilmiştir. Söz konusu günlerde görülen anomalilerin depremle olan ilişkisini daha iyi anlayabilmek için anomali görülen günlerdeki iyonosferik şartlar detaylı olarak irdelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda 63. gündeki iyonosferik şartların jeomanyetik aktivite açısından sakin olduğu, diğer yandan ilgili günlerde solar aktivite şiddetinin orta seviye olduğu (124.7 sfu) tespit edilmiştir. 70. güne ilişkin iyonosferik şartlar incelendiğinde günün belirli saatlerinde güçlü seviyede manyetik fırtına gerçekleştiği (-83nT), solar aktivite değerinin ise orta seviye (121.5 sfu) olduğu görülmüştür.

Dolayısıyla söz konusu pozitif anomalilerin manyetik fırtına veya deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

İkinci yöntemle yapılan analiz sonucunda ise 70 ve 71. günlerde pozitif anomali tespit edilmiş ve söz konusu günlere ilişkin iyonosferik şartlar detaylı olarak irdelenmiştir. İlk yöntemden farklı olarak ortaya çıkan 71. Güne ilişkin analiz irdelendiğinde günün belirli saatlerinde güçlü derecede manyetik fırtına olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple söz konusu anomalinin manyetik fırtına veya deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.11 VAN DEPREMİ

23 Ekim 2011 tarihinde (yılın günü 296) meydana gelen depremin merkez koordinatları 38,69 N, 43,49 E olarak tespit edilmiş, deprem büyüklüğü Mw 7,2 olarak kayıtlara geçmiştir. Analiz sonucunda k sabiti 2,61 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.42 Van Depremi Öncesi, Anı ve Sonrası GPS-TEC Değişimleri.

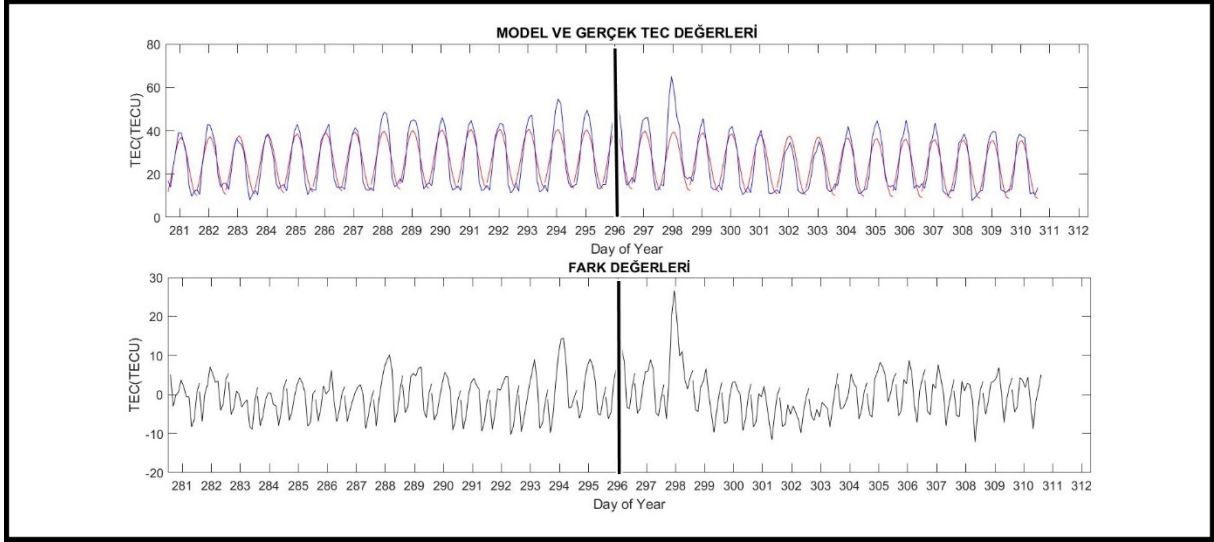
Çizelge 5.21 Van Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
289	1	0,72	Pozitif	301	8	2,94	Negatif
289	3	1,31	Pozitif	301	9	0,17	Negatif
289	4	1,52	Pozitif	301	10	0,19	Negatif
289	6	1,65	Pozitif	301	11	0,89	Negatif
289	7	3,03	Pozitif	302	0	0,89	Negatif
294	4	3,83	Pozitif	302	1	0,07	Negatif
294	5	6,25	Pozitif	302	2	3,13	Negatif
294	6	4,17	Pozitif	302	4	6,09	Negatif
294	7	0,62	Pozitif	302	5	5,09	Negatif
294	8	1,68	Pozitif	302	6	1,65	Negatif
294	9	0,19	Pozitif	302	7	2,80	Negatif
298	2	5,34	Pozitif	302	8	0,88	Negatif
298	3	12,24	Pozitif	302	10	1,05	Negatif
298	4	14,47	Pozitif	302	11	1,59	Negatif
298	5	3,99	Pozitif	303	0	1,59	Negatif
298	8	1,91	Pozitif	303	2	2,27	Negatif
298	9	3,39	Pozitif	303	4	7,19	Negatif
298	10	1,00	Pozitif	303	5	4,69	Negatif
298	11	0,72	Pozitif				
301	1	0,29	Pozitif				
301	2	2,29	Pozitif				
301	4	1,19	Pozitif				
301	6	1,04	Pozitif				
301	7	3,30	Pozitif				

İkinci yöntemde kullanılacak olan modele ilişkin denklem ve katsayıları aşağıdaki gösterilmiştir.

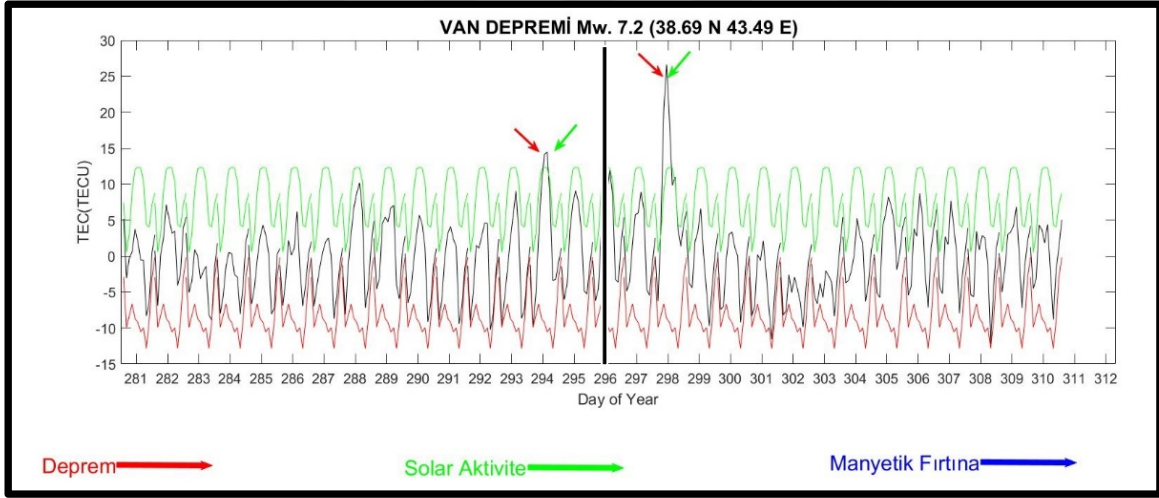
$$TEC(x)=25,27*\sin(0,019*x+0,767)+13,58*\sin(6,287*x-1,654)+1,897*\sin(0,205*x-0,756) \quad (5.11)$$

Söz konusu modelden elde edilen TEC, gerçek TEC ve arasındaki farklar Şekil 5.43’de gösterilmiştir.



Şekil 5.43 Model ve Gerçek TEC Değerleri ve Fark Değerlerinin Gösterimi.

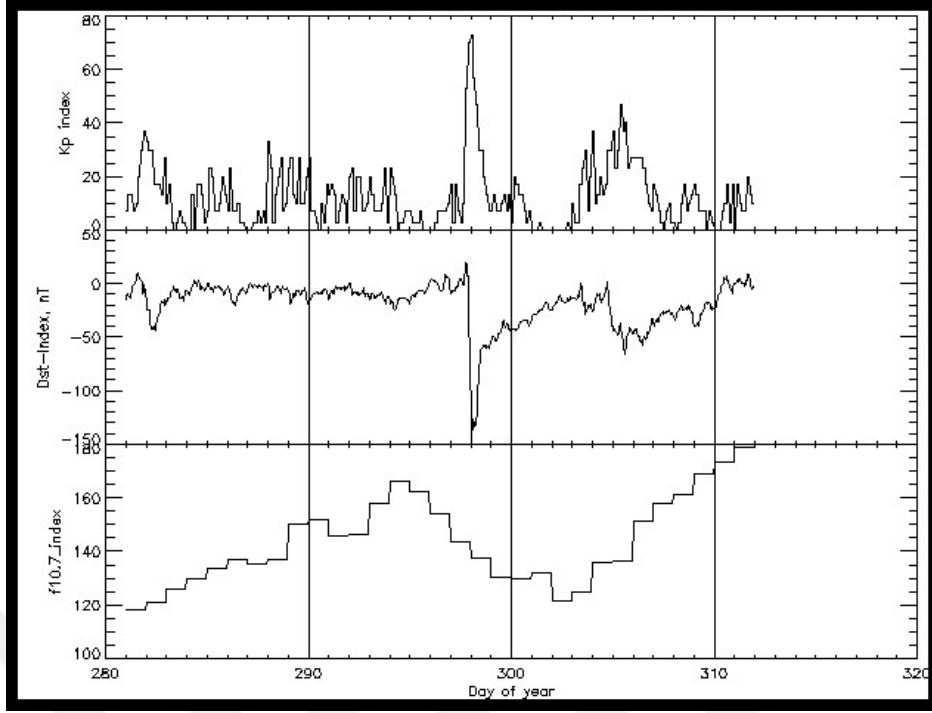
Fark değerlerinden yapılan analize göre elde edilen anomalilerin gösterimi ve sayısal değerleri Şekil 5.44 ve Çizelgede 5.22 gösterilmiştir.



Şekil 5.44 Fark Değerleri Üzerinden Yapılan İstatistiksel Analizin Gösterimi.

Çizelge 5.22 Van Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
294	6	1,80	Pozitif
294	7	2,20	Pozitif
298	3	1,2	Pozitif
298	4	11,34	Pozitif
298	5	14,54	Pozitif
298	6	6,54	Pozitif

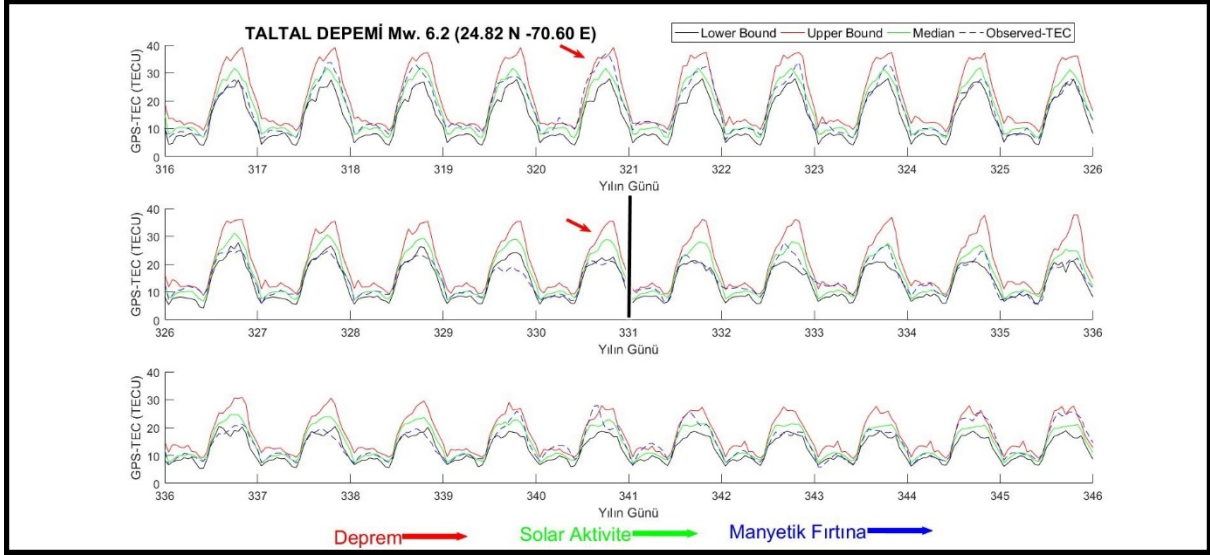


Şekil 5.45 Analizi Yapılan Günlere İlişkin ($K_p \cdot 10$), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

Yapılan analiz sonucunda 289, 294, 298, 301, 302 ve 303. günlerde negatif ve pozitif anomaliler tespit edilmiş ve Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22’de detaylı olarak gösterilmiştir. Söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olup olmadığının anlaşılabilmesi için ilgili günlerdeki iyonosferik şartlar irdelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 289. günde güçlü seviyede solar aktivite meydana geldiği (150 sfu), 294. günde güçlü seviyede solar aktivite meydana geldiği (166.3 sfu), 298. günün belirli saatlerinde şiddetli seviyede (-146 nT) manyetik fırtına gerçekleştiği tespit edilmiştir. 301, 302 ve 303. günlerde ise iyonosferik şartların oldukça sakin olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple 301, 302 ve 303. günlerde gözlemlenen anomalilerin deprem kaynaklı, 289. gündeki anomalilerin deprem ve solar aktivite kaynaklı, 298. gündeki anomalilerin manyetik fırtına ve deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.12 TALTAL DEPREMİ

27 Kasım 2015 tarihinde Şili Taltal bölgesi yakınlarında gerçekleşen depremin merkez koordinatları -24,82 N, -70,60 E olarak tespit edilmiştir. Depremin büyüklüğü Mw 6,2 olup Şekil 5.46’da deprem öncesi, anı ve sonrasındaki GPS-TEC değişimleri Şekil 5.46’da gösterilmiştir. Analizde kullanılacak k sabiti 1,81 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.46 Taltal Depremi Öncesi, Anı ve Sonrası GPS-TEC Değişimleri.

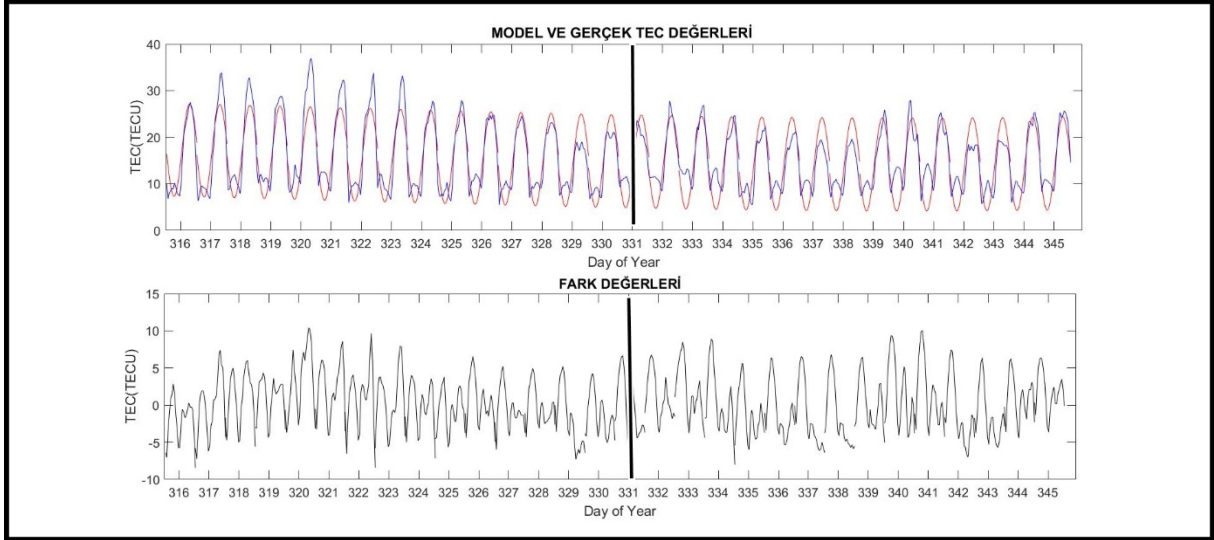
Çizelge 5.23 Taltal Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
320	6	2,17	Pozitif
320	7	0,13	Pozitif
320	8	0,05	Pozitif
320	9	0,10	Pozitif
320	10	0,21	Pozitif
320	11	0,79	Pozitif
320	12	3,51	Pozitif
320	13	3,31	Pozitif
320	14	1,67	Pozitif
320	17	0,46	Pozitif
320	18	1,22	Pozitif
330	3	0,53	Negatif
330	4	0,40	Negatif
330	16	1,30	Negatif
330	17	2,47	Negatif
330	18	1,00	Negatif
330	19	0,55	Negatif
330	20	1,70	Negatif
330	22	0,49	Negatif

Gerçek TEC değerleri kullanılarak elde edilen modele ilişkin denklem aşağıda gösterilmiştir.

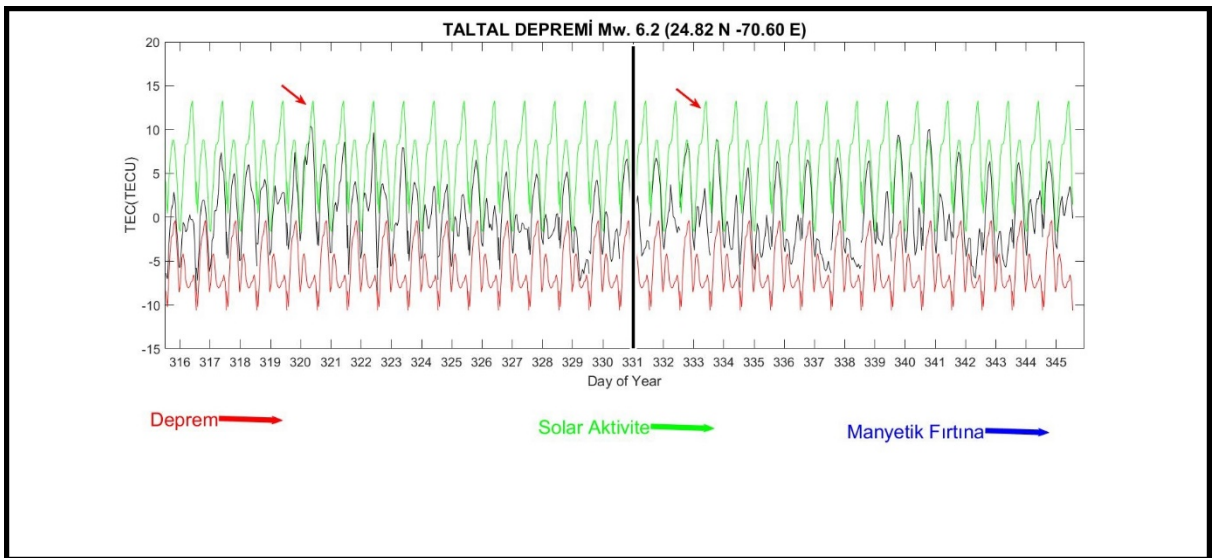
$$\text{TEC}(x)=96,22*\sin(0,007*x-0,074)+10,502*\sin(6,288*x+2,839)+24,37*\sin(0,035*x+1,91) \quad (5.12)$$

(5.12) denklemi kullanılarak elde edilen model TEC değerleri, gerçek TEC değerleri arasındaki ilişki ve fark değerleri 5.47’de gösterilmiştir.



Şekil 5.47 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

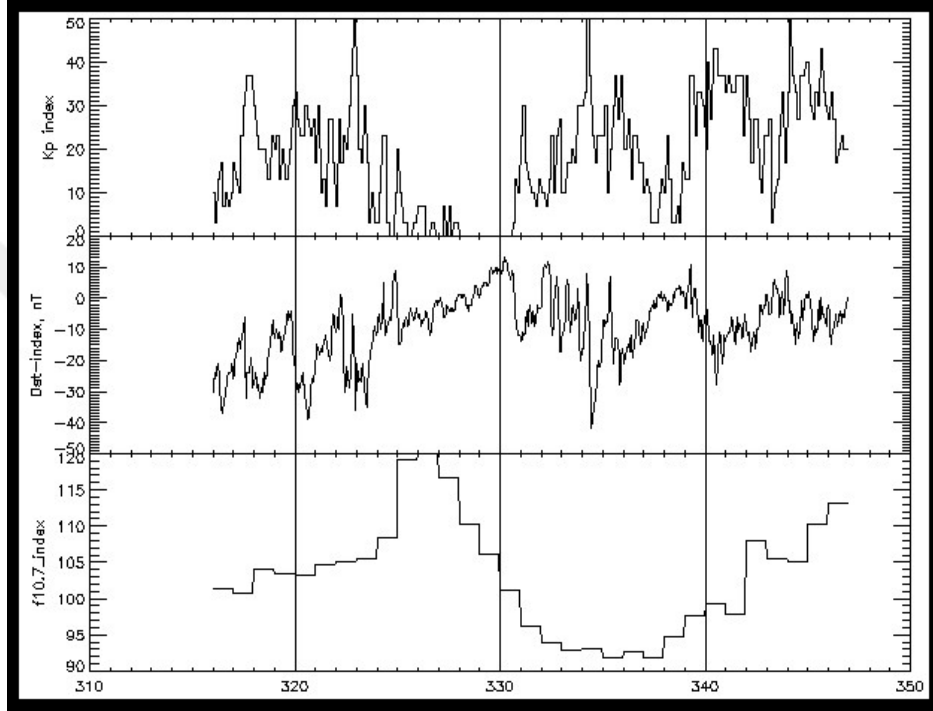
Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel test sonucu elde edilen anomaliler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.48 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analiz gösterimi.

Çizelge 5.24 Taltal Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
320	13	2,11	Pozitif
320	14	2,29	Pozitif
333	2	2,28	Pozitif

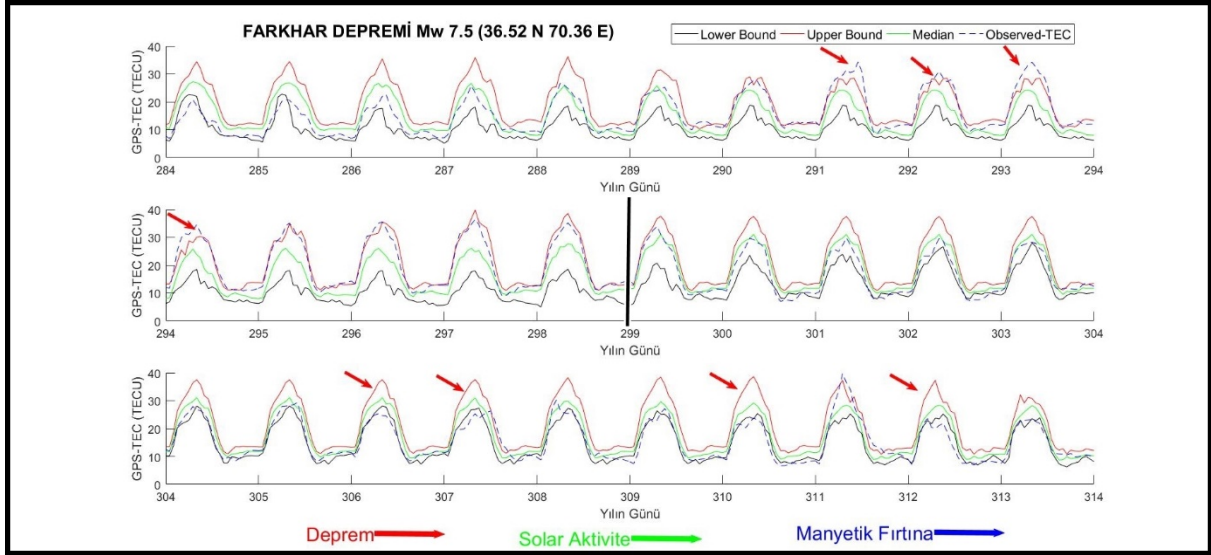


Şekil 5.49 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

Analiz sonucunda 320 ve 330. günlerde pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir (Şekil 5.46 ve Çizelge 5.23). Söz konusu günlerde iyonosferik şartların sakin olduğu dolayısıyla söz konusu günlerde gözlemlenen anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır. İkinci yöntemle yapılan analiz sonucunda 320 ve 333. günlerde benzer şekilde pozitif anomaliler tespit edilmiştir (Şekil 5.48 ve Çizelge 5.24). Yapılan analiz sonucunda ilk yöntemden ayrı olarak ortaya çıkan 333. güne ilişkin iyonosferik şartlar irdelendiğinde oldukça sakin olduğu dolayısıyla söz konusu anomalinin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.13 FARKHAR DEPREMİ

Afganistan’da 26 Ekim 2015 tarihinde (yılın günü 299) gerçekleşen depremin büyüklüğü Mw 7,5 olup, depremin merkez koordinatları 36,52 N, 70,36 E olarak tespit edilmiştir. Depremde kullanılacak k değeri 1,60 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.50 Farkhar Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Çizelge 5.25 Farkhar Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

