

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EKVATORAL VE ORTA KUŞAK DEPREMLERİ İLE İYONOSFERİK TEC
ANOMALİLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Harita Yük. Müh. Mustafa ULUKAVAK

**ARALIK 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EKVATORAL VE ORTA KUŞAK DEPREMLERİ İLE İYONOSFERİK TEC
ANOMALİLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mustafa ULUKAVAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (HARİTA MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 12 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 30 / 12 / 2016

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında
Mustafa ULUKAVAK Tarafından Hazırlanan**

**EKVATORAL VE ORTA KUŞAK DEPREMLERİ İLE İYONOSFERİK TEC
ANOMALİLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 13 /12/2016 gün ve 1680 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

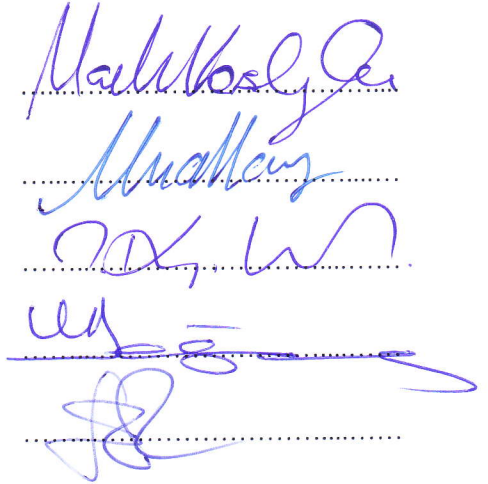
Başkan : Prof. Dr. Mahmut Onur KARSLIOĞLU

Üye : Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA

Üye : Prof. Dr. Temel KAYIKÇIOĞLU

Üye : Prof. Dr. Uğur DOĞAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Tez çalışmasında, depremlerin tahminine yönelik uzay iklim koşullarına ait indis değerleri dikkate alınarak ekvatorial ve orta kuşaklarda meydana gelmiş 2000 yılı sonrasında büyüklüğü 7 ve daha üzeri olan depremlerin parametrelerine ve jeo-tektonik yapılarına göre deprem öncesi iyonosferik toplam elektron içeriği (TEC) değişimlerinin karakterize edilmesi araştırılmıştır. Bu tez kapsamında oluşturulan altyapı ile TÜBİTAK’a önerilen 116Y109 kodlu projemiz de desteklenmiştir.

Akademik hayata atılmamda içimdeki ilk hevesi başlatan, bana hem bir öğretici hem de anne şefkatiyle yaklaşan, temiz kalbiyle daima örnek olan kıymetli hocam “Doktora Annem” Prof. Dr. Mualla Yalçınkaya’ya, yaptığım çalışmalarda her daim yardımcı olan, ilk yurt dışı çalışmama yönlendiren ve aynı zamanda tez izleme jürimde yer alan Yrd. Doç. Dr. Emine Tanır Kayıkcı’ya, çalışmalarım sırasında gönderdiğim makalemi özveriyle inceleyen, yapıcı ve olumlu eleştirilerini eksik etmeyen Jeodezi Jeoinformasyon Dergisi Editörü Prof. Dr. M. Onur Karslıoğlu ve derginin anonim hakemlerine teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam süresince katkısı olan tez izleme jürisi Prof. Dr. Temel Kayıkcıoğlu’na teşekkür ederim. Çalışmalarım süresince desteğini benden esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Ömer Özdemir ve Hayrettin Acar’a, tez çalışmam içerisinde yazılımlarımla ilgili bana yardımcı olan mesai arkadaşım Arş. Gör. Deniz Yıldırım’a ve KTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ndeki arkadaşım Dr. Mustafa Şenkaya’ya, tez resimlerini düzenlenlediği için İsmail Fuat Vural’a ve araştırma bölgelerinin jeo-tektonik yapılarının incelenmesinde yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Serkan Öztürk’e (Gümüşhane Üni.) teşekkürlerimi sunarım. Lisanüstü eğitim hayatım boyunca hoş muhabbetlerini eksik etmeyen Muhammet Gümrükçüoğlu, Arif Çelik, Ali Boz, Sadık Karakoç ve Celalettin Dinç abilerime teşekkür ederim. Tez çalışmamın verilerini sağlayan veri merkezleri; Kabuk Dinamikleri Verisi ve Bilgi Sistemi’ne (CDDIS), Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi’nin Uzay Fiziği Veri Tesisi’ne, Güney Kaliforniya Üniversitesi Uzay Bilimleri Merkezi’ne, Uluslararası GNSS Servisi Veri ve Ürünleri Arşivi’ne, ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu’na teşekkür ederim.

Beni hayata hazırlayan ve gittiğim bu yolda ellerini her zaman sırtımda hissettiğim anneme, babama ve bacıma, sevgisinin sıcaklığıyla kalbimi ısıtan ve bana sabır gösteren ruhumun aynısı eşim Tuğba Ulukavak’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunduğum “Ekvatorial ve Orta Kuşak Depremleri ile İyonosferik TEC Anomalileri Arasındaki İlişkinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım olan Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, ilgili kodları kendim yazdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

30/12/2016

Mustafa ULUKAVAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. İyonosfer	11
1.2.1. İyonosferdeki İyonizasyon (Foto-iyonizasyon) ve İyonosferin Bölgeleri	13
1.2.2. İyonizasyonun Ana Kaynağı	17
1.2.2.1. Güneş Aktiviteleri.....	19
1.2.2.2. Jeomanyetik Alan	20
1.2.3. Uzay İklim Koşulları.....	24
1.2.3.1. Güneş Aktivitesi İndisleri.....	25
1.2.3.2. Jeomanyetik Fırtına ve Jeomanyetik Aktivite İndisleri.....	26
1.2.3.3. Manyetik Alan Değişimi İndisleri	28
1.2.3.4. Plazma Yoğunluğu ve Parçacık Akısı İndisleri	29
1.3. Jeo-Tektonik Yapı ve Deprem	30
1.3.1. Deprem.....	33
1.3.2. İyonosferik Deprem Öncülerinin Fiziksel Mekanizması	35
1.4. İyonosferin GPS Sinyallerine Etkisi	37

1.4.1.	GPS Sinyallerinden İyonosferik TEC Belirleme	39
1.4.2.	Referans ve Koordinat Sistemleri	45
1.4.3.	GPS TEC Değişimlerinin Analizi	46
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	48
2.1.	Depremlerin Seçimi	48
2.2.	Uzay İklim Koşulları Verileri	50
2.3.	İyonosferik VTEC Değişimi Belirleme Verileri	50
2.3.2.	İyonosferik VTEC Değişimleri ve Güvenirlilik Verileri	52
3.	BULGULAR	55
3.1.	Uzay İklim Koşullarının Analizi	55
3.2.	İyonosferik VTEC Değişiminin Belirlenmesi ve Analizi	61
3.3.	Uzay İklim Koşulları ve İyonosferik VTEC Değişimlerinin Analizi	66
3.4.	Jeo-tektonik Yapı ile İyonosferik VTEC Değişimlerinin Değerlendirilmesi	83
3.5.	Deprem Büyüklükleri ve Odak Derinlikleri ile İyonosferik VTEC Değişimlerinin Değerlendirilmesi	88
4.	İRDELEMELER	92
5.	SONUÇLAR	95
6.	ÖNERİLER	98
7.	KAYNAKLAR	99
8.	EKLER	113
	ÖZGEÇMİŞ	127

Doktora Tezi

ÖZET

EKVATORAL VE ORTA KUŞAK DEPREMLERİ İLE İYONOSFERİK TEC ANOMALİLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Mustafa ULUKAVAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA
2016, 112 Sayfa, 14 Ek Sayfa

Depremler öngörülemez oluşu sebebiyle ilk çağlardan itibaren, en büyük doğal felaketleri beraberinde getirmektedir. Depremler sismik faaliyetler olduğu için sismik faaliyetler oluşmadan önce çeşitli belirtiler meydana getirmektedir. Sismik aktivitelerin bir etkisinin de iyonosfer tabakası üzerinde olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple iyonosfer tabakası üzerinde değişimler gözlemlenerek olası sismik faaliyetler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalardaki en önemli unsurlardan birisi de iyonosferik TEC değerinin değişimidir. Tez kapsamında, iyonosferik TEC değişimleri, ekvatorial ve orta kuşaklarda 2000 yılından sonra meydana gelmiş depremlerin etki alanlarında bulunan IGS istasyonlarının GPS verilerinden uzay iklim koşulu indisleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Deprem öncesi iyonosferik TEC anomalilerinin, depremlerin büyüklükleri, odak derinlikleri ve jeo-tektonik yapılarına göre irdelemesi yapılmıştır. Böylece depremlerin, iyonosferik TEC değişimlerini ekvatorial ve orta kuşaklarda nasıl etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca iyonosferik TEC değişimlerinin deprem parametreleri ile jeo-tektonik yapı arasındaki ilişkisi ortaya koyulmuştur. Çalışma sonuçlarının Litosfer-Atmosfer-İyonosfer Bağıntısı (LAIC) Modeline katkı sağlayacağı düşünülmektedir. LAIC Modelinde, iyonosferik TEC anomalilerinin farklı jeo-tektonik yapılarda meydana gelen depremler için dikkate alınmasının iyonosferik deprem öncülü belirleme çalışmalarına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: İyonosferik TEC Değişimi, Uzay İklim Koşulu, Deprem, GPS, Güneş Aktivitesi, Jeomanyetik Aktivite