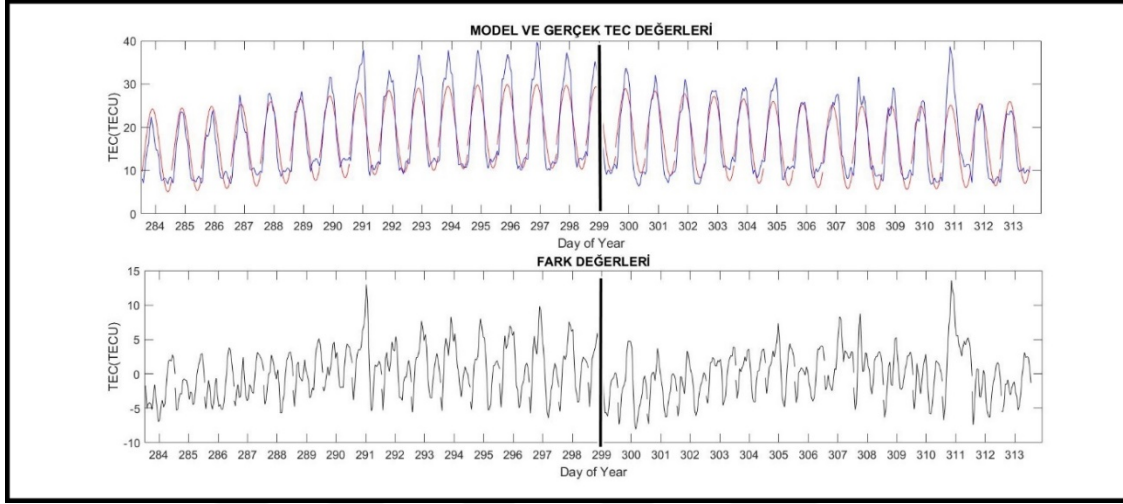
Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
291	0	0,48	Negatif	306	10	1,50	Negatif
291	2	1,08	Negatif	306	11	3,44	Negatif
291	3	0,62	Negatif	306	12	0,10	Negatif
291	4	1,84	Negatif	307	3	0,08	Negatif
291	5	4,40	Negatif	307	4	1,38	Negatif
291	6	0,74	Negatif	307	5	3,42	Negatif
291	7	1,46	Negatif	307	6	3,90	Negatif
291	8	5,36	Negatif	307	7	3,02	Negatif
291	9	2,24	Negatif	307	8	1,54	Negatif
291	10	2,48	Negatif	307	9	3,72	Negatif
291	11	8,82	Negatif	307	19	0,22	Negatif
291	12	8,30	Pozitif	307	20	1,40	Negatif
291	13	2,56	Pozitif	307	21	0,86	Negatif
292	2	2,48	Pozitif	307	23	1,36	Negatif
292	3	2,72	Pozitif	310	0	0,08	Negatif
292	4	3,04	Pozitif	310	1	0,92	Negatif
292	5	3,10	Pozitif	310	2	1,26	Negatif
292	7	1,06	Pozitif	310	5	1,26	Negatif

Çizelge 5.25 (devam ediyor)

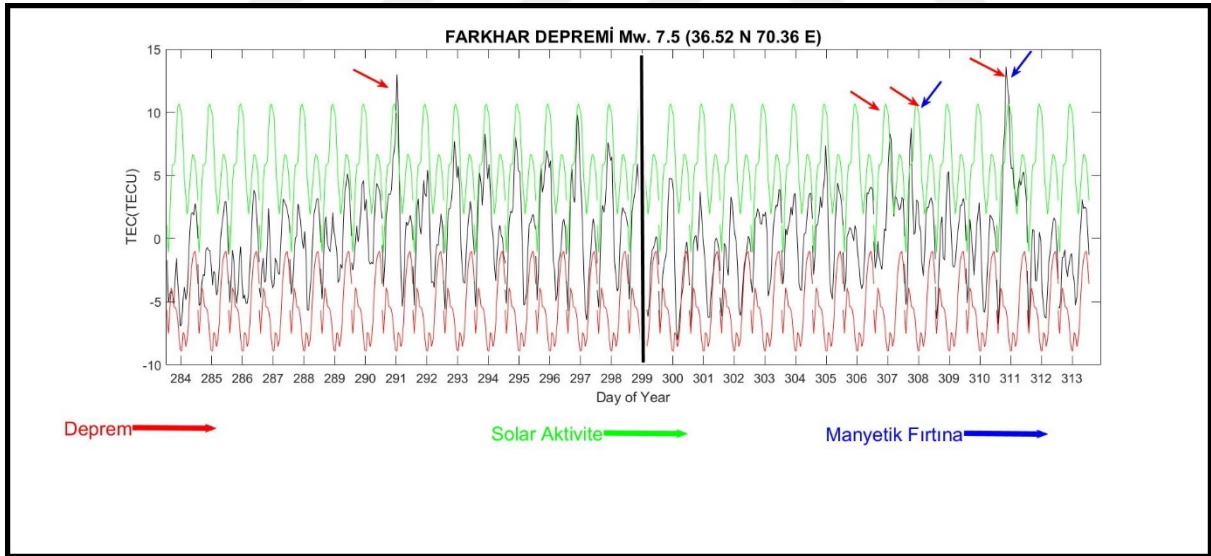
Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
292	8	4,96	Pozitif	310	6	3,56	Negatif
292	9	0,34	Pozitif	310	7	1,86	Negatif
292	11	2,52	Pozitif	310	9	2,38	Negatif
292	12	2,20	Pozitif	310	10	2,14	Negatif
293	2	0,18	Pozitif	310	11	1,12	Negatif
293	3	1,52	Pozitif	310	12	4,44	Negatif
293	4	2,28	Pozitif	310	13	2,76	Negatif
293	5	5,30	Pozitif	310	14	1,76	Negatif
293	6	2,98	Pozitif	310	15	1,12	Negatif
293	7	5,16	Pozitif	310	16	1,42	Negatif
293	8	8,16	Pozitif	310	17	0,70	Negatif
293	9	4,24	Pozitif	310	19	1,04	Negatif
293	10	1,58	Pozitif	310	20	1,04	Negatif
293	11	4,02	Pozitif	310	21	1,42	Negatif
293	12	3,20	Pozitif	310	22	1,58	Negatif
293	17	0,46	Pozitif	310	23	0,50	Negatif
293	18	0,46	Pozitif	312	1	0,54	Negatif
293	19	1,66	Pozitif	312	2	0,02	Negatif
293	20	1,28	Pozitif	312	3	1,18	Negatif
294	2	1,28	Pozitif	312	6	1,30	Negatif
294	3	4,12	Pozitif	312	7	3,74	Negatif
294	4	4,28	Pozitif	312	8	2,34	Negatif
294	5	7,70	Pozitif	312	9	3,34	Negatif
294	6	2,20	Pozitif	312	10	4,78	Negatif
294	7	4,66	Pozitif	312	11	4,80	Negatif
294	8	4,46	Pozitif	312	12	5,94	Negatif
294	9	1,26	Pozitif	312	13	2,36	Negatif
294	12	0,44	Pozitif	312	14	1,82	Negatif
294	13	0,96	Pozitif	312	16	0,58	Negatif
294	14	1,66	Pozitif	312	17	0,38	Negatif
294	15	1,42	Pozitif	312	20	0,28	Negatif
294	16	0,14	Pozitif	312	21	1,00	Negatif
294	17	0,26	Pozitif	312	22	2,34	Negatif
294	19	0,36	Pozitif	312	23	1,06	Negatif
306	1	1,40	Negatif				
306	2	1,56	Negatif				
306	3	0,98	Negatif				
306	6	0,64	Negatif				
306	7	1,68	Negatif				
306	8	3,46	Negatif				
306	9	3,18	Negatif				

İkinci yöntemde oluşturulan modele ilişkin elde edilen denklem (5.13)'de verilmiştir.

$$\text{TEC}(x)=38,76*\sin(0,0007*x+0,437)+9,66*\sin(6,288*x-0,919)+2,705*\sin(0,241*x-2,39) \quad (5.13)$$



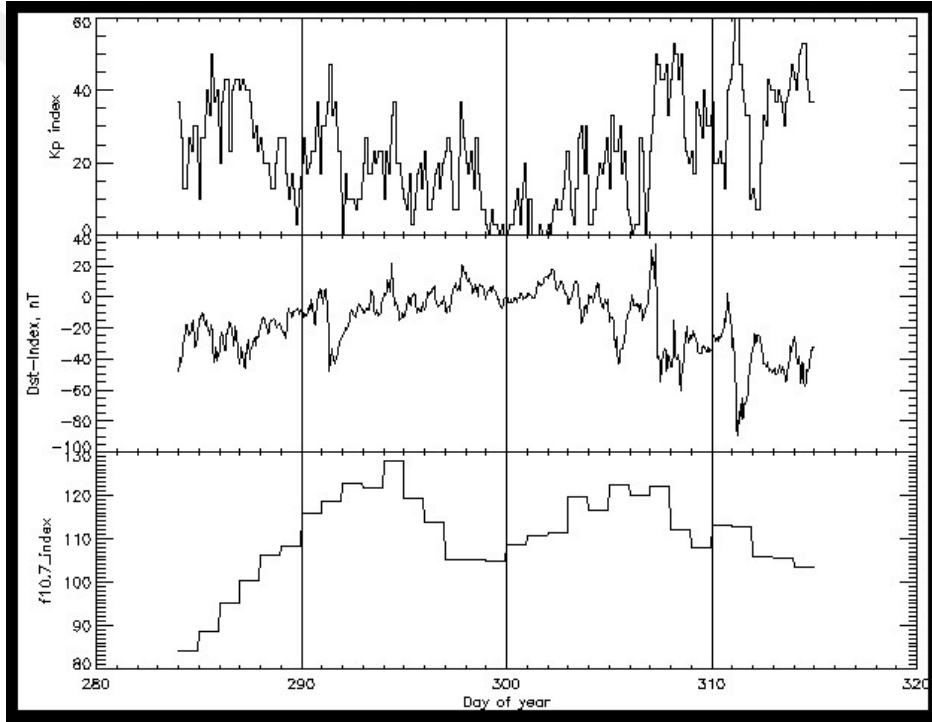
Şekil 5.51 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.



Şekil 5.52 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.26 Farkhar Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
291	12	3,21	Pozitif
291	13	3,39	Pozitif
307	13	1,09	Pozitif
307	14	3,27	Pozitif
307	15	1,07	Pozitif
308	5	1,20	Pozitif
308	6	2,90	Pozitif
311	6	1,15	Pozitif
311	7	2,52	Pozitif
311	8	5,08	Pozitif
311	9	1,68	Pozitif



Şekil 5.53 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

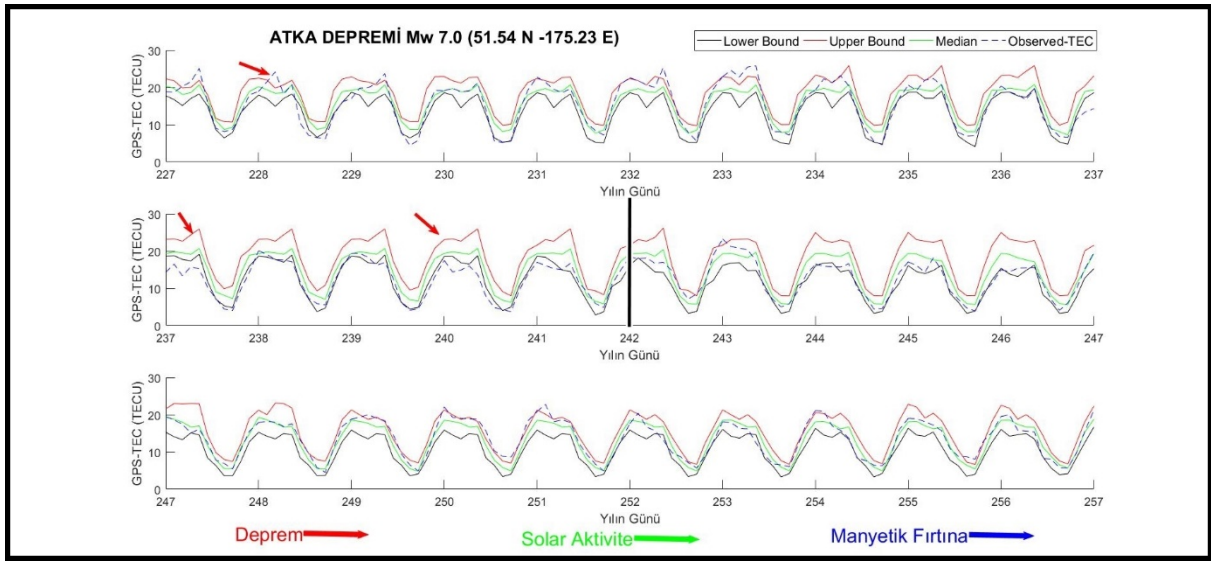
Yapılan analiz sonucunda 291, 292, 293, 294, 306, 307, 310, 312. günlerde pozitif ve negatif anomaliler tespit edilmiştir (Şekil 5.50 ve Çizelge 5.25). Söz konusu günlerdeki iyonosferik şartlar incelendiğinde anomali görülen günlerin tamamında iyonosferik koşulların sakin olduğu dolayısıyla anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

İkinci yöntemle yapılan analiz sonucunda 291, 307, 308 ve 311. günlerde pozitif anomali meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 5.52 ve Çizelge 5.26). İlk yöntemden farklı olarak

ortaya çıkan 308 ve 311. günlere ilişkin iyonosferik şartlar irdelendiğinde günün belirli saatlerinde güçlü derecede manyetik fırtına meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeple söz konusu etkinin manyetik fırtına veya deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.14 ATKA DEPREMİ

30.08.2013 tarihinde Mw 7,0 büyüklüğünde gerçekleşen depremin merkez koordinatları 51,54 N, -175,23 E olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu k değeri 1,75 elde edilmiştir.



Şekil 5.54 Atka Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

Çizelge 5.27 Atka Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
228	2	4,40	Pozitif
228	4	2,18	Pozitif
228	5	1,94	Negatif
228	6	1,64	Negatif
228	7	1,47	Negatif
228	8	0,59	Negatif
228	9	0,38	Negatif
228	10	0,68	Negatif
228	11	1,68	Negatif
237	0	3,42	Negatif
237	1	1,86	Negatif
237	2	3,20	Negatif
237	3	0,67	Negatif

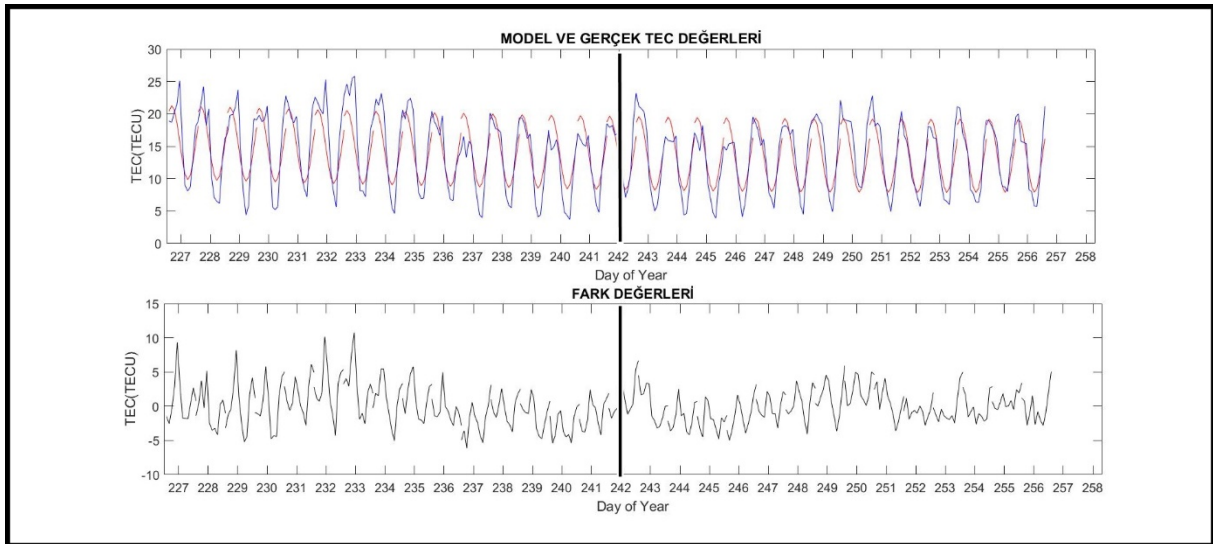
Çizelge 5.27 (devam ediyor)

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
237	5	3,29	Negatif
237	8	0,42	Negatif
237	9	1,46	Negatif
237	10	2,43	Negatif
240	1	4,17	Negatif
240	2	1,99	Negatif
240	4	0,60	Negatif
240	5	2,64	Negatif
240	6	1,80	Negatif
240	8	0,50	Negatif
240	9	1,77	Negatif

İkinci yöntemde kullanılacak olan modele ilişkin denklem ve katsayıları aşağıda verilmiştir.

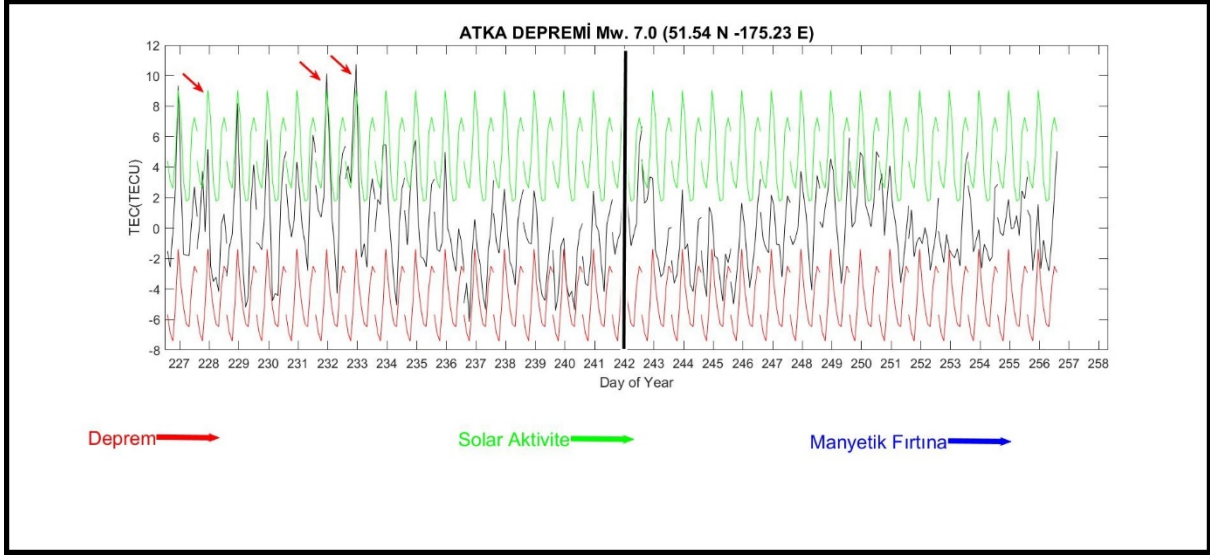
$$TEC(x)=38,93*\sin(0,024*x+0,221)+25,39*\sin(0,035*x+2,796)+5,676*\sin(6,283*x+0,503) \quad (5.14)$$

(5.14) eşitliği kullanılarak elde edilen model TEC değerleri ve gerçek TEC değerlerinin gösterimi, bunun yanında ikisi arasındaki her epoga ilişkin fark değerleri Şekil 5.55'te gösterilmiştir.



Şekil 5.55 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

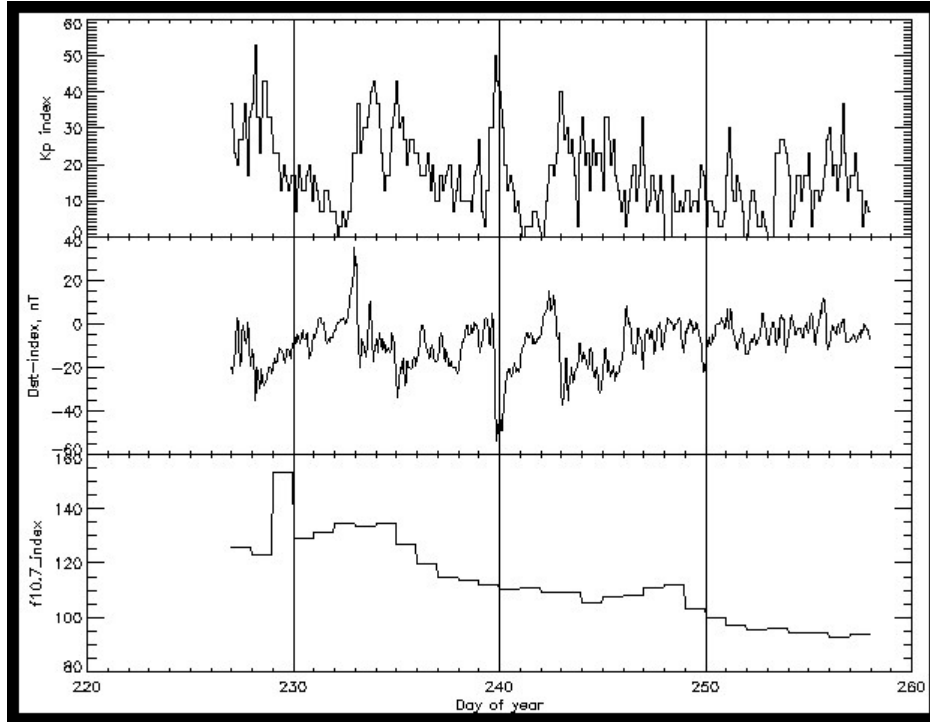
Fark değerleri üzerinden yapılan analiz sonucu elde edilen anomaliler Şekil 5.56'da gösterilmiştir.



Şekil 5.56 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.28 Atka Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
228	3	1,11	Pozitif
232	5	1,10	Pozitif
233	4	2,33	Pozitif
233	5	1,72	Pozitif

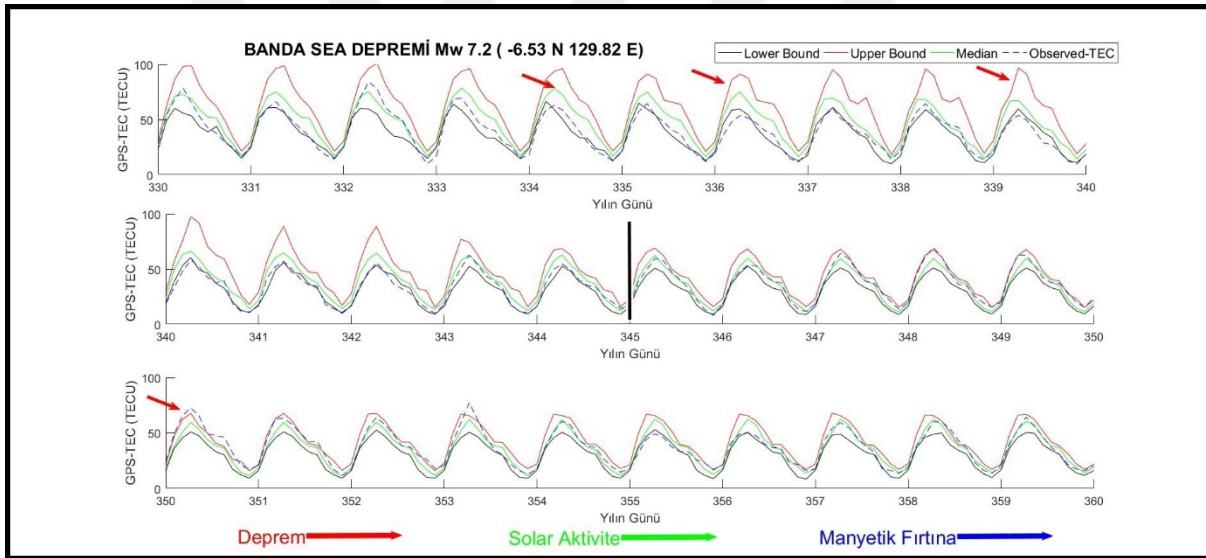


Şekil 5.57 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

Analiz sonucunda 228, 237 ve 240'ncü günlerde pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir (Şekil 5.54 ve Çizelge 5.27). İlgili günlere ilişkin iyonosferik koşullar irdelendiğinde söz konusu günlerin tamamında sakin olduğu dolayısıyla anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

İkinci yöntemde yapılan analiz sonucunda 228, 232 ve 233. günlerde pozitif anomaliler tespit edilmiştir. Şekil 5.56 ve Çizelge 5.28). Söz konusu anomalilerin deprem ile ilişkili olup olmadığının anlaşılabilmesi için ilgili günlerdeki iyonosferik koşullar detayı şekilde irdelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda ilgili günlerde iyonosferik koşulların sakin olduğu dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.15 BANDA DENİZİ DEPREMİ



Şekil 5.58 Banda Denizi Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

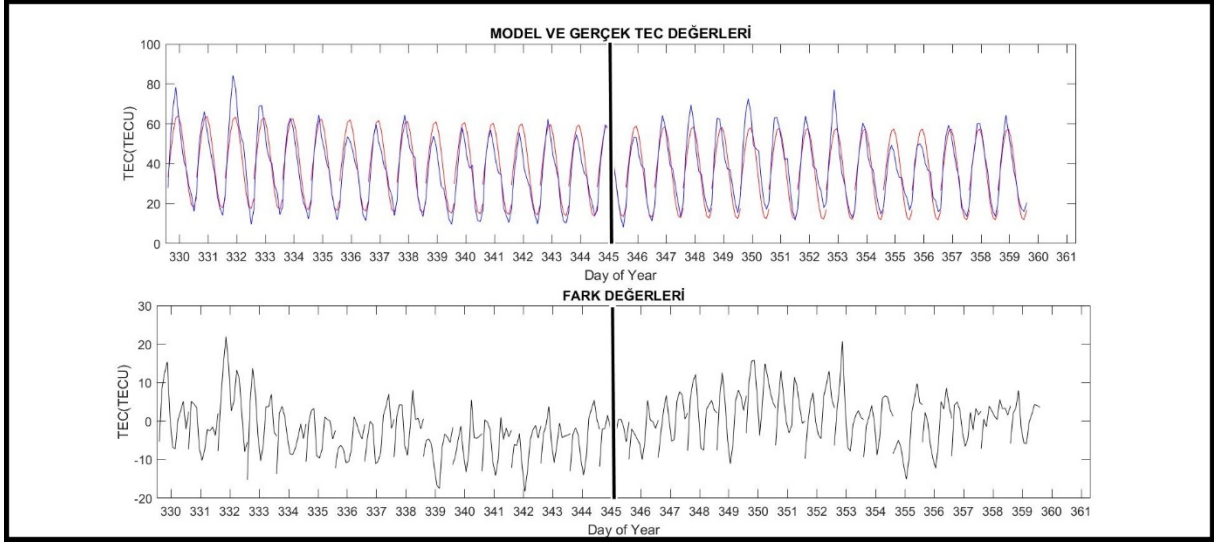
10.12.2012 tarihinde (yılın günü 345) gerçekleşen Banda Denizi depreminin merkez üssü koordinatları -6,53 N, 129,82 E olarak belirlenmiştir. Büyüklüğü Mw 7,2 olan depremin, öncesi, anı ve sonrasında meydana gelen GPS-TEC değişimleri Şekil 5.58'de gösterilmiştir. Çizelgeden anlaşılacağı üzere deprem öncesi, anı ve sonrasında negatif anomaliler meydana gelmiştir. Analiz sonucunda k değeri 1,75 bulunmuştur.

Çizelge 5.29 Banda Denizi Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
334	0	5,85	Negatif
334	1	3,02	Negatif
334	2	7,97	Negatif
334	7	3,66	Negatif
334	8	2,64	Negatif
334	9	4,25	Negatif
334	10	0,37	Negatif
334	11	0,42	Negatif
336	0	1,70	Negatif
336	1	10,25	Negatif
336	2	10,67	Negatif
336	3	5,82	Negatif
336	4	2,77	Negatif
336	9	1,82	Negatif
336	10	0,75	Negatif
339	1	1,87	Negatif
339	2	2,14	Negatif
339	3	5,77	Negatif
339	4	2,15	Negatif
339	5	6,65	Negatif
339	6	9,47	Negatif
339	7	6,30	Negatif
339	8	0,42	Negatif
339	9	0,52	Negatif
339	10	1,35	Negatif
350	0	2,35	Pozitif
350	1	2,17	Pozitif
350	2	3,59	Pozitif
350	3	5,05	Pozitif
350	4	8,95	Pozitif
350	6	6,70	Pozitif
350	7	8,50	Pozitif
350	8	5,77	Pozitif
350	10	1,40	Pozitif

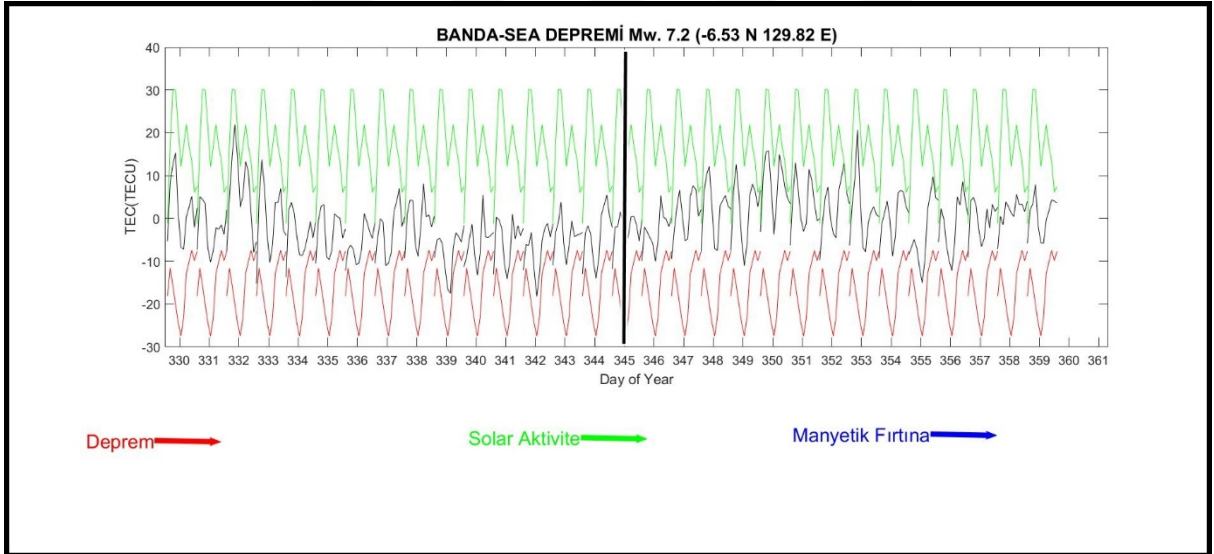
İkinci yöntemden elde edilen model denklem aşağıda verilmiştir.

$$\text{TEC}(x)=49,85*\sin(0,003*x+0,816)+23,12*\sin(6,283*x-0,875)+6,836*\sin(0,063*x+0,910) \quad (5.15)$$

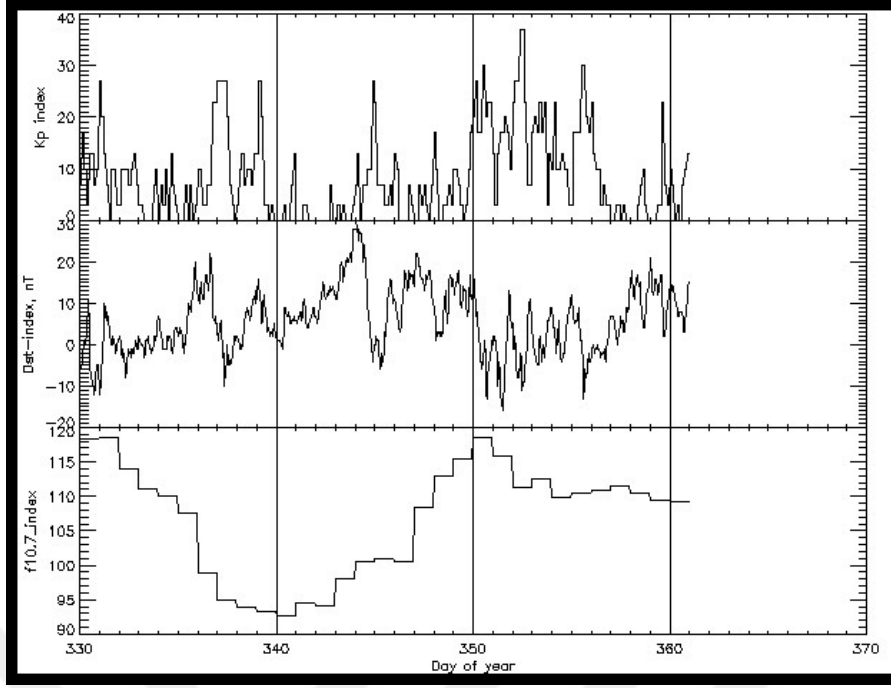


Şekil 5.59 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

Elde edilen fark değerleri kullanılarak yapılan analiz sonucunda söz konusu deprem öncesi veya sonrası herhangi bir anomali tespit edilmemiştir (Şekil 5.60).



Şekil 5.60 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

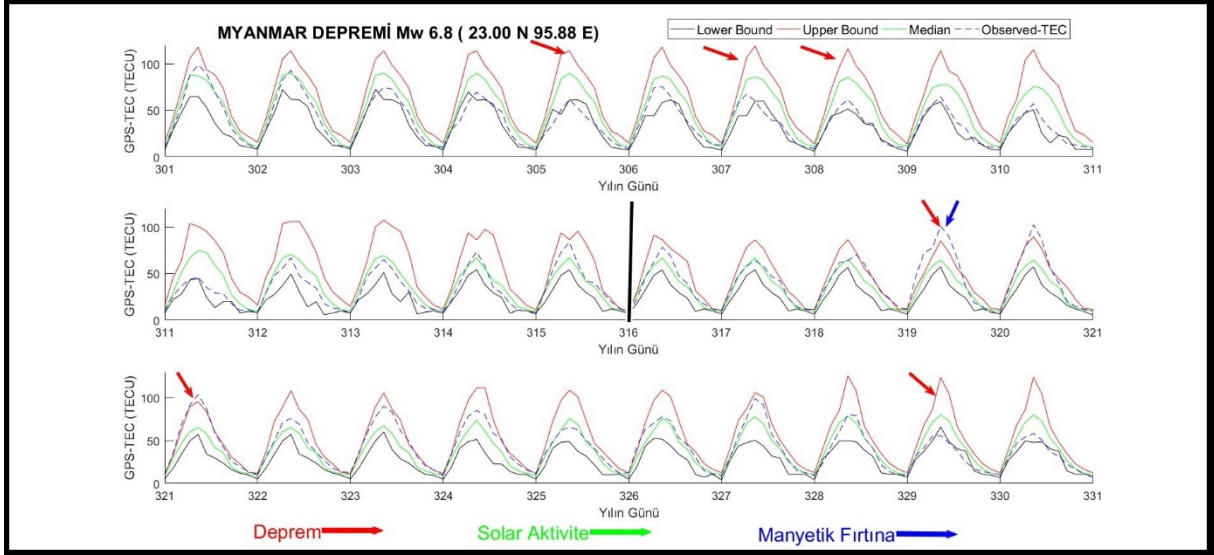


Şekil 5.61 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

Yapılan analiz sonucunda 334, 336, 339, 350. günlerde pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir (Şekil 5.58 ve Çizelge 5.29). Söz konusu günlere ilişkin iyonosferik şartlar irdelendiğinde anomali gözlemlenen günlerin tamamında iyonosferik koşulların oldukça sakin olduğu, dolayısıyla söz konusu anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. İkinci yöntemle yapılan analiz sonucunda herhangi bir anomaliye rastlanmamıştır.

5.16 MYANMAR DEPREMİ

11.11.2012 tarihinde (yılın günü 316) gerçekleşen depremin büyüklüğü Mw 6,8 olup, GPS-TEC değişimleri Şekil 5.62’de gösterilmiştir. Deprem merkez koordinatları (23,00 N, 95,88 E) olarak tespit edilmiş olup, k sabiti 2,29 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.62 Myanmar Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

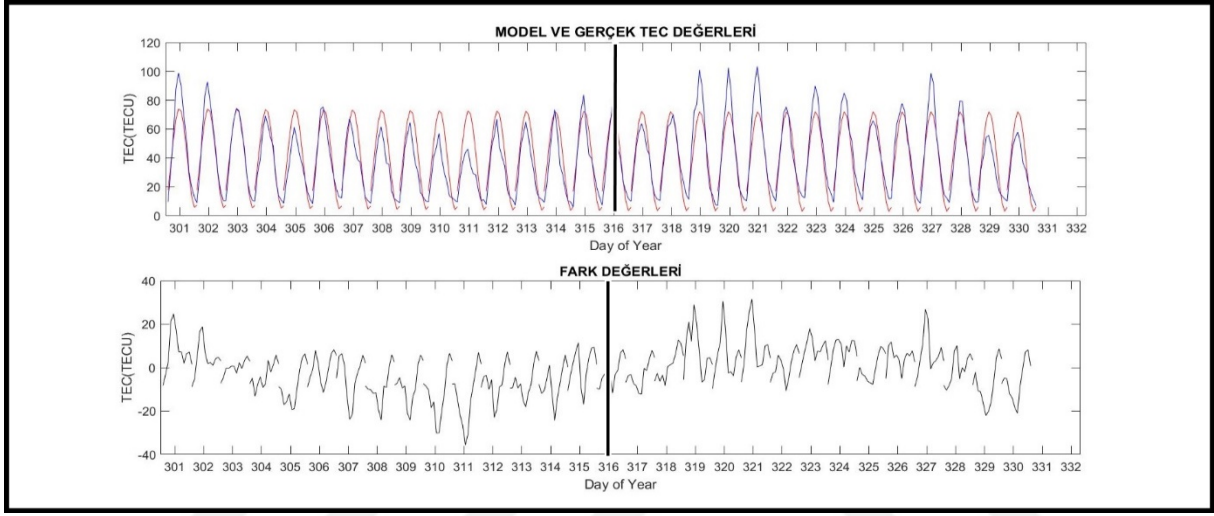
Çizelge 5.30 Myanmar Depremi Anomali Miktarı ve Türü

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
305	1	3.32	Negatif
305	2	16.32	Negatif
305	5	8.80	Negatif
305	6	14.27	Negatif
307	1	0.52	Pozitif
307	5	12.41	Negatif
307	6	6.70	Negatif
307	9	0.94	Negatif
308	1	0.12	Negatif
308	2	2.73	Negatif
308	8	1.11	Negatif
308	9	1.71	Negatif
319	0	0.14	Pozitif
319	1	11.58	Pozitif
319	2	22.33	Pozitif
319	3	9.32	Pozitif
319	4	15.88	Pozitif
319	5	16.96	Pozitif
319	6	10.98	Pozitif
321	1	2.23	Pozitif
321	2	6.35	Pozitif
321	3	2.03	Pozitif
321	4	8.15	Pozitif
321	5	3.54	Pozitif
321	10	1.23	Pozitif
329	4	10.02	Negatif
329	5	1.41	Negatif
329	6	2.80	Negatif
329	7	12.33	Negatif

İkinci yöntemde kullanılacak olan modele ilişkin denklem ve katsayıları aşağıdaki gibidir.

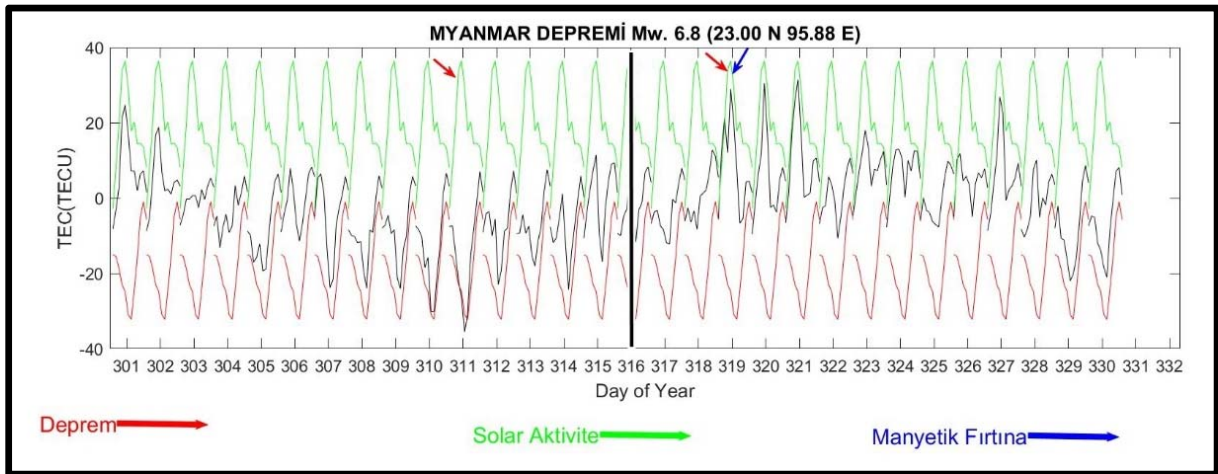
$$TEC(x)=116,1*\sin(0,006*x+1,273)+34,62*\sin(6,286*x-1,307)+78,52*\sin(0,013*x+4,048) \quad (5.16)$$

(5.16) denklemi kullanılarak her epoga ilişkin üretilen model TEC değerleri ve gerçek TEC değerleri ile bunların arasındaki farklar Şekil 6.63'te gösterilmiştir.



Şekil 5.63 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

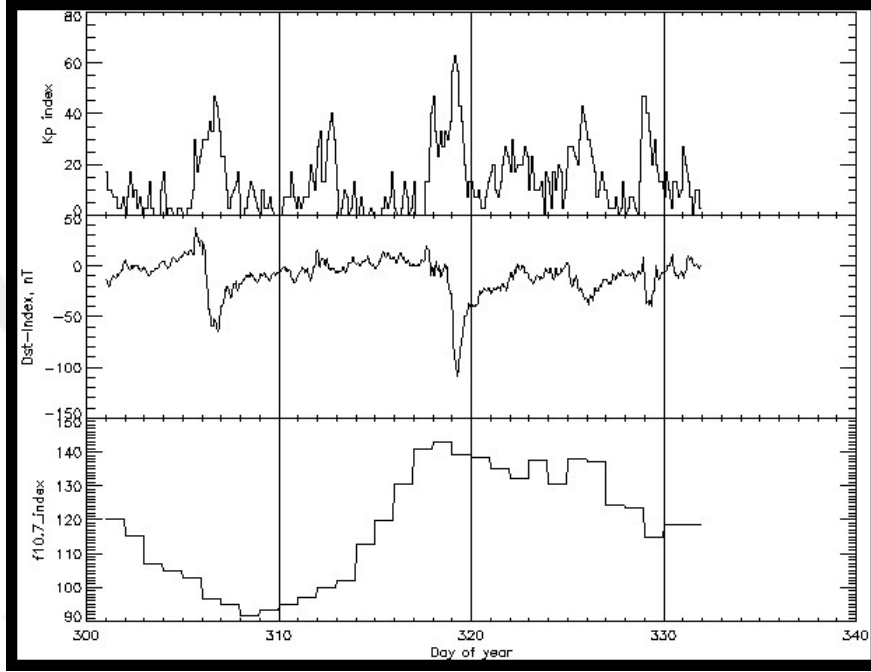
Fark değerleri kullanılarak yapılan analiz sonucu elde edilen anomaliler şekil (5.64)'te gösterilmiştir.



Şekil 5.64 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Çizelge 5.31 Myanmar Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
311	5	1,77	Negatif
311	6	4,64	Negatif
319	2	4,14	Pozitif
319	3	1,54	Pozitif



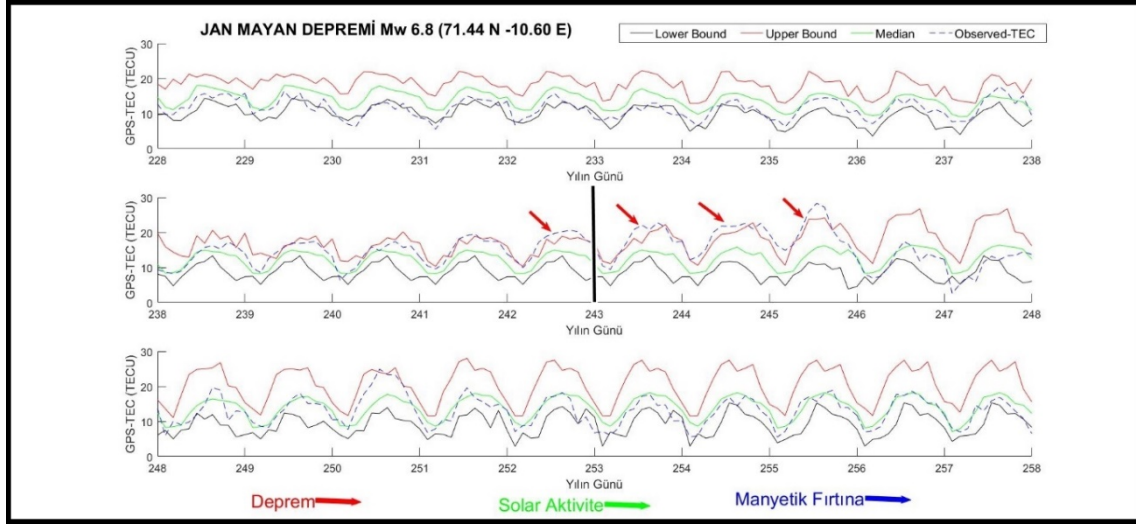
Şekil 5.65 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

Yapılan analiz sonucunda 305, 308, 318, 319, 321 ve 329. günlerde pozitif ve negatif anomaliler tespit edilmiştir (Şekil 5.62 ve Çizelge 5.30). İyonosferik şartlar irdelendiğinde 319. günde şiddetli seviyede jeomanyetik fırtına gerçekleştiği (-108 nT) anlaşılmıştır. Bu sebeple söz konusu gündeki anomalilerin deprem veya jeomanyetik fırtına kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Diğer günlerde iyonosferik koşulların oldukça sakin olduğu, dolayısıyla ilgili günlerde gözlemlenen anomalilerin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

İkinci yöntemde yapılan analiz sonucunda 311 ve 319. günlerde pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir (Şekil 5.64 ve Çizelge 5.31). Diğer yöntemden farklı olarak ortaya çıkan 311. güne ilişkin iyonosferik koşullar irdelendiğinde söz konusu günde şartların oldukça sakin olduğu dolayısıyla söz konusu anomalinin deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.17 JAN MAYAN DEPREMİ

30.08.2012 tarihinde (yılın günü 243) gerçekleşen büyüklüğü 6,8 olan depremin merkez koordinatları 71,44 N, 10,60 E olarak belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda k sabiti 2,35 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.66 Jan Mayan Depremi öncesi, anı ve sonrası GPS-TEC Değişimleri.

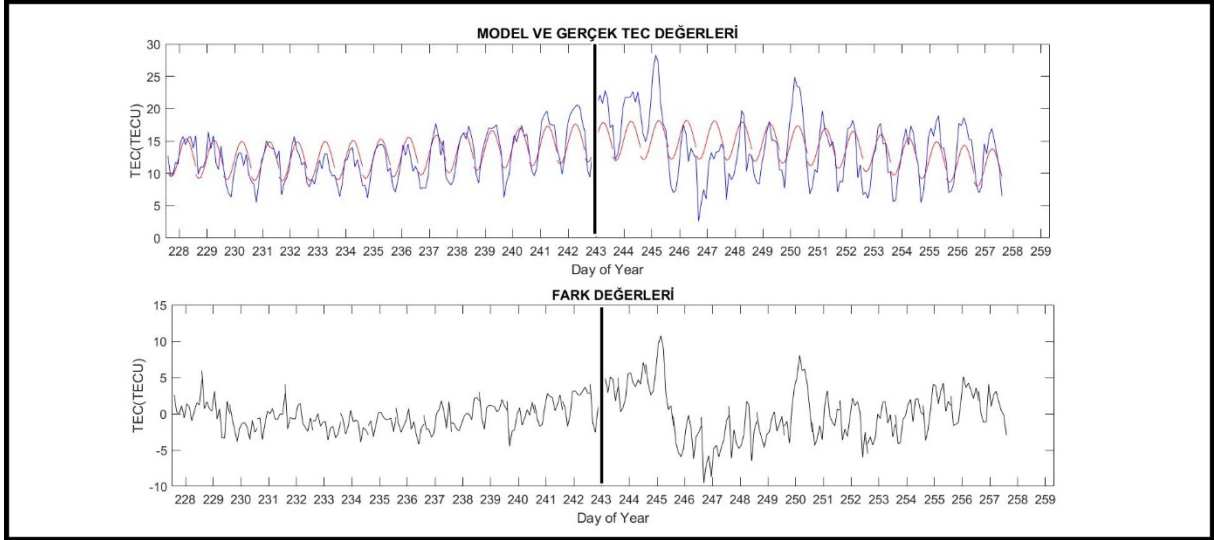
Çizelge 5.32 Jan Mayan Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü	Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
242	1	0,48	Pozitif	245	4	2,13	Pozitif
242	4	4,23	Pozitif	245	5	2,18	Pozitif
242	5	0,81	Pozitif	245	6	4,62	Pozitif
242	6	3,06	Pozitif	245	7	3,02	Pozitif
242	7	1,24	Pozitif	245	8	0,01	Pozitif
242	8	2,45	Pozitif				
242	9	1,67	Pozitif				
242	10	0,14	Pozitif				
243	5	2,48	Pozitif				
243	6	5,22	Pozitif				
243	7	0,67	Pozitif				
243	8	2,07	Pozitif				
244	1	0,15	Pozitif				
244	2	2,39	Pozitif				
244	3	1,37	Pozitif				
244	4	2,70	Pozitif				
244	5	2,30	Pozitif				
244	6	2,01	Pozitif				
244	7	1,54	Pozitif				
244	8	1,16	Pozitif				
244	10	3,94	Pozitif				
244	11	1,80	Pozitif				
245	0	1,80	Pozitif				
245	1	2,97	Pozitif				
245	2	4,29	Pozitif				

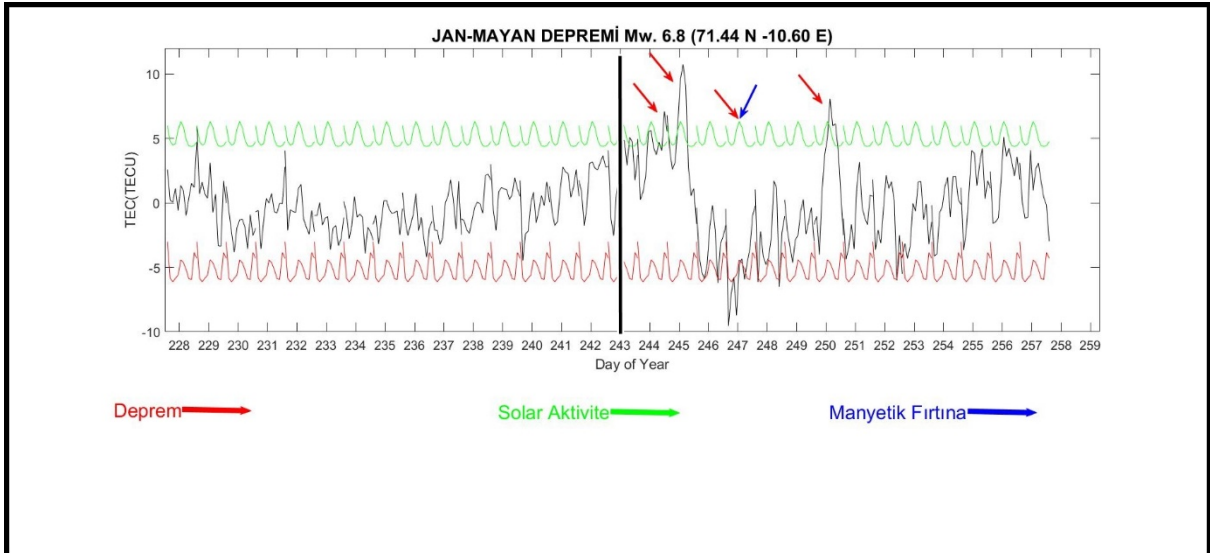
İkinci yöntemde modellenen TEC değerlerinin denklem ve katsayıları (5.17)'de verilmiştir.

$$TEC(x)=14,12*\sin(0,018*x+1,081)+2,16*\sin(0,2*x-2,054)+ 3,047*\sin(6,283*x-2,759) \quad (5.17)$$

Model ve gerçek TEC değerlerinin gösterimi ve arasındaki farklar aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.67 ve 5.68).



Şekil 5.67 Model ve gerçek TEC değerleri ve fark değerlerinin gösterimi.