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN EQUATORIAL AND MID-LATITUDE EARTHQUAKES WITH IONOSPHERIC TEC ANOMALIES

Mustafa ULUKAVAK

Karadeniz Technical University
The graduate school of natural and applied sciences
Geomatics engineering department
Supervisor: Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA
2016, 112 Pages, 14 Appendix Pages

Due to the unpredictable nature of the earthquakes, it has brought with it the greatest natural disasters since the early ages. Since earthquakes are seismic activities, so before the occurrence of seismic activity, various precursors were occurred. It is thought that an effect of seismic activity is also on the ionosphere layer. For this reason, possible seismic activity is tried to identify by observations of changes on the ionosphere. One of the most important ingredients in these studies is the variation of the ionospheric TEC value. Within the scope of the thesis, ionospheric TEC changes were calculated taking into account the space weather condition indices and IGS stations GPS data which were located in the equatorial and mid-latitude regions after 2000. The pre-earthquake ionospheric TEC anomalies were investigated according to the magnitude of earthquakes, depth of focus and geo-tectonic structures. Thus, it was determined how earthquakes affected ionospheric TEC changes in the equatorial and mid-latitudes. In addition, the relationship between earthquake parameters and geo-tectonic structure of ionospheric TEC changes has been presented. It is believed that the results of the study will contribute to the Lithosphere-Atmosphere-Ionospheric Coupling (LAIC) Model. In the LAIC Model, consideration of ionospheric TEC anomalies for earthquakes that occur in different geo-tectonic structures is expected to contribute to ionospheric earthquake prediction studies.

Keywords: Ionospheric TEC Anomalies, Space Weather Conditions, Earthquake, GPS, Solar Activity, Geomagnetic Activity

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Atmosferin katmanları (URL-2, 2014'ten değiştirilerek).	12
Şekil 2. Foto-iyonizasyon olayı (Zolesi ve Cander, 2014'ten değiştirilerek).	13
Şekil 3. İyonosferde yüksekliğe göre elektron yoğunluğu değişimi (Pulinets ve Boyarchuk, 2004'ten değiştirilerek).	15
Şekil 4. İyonosferin yüksekliğe göre elektron-iyon yoğunluk profili (Pulinets ve Boyarchuk, 2004'ten değiştirilerek).	16
Şekil 5. Güneş aktiviteleri (URL-6, 2014'ten değiştirilerek).	19
Şekil 6. Yüklü parçacıkların jeomanyetik alan ile etkileşimi (URL-35, 2014'ten değiştirilerek).	21
Şekil 7. Protonların ve elektronların jeomanyetik alan çizgileri boyunca hareketleri (URL-38, 2014'den değiştirilerek).	22
Şekil 8. İyonosferin jeomanyetik bölgeleri (URL-24, 2014'den değiştirilerek).	23
Şekil 9. Ekvatorial bölge fıskiye etkisi (Fejer vd., 1999'dan değiştirilerek).	23
Şekil 10. Dünya'nın jeosantrik solar manyetosferik koordinat sistemi (URL-23, 2014'ten değiştirilerek).	28
Şekil 11. Yerkürenin iç yapısı ve katmanları (URL-40, 2014'den değiştirilerek).	31
Şekil 12. Depremlerin oluşumu (URL-36, 2014'den değiştirilerek).	31
Şekil 13. Yeryüzü üzerindeki tektonik plakalar	32
Şekil 14. Fay türleri (URL-42, 2016'dan değiştirilerek).	33
Şekil 15. Plaka sınırlarındaki depremler (URL-37, 2014).	33
Şekil 16. Deprem (URL-43, 2016'dan değiştirilerek).	34
Şekil 17. Sıkışan kaya bloğunda yük taşınımı (Freund, 2005'den değiştirilerek).	36
Şekil 18. Tek Tabaka İyonosfer Modeli Geometrisi (Schaer vd., 1999'den değiştirilerek).	43
Şekil 19. Referans ve koordinat sistemleri (Durmaz, 2013'ten değiştirilerek).	46
Şekil 20. Depremlerin dünya üzerindeki dağılımları.	48
Şekil 21. Uygulamada kullanılan uzay iklim koşulları	50
Şekil 22. 2010 Meksika, Baja Kaliforniya depremi için seçilen IGS istasyonları	51
Şekil 23. VTEC belirleme verileri.	53
Şekil 24. Güneş aktivitesi indisleri (F10.7cm ve EUV 0.1-50nm, EUV 26-34nm)	56