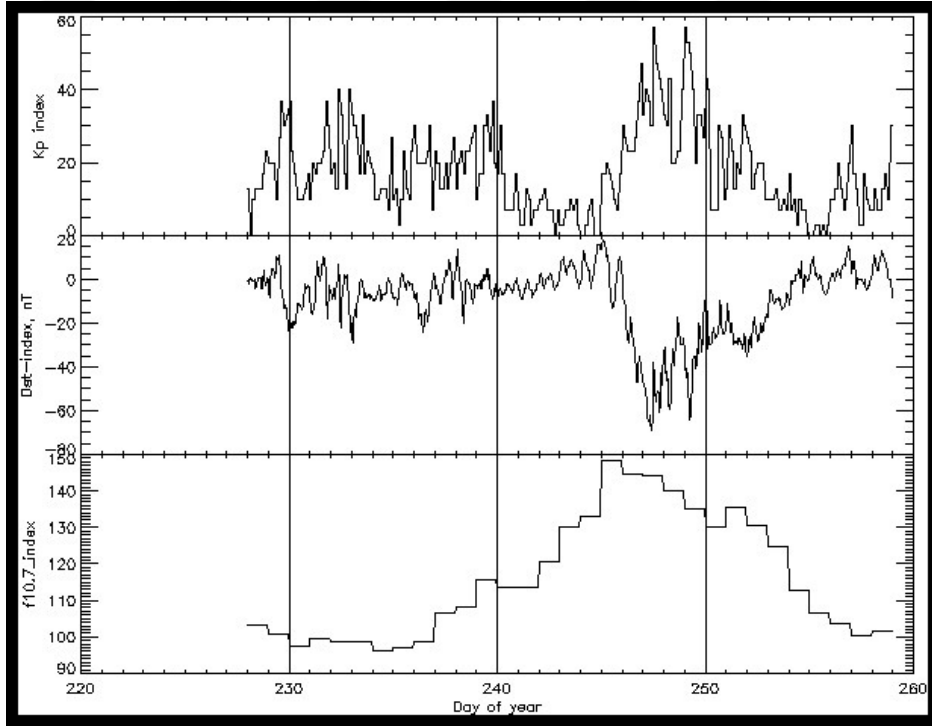


Şekil 5.68 Fark değerleri üzerinden yapılan istatistiksel analizin gösterimi.

Fark değerleri üzerinden yapılan analiz sonucunda 244, 245, 247 ve 250. günlerde pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir. Anomalilerin türü ve miktarı aşağıdaki Çizelge 5.33'de sunulmuştur.

Çizelge 5.33 Jan-Mayan Depremi Anomali Miktarı ve Türü.

Gün	Saat	TEC-Farkı (TECU)	Anomali Türü
244	11	2,66	Pozitif
245	6	3,58	Pozitif
245	7	4,86	Pozitif
245	8	4,10	Pozitif
247	5	3,71	Negatif
247	7	3,12	Negatif
250	7	2,19	Pozitif
250	9	1,70	Pozitif



Şekil 5.69 Analizi Yapılan Günlere İlişkin (Kp*10), Dst ve F10.7 İndislerinin Gösterimi.

Şekil 5.66 ve Çizelge 5.32'de verilen sonuçlar doğrultusunda 230, 231, 233, 242, 243, 244 ve 245. günlerde pozitif ve negatif anomaliler tespit edilmiştir. İyonosferik koşulların söz konusu günlerin tamamında sakin olduğu dolayısıyla gözlemlenen anomalileri deprem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir

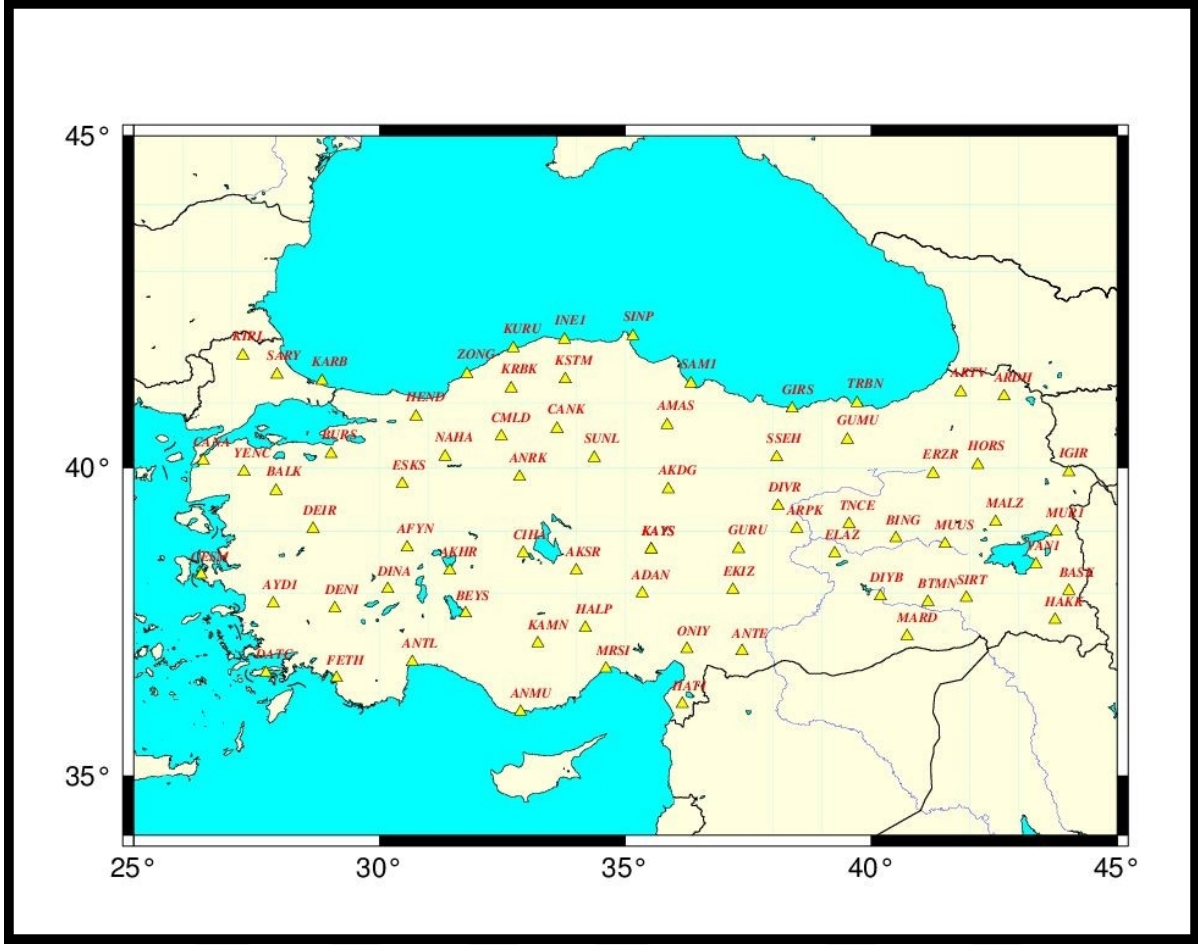
İkinci yöntemle yapılan analiz sonucunda 244, 245, 247 ve 250. günlerde pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir (Şekil 5.68 ve Çizelge 5.33). İlgili günlerdeki iyonosferik koşullar irdelendiğinde 247. günün belirli saatlerinde güçlü derecede manyetik fırtına gerçekleştiği tespit edilirken, diğer günlerde iyonosferik koşulların sakin olduğu görülmüştür.



BÖLÜM 6

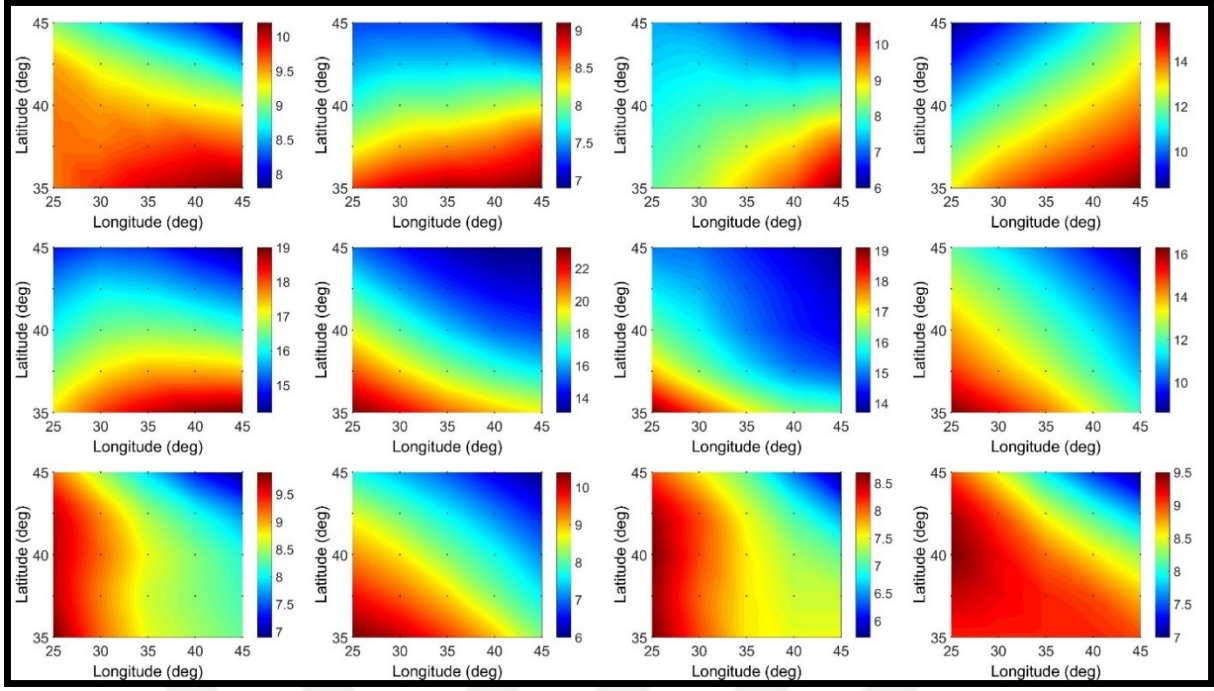
TÜRKİYE İYONOSFER HARİTASININ OLUŞTURULMASI VE İYONOSFERDE MANYETİK FIRTINA KAYNAKLI DEĞİŞİMLERİN İRDELENMESİ

Uydu bazlı iletişim çağının başlamasından bu yana iyonosfer tabakası günlük hayatımızda önemli bir yere sahiptir. İyonosfer tabakasının sahip olduğu sinyal yansıtma özelliği radyo iletişiminin temelini oluşturmaktadır. Bu sebeple iyonosferin günlük ve mevsimsel değişimi çok sayıda bilim insanı tarafından incelenmektedir. Diğer yandan uydu bazlı konumlama sistemlerinin günlük hayatta yaygın olarak kullanılması ve artan yüksek doğruluk gereksinimi iyonosfer tabakasının hassas şekilde modellenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple Türkiye'nin 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin iyonosfer haritaları ve buna bağlı olarak ilgili yıllarda gerçekleşen şiddetli seviyedeki fırtınaların iyonosferde yarattığı değişimler irdelenmiştir. TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait Receiver Independent Exchange (RINEX) verilerinden faydalanılarak tüm Türkiye'nin 15 dakika zamansal, $(0,5^0 \times 0,5^0)$ konum çözünürlüklü TEC değerleri üretilmiştir. Çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

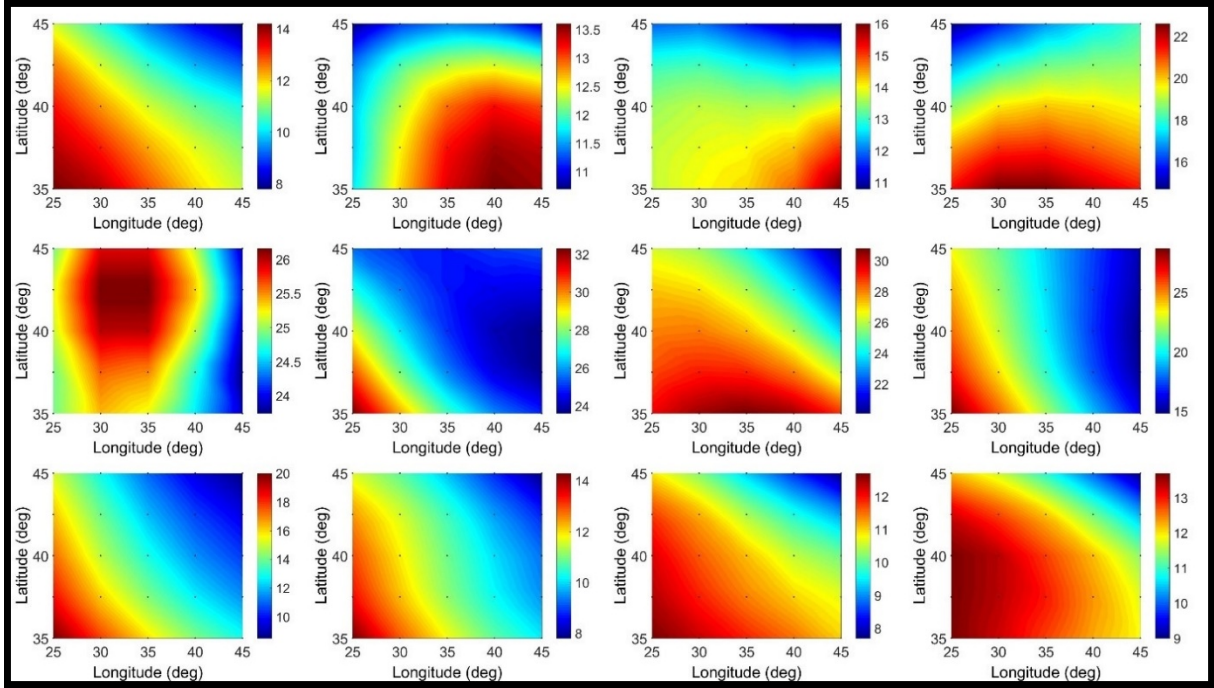


Şekil 6.1 Bölgesel İyonosfer Modellemesinde Kullanılan GPS Ağının Genel Gösterimi.

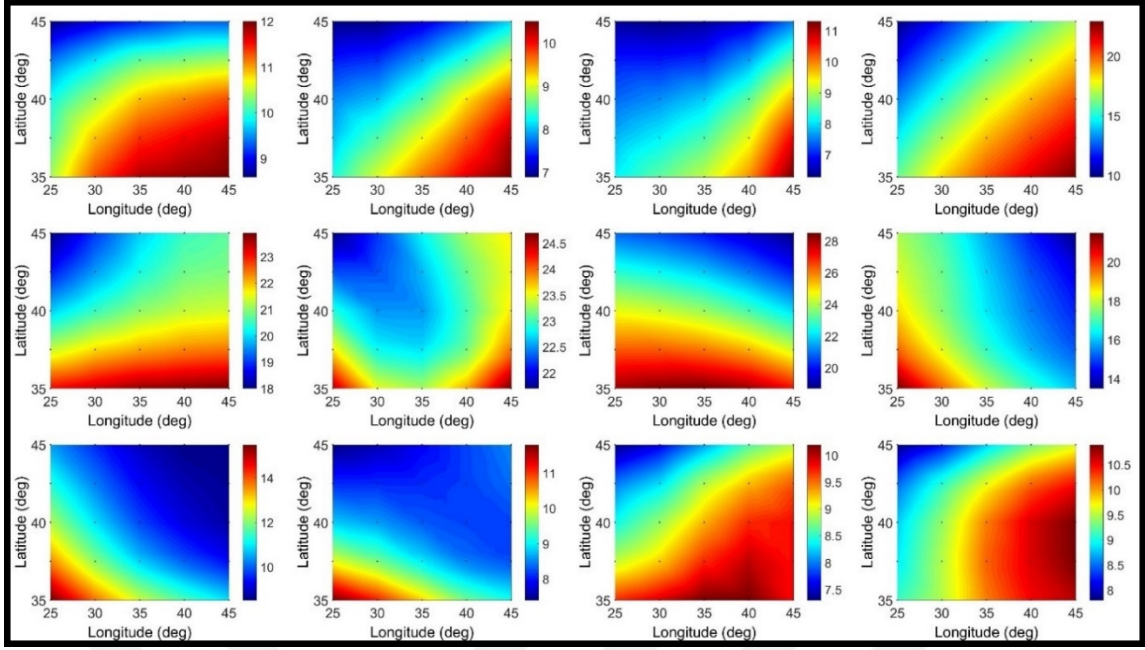
Şekil 6.1’de, analizde kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarına ilişkin gösterim verilmiştir. Söz konusu bölgesel iyonosfer haritası; KIRL, KRBK, HEND, ZONG, KURU, INE1, SINP, SAM1, GIRS, TRBN, ARTV, ARDH, HORS, BASK, HAKK, VAN1, ERZR, MUUS, BTMN, SIRT, MARD, ANTE, ONIY, ADAN, HAT1, CANA, BURS, FETH, ANTL, SARY, ESKS, ANRK, DENI, AKDG, AMAS, BEYS, CANK, HALP, ELAZ, DIVR, ANMU, CMLD, TNCE, DIYB, NAHA, ARPK, BING, AKSR, YENC, KSTM, SUNL, SSEH, GUMU, MALZ, MUR1, IGIR, EKIZ, AKHR, CIHA, GURU, DEIR, CESH, DATC, BALK, DINA KAYS, AFYN, KAMN, MRSI, AYD1 ve KARB istasyonları kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 6.2 01.01.2013 tarihine ait Türkiye İyonosfer Haritaları Örnek Gösterim.

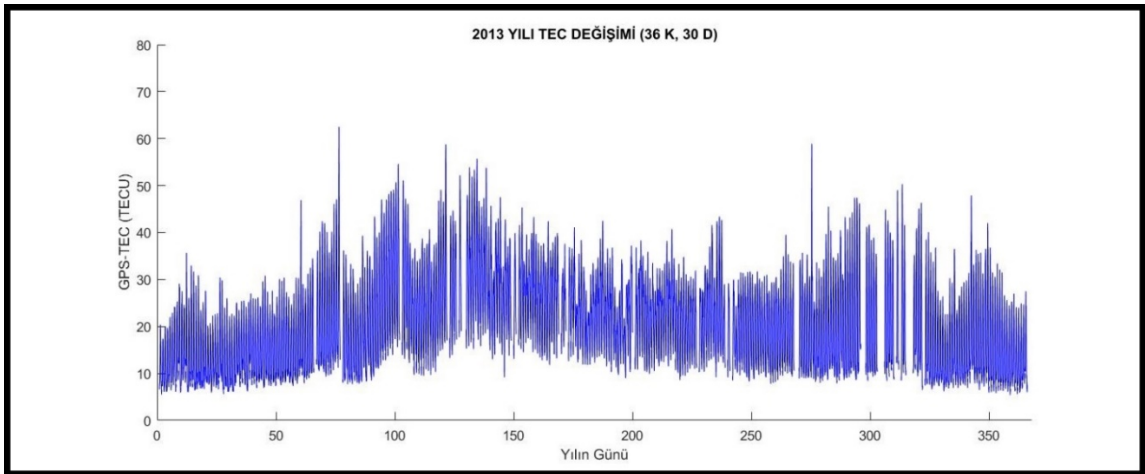


Şekil 6.3 01.01.2014 tarihine ait Türkiye İyonosfer Haritaları Örnek Gösterim.

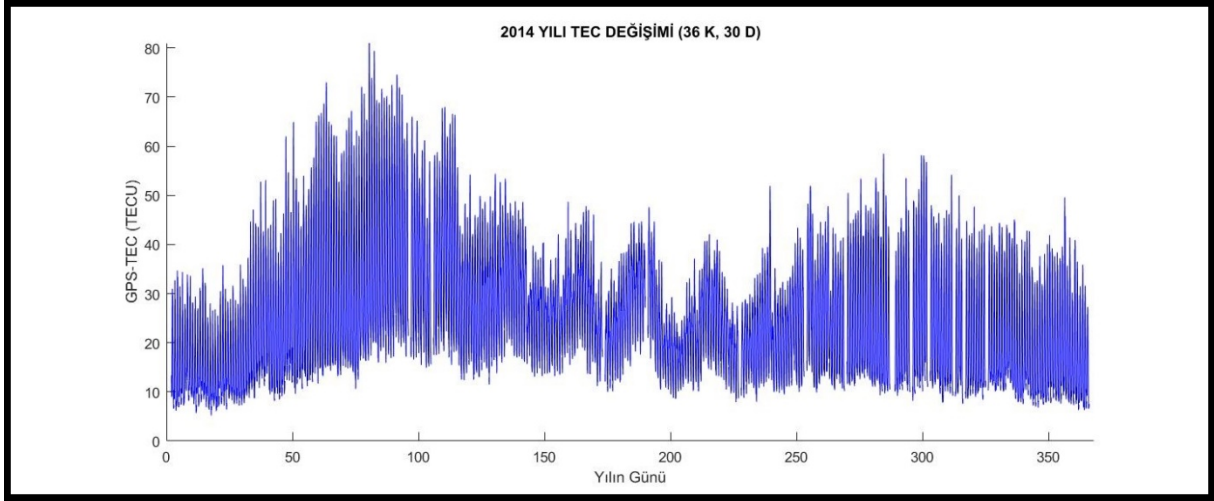


Şekil 6.4 01.01.2015 tarihine ait Türkiye İyonosfer Haritaları Örnek Gösterim.

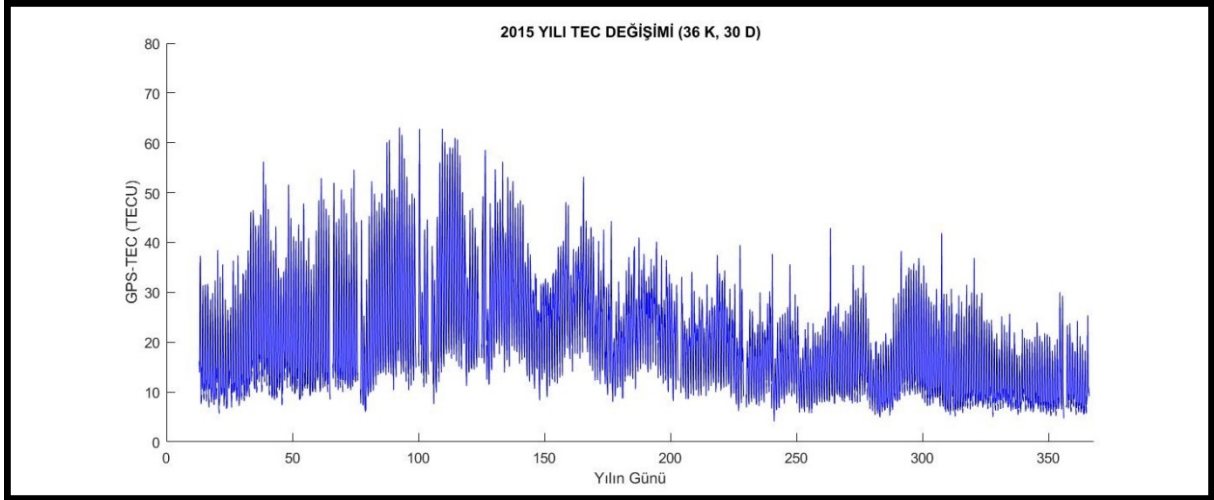
Analizde kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait RINEX dosyalarının veri kayıt aralığı 30 saniye, yükseklik açısı 10^0 'dir. İlgili yıllara ilişkin yapılan bu analiz ile Türkiye üzerindeki ($0,5^0 \times 0,5^0$) konumsal çözünürlükte istenilen noktaya ait TEC değişimi elde edilebilmektedir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen haritalar Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de örnek olarak gösterilmiştir. Diğer yandan Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de (36N, 26E) noktasına ait 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin örnek TEC zaman serisi grafikleri gösterilmiştir. Bernese 5.2 yazılımı kullanılarak elde edilen zaman serilerinde bazı boşluklar görülmektedir. Söz konusu durumun o günlere ait RINEX verilerinin bulunmaması veya uygun kalitede olmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.5 2013 yılına ait TEC Değişimi.

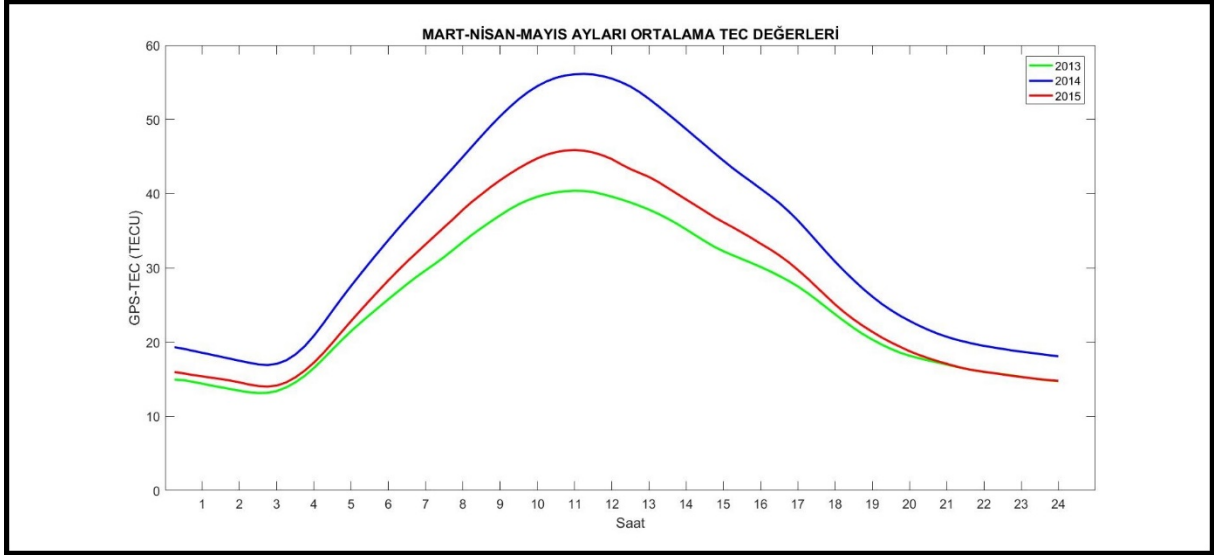


Şekil 6.6 2014 yılına ait TEC Değişimi.

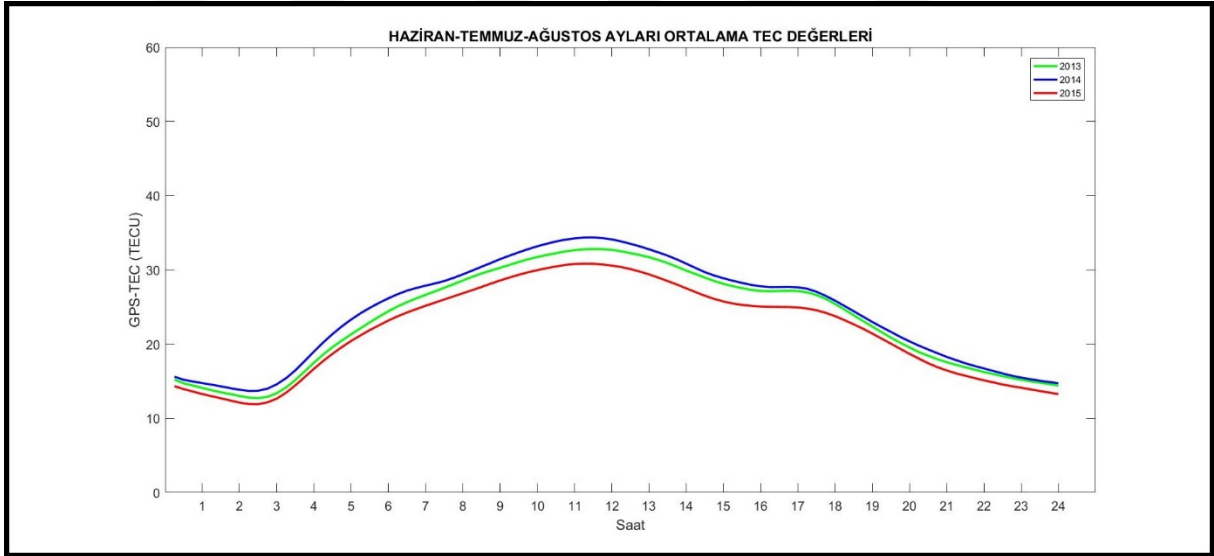


Şekil 6.7 2015 yılına ait TEC Değişimi.

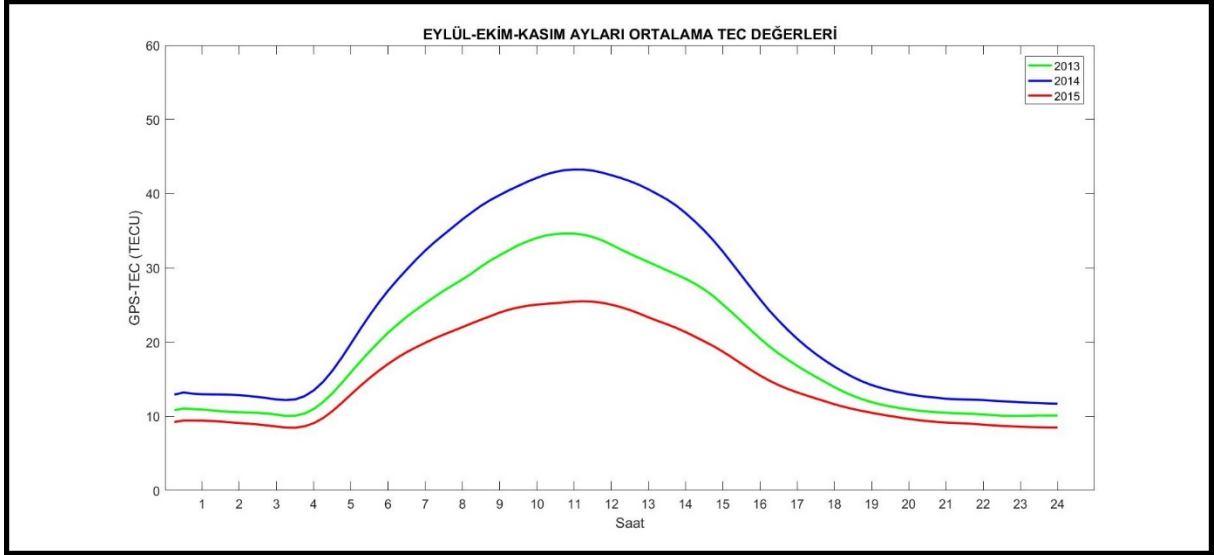
Elde edilen zaman serilerinden faydalanarak ilgili noktadaki TEC değişimi mevsimsel olarak irdelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda dört mevsimin her saatine ilişkin ortalama değerler elde edilmiş ve grafik halinde çizdirilmiştir.



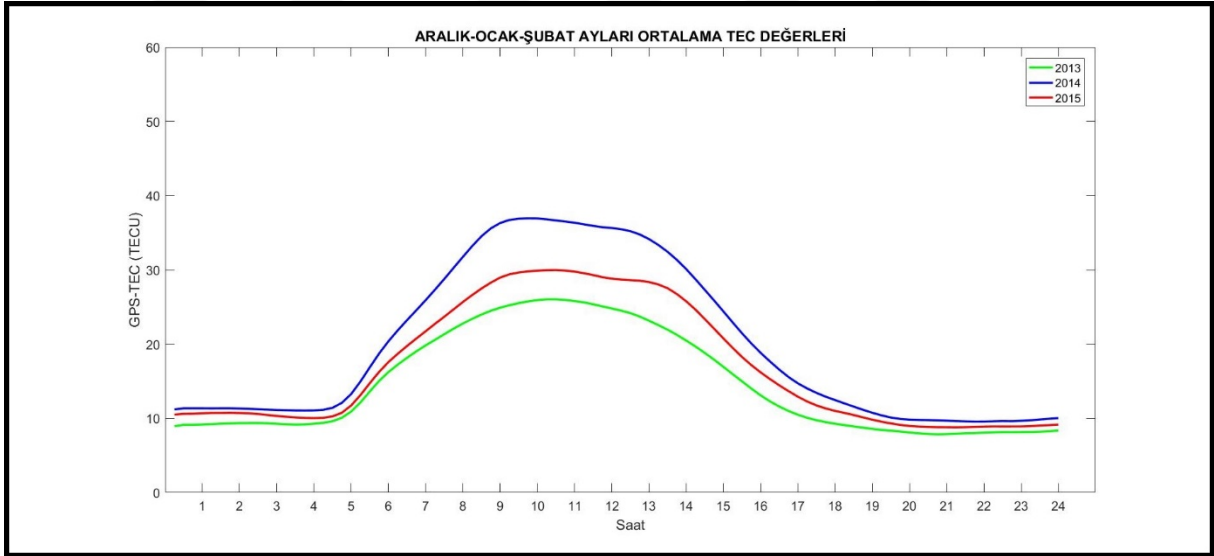
Şekil 6.8 Mart-Nisan-Mayıs ayları TEC değışimleri.



Şekil 6.9 Haziran-Temmuz-Ağustos ayları TEC değışimleri.

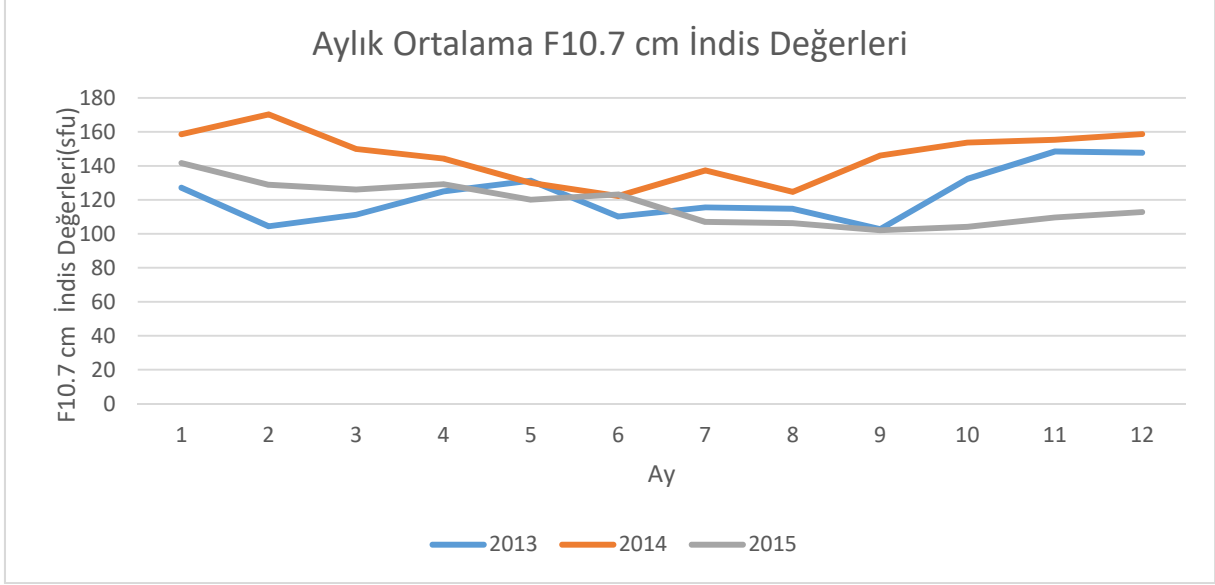


Şekil 6.10 Eylül-Ekim-Kasım ayları TEC değışimleri.



Şekil 6.11 Aralık-Ocak-Şubat ayları TEC değışimleri.

Söz konusu mevsimsel değışimlerin daha iyi açıklanabilmesi için iyonosferik değışimin en önemli sebebi olan güneş aktivitesi hakkında bilgi veren F10.7 cm indisinin 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin aylık ortalama değeri ele alınmıştır.



Şekil 6.12 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin F10.7 cm indis değerleri gösterimi.

2013, 2014 ve 2015 yılları için TUSAGA-Aktif istasyonları kullanılarak yapılan analiz sonucunda mevsimsel TEC değişimleri yukarıda gösterilmiştir. Yeşil renk 2013 yılı ortalama TEC değişimlerini, mavi ve kırmızı renk sırasıyla 2014 ve 2015 yılı ortalama TEC değişimlerini ifade etmektedir. Analizi yapılan üç yıl birbiri ile kıyaslandığında ilkbahar aylarında Türkiye üzerindeki iyonosferik hareketliliğin en fazla olduğu yıl 2014, en az olduğu yıl ise 2013 olarak ortaya çıkmaktadır. Yine benzer şekilde sonbahar aylarında ise 2014 yılı en hareketli yıl olarak göze çarparken, en sakin yılın 2015 yılı olduğu görülmektedir. Yaz ayları için elde edilen grafik incelendiğinde yılların genel olarak birbirine çok benzer davranış sergilediği görülmektedir. Sıralama yapılacak olursa yine en hareketli yılın 2014 daha sonra 2013 ve 2015 olduğu anlaşılmaktadır.

Kış ayları için yapılan analizde en hareketli yılın 2014, daha sonra sırasıyla 2015 ve 2013 yılları olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut TEC değişimlerinin solar aktivite ile ilişkisinin incelenmesi için aynı yıllara ait aylık ortalama solar aktivite değerleri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, 2014 yılının tüm mevsimlerinde solar aktivitenin diğer yıllara daha güçlü olduğu görülmüştür. Kış ve ilkbahar aylarında ise diğer yıllara göre en düşük TEC değerlerinin 2013 yılında elde edildiği, yaz ve sonbahar aylarında diğer yıllara göre en düşük TEC değerlerinin 2015 yılında ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Söz konusu durumun solar aktivite kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3 15 dakika (96 epok) zamansal çözünürlüğe sahip TEC değerlerinin 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin aylık ortalama TEC değerlerini ifade etmektedir. Söz konusu sayısal değerlere ilişkin grafikler sırasıyla Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 2013 Yılı Aylık Ortalama TEC Değerleri Değişimi.

EPOK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1	8,88	9,09	10,95	14,58	19,34	17,42	14,70	13,56	10,94	11,58	9,98	8,83
2	9,14	9,20	11,08	14,59	18,92	16,65	14,03	13,45	10,93	11,66	10,54	9,05
3	9,05	9,24	10,98	14,42	18,53	16,26	13,74	13,23	10,91	11,49	10,53	9,08
4	8,97	9,33	10,87	14,20	18,12	15,90	13,44	12,94	10,89	11,37	10,48	9,20
5	8,91	9,40	10,78	13,98	17,66	15,52	13,13	12,70	10,86	11,25	10,32	9,35
6	8,87	9,45	10,75	13,77	17,20	15,14	12,84	12,53	10,76	11,17	10,14	9,50
7	8,86	9,50	10,76	13,57	16,71	14,83	12,58	12,40	10,65	11,12	10,01	9,59
8	8,85	9,57	10,77	13,35	16,22	14,55	12,29	12,18	10,53	11,14	9,97	9,63
9	8,82	9,62	10,74	13,09	15,90	14,36	12,09	11,91	10,36	11,11	10,05	9,64
10	8,81	9,65	10,66	12,83	15,90	14,48	12,04	11,63	10,21	11,00	10,19	9,64
11	8,81	9,59	10,51	12,60	16,36	14,99	12,26	11,44	10,04	10,79	10,33	9,59
12	8,80	9,45	10,29	12,53	17,40	15,82	12,85	11,48	9,82	10,46	10,40	9,53
13	8,79	9,26	10,09	12,79	18,80	16,89	13,74	11,85	9,66	10,09	10,43	9,53
14	8,78	9,14	9,92	13,46	20,36	18,06	14,84	12,63	9,93	9,86	10,47	9,54
15	8,82	9,10	9,92	14,51	21,95	19,19	16,04	13,75	10,64	9,97	10,50	9,62
16	8,88	9,13	10,29	15,80	23,48	20,33	17,27	14,93	11,78	10,65	10,54	9,80
17	8,94	9,21	11,16	17,16	24,94	21,42	18,40	16,03	13,10	11,91	10,77	10,03
18	9,02	9,51	12,33	18,52	26,24	22,37	19,44	17,00	14,34	13,52	11,44	10,32
19	9,22	10,22	13,65	19,81	27,43	23,20	20,39	17,88	15,41	15,24	12,76	10,80
20	9,75	11,30	14,98	21,08	28,44	23,99	21,27	18,74	16,29	16,92	14,59	11,72
21	10,73	12,58	16,23	22,29	29,31	24,70	22,11	19,59	17,00	18,53	16,58	13,15
22	12,13	13,88	17,36	23,54	30,16	25,46	22,86	20,49	17,64	20,07	18,47	14,88
23	13,62	15,01	18,40	24,82	30,99	26,16	23,54	21,40	18,31	21,51	20,28	16,50
24	14,94	15,95	19,40	26,17	31,78	26,80	24,21	22,29	19,05	22,86	21,91	17,80
25	16,11	16,78	20,36	27,46	32,58	27,38	24,77	23,12	19,79	24,04	23,30	18,82
26	17,23	17,61	21,38	28,68	33,39	27,94	25,20	23,82	20,62	25,07	24,53	19,63
27	18,30	18,42	22,37	29,87	34,11	28,49	25,56	24,44	21,42	26,03	25,59	20,36
28	19,25	19,12	23,23	31,03	34,76	29,01	25,88	25,04	22,24	26,96	26,53	21,11
29	20,06	19,74	24,03	32,18	35,44	29,49	26,25	25,60	23,05	27,91	27,35	21,92
30	20,88	20,38	24,94	33,30	36,19	29,99	26,64	26,14	23,82	28,89	28,08	22,75
31	21,67	21,01	25,95	34,36	37,12	30,50	27,11	26,62	24,47	29,96	28,68	23,54
32	22,38	21,61	27,00	35,39	38,09	31,06	27,56	27,10	25,05	31,04	29,26	24,35
33	22,96	22,16	28,13	36,33	38,96	31,66	27,99	27,53	25,64	32,23	29,94	25,09
34	23,47	22,64	29,22	37,19	39,72	32,23	28,37	27,94	26,28	33,58	30,67	25,84
35	23,88	22,99	30,27	37,97	40,48	32,62	28,71	28,36	26,96	34,83	31,21	26,61
36	24,12	23,21	31,27	38,72	41,24	32,98	29,06	28,80	27,57	35,92	31,63	27,38
37	24,19	23,46	32,26	39,43	41,94	33,30	29,37	29,33	28,21	36,75	32,20	28,06
38	24,06	23,82	33,20	39,98	42,52	33,71	29,65	29,83	28,81	37,39	32,95	28,68
39	23,85	24,22	33,91	40,51	42,97	34,10	29,90	30,28	29,31	37,86	33,56	29,19
40	23,56	24,64	34,44	41,00	43,31	34,38	30,13	30,71	29,81	38,15	34,13	29,58
41	23,28	25,11	34,84	41,39	43,55	34,45	30,37	31,17	30,25	38,19	34,70	29,71
42	23,10	25,48	35,13	41,60	43,79	34,59	30,60	31,54	30,64	37,91	35,11	29,52
43	22,92	25,77	35,32	41,70	43,96	34,71	30,87	31,88	30,91	37,45	35,52	29,15

Çizelge 6.1 (devam ediyor)

EPOK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
44	22,75	25,94	35,39	41,77	44,01	34,69	31,13	32,14	31,06	36,91	35,87	28,72
45	22,54	25,97	35,38	41,74	43,96	34,73	31,30	32,27	31,05	36,39	35,96	28,35
46	22,27	25,83	35,15	41,69	43,82	34,78	31,34	32,31	30,86	35,97	35,66	27,99
47	22,01	25,54	34,78	41,50	43,52	34,81	31,21	32,36	30,58	35,54	35,05	27,67
48	21,78	25,13	34,34	41,31	43,14	34,75	31,00	32,34	30,19	35,03	34,18	27,49
49	21,44	24,68	33,88	41,05	42,76	34,57	30,71	32,23	29,73	34,50	33,28	27,41
50	21,00	24,20	33,40	40,69	42,34	34,29	30,42	32,06	29,29	34,00	32,42	27,33
51	20,52	23,56	32,93	40,26	41,89	34,03	30,14	31,83	28,88	33,51	31,62	27,05
52	19,95	22,85	32,47	39,70	41,37	33,84	29,80	31,49	28,49	33,00	30,86	26,66
53	19,28	22,19	32,05	39,02	40,78	33,60	29,34	31,08	28,19	32,46	30,03	26,23
54	18,58	21,59	31,52	38,27	40,14	33,33	28,84	30,59	27,95	31,87	29,16	25,66
55	17,87	21,03	30,96	37,46	39,42	32,85	28,31	30,12	27,79	31,25	28,29	24,83
56	17,20	20,51	30,31	36,60	38,62	32,28	27,83	29,61	27,56	30,66	27,37	23,72
57	16,58	19,99	29,61	35,76	37,78	31,74	27,49	29,10	27,25	30,07	26,28	22,46
58	15,92	19,50	28,88	34,99	36,94	31,10	27,14	28,64	26,90	29,41	24,95	21,00
59	15,27	18,99	28,07	34,26	36,24	30,53	26,84	28,16	26,57	28,56	23,41	19,44
60	14,56	18,43	27,25	33,71	35,77	30,10	26,57	27,68	26,23	27,48	21,50	17,81
61	13,75	17,83	26,40	33,29	35,42	29,83	26,33	27,27	25,87	26,24	19,77	16,27
62	12,94	17,11	25,50	32,93	35,13	29,48	26,14	27,00	25,45	24,85	18,12	14,89
63	12,17	16,24	24,58	32,54	34,89	29,03	26,09	26,80	24,96	23,33	16,62	13,63
64	11,44	15,25	23,55	32,10	34,73	28,66	26,16	26,66	24,42	21,73	15,33	12,59
65	10,74	14,26	22,40	31,61	34,63	28,56	26,27	26,53	23,81	20,18	14,29	11,86
66	10,17	13,29	21,12	31,12	34,52	28,66	26,38	26,43	23,14	18,78	13,48	11,31
67	9,71	12,36	19,80	30,58	34,39	28,80	26,44	26,30	22,39	17,60	12,85	10,90
68	9,41	11,53	18,53	29,90	34,09	28,93	26,43	26,09	21,47	16,61	12,32	10,53
69	9,18	10,84	17,33	29,05	33,58	28,81	26,34	25,76	20,38	15,80	11,93	10,20
70	8,98	10,36	16,26	28,01	32,88	28,45	26,16	25,26	19,17	15,12	11,67	9,88
71	8,79	10,07	15,30	26,88	31,99	27,90	25,80	24,59	17,96	14,53	11,38	9,60
72	8,60	9,87	14,45	25,69	31,12	27,17	25,29	23,78	16,84	13,94	11,02	9,34
73	8,41	9,72	13,73	24,45	30,25	26,44	24,72	22,83	15,83	13,37	10,70	9,12
74	8,23	9,58	13,17	23,17	29,37	25,74	24,06	21,89	15,03	12,85	10,43	8,91
75	8,04	9,51	12,79	21,94	28,48	25,04	23,33	20,99	14,33	12,40	10,16	8,68
76	7,83	9,43	12,55	20,83	27,66	24,36	22,59	20,16	13,77	12,02	9,95	8,47
77	7,66	9,34	12,33	19,94	26,76	23,58	21,85	19,39	13,30	11,67	9,78	8,30
78	7,57	9,25	12,12	19,24	25,90	22,88	21,10	18,63	12,93	11,43	9,64	8,17
79	7,57	9,08	11,93	18,70	25,08	22,33	20,30	17,92	12,61	11,25	9,49	8,01
80	7,59	8,86	11,78	18,29	24,43	21,89	19,51	17,26	12,34	11,04	9,42	7,83
81	7,63	8,64	11,70	17,98	23,84	21,24	18,77	16,76	12,10	10,86	9,37	7,65
82	7,65	8,48	11,62	17,75	23,22	20,84	18,14	16,32	11,90	10,71	9,32	7,53
83	7,67	8,36	11,52	17,58	22,68	20,33	17,61	15,96	11,75	10,61	9,27	7,52
84	7,73	8,34	11,39	17,37	22,16	19,86	17,18	15,64	11,67	10,56	9,20	7,55
85	7,82	8,39	11,25	17,16	21,64	19,53	16,76	15,34	11,59	10,52	9,16	7,56
86	7,87	8,49	11,12	16,90	21,20	19,25	16,33	15,05	11,53	10,46	9,15	7,58
87	7,85	8,55	11,00	16,64	20,88	18,96	15,92	14,79	11,48	10,39	9,09	7,65
88	7,84	8,60	10,94	16,33	20,63	18,63	15,55	14,54	11,41	10,31	9,00	7,76
89	7,77	8,65	10,92	16,16	20,41	18,38	15,29	14,26	11,36	10,29	8,87	7,93
90	7,72	8,66	10,96	15,96	20,17	18,01	15,04	13,98	11,29	10,18	8,79	8,05
91	7,70	8,65	11,00	15,71	19,85	17,68	14,85	13,75	11,20	10,21	8,78	8,06
92	7,73	8,67	10,96	15,50	19,55	17,43	14,63	13,54	11,08	10,23	8,87	8,05
93	7,78	8,69	10,90	15,22	19,28	17,18	14,44	13,37	11,00	10,24	9,00	8,01
94	7,89	8,73	10,77	15,11	19,04	16,91	14,29	13,19	10,96	10,26	9,13	7,97
95	8,04	8,75	10,70	15,03	18,79	16,62	14,18	13,06	10,90	10,20	9,23	7,97
96	8,21	8,84	10,61	14,99	18,54	16,30	14,02	12,91	10,88	10,14	9,30	8,03

Çizelge 6.2 2014 Yılı Aylık Ortalama TEC Değerleri Değişimi.