Şekil 25. Jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite indisleri (K_p ve Dst)	57
Şekil 26. Manyetik alan indisleri (B_x , B_y ve B_z).....	58
Şekil 27. Plazma yoğunluğu ve parçacık akısı indisleri	59
Şekil 28. İyonosferik VTEC değişimlerini belirleme akış şeması.....	61
Şekil 29. IGS istasyonlarına ait kestirilen DCB güvenirlilikleri	62
Şekil 30. DHA içindeki IGS istasyonlarının kestirilen VTEC ve GIM-TEC farklarının günlük ortalamaları ve standart sapmaları	63
Şekil 31. IGS istasyonlarının VTEC ve GIM-TEC farklarının günlük ortalamaları ve standart sapmaları.....	64
Şekil 32. 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi IGS istasyonlarının VTEC değerleri. 65	
Şekil 33. 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi anormal günler	66
Şekil 34. Depremlerin meydana geldiği tektonik plakalar	83
Şekil 35. Deprem büyüklükleri ile öncül işaret günü ve öncül işaret yüzdesi ilişkisi.....	89
Şekil 36. Deprem derinlikleri ile öncül işaret günü ve öncül işaret arasındaki ilişkisi	90

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Kp- indisi sınır değerleri ve fırtına etkisi (De Canck, 2007; URL-22, 2014'den değiştirilerek).....	27
Tablo 2. Dst- indisi sınır değerleri (Loewe ve Prölss 1997'den değiştirilerek)	27
Tablo 3. Manyetik alan indisi değerleri değişimi (Gonzalez vd., 1994).	29
Tablo 4. Odak derinliğine göre depremler (URL-44, 2016).....	34
Tablo 5. Büyüklüklerine göre depremler (URL-44, 2016).....	35
Tablo 6. 2000 yılı sonrası seçilen depremler	49
Tablo 7. Depremler için seçilen IGS istasyonları.....	52
Tablo 8. 2010 Meksika, Baja Kaliforniya depremi (Mw=7.2) uzay iklim koşulları analizi	60
Tablo 9. 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri.....	67
Tablo 10. 2012, Kolombiya, San Agustin depremi (Mw=7.3) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	68
Tablo 11. 26 Aralık 2004, Sumatra-Andaman Adaları depremi (Mw=9.1) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri.....	68
Tablo 12. 2012, Endonezya, Kuzey depremi (Mw=8.6) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	69
Tablo 13. 2011, Türkiye Van depremi (Mw=7.1) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	69
Tablo 14. 2013, Doğu İran depremi (Mw=7.7) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	70
Tablo 15. 2013, Güneybatı Pakistan depremi (Mw=7.7) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	70
Tablo 16. 2011, Güneybatı Pakistan depremi (Mw=7.2) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	71
Tablo 17. 2008, Doğu Siçuan, Çin depremi (Mw=7.9) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	71
Tablo 18. 2008, Sincan-Uygur depremi (Mw=7.2) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	72
Tablo 19. 2005, Kuzey Pakistan depremi (Mw=7.6) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	73
Tablo 20. 2003, Güneybatı Sibirya depremi (Mw=7.3) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	73
Tablo 21. 2011, Büyük Tokyo depremi (Mw=9.0) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	74
Tablo 22. 2006, Koryakiya Rusya depremi (Mw=7.6) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	75