EPOK	OCAK	SUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1	9,92	13,67	18,74	20,56	18,65	16,73	15,97	14,11	14,12	13,21	11,48	9,98
2	9,82	13,99	18,76	20,45	18,07	16,18	15,53	13,85	14,09	13,57	11,95	10,25
3	9,71	14,08	18,66	20,09	17,71	16,00	15,24	13,63	13,96	13,47	11,73	10,28
4	9,65	14,13	18,60	19,72	17,34	15,77	15,00	13,45	13,86	13,42	11,66	10,27
5	9,66	14,17	18,52	19,38	16,98	15,54	14,78	13,28	13,70	13,46	11,70	10,20
6	9,73	14,19	18,39	19,05	16,63	15,24	14,57	13,10	13,45	13,55	11,83	10,13
7	9,84	14,15	18,20	18,75	16,31	14,93	14,35	12,91	13,19	13,59	11,94	10,06
8	9,95	14,05	17,92	18,48	16,03	14,70	14,17	12,67	13,02	13,51	12,00	9,95
9	10,05	13,91	17,62	18,21	15,85	14,63	14,03	12,41	12,96	13,29	11,99	9,87
10	10,09	13,75	17,30	17,87	15,82	14,92	14,08	12,14	12,88	12,98	11,95	9,81
11	10,07	13,64	16,98	17,55	16,21	15,65	14,43	11,92	12,70	12,61	12,05	9,79
12	9,98	13,57	16,62	17,49	17,11	16,78	15,08	11,90	12,46	12,32	12,03	9,81
13	9,95	13,45	16,22	17,90	18,48	17,96	16,02	12,24	12,38	12,20	11,98	9,88
14	9,90	13,31	15,96	18,94	20,10	19,23	17,21	12,99	12,65	12,29	11,90	9,98
15	9,88	13,21	16,07	20,50	21,76	20,63	18,53	14,01	13,58	12,71	11,84	10,07
16	9,88	13,11	16,85	22,40	23,36	21,94	19,83	15,25	15,08	13,58	11,84	10,21
17	9,91	13,15	18,30	24,37	24,88	23,06	21,06	16,58	16,78	14,97	12,17	10,37
18	10,02	13,56	20,30	26,19	26,27	24,08	22,11	17,91	18,40	16,93	13,07	10,69
19	10,31	14,62	22,53	27,84	27,51	25,01	23,02	19,17	19,84	19,17	14,65	11,36
20	10,99	16,41	24,84	29,34	28,60	25,87	23,82	20,27	21,19	21,34	16,86	12,47
21	12,21	18,70	27,11	30,84	29,58	26,66	24,53	21,28	22,64	23,38	19,21	14,03
22	13,86	20,98	29,38	32,34	30,49	27,34	25,11	22,21	24,12	25,28	21,40	15,80
23	15,52	23,11	31,60	33,82	31,34	27,98	25,60	23,10	25,66	27,02	23,35	17,58
24	16,82	25,09	33,79	35,31	32,17	28,52	26,08	23,92	27,07	28,71	25,04	19,24
25	17,80	26,92	35,91	36,83	32,95	28,99	26,52	24,68	28,39	30,29	26,53	20,84
26	18,67	28,64	38,05	38,28	33,65	29,37	26,92	25,32	29,57	31,87	27,88	22,39
27	19,50	30,35	40,13	39,71	34,29	29,71	27,16	25,82	30,63	33,44	29,25	23,85
28	20,38	32,08	42,17	41,15	34,94	29,96	27,38	26,29	31,55	34,89	30,59	25,31
29	21,34	33,79	44,15	42,58	35,67	30,19	27,57	26,75	32,31	36,11	32,00	26,86
30	22,41	35,47	46,06	44,00	36,48	30,44	27,80	27,25	32,91	37,17	33,45	28,45
31	23,60	37,10	47,89	45,44	37,34	30,79	28,16	27,83	33,50	38,16	34,89	30,11
32	24,88	38,66	49,74	46,89	38,24	31,30	28,55	28,34	34,14	39,31	36,18	31,72
33	26,24	40,12	51,63	48,40	39,09	31,96	28,94	28,81	34,78	40,37	37,29	33,26
34	27,48	41,57	53,58	49,88	39,85	32,67	29,31	29,27	35,39	41,53	38,20	34,55
35	28,36	42,95	55,50	51,37	40,54	33,38	29,69	29,71	35,99	42,61	38,83	35,46
36	28,80	44,25	57,34	52,78	41,15	34,05	30,10	30,19	36,63	43,60	39,20	35,88
37	28,83	45,47	59,11	54,08	41,68	34,63	30,49	30,61	37,36	44,54	39,47	35,88
38	28,60	46,50	60,84	55,18	42,16	35,11	30,92	31,06	38,10	45,30	39,72	35,58
39	28,33	47,29	62,38	56,13	42,54	35,53	31,40	31,44	38,78	45,97	40,11	35,20
40	28,05	47,85	63,75	56,96	42,75	35,90	31,87	31,77	39,33	46,48	40,59	34,88
41	27,73	48,06	64,92	57,62	42,84	36,19	32,32	32,04	39,73	47,00	41,06	34,65
42	27,48	48,00	65,77	58,14	42,91	36,45	32,77	32,27	39,97	47,35	41,48	34,50
43	27,38	47,76	66,31	58,52	42,93	36,59	33,20	32,41	40,09	47,47	41,94	34,40
44	27,38	47,32	66,61	58,70	42,90	36,66	33,58	32,49	40,01	47,39	42,36	34,35
45	27,44	46,66	66,74	58,78	42,87	36,63	33,86	32,55	39,85	47,24	42,65	34,32
46	27,55	45,87	66,60	58,80	42,75	36,53	34,02	32,54	39,57	46,97	42,77	34,36
47	27,69	45,09	66,26	58,68	42,56	36,36	34,05	32,43	39,09	46,74	42,68	34,47
48	27,75	44,44	65,72	58,42	42,37	36,15	33,90	32,27	38,57	46,50	42,39	34,72
49	27,69	43,82	64,97	57,96	42,16	35,90	33,59	32,02	38,03	46,36	41,97	34,93
50	27,52	43,08	64,14	57,31	41,87	35,67	33,18	31,69	37,53	46,11	41,42	35,04
51	27,11	42,30	63,17	56,47	41,37	35,39	32,72	31,40	37,08	45,77	40,71	34,92
52	26,43	41,47	62,10	55,53	40,68	35,00	32,19	31,13	36,60	45,29	39,84	34,54
53	25,55	40,67	60,93	54,54	39,90	34,49	31,72	30,86	36,12	44,77	38,83	33,87
54	24,49	39,90	59,73	53,49	39,11	33,91	31,26	30,59	35,72	44,23	37,70	32,91
55	23,30	39,11	58,53	52,35	38,36	33,21	30,77	30,24	35,29	43,53	36,33	31,62
56	22,00	38,24	57,26	51,20	37,61	32,44	30,24	29,85	34,87	42,60	34,65	30,08
57	20,68	37,17	55,93	50,10	36,83	31,66	29,66	29,46	34,51	41,42	32,82	28,35
58	19,47	35,90	54,52	49,01	36,17	30,95	29,09	29,05	34,21	40,03	30,86	26,55

Çizelge 6.2 (devam ediyor)

EPOK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
59	18,49	34,41	52,97	47,88	35,60	30,33	28,65	28,75	33,90	38,47	28,67	24,71
60	17,63	32,76	51,47	46,72	35,15	29,82	28,31	28,48	33,49	36,73	26,37	22,82
61	16,74	31,01	49,90	45,61	34,80	29,44	28,02	28,16	32,96	34,80	24,04	20,99
62	15,81	29,26	48,31	44,62	34,57	29,14	27,71	27,87	32,39	32,68	21,86	19,29
63	14,92	27,57	46,68	43,68	34,44	28,88	27,45	27,59	31,70	30,45	19,97	17,77
64	14,07	25,91	44,94	42,77	34,30	28,70	27,31	27,34	30,82	28,13	18,37	16,49
65	13,32	24,24	43,09	41,91	34,21	28,57	27,30	27,18	29,73	25,93	17,10	15,44
66	12,59	22,64	41,05	41,08	34,13	28,49	27,47	27,11	28,60	23,95	16,14	14,46
67	11,92	21,18	38,79	40,11	33,99	28,40	27,67	27,06	27,31	22,15	15,41	13,60
68	11,32	19,96	36,48	38,89	33,79	28,36	27,70	26,90	25,89	20,61	14,82	12,87
69	10,80	19,00	34,21	37,39	33,49	28,24	27,55	26,58	24,48	19,30	14,34	12,27
70	10,32	18,18	32,07	35,74	33,03	27,94	27,19	26,02	23,09	18,18	13,91	11,78
71	9,85	17,56	30,15	34,04	32,43	27,44	26,73	25,31	21,83	17,20	13,49	11,32
72	9,40	17,10	28,55	32,36	31,62	26,89	26,19	24,47	20,66	16,34	13,10	10,88
73	8,99	16,61	27,21	30,80	30,67	26,39	25,66	23,39	19,61	15,54	12,71	10,44
74	8,71	16,02	26,13	29,33	29,58	25,92	25,16	22,21	18,73	14,79	12,33	10,01
75	8,53	15,31	25,13	28,02	28,43	25,47	24,62	21,02	18,00	14,12	11,97	9,61
76	8,45	14,56	24,24	26,88	27,30	24,92	24,05	19,98	17,34	13,64	11,67	9,24
77	8,37	13,89	23,40	25,91	26,19	24,33	23,48	19,10	16,72	13,30	11,47	8,93
78	8,33	13,29	22,69	25,13	25,11	23,68	22,87	18,39	16,11	13,07	11,31	8,69
79	8,36	12,80	22,01	24,53	24,09	23,01	22,15	17,78	15,59	12,93	11,18	8,59
80	8,38	12,51	21,38	24,08	23,13	22,40	21,54	17,16	15,08	12,78	11,06	8,57
81	8,35	12,38	20,75	23,64	22,31	21,87	20,93	16,59	14,70	12,69	10,97	8,62
82	8,30	12,31	20,25	23,16	21,58	21,38	20,26	16,18	14,42	12,56	10,90	8,68
83	8,22	12,28	19,77	22,70	20,98	20,88	19,60	15,82	14,26	12,39	10,86	8,69
84	8,14	12,27	19,40	22,30	20,45	20,36	18,99	15,48	14,09	12,23	10,80	8,64
85	8,02	12,32	19,11	21,97	19,93	19,79	18,52	15,21	13,96	12,17	10,79	8,54
86	7,94	12,34	18,94	21,67	19,48	19,29	18,03	14,92	13,81	12,16	10,82	8,47
87	7,92	12,30	18,83	21,30	19,09	18,87	17,62	14,66	13,65	12,17	10,87	8,44
88	8,02	12,24	18,74	20,94	18,79	18,43	17,29	14,43	13,51	12,15	10,90	8,41
89	8,16	12,15	18,65	20,65	18,55	17,98	16,95	14,21	13,41	12,07	10,84	8,47
90	8,29	12,05	18,48	20,44	18,33	17,54	16,64	13,95	13,32	12,01	10,78	8,55
91	8,42	12,00	18,28	20,28	18,08	17,15	16,35	13,71	13,20	11,93	10,77	8,41
92	8,54	12,01	18,07	20,15	17,90	16,82	16,18	13,46	13,04	11,86	10,75	8,45
93	8,64	12,06	17,92	20,02	17,74	16,60	15,98	13,23	12,88	11,72	10,90	8,52
94	8,70	12,18	17,77	19,85	17,56	16,41	15,71	13,08	12,76	11,56	11,06	8,64
95	8,75	12,31	17,61	19,67	17,43	16,23	15,48	12,97	12,68	11,48	11,06	8,76
96	8,77	12,45	17,50	19,46	17,29	16,08	15,23	12,85	12,61	11,49	11,01	8,87

Çizelge 6.3 2015 Yılı Aylık Ortalama TEC Değerleri Değişimi.

EPOK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1	10,60	12,83	13,73	16,54	17,66	16,64	14,85	11,47	9,69	9,36	8,63	8,07
2	10,85	12,84	13,84	16,43	17,05	15,96	14,53	11,32	9,70	9,89	8,74	8,13
3	11,01	12,79	13,77	16,20	16,71	15,54	14,28	10,97	9,59	9,93	8,79	8,07
4	11,25	12,77	13,70	16,01	16,44	15,14	14,00	10,66	9,48	9,94	8,86	8,01
5	11,46	12,75	13,60	15,82	16,16	14,76	13,74	10,44	9,36	9,88	8,89	7,98
6	11,50	12,74	13,49	15,62	15,96	14,39	13,49	10,20	9,24	9,75	8,89	7,95
7	11,47	12,82	13,37	15,36	15,72	14,04	13,15	10,01	9,12	9,60	8,85	7,96
8	11,29	12,92	13,19	15,09	15,43	13,81	12,72	9,81	9,03	9,47	8,79	7,95
9	11,06	13,04	12,93	14,80	15,15	13,80	12,30	9,66	8,91	9,39	8,70	7,92
10	10,88	13,03	12,65	14,54	15,05	14,12	12,09	9,49	8,76	9,35	8,61	7,82
11	10,71	12,91	12,33	14,35	15,36	14,89	12,27	9,29	8,55	9,32	8,45	7,74
12	10,59	12,71	11,97	14,35	16,10	15,93	12,85	9,19	8,32	9,26	8,28	7,64
13	10,53	12,48	11,68	14,84	17,17	17,11	13,78	9,47	8,16	9,21	8,11	7,62
14	10,54	12,22	11,54	15,81	18,42	18,34	14,92	10,10	8,25	9,17	7,99	7,60
15	10,52	12,01	11,62	17,09	19,77	19,48	16,20	10,99	8,75	9,23	7,96	7,64
16	10,55	11,89	12,14	18,52	21,08	20,56	17,44	12,05	9,58	9,55	8,10	7,65
17	10,62	11,93	13,18	20,03	22,35	21,59	18,57	13,06	10,50	10,29	8,49	7,66
18	10,75	12,33	14,73	21,51	23,58	22,52	19,57	14,03	11,44	11,41	9,24	7,71
19	11,09	13,21	16,57	22,96	24,73	23,43	20,44	14,96	12,37	12,58	10,42	7,97
20	11,85	14,76	18,40	24,39	25,79	24,29	21,19	15,82	13,26	13,72	11,85	8,61
21	13,08	16,71	20,17	25,81	26,82	25,12	21,83	16,58	14,13	14,76	13,36	9,65
22	14,63	18,74	21,86	27,28	27,79	26,03	22,41	17,24	14,96	15,75	14,75	10,87
23	16,23	20,59	23,47	28,75	28,76	26,85	22,96	17,83	15,72	16,71	16,02	11,96
24	17,75	22,22	25,03	30,28	29,68	27,57	23,55	18,41	16,39	17,66	17,14	12,78
25	19,13	23,65	26,57	31,69	30,56	28,16	24,14	18,96	17,00	18,63	18,09	13,32
26	20,43	25,01	28,06	33,07	31,42	28,60	24,71	19,48	17,56	19,48	18,90	13,81
27	21,58	26,36	29,43	34,43	32,17	28,95	25,20	20,01	18,09	20,20	19,60	14,32
28	22,58	27,76	30,75	35,86	32,93	29,25	25,67	20,59	18,62	20,84	20,28	14,86
29	23,52	29,19	32,06	37,31	33,63	29,48	26,11	21,18	19,11	21,39	20,99	15,47
30	24,48	30,51	33,39	38,71	34,37	29,78	26,48	21,77	19,56	21,94	21,58	16,07
31	25,64	31,79	34,72	40,03	35,12	30,15	26,85	22,31	20,01	22,52	22,04	16,61
32	26,92	32,95	36,04	41,50	35,95	30,55	27,14	22,87	20,51	23,08	22,47	17,15
33	28,08	34,00	37,34	42,70	36,75	30,95	27,45	23,40	21,05	23,63	22,92	17,75
34	29,13	34,85	38,69	43,58	37,46	31,40	27,83	23,86	21,60	24,15	23,33	18,50
35	29,98	35,55	40,12	44,49	38,10	31,95	28,22	24,27	22,15	24,67	23,67	19,30
36	30,73	36,23	41,29	45,41	38,71	32,51	28,65	24,56	22,73	25,23	23,98	19,92
37	31,09	36,91	42,45	46,22	39,25	33,06	29,08	24,76	23,22	25,82	24,07	20,21
38	31,06	37,71	43,50	47,03	39,74	33,62	29,52	24,87	23,60	26,39	24,02	20,18
39	30,76	38,59	44,45	47,76	40,17	34,15	29,91	24,97	23,90	26,86	23,92	20,04
40	30,40	39,44	45,21	48,48	40,57	34,61	30,26	25,01	24,19	27,13	23,83	19,84
41	30,10	40,21	45,72	49,11	40,93	35,00	30,57	25,12	24,39	27,25	23,82	19,58
42	29,83	40,80	45,98	49,63	41,16	35,31	30,81	25,26	24,51	27,24	23,98	19,31
43	29,59	41,08	46,07	50,08	41,27	35,56	31,00	25,43	24,62	27,07	24,39	19,05
44	29,32	41,15	46,04	50,36	41,25	35,73	31,06	25,57	24,69	26,85	24,85	18,83
45	29,05	40,91	45,83	50,41	41,13	35,86	30,98	25,67	24,66	26,67	25,16	18,70
46	28,73	40,51	45,48	50,21	40,95	35,99	30,80	25,67	24,58	26,52	25,26	18,66
47	28,22	40,15	44,97	49,87	40,67	36,00	30,59	25,57	24,42	26,34	25,14	18,67
48	27,89	39,85	44,29	49,30	40,39	35,89	30,36	25,49	24,20	26,06	24,88	18,69
49	27,81	39,57	43,41	48,35	40,11	35,67	30,08	25,39	23,88	25,79	24,49	18,71
50	27,80	39,31	42,49	47,59	39,87	35,29	29,78	25,26	23,51	25,48	23,99	18,75
51	27,88	39,02	41,64	47,10	39,61	34,79	29,47	25,06	23,03	25,17	23,36	18,72

Çizelge 6.3 (devam ediyor)

EPOK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
52	27,95	38,57	40,80	46,62	39,33	34,23	29,11	24,84	22,49	24,79	22,73	18,56
53	27,91	37,96	39,87	45,88	38,97	33,57	28,70	24,61	22,00	24,32	22,24	18,24
54	27,61	37,15	38,97	44,87	38,51	32,83	28,23	24,42	21,53	23,82	21,86	17,82
55	26,91	36,11	38,16	43,88	37,95	32,14	27,73	24,21	21,12	23,22	21,38	17,21
56	25,88	34,92	37,40	42,90	37,33	31,41	27,27	23,85	20,77	22,63	20,66	16,50
57	24,64	33,55	36,63	41,96	36,70	30,72	26,88	23,42	20,38	22,05	19,77	15,74
58	23,26	32,02	35,89	41,03	36,03	30,06	26,49	23,01	20,06	21,51	18,73	14,85
59	21,96	30,40	35,14	40,09	35,32	29,47	26,18	22,62	19,81	20,92	17,63	13,86
60	20,76	28,67	34,44	39,31	34,70	29,01	25,90	22,31	19,60	20,17	16,37	12,85
61	19,63	26,92	33,73	38,58	34,12	28,69	25,64	22,07	19,41	19,34	15,01	11,91
62	18,56	25,25	32,91	37,85	33,55	28,42	25,52	21,90	19,13	18,43	13,70	10,98
63	17,59	23,74	31,95	37,12	33,04	28,22	25,46	21,76	18,76	17,49	12,57	10,19
64	16,63	22,36	30,82	36,34	32,62	28,07	25,51	21,61	18,37	16,50	11,65	9,58
65	15,67	21,08	29,48	35,65	32,41	27,95	25,64	21,48	17,95	15,51	10,97	9,13
66	14,74	19,77	27,91	34,89	32,28	27,84	25,78	21,42	17,54	14,57	10,51	8,82
67	13,86	18,58	26,19	33,96	32,17	27,74	25,88	21,36	17,17	13,71	10,16	8,55
68	12,83	17,58	24,42	32,83	31,94	27,63	25,91	21,26	16,75	13,03	9,89	8,34
69	11,84	16,78	22,82	31,55	31,52	27,48	25,82	21,07	16,26	12,53	9,64	8,18
70	11,04	16,10	21,36	30,05	30,89	27,33	25,62	20,73	15,74	12,16	9,33	8,09
71	10,51	15,46	20,13	28,54	30,10	27,12	25,27	20,23	15,23	11,81	9,03	8,02
72	10,25	14,83	19,08	26,95	29,19	26,83	24,86	19,61	14,70	11,44	8,73	7,91
73	10,21	14,19	18,15	25,57	28,31	26,38	24,39	18,94	14,20	11,15	8,51	7,79
74	10,16	13,50	17,37	24,38	27,41	25,86	23,85	18,29	13,69	10,94	8,33	7,67
75	10,03	12,82	16,70	23,35	26,50	25,25	23,27	17,70	13,19	10,78	8,19	7,53
76	9,79	12,28	16,11	22,49	25,57	24,55	22,58	17,12	12,77	10,59	8,08	7,38
77	9,47	11,92	15,51	21,76	24,63	23,82	21,91	16,50	12,36	10,43	7,96	7,24
78	9,14	11,66	15,05	21,06	23,79	23,08	21,18	15,92	12,00	10,26	7,87	7,13
79	8,87	11,43	14,60	20,43	23,06	22,29	20,41	15,40	11,64	10,09	7,80	7,04
80	8,67	11,25	14,12	19,83	22,37	21,55	19,66	14,85	11,34	9,89	7,72	6,98
81	8,53	11,18	13,81	19,33	21,70	20,86	19,02	14,27	11,12	9,71	7,65	6,96
82	8,39	11,17	13,60	18,88	21,04	20,11	18,45	13,70	10,96	9,56	7,55	6,98
83	8,30	11,15	13,47	18,46	20,38	19,56	17,96	13,16	10,80	9,46	7,46	6,99
84	8,35	11,09	13,40	18,09	19,74	19,16	17,49	12,71	10,63	9,43	7,42	6,98
85	8,46	11,01	13,32	17,69	19,16	18,72	17,08	12,36	10,44	9,42	7,43	6,90
86	8,67	10,94	13,18	17,35	18,73	18,34	16,77	12,10	10,26	9,43	7,46	6,83
87	8,92	10,88	13,02	17,14	18,40	17,92	16,49	11,85	10,03	9,42	7,46	6,76
88	9,11	10,81	12,87	17,05	18,10	17,53	16,17	11,65	9,81	9,36	7,46	6,73
89	9,20	10,75	12,70	16,99	17,79	17,22	15,83	11,47	9,62	9,29	7,47	6,77
90	9,16	10,72	12,57	16,82	17,54	16,87	15,51	11,30	9,45	9,16	7,51	6,82
91	9,05	10,79	12,43	16,58	17,36	16,62	15,20	11,15	9,33	9,08	7,55	6,87
92	8,94	10,88	12,23	16,53	17,16	16,43	14,95	10,99	9,20	9,02	7,56	6,90
93	8,92	11,00	12,06	16,38	16,99	16,25	14,70	10,75	9,10	9,04	7,53	6,92
94	9,03	11,06	11,93	16,25	16,84	16,06	14,50	10,48	9,00	9,13	7,46	6,97
95	9,15	11,07	11,88	16,11	16,63	15,84	14,33	10,24	8,93	9,20	7,39	7,03
96	9,31	11,07	11,89	16,01	16,43	15,63	14,14	10,03	8,89	9,24	7,36	7,09

Bölüm 3’de bahsedildiği üzere jeomanyetik aktivite ve manyetik fırtına hakkında bilgi veren DsT ve Kp indisleri ile manyetik açıdan iyonosfer koşulları gözlemlenmektedir. Bu bölümde 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin şiddetli ve daha üst (G4 ve G5) seviyedeki manyetik fırtınaların Türkiye üzerindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu sebeple söz konusu yıllarda G4 ve G5 seviyesinde meydana gelen manyetik fırtınalar URL-6 sitesinden incelenmiş ve ilgili aralıklarda yer alan jeomanyetik aktivite ve manyetik fırtınalar tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 2013 yılının 76. günü saat 20:00 (UT)’de -132 nT’ya kadar ulaşan jeomanyetik aktivite meydana geldiği, yine benzer şekilde 152. gün saat 08:00 UT’de -124 nT’ya varan jeomanyetik aktivite gözlemlenmiştir. 2015 yılının 76. gününde saat 15:00 UT’de jeomanyetik aktivite -105 nT olarak gözlemlenmiş ve devam eden fırtına şiddetini aynı gün saat 22:00 (UT) ‘de -223 nT’ ye kadar çıkarmıştır. Söz konusu fırtınanın 77. günün 10:00 UT zamanında G4 seviyesindeki şiddeti -100 nT olarak ölçülmüş ve devam eden sürede etkisini kaybetmiştir. St Patrics day olarak isimlendirilen bu fırtına özellikle Amerika’da radyo iletişimini oldukça etkilemiş ve maddi hasara sebep olmuştur. Yine aynı yılın 173. günün 18:00 UT zamanında manyetik fırtına (Kp*10=83) seviyelerine ulaşmış, 20:00 UT’de jeomanyetik aktivite indisi -121 nT seviyesine ulaşmıştır. Söz konusu fırtınanın 174. günün 04:00 UT’de DsT indisi -204 nT seviyesine ulaşmıştır. G4 seviyesindeki bu etki aynı günün 22:00 UT zamanına kadar devam etmiştir. 2015 yılının 354. günün 22:00 UT zamanında -155 nT ile jeomanyetik aktivite 355. günün 10:00 UT zamanına kadar G4 seviyesindeki etkisini (-108 nT) devam ettirmiştir. Söz konusu manyetik fırtınalar ve jeomanyetik aktivitelerin etkisinin görülebilmesi için iyonosferik açıdan sakin 20 gün belirlenmiş ve istatistiksel test uygulanmıştır.

Söz konusu test ile alt ve üst sınırlarlar sırasıyla aşağıdaki denklemler aracılığıyla elde edilmiştir. Söz konusu denklemlerde LB ve UB sırasıyla her epok için alt ve üst sınır değerlerini ifade ederken, M ilgili epoğa ilişkin ortalama TEC değerini, σ ise ilgili epoğa ilişkin standart sapma değerini göstermektedir.

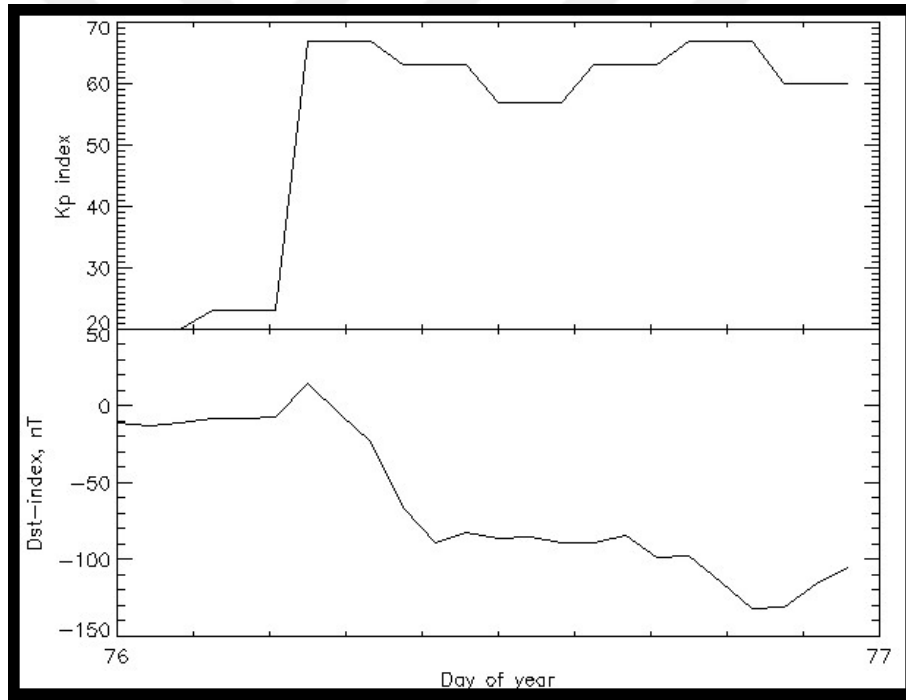
$$LB = M - 2\sigma \quad (6.1)$$

$$UB = M + 2\sigma \quad (6.2)$$

Bu tez çalışmasında herhangi bir güne ait toplam epok sayısının %30 ve daha fazlası, (6.1) ve (6.2) denklemleriyle üretilmiş olan sınır değerlerinin üzerine çıkar veya altına inerse o gün

“anomali gün” olarak değerlendirilmektedir. Burada M değerleri elde edilirken fırtınanın olduğu ve etkisinin devam ettiği günler hesaplamaya dahil edilmemiştir. Bu sayede tamamen sakin koşullar altında M, LB ve UB değerleri elde edilmiştir. Bu istatistiksel değerlendirmeye göre yukarıda bahsedilen jeomanyetik aktivite ve manyetik fırtınalara ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu istatistiksel değerlendirmeyi yapmadan önce iyonosfer koşullarının tamamıyla sakin olduğu günler belirlenmiştir. Bu sebeple analiz edilen günlerin arasında bazı günlerin iyonosfer koşullarının sakin olmamasından dolayı analiz edilen günler içerisine dahil edilmemiş, hareketli olan gün/günler yerine daha öncesinde var olan sakin gün/günler analize dahil edilmiştir.

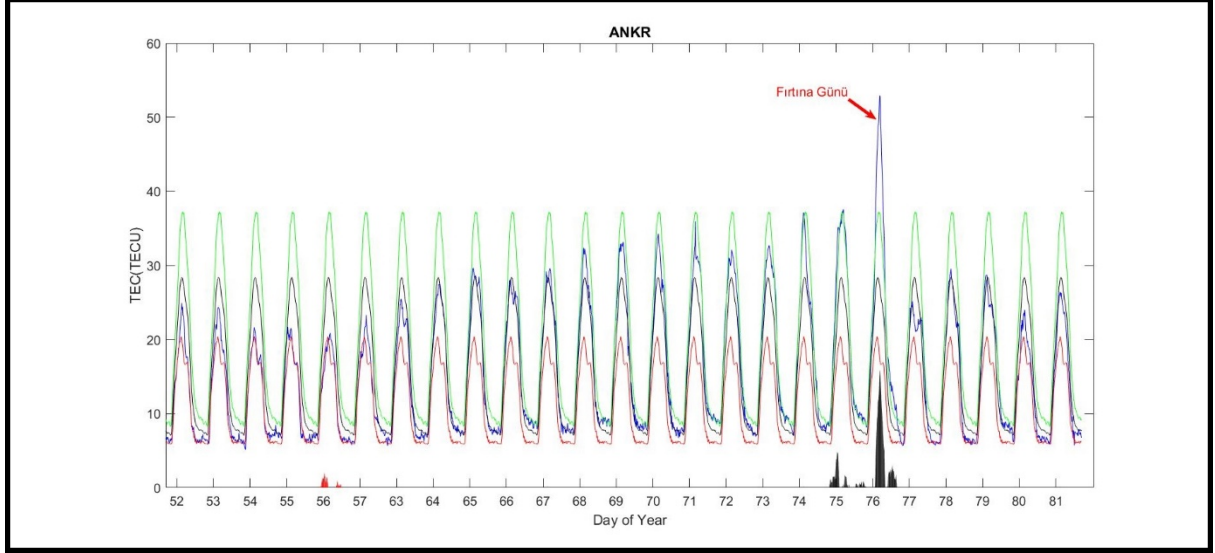
İlk olarak 2013 yılının 76. gününde gerçekleşen manyetik fırtına analiz edilmiştir. Fırtınanın gerçekleştiği güne ilişkin Kp ve Dst indis bilgileri Şekil 6.13’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.13 2013 yılı 76. günü fırtınasına ilişkin Kp, Dst indis bilgileri.

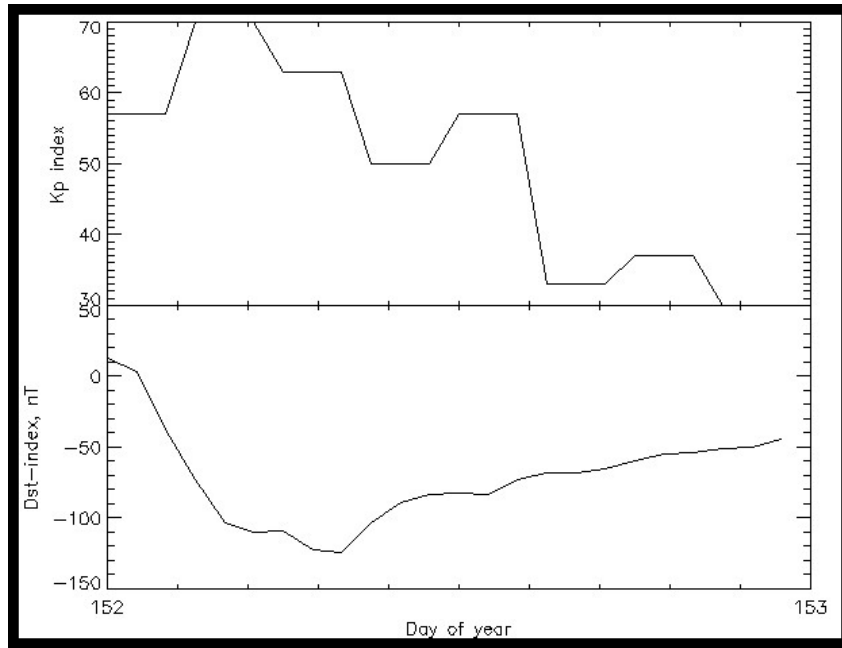
ANKR istasyonuna ilişkin TEC değerleri 15 dakika zamansal çözünürlükle elde edilmiş ve elde edilen TEC değerlerine istatistiksel analiz uygulanmıştır. Analiz sonuçları verilen Şekil 6.14’te yeşil renk üst sınırı, kırmızı renk alt sınırı, siyah renk ortalama değerleri, mavi renk ise gözlemlenen TEC değerlerini ifade etmektedir. Alt tarafta siyah renkte çizilen barlar üs anomalinin miktarını yansıtırken, kırmızı renkteki barlar ise alt anomaliyi yansıtmaktadır. Analiz sonuçları irdelendiğinde anomali gözlemlenen günler 56, 75 ve 76. günler olarak ortaya

çıkmiştir. Manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün olan 76. günde maksimum 15.81 TECU pozitif anomali gözlemlenmiştir. Diğer anomali görülen 56. günde gözlemlenen anomali miktarı yaklaşık 2 TECU iken, 75. günde tespit edilen maksimum anomali miktarı 4.8 TECU olarak tespit edilmiştir.



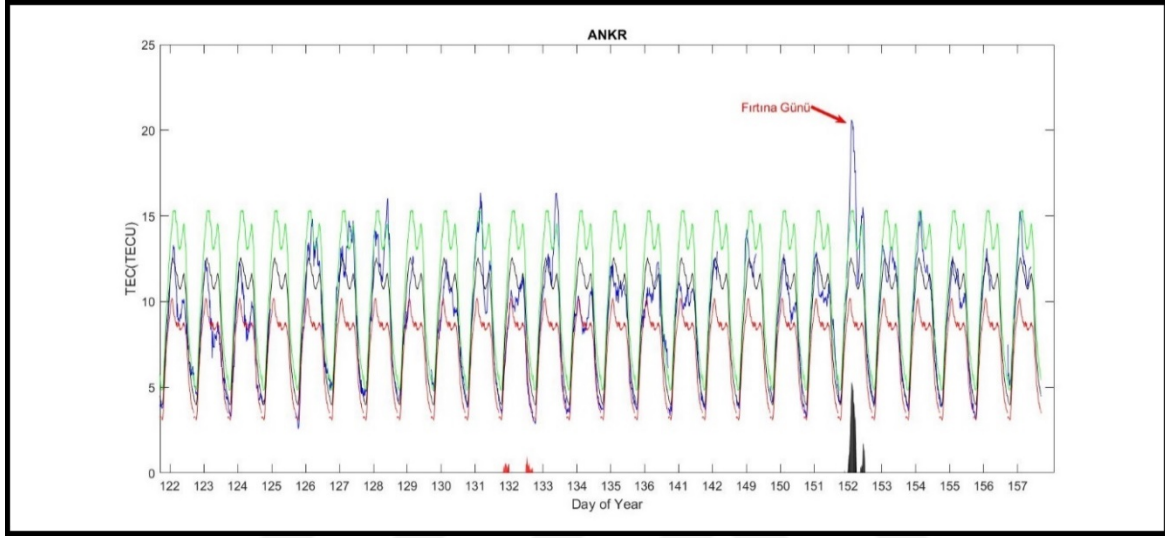
Şekil 6.14 2013 yılı 76. günü manyetik fırtına analizi.

2013 yılının 152. gününde meydana gelen manyetik fırtınaya ilişkin Kp, DsT indis seviyeleri Şekil 6.15'te gösterilmiştir.



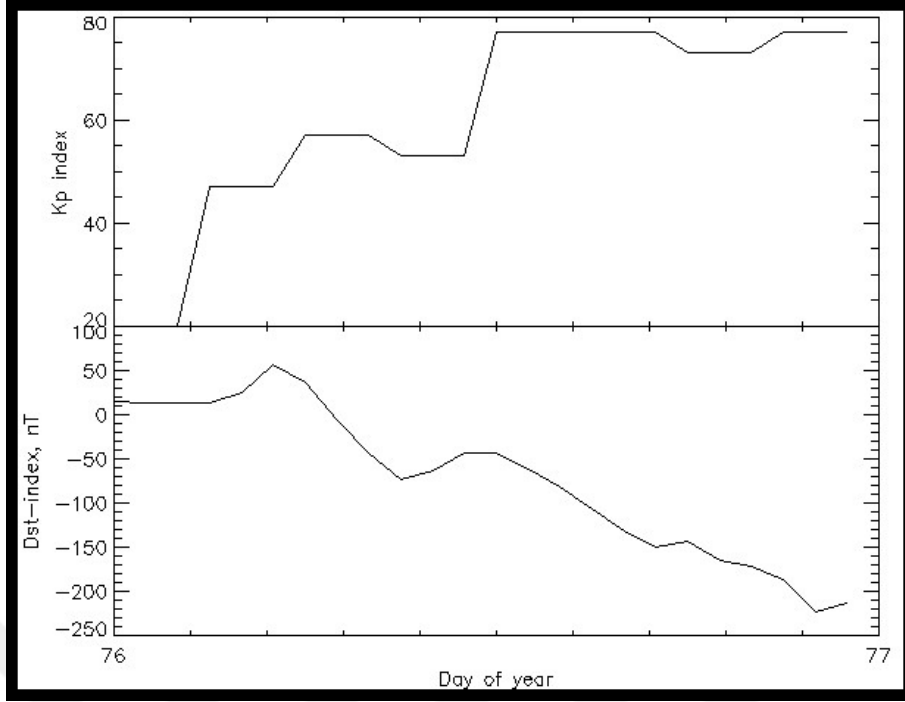
Şekil 6.15 2013 yılı 152. günü fırtınasına ilişkin Kp, DsT indis bilgileri.

Yapılan analize ilişkin sonuçlar Şekil 6.16'da gösterilmiştir. Bu analiz manyetik fırtına öncesi iyonosferik koşullar açısından sakin 20 gün belirlenmiş ve bu günlere ilişkin datalardan yararlanılarak üst ve alt sınır oluşturulmuştur. Analiz sonuçları irdelendiğinde 132 ve 152. Günlerde negatif ve pozitif anomali görülmüştür. 132. güne ilişkin negatif anomalinin 0,8 TECU olduğu, 152. güne ilişkin pozitif anomali miktarının 4,8 TECU olduğu belirlenmiştir.



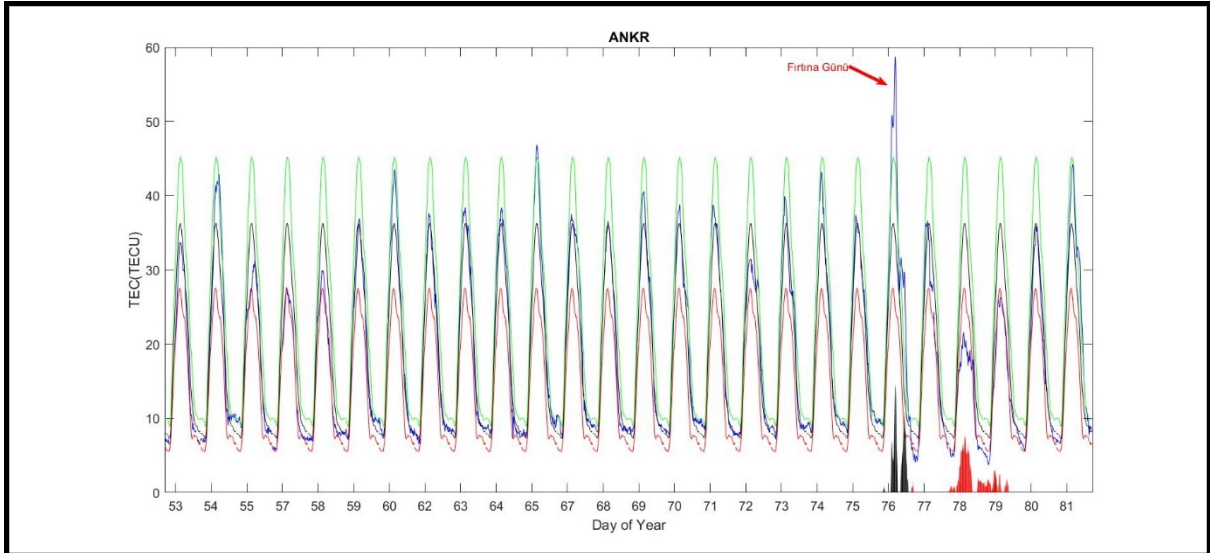
Şekil 6.16 2013 yılı 152. günü manyetik fırtına analizi.

2015 yılının 76. gününde en büyük jeomanyetik fırtınalardan biri meydana gelmiş, Amerika ve Kanada'nın bazı bölgelerinde sinyal bazlı iletişim kanallarında hasara sebep olmuştur. İlgili günde meydana gelen manyetik fırtınaya ilişkin K_p ve D_sT indisine ilişkin bilgiler Şekil 6.17'de gösterilmiştir.



Şekil 6.17 2015 yılı 76. günü fırtınasına ilişkin Kp, DsT indis bilgileri.

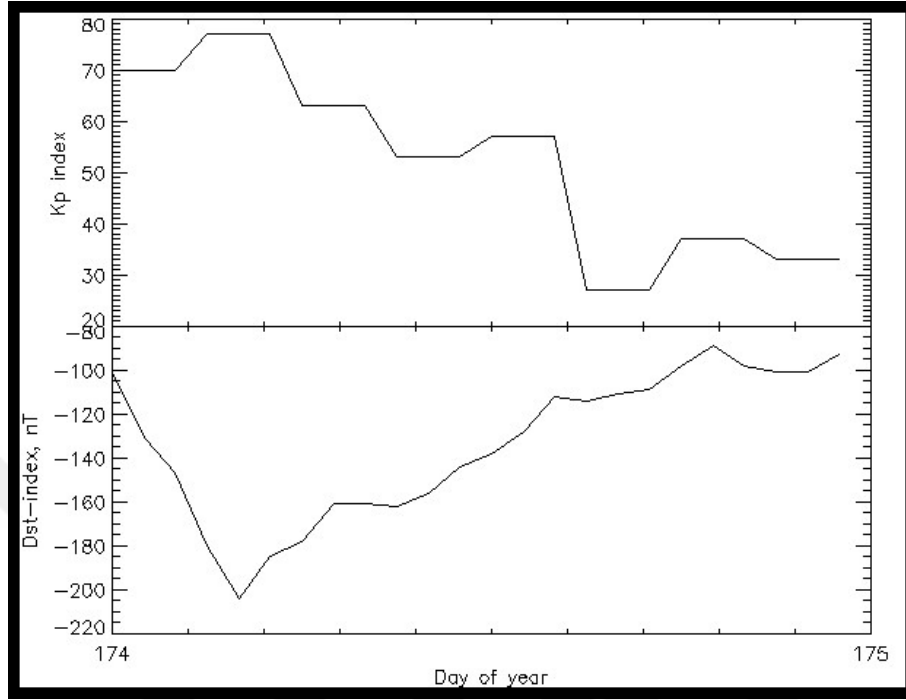
DsT indisinin -223 nT , (Kp*10) indisinin 77 seviyesine ulaştığı fırtınaya ilişkin yapılan analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 6.18’de sunulmuştur.



Şekil 6.18 2015 yılı 76. günü manyetik fırtına analizi.

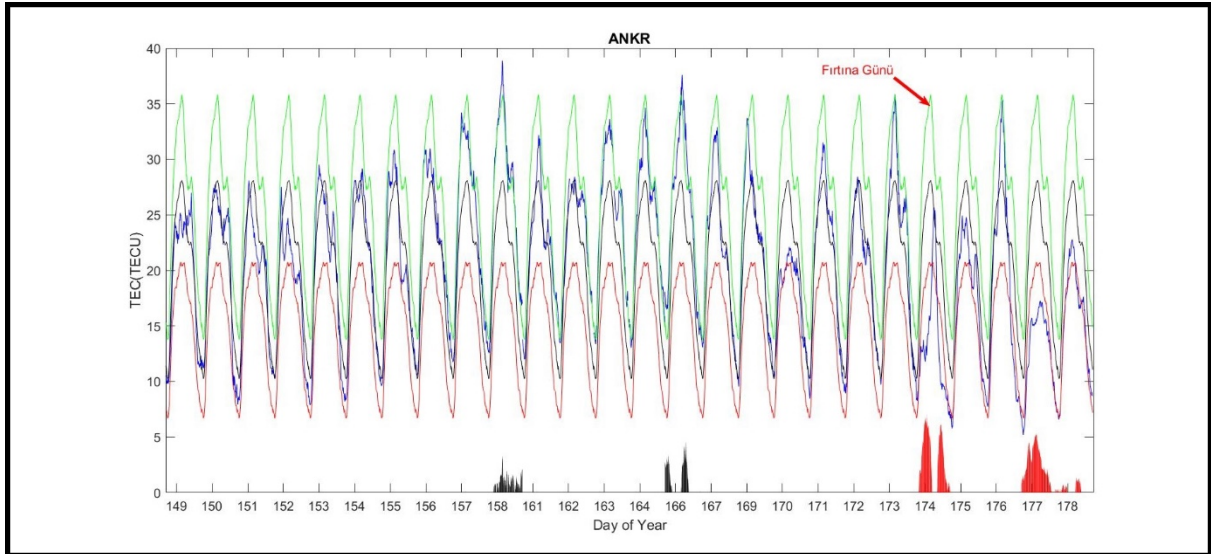
Yapılan analiz sonucunda fırtınanın gerçekleştiği 76. günde pozitif anomali tespit edilmiştir. Pozitif anomalinin maksimum seviyesinin 14,5 TECU olduğu, 78 ve 79. günlerde tespit edilen negatif anomalilerin sırasıyla 7,6 TECU ve 2,8 TECU olduğu görülmüştür.

2015 yılının 174. gününde meydana gelen manyetik fırtınaya ilişkin Kp ve Dst indisleri seviyesi Şekil 6.19’da gösterilmiştir.



Şekil 6.19 2015 Yılı 174. günü fırtınasına ilişkin Kp, DsT indis bilgileri.

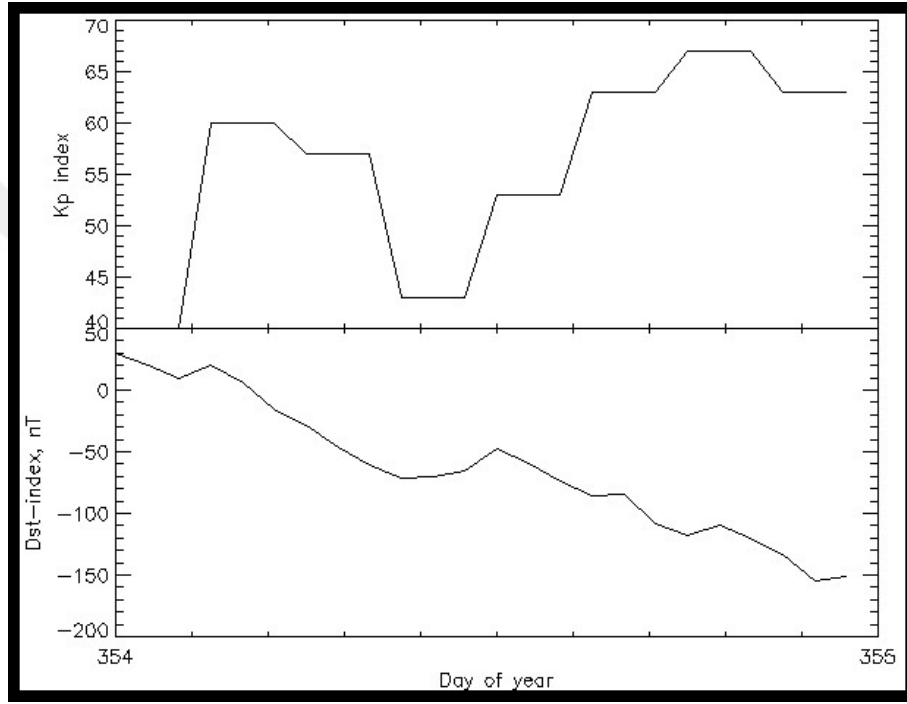
DsT indisinin -204 nT , (Kp*10) indisinin 77 seviyesine ulaştığı fırtınaya ilişkin yapılan analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 6.20’de gösterilmiştir.



Şekil 6.20 2015 yılı 174. günü manyetik fırtına analizi.

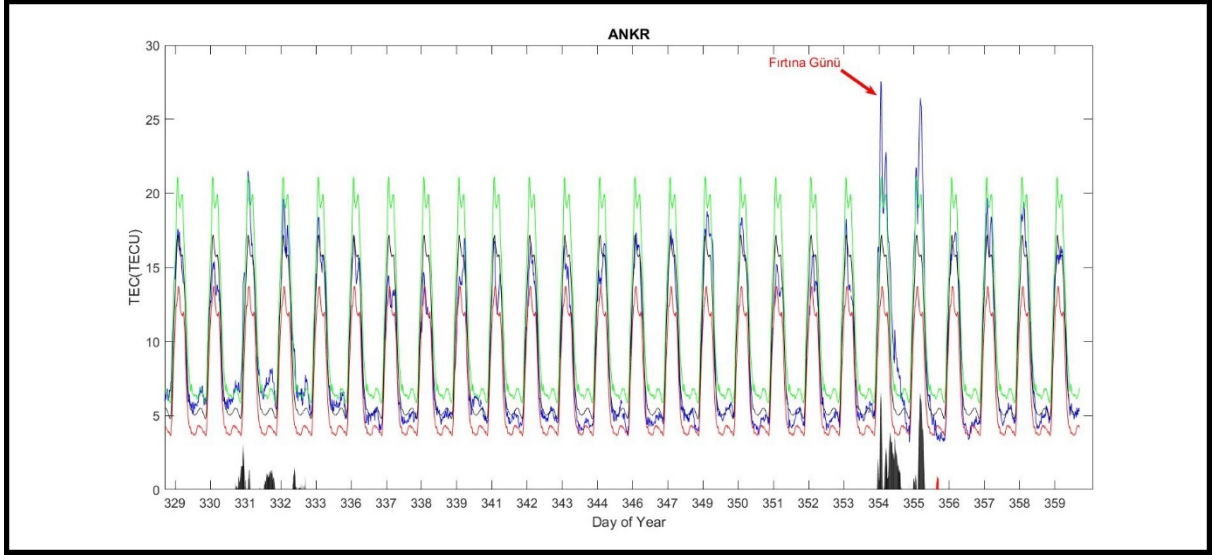
Yapılan analiz sonucunda 158 ve 166. günlerde pozitif anomali gerçekleştiği ve sırasıyla maksimum anomalilerin 3,3 TECU ve 4,6 TECU olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan fırtınanın maksimum seviyeye çıktığı gün olan 174. günde 7.1 TECU, 177, 178. günlerde sırasıyla 5,3 TECU ve 1,4 TECU negatif anomali tespit edilmiştir.

2015 yılının 354. gününde meydana gelen manyetik fırtınaya ilişkin Kp ve Dst indislerine ilişkin bilgiler Şekil 6.21’de sunulmuştur.



Şekil 6.21 2015 yılı 354. günü fırtınasına ilişkin Kp, Dst indis bilgileri.

Söz konusu günde meydana gelen manyetik fırtınaya ilişkin analiz sonuçları Şekil 6.22’de gösterilmiştir.



Şekil 6.22 2015 yılı 354. günü manyetik fırtına analizi.