Tablo 23. 2013, Othosk depremi ($M_w=8.3$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	75
Tablo 24. 2007, Kuril Adaları depremi ($M_w=8.1$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	76
Tablo 25. 2003, Hokkaido depremi ($M_w=8.3$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	76
Tablo 26. 2006, Kuril Adaları depremi ($M_w=8.3$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	77
Tablo 27. 2006, Mozambik depremi ($M_w=7.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	78
Tablo 28. 2010, Ekvador depremi ($M_w=7.1$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	78
Tablo 29. 2011, Kuzey Peru depremi ($M_w=7.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	79
Tablo 30. 2005, Kuzey Peru depremi ($M_w=7.5$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	79
Tablo 31. 2003, Amazon Brezilya depremi ($M_w=7.1$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	80
Tablo 32. 2007, Pisco Peru depremi ($M_w=8.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	80
Tablo 33. 2011, Santiago Del Estero Arjantin depremi ($M_w=7.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	81
Tablo 34. 2005, Kuzey Şili depremi ($M_w=7.8$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	81
Tablo 35. 2010, O'Higgins Bölgesi, Şili depremi ($M_w=7.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	82
Tablo 36. 27 Şubat 2010, Maule, Şili depremi ($M_w=8.8$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri	82
Tablo 37. Ekvatorial Kuşakta (KYK) meydana gelen depremlerin jeo-tektonik yapısı.....	84
Tablo 38. Ekvatorial Kuşakta (GYK) meydana gelen depremlerin jeo-tektonik yapısı.....	84
Tablo 39. Orta Kuşak (KYK) meydana gelen depremlerin jeo-tektonik yapısı.....	86
Tablo 40. Orta Kuşakta (GYK) meydana gelen depremlerin jeo-tektonik yapısı.....	88
Tablo 41. 2012, Kolombiya, San Agustin depremi ($M_w=7.3$) uzay iklim koşulları analizi	113
Tablo 42. 2004, Sumatra-Andaman Adaları depremi ($M_w=9.1$) uzay iklim koşulları analizi	113
Tablo 43. 2012, Endonezya, Kuzey depremi ($M_w=8.6$) uzay iklim koşulları analizi.....	114
Tablo 44. 2011, Türkiye Van depremi ($M_w=7.1$) uzay iklim koşulları analizi	114
Tablo 45. 2013, Doğu İran depremi ($M_w=7.7$) uzay iklim koşulları analizi	115
Tablo 46. 2013, Güneybatı Pakistan depremi ($M_w=7.7$) uzay iklim koşulları analizi.....	115

Tablo 47. 2011, Güneybatı Pakistan depremi (Mw=7.2) uzay iklim koşulları analizi.....	116
Tablo 48. 2008, Doğu Siçuan, Çin depremi (Mw=7.9) uzay iklim koşulları analizi	116
Tablo 49. 2008, Sincan-Uygur depremi (Mw=7.2) uzay iklim koşulları analizi	117
Tablo 50. 2005, Kuzey Pakistan depremi (Mw=7.6) uzay iklim koşulları analizi.....	117
Tablo 51. 2003, Güneybatı Sibirya depremi (Mw=7.3) uzay iklim koşulları analizi	118
Tablo 52. 2011, Büyük Tokyo depremi (Mw=9.0) uzay iklim koşulları analizi.....	118
Tablo 53. 2006, Koryakiya Rusya depremi (Mw=7.6) uzay iklim koşulları analizi.....	119
Tablo 54. 2013, Othosk depremi (Mw=8.3) uzay iklim koşulları analizi	119
Tablo 55. 2007, Kuril Adaları depremi (Mw=8.1) uzay iklim koşulları analizi	120
Tablo 56. 2003, Hokkaido depremi (Mw=8.3) uzay iklim koşulları analizi	120
Tablo 57. 2006, Kuril Adaları depremi (Mw=8.3) uzay iklim koşulları analizi	121
Tablo 58. 2006, Mozambik depremi (Mw=7.0) uzay iklim koşulları analizi	121
Tablo 59. 2010, Ekvador depremi (Mw=7.1) uzay iklim koşulları analizi	122
Tablo 60. 2011, Kuzey Peru depremi (Mw=7.0) uzay iklim koşulları analizi.....	122
Tablo 61. 2005, Kuzey Peru depremi (Mw=7.5) uzay iklim koşulları analizi.....	123
Tablo 62. 2003, Amazon Brezilya depremi (Mw=7.1) uzay iklim koşulları analizi.....	123
Tablo 63. 2007, Pisco Peru depremi (Mw=8.0) uzay iklim koşulları analizi.....	124
Tablo 64. 2011, Santiago Del Estero Arjantin depremi (Mw=7.0) uzay iklim koşulları analizi	124
Tablo 65. 2005, Kuzey Şili depremi (Mw=7.8) uzay iklim koşulları analizi.....	125
Tablo 66. 2010, O'Higgins Bölgesi, Şili depremi (Mw=7.0) uzay iklim koşulları analizi	125
Tablo 67. 