Yapılan analiz sonucunda 331, 332, 354 ve 355. günlerde pozitif anomali gözlemlenirken 355. günün belirli bölümünde negatif anomaliler elde edilmiştir. Anomali miktarları sırasıyla 3,3 TECU, 1,4 TECU, fırtınanın maksimum gerçekleştiği gün olan 354. günde 6,6 TECU ve benzer şekilde 355. günde 6,5 TECU olarak tespit edilmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında büyüklükleri farklılık gösteren dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelen 17 deprem irdelenmiş, elde edilen bulgular yukarıda açıklanmıştır. Çalışmada deprem öncesi ve sonrası anomalilerin tespit edilmesine yönelik iki farklı yöntem uygulanmış ve sonuçları detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

TEC değerlerinin çeyrekler arası fark bazlı hareketli medyan yöntemi ile alt ve üst sınır değerleri deprem öncesi ve sonrası 15 gün için elde edilmiştir. Toplamda 60 günlük TEC verisinin kullanıldığı bu çalışmada deprem bölgesine ilişkin istatistiksel analizde kullanılacak özel bir k değeri belirlenmiştir. Bu değerin belirlenmesinden sonra uygulanan istatistiksel test sonucunda elde edilen pozitif ve negatif anomaliler verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda depremlerin büyük bölümünde deprem öncesi ve sonrası negatif veya pozitif anomaliler gözlemlenmiştir. Söz konusu anomalilerin deprem ile ilişkisinin daha iyi irdelenebilmesi amacıyla iyonosferik koşullar hakkında bilgi veren K_p , D_sT ve $F10.7cm$ indisleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. İkinci yöntemde ise her bir depreme ilişkin analizde kullanılan toplam 60 günlük TEC verisinin genel davranışının belirlenmesi amacıyla matematiksel model oluşturulmuştur. Elde edilen bu model aracılığıyla üretilen TEC değerleri gerçek TEC değerlerinden çıkarılmış ve kalan TEC değerlerinin alt ve üst sınır değerleri her epoktaki TEC değeri için elde edilmiştir. Her iki yöntem kullanılarak yapılan analiz sonuçları, literatür araştırması sonucunda 15 gün öncesi ve sonrası iyonosfer öncüllerinin yakalanabileceği sonucunu desteklemektedir. Diğer yandan deprem kaynaklı iyonosferik anomalilerin ortaya çıkarılmasında kullanılan istatistiksel yöntemler bazı depremlerde ortak anomalili gün yakalarken, bazı depremlerde ise elde edilen anomalili gün farklılık göstermektedir. Söz konusu bu değişkenliğin istatistiksel yaklaşımların farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tez çalışmasının diğer bölümünde 71 adet TUSAGA-Aktif istasyonu kullanılarak 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin Türkiye'ye ait $0,5^0 \times 0,5^0$ konumsal, 15 dakika zamansal çözünürlüklü

iyonosfer haritalaması yapılmıştır. Bu haritalama ile ülkemizin herhangi bir yerindeki bu yıllara ilişkin yukarıda verilen konumsal çözünürlükte iyonosfer bilgisinin elde edilmesi sağlanmıştır. Bu haritalar kullanılarak örnek olarak (36 N, 26 E) noktasına ait 2013, 2014 ve 2015 yıllarına ilişkin zaman serileri elde edilmiştir. Bu zaman serilerinden faydalanılarak ilgili yıllara ait mevsimsel değişimler ortaya çıkarılmış ve her aya ilişkin ortalama değerler elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında 2014 yılında 2013 ve 2015 yıllarına göre iyonosfer tabakasının tüm mevsimler bazında daha hareketli olduğu, bu durumun en büyük sebebinin solar aktivite kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Elde edilen TEC değerlerinden faydalanılarak 2013, 2014 ve 2015 yılları içerisinde meydana G4 ve üzeri seviyedeki manyetik fırtınalar irdelenmiş ve Türkiye üzerindeki etkisi ANKR istasyonu üzerinden irdelenmiştir. Manyetik fırtına kaynaklı iyonosferik anomalilerin belirlenmesinde fırtına öncesi iyonosferik koşullar açısından sakin 20 gün belirlenmiş ve üst ve alt limitler bu günlere ilişkin TEC değerlerinden elde edilmiştir. Bu TEC değerlerinden faydalanılarak manyetik fırtına kaynaklı TEC değişimi ortaya çıkarılmıştır.

Deprem bilindiği üzere oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir ve bu sebeple tahmin edilebilmesi oldukça zordur. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda farklı disiplinlerden farklı bilim insanları deprem öncüllerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapmaktadır. Bu tez çalışmasında deprem öncüllerinden biri olarak kabul edilen iyonosferik değişimler araştırılmış, deprem öncesi veya sonrası olası anormal değişimlerin deprem ile ilişkisi uzay iklim koşulları dikkate alınarak irdelenmiştir. Çalışma sonucunda iyonosfer tabakasının dinamik bir yapı olduğu ve dolayısıyla sürekli olarak izlenmesinin oldukça önemli olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple Türkiye üzerindeki sabit GNSS alıcıları kullanılarak iyonosfer izleme sistemi kurulması gerektiği, bu sayede deprem tahmini çalışmaları yapan kurum, kuruluş ve bilim insanlarının elde edilecek bu veriyi etkin olarak kullanabilmesinin sağlanması gerekliliği düşünülmektedir. Diğer yandan iyonosferde deprem kaynaklı TEC değişiminin daha iyi irdelenebilmesi için çeşitli disiplinlerle birlikte çalışılması gerektiği düşünülmektedir. Bu sayede iyonosferde deprem kaynaklı olduğu düşünülen değişimlerin tespitinde kullanılan yöntemlerin ve elde edilen değişimlerin çok daha etkin bir şekilde yorumlanabilmesi sağlanmış olacaktır.

Bilindiği üzere çok sayıda parametre, deprem öncül işareti olarak deprem tahmini çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu tez çalışması ile deprem öncesi veya sonrasında elde edilen anomalilerin literatürde yer alan iyonosfer tabakasının deprem öncül işaretlerinden biri olabileceği düşüncesi desteklenmektedir. Bu ifade iyonosfer tabakasındaki anormal değişimleri

izleyerek deprem tahmini yapılabileceği anlamına gelmemektedir. Bu sebeple deprem kestirimi için öncül olarak kullanılabilir parametrelerin belirlenebilmesi için farklı disiplinlerden uzmanların biraraya gelebileceği bir platform oluşturulması gerektiği düşünölmektedir.

Tez çalışmasında 2013, 2014 ve 2015 yılları için yapılan bölgesel iyonosfer haritalaması ile (36 N, 26E) örnek noktası üzerinden mevsimsel değişimler ortaya çıkarılmış ve bu veriden faydalanılarak manyetik fırtına kaynaklı TEC değişimi gözlemlenmiştir. GNSS bazlı iyonosfer izleme sisteminin kurulması ve elde edilecek bölgesel haritalama ile düşük maliyet ve yüksek doğruluklu veri üretimi sağlanmış olacaktır. Bu sayede ölkemizin üst atmosfer izleme çalışmalarına önemli bir veri kaynağı olarak katkı sağlayacağı düşünölmektedir. Kurulması önerilen sistem ile manyetik fırtına veya solar aktivitenin etkileri çok daha etkin ve hızlı şekilde ortaya çıkarılabilecektir. Uzun süreli izleme ile iyonosfer klimatolojisi ortaya çıkarılarak iyonosferin geleceği hakkında gerçekçi yorumların yapılabilmesine imkan sağlanacağı düşünölmektedir.



KAYNAKÇA

- Agostino M D and Piras M** (2011) Earthquake Forecasting: A Possible Solution Considering the GPS Ionospheric Delay, *Natural Hazards And Earth System Science*, 11: 3263–3273.
- Alizadeh M M, Schuh H, Todorova S and Schmidt M** (2011) Global ionosphere maps of VTEC from GNSS, satellite altimetry, and Formosat-3/COSMIC data. *Journal of Geodesy*, 85(12): 975-987.
- Afraimovich E L, Astafieva E L, Gokhberg M B, Lapshin V M, Permyakova V E, Steblov G M and Shalimov S L** (2004) Variations of the total electron content in the ionosphere from GPS data recorded during the Hector Mine earthquake of October 16, 1999 California. *Russian Journal Of Earth Science* 6(5): 339–354.
- Aggarwal M, Sharma D K and Bardhan A** (2016) Preliminary studies of ionospheric behavior during a seismic event of Mw~ 6.9 at Qinghai station (geog. 33.19 N, 96.75 E). *Journal Of Indian Geophysical Union*, 2: 127-132.
- Akhoondzadeh M, Parrot M and Saradjian M R** (2010) Electron and ion density variations before strong earthquakes ($M > 6.0$) using DEMETER and GPS data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(1): 7-18.
- Akhoondzadeh M** (2012) Anomalous TEC Variations Associated with the Powerful Tohoku Earthquake of 11 March 2011, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 12: 1453-1462.
- Akhoondzadeh M** (2013) Genetic Algorithm for TEC Seismo-Ionospheric Anomalies Detection around the Time of the Solomon ($M_w = 8.0$) Earthquake of 06 February 2013, *Advances in Space Research*, 52(4): 581-590.
- Arikan F, Deviren M N, Lenk O, Sezen U and Arikan O** (2012) Observed Ionospheric Effects of 23 October 2011 Van, Turkey Earthquake, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 3: 1-8.
- Arslan N** (2004) GPS ile İyonosfer Toplam Elektron Yoğunluğu Değişimlerinin Koordinatlara Etkilerinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 140 s.
- Astafyeva E, Rolland L M and Sladen A** (2014) Strike-Slip Earthquakes can also be Detected in the Ionosphere, *Earth and Planetary Science Letters*, 405: 180-193.
- Başçiftçi F** (2017) GNSS Verileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması ve Global Modellerle Karşılaştırılması, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 296 s.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- Cahyadi M N** (2014) Near-Field Coseismic Ionospheric Disturbances of Earthquakes In and Around Indonesia, *PhD Thesis*, Hokkaido University, Graduate School of Science, Department of Natural History Science, Hokkaido, 79 pp.
- Catherine J K, Maheshwari D U, Gahalaut V K, Roy P N S, Khan P K and Puviarasan N** (2017) Ionospheric disturbances triggered by the 25 April, 2015 M7. 8 Gorkha earthquake, Nepal: Constraints from GPS TEC measurements. *Journal of Asian Earth Sciences*, 133: 80-88.
- Chakraborty M, Kumar S, De B K, and Guha A** (2014) Latitudinal characteristics of GPS derived ionospheric TEC: a comparative study with IRI 2012 model. *Annals of geophysics*, 57(5): 1-13.
- Chauhan V, Singh O P, Kushwah V, Singh V and Singh B** (2009) Ultra-Low- Frequency (ULF) and Total Electron Content (TEC) Anomalies Observed at Agra and Their Association with Regional Earthquakes. *Journal of Geodynamics*, 48: 68-74.
- Chum J, Liu J Y, Laštovička J, Fišer J, Mošna Z, Baše J and Sun Y Y** (2016) Ionospheric signatures of the April 25, 2015 Nepal earthquake and the relative role of compression and advection for Doppler sounding of infrasound in the ionosphere. *Earth, Planets and Space*, 68(1): 24.
- Contadakis M, Arabelos D, Pikridas C and Spatalas S** (2012) Total Electron Content Variations over Southern Europe before and during the M 6.3 Abruzzo Earthquake of April 6, 2009. *Annals of Geophysics*, 55: 83-93.
- Dach R, Hugentobler U, Fridez P and Meindl M** (2007) *Bernese GPS Software Version 5.0*, Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland, 279-286.
- Fedrizzi M, de Paula E R, Kantor I J, Langley R B, Santos M C and Komjathy A** (2002) Mapping the low-latitude ionosphere with GPS. *GPS WORLD*, 13: 41-47.
- Fujiwara H, Kamogawa M, Ikeda M, Liu J Y, Sakata H, Chen Y I and Ohtsuki Y H** (2004) Atmospheric anomalies observed during earthquake occurrences. *Geophysical Research Letters*, 31(17): 1-5.
- Freund F** (2005) Cracking the Code of Pre-Earthquake Signals. *National Information Service for Earthquake Engineering*, 10-11 September 2013, Hakone, Japonya, 1-14.
- James W, Horton W, Tsintsadze N L, Kaladze T D, Garner T W and Tsamalashvili L** (2009) Some Physical Mechanisms of Precursors to Earthquakes. *Journal Of Plasma And Fusion Research SERIES*, 8: 199-202.
- Jiang W, Ma Y, Zhou X, Li Z, An X and Wang K** (2017) Analysis of ionospheric vertical total electron content before the 1 April 2014 Mw 8.2 Chile earthquake. *Journal of Seismology*, 6: 1599-1612.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- Jhuang H K, Ho Y Y, Kakinami Y, Liu J Y, Oyama K -I, Parrot M and Nishihashi M** (2010) Seismo-Ionospheric Anomalies of the GPS-TEC Appear before the 12 May 2008 Magnitude 8.0 Wenchuan Earthquake. *International Journal of Remote Sensing*, 31: 3579-3587.
- He L M, Wu L X, Pulnests S, Liu S J and Yang F** (2012) A Nonlinear Background Removal Method for Seismo-Ionospheric Anomaly Analysis under a Complex Solar Activity Scenario: A Case Study of the M9.0 Tohoku Earthquake. *Advances in Space Research*, 50: 211-220.
- Ho Y Y, Liu J Y, Parrot M and Pinçon J L** (2013) Temporal and Spatial Analyses on Seismo-Electric Anomalies Associated with the 27 February 2010 M = 8.8 Chile Earthquake Observed by DEMETER Satellite. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 13: 3281-3289.
- İnyurt S** (2015) İyonosferdeki Toplam Elektron Miktarı (TEC) Ve Kod Yanlılık Değerlerinin (DCB) GNSS Ölçümleriyle Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 65s.
- İnyurt S, Mekik Ç ve Yıldırım Ö** (2017) Mevsimsel Toplam Elektron Miktarı (Tem) Değişimlerinin Farklı Modellerle İrdelenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 3-6 Mayıs 2017, Ankara, 1-6.
- Kelley M C** (1989) *The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics*, Academic, San Diego, California, 576.
- Klimenko M V, Klimenko V V, Zakharenkova I E, Pulnests A, Zhao B and Tsidilina M N** (2011) Formation mechanism of great positive TEC disturbances prior to Wenchuan earthquake on May 12, 2008. *Advances in Space Research*, 48(3): 488-499.
- Klotz S and Johnson N L** (1983) *Encyclopedia of Statistical Sciences*, John Wiley and Sons.
- Komjathy A and Langley R** (1996) An Assesment of Predicted and Measured Ionospheric Total Electron Content Using a Regional GPS Network, *National Technical Meeting*, 22-24 January 1996, Santa Monica, 615-624.
- Komjathy A** (1997) Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System, *Ph.D. Thesis*, University of New Brunswick, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, New Brunswick, 265 pp.
- Kuo C L, Huba J D, Joyce G and Lee L C** (2011) Ionosphere Plasma Bubbles and Density Variations Induced by Pre-earthquake Rock Currents and Associated Surface Charges. *Journal of Geophysical Research*, 116: 1-5

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- Lang K R** (2003) *The Cambridge Guide to the Solar System*, Cambridge University Press. ISBN: 0-521-81306-9, Cambridge Press, Cambridge, 97-108.
- Langley R, Fedrizzi M, Paula E, Santos M and Komjathy A** (2002) Mapping the Low Latitude Ionosphere with GPS. *GPS World*, 13: 41-46.
- Lanyi G E and Roth T** (1988) A Comparison of Mapped and Measured Total Ionospheric Electron Content Using Global Positioning System and Beacon Satellite Observations. *Radio Science*, 23: 483-492.
- Larkina V I, Migulin V V, Molchanov O A, Kharkov I P, Inchin A S and Schvetcova V B** (1989) Some statistical results on very low frequency radiowave emissions in the upper ionosphere over earthquake zones. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 57: 100-109.
- Le H, Liu J Y and Liu L** (2011) A statistical analysis of ionospheric anomalies before 736 M6. 0+ earthquakes during 2002–2010. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 116(A2): 1-5.
- Li W, Yue J, Guo J, Yang Y, Zou B, Shen Y and Zhang K** (2018) Statistical seismo-ionospheric precursors of M7. 0+ earthquakes in Circum-Pacific seismic belt by GPS TEC measurements. *Advances in Space Research*, 61(5): 1206-1219.
- Liu J Y, Chuo Y J and Chen Y I** (2001) Ionospheric GPS TEC Perturbations Prior to the 20 September 1999, Chi-Chi Earthquake, *Geophys Research Letters*, 28: 1383–1386.
- Liu J Y, Chen Y I, Chuo Y J and Tsai H F** (2001) Variations of ionospheric total electron content during the Chi-Chi earthquake. *Geophysical Research Letters*, 28 (7): 1383-1386.
- Liu J Y, Chuo Y J, Shan S J, Tsai Y B, Chen Y I, Pulinetz S A and Yu S B** (2004) Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements. In *Annales Geophysicae*, 22: 1585-1593.
- Liu Z and Gao Y** (2004) Ionospheric TEC Predictions Over A Local Area GPS Reference Network, *GPS Solutions*, 8: 23–29.
- Liu Z, Gao Y and Skone S** (2005) A study of smoothed TEC precision inferred from GPS measurements. *Earth, planets and space*, 57 (11): 999-1007.
- Liu J Y, Chen Y I, Chuo Y J and Chen C S** (2006) A statistical investigation of preearthquake ionospheric anomaly. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 111 (A5): 1-4.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- Liu J Y, Chen Y I, Chen C H, Liu C Y, Chen C Y, Nishihashi M and Lin C H** (2009a) Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 Mw7.9 Wenchuan earthquake. *Journal of Geophysical Research*, 114 (A4): 1-15.
- Liu J Y, Chen Y I, Chen C H, Liu C Y, Chen C Y, Nishihashi M, Li J Z, Xia Y Q, Oyama K I, Hattori K, and Lin C H** (2009b) Seismo Ionospheric GPS Total Electron Content Anomalies Observed Before The 12 May 2008 Mw 7.9 Wenchuan Earthquake, *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 114 (A4): 1-7.
- Liu J Y, Chen C H, Chen Y I, Yang W H, Oyama K I and Kuo K W** (2010) A Statistical Study of Ionospheric Earthquake Precursors Monitored by Using Equatorial Ionization Anomaly of GPS-TEC in Taiwan During 2001-2007, *Journal of Asian Earth Sciences*, 39: 76-80.
- Liu C Y, Liu J Y, Chen W S, Li J Z, Xia Y Q and Cui X Y** (2011) An Integrated Study of Anomalies Observed before Four Major Earthquakes: 2004 Sumatra M9.3, 2006 Pingtung M7.0, 2007 Chuetsu Oki M6.8, and 2008 Wenchuan M8.0, *Journal of Asian Earth Sciences*, 41: 401-409.
- Lognonné P, Artru J, Garcia R, Crespon F, Ducic V, Jeansou E and Godet P E** (2006) Ground-based GPS imaging of ionospheric post-seismic signal. *Planetary and Space Science*, 54 (5): 528-540.
- Masci F** (2013) Brief Communication Further Comments on the Ionospheric Precursor Of the 1999 Hector Mine Earthquake, *Nat. Hazards And Earth System Sciences*, 13: 193-196.
- Memarzahed Y** (2009) Ionospheric modeling for precise GNSS applications, *PhD. Thesis*, Delft University of Technology, Delft Institute of Earth Observation and Space Systems, Geodesy Engineering, Netherlands, 242 pp.
- Namgaladze A A, Zolotov O V, Karpov M I and Romanovskaya Y V** (2012) Manifestations of the Earthquake Preparations in the Ionosphere Total Electron Content Variations, *Natural Science*, 4: 848-855.
- Norsuzila Y, Abdullah M, Ismail M, Ibrahim M and Zakaria Z** (2010) Total Electron Content (TEC) and Estimation of Positioning Error Using Malaysia Data, *Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol I WCE 2010*, June 30 - July 2 2010, London, U.K, 7-8.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- Nwankwo V U and Chakrabarti S K** (2013) Effects of Plasma Drag on Low Earth Orbiting Satellites due to Heating of Earth's Atmosphere by Coronal Mass Ejections. *ArXiv preprint arXiv*, 1305: 1-19.
- Pajares M H, Juan J M, Sanz J, Angel A A, Rigo A G, Salazar D and Escudero M** (2011) the Ionosphere: Effects, GPS Modeling and the Benefits for Space Geodetic Techniques *Journal of Geodesy*, 85 (12): 887-907
- Petrie E J, Hernandez-Pajares M, Spalla P, Moore P and King M A** (2011) A Review of Higher Order Ionospheric Refraction Effects on Dual Frequency GPS, *Surveys in Geophysics*, 32: 197–253.
- Sardon E, Ruis A and Zarraoa N** (1994) Estimation Of The Transmitter And Receiver Differential Biases And The Ionospheric Total Electron Content From Global Positioning System Observations. *Radio Science*, 29 (3): 577–586.
- Saroso S, Liu J Y, Hattori K and Chen C H** (2008) Ionospheric GPS TEC Anomalies and $M \geq 5.9$ Earthquakes in Indonesia during 1993-2002. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 19: 481-488.
- Oikonomou C, Haralambous H and Muslim B** (2016) Investigation of ionospheric TEC precursors related to the M7. 8 Nepal and M8. 3 Chile earthquakes in 2015 based on spectral and statistical analysis. *Natural Hazards*, 83 (1): 97-116.
- Occhipinti G, Rolland L, Lognonné P, Watada S** (2013) From Sumatra 2004 to Tohoku-Oki 2011: the systematic GPS detection of the ionospheric signature induced by tsunamigenic earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 118 (6): 3626-3636.
- Perrone L, Korsunova L P and Mikhailov A** (2010) Ionospheric precursors for crustal earthquakes in Italy. *Annales Geophysicae*, 4: 941-950.
- Plotkin V V** (2003) GPS detection of ionospheric perturbation before the 13 February 2001, El Salvador earthquake. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3 (3/4): 249-253.
- Pulinets S A, Legen'ka A D and Alekseev V A** (1994) *Pre-Earthquakes Effects and Their Possible Mechanisms*, ISBN: 978-1-4613-5740-7, New York, 545-557.
- Pulinets S A and Legen ka A** (2002) Dynamics of the near-equatorial ionosphere prior to strong earthquakes. *Geomagnetism And Aeronomy C/C of Geomagnetizm I Aeronomua*, 42(2): 227-232.
- Pulinets S A, Leyva Contreras A, Bisiacchi-Giraldi G and Ciruolo L** (2003) Total electron content variations in the ionosphere before the Colima, Mexico, earthquake of 21 January 2003. *Geofisica Internacional*, 4: 369-377.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- Pulinets S A, Legen'Ka A D, Gaivoronskaya T V and Depuev V K** (2003) Main phenomenological features of ionospheric precursors of strong earthquakes. *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, 65 (16): 1337-1347.
- Pulinets S A and Boyarchuk K** (2004) *Ionospheric precursors of earthquakes*. Springer, ISBN: 978-3-540-26468-2, Berlin, 27-34.
- Pundhir D, Singh B, Singh O P, Gupta S K, Karia S P and Pathak K N** (2017) Study of ionospheric precursors using GPS and GIM-TEC data related to earthquakes occurred on 16 April and 24 September, 2013 in Pakistan region. *Advances in Space Research*. 60 (9): 1978-1987.
- Ratcliffe J A** (1972) *An Introduction to the Ionosphere and Magnetosphere*, Cambridge University Press, ISBN: 9780521083416, Cambridge, 256 pp.
- Rao P R, Niranjana K, Prasad D S V V D, Krishna S G and Uma G** (2006) On the validity of the ionospheric pierce point (IPP) altitude of 350 km in the Indian equatorial and low-latitude sector. In *Annales Geophysicae*, 8: 2159-2168.
- Rios V H, Kim V P, Hegai V V** (2004) Abnormal perturbations in the F2 region ionosphere observed prior to the great San Juan earthquake of 23 November 1977. *Advances in Space Research*, 33 (3): 323-327.
- Schaer S** (1999) Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, *PhD. Thesis*, Geodatisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Zurich, Switzerland, 280 pp.
- Saroso S, Liu J Y, Hattori K and Chen C H** (2008) Ionospheric GPS TEC Anomalies and Mw 5.9 Earthquakes in Indonesia during 1993-2002. *Terrestrial, Atmospheric And Oceanic Sciences*, 19 (5): 481-488.
- Sharma K, Dabas R S, Sarkar S K, Das R M, Ravindran S and Gwal A K** (2010) Anomalous enhancement of ionospheric F2 layer critical frequency and total electron content over low latitudes before three recent major earthquakes in China. *Journal of Geophysical Research*, 115 (A11): 4-9.
- Spogli L, Alfonsi L, Cilliers P J, Correia E, De Franceschi G, Mitchell C N and Cabrera M A** (2013) GPS scintillations and total electron content climatology in the southern low, middle and high latitude regions. *Annals of Geophysics*, 56 (2): 02-20.
- Tsugawa T, Saito A, Otsuka Y, Nishioka M, Maruyama T, Kato, H and Murata K T** (2011) Ionospheric disturbances detected by GPS total electron content observation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth, planets and space*, 63 (7): 66.
- Ulukavak M** (2016) Ekvatorial ve Orta Kuşak Depremleri ile İyonosferik TECAnomalileri Arasındaki İlişkinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 112 s.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

Wild U (1994) Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modeling and Monitoring, *PhD Thesis*, Geodatisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Germany, 178 pp.

Ya'acob N, Mardina A and Ismail M (2010) GPS Total Electron Content (TEC) Prediction at Ionosphere Layer over the Equatorial Region, *Trends in Telecommunications Technologies*, Christos J Bouras (Ed.), ISBN: 978-953-307-072-8, InTech, Croatia, 486-508.

Yao Y B, Chen P, Zhang S, Chen J J, Yan F and Peng W F (2012) Analysis of pre-earthquake ionospheric anomalies before the global M= 7.0+ earthquakes in 2010. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(3): 575.

Yildirim O, Inyurt S and Mekik C (2016) Review of variations in Mw < 7 earthquake motions on position and TEC (Mw= 6.5 Aegean Sea earthquake sample). *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 16: 543-557.

Zakharenkova I E, Karankowski A and Shagimuratov I I (2006) Modification of the low-latitude ionosphere before the 26 December 2004 Indonesian earthquake, *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 6: 817-823.

Zolesi B and Cander L R (2014) *Ionospheric Prediction and Forecasting*, Springer Geophysics. ISBN 978-3-642-38429-5. Berlin: Springer-Verlag, 240 pp.

Zou Y (2010) Ionospheric anomalies detected by GPS TEC measurements during two strong earthquakes in Indonesia. *The Second Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT)*, 17-18 July 2010, Wuhan, China, 199-202.

URL-1 <<https://scied.ucar.edu/atmosphere-layers>>, Ziyaret Tarihi: 08.06.2017.

URL-2 <<https://www.britannica.com/science/ionosphere>>, Ziyaret Tarihi: 09.08.2017.

URL-3 <<https://www.electronicnotes.com/articles/antennaspropagation/ionospheric/sunspots-cycle-activity.php>>, Ziyaret Tarihi: 05.09.2016.

URL-4 <<https://science.nasa.gov/heliophysics/focus-areas/solar-science7>>, Ziyaret Tarihi: 03.10.2017.

URL-5 <<https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>>, Ziyaret Tarihi: 21.11.2017.

URL-6 <<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>>, Ziyaret Tarihi: 29.01.2017.

ÖZGEÇMİŞ

Samed İNYURT 1987 yılında Eskişehir’de doğdu. İlköğretimin bir kısmını Sivas’ta aldıktan sonra Ankara’ya gelerek burada tamamladı. Lise öğrenimini aynı şehirde bitirdikten sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümüne girdi. 2012 yılında mezun olduktan sonra, ÖYP programı ile Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2013 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümünde başladığı yüksek lisans eğitimini 2015 yılında başarıyla tamamladı. Aynı yıl içerisinde doktora eğitimine başlayarak araştırma görevlisi olarak görevini sürdürmeye devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : B.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100
İncivez-ZONGULDAK

Tel : 0372 291 1100-(2579)

E-posta : samed_inyurt@hotmail.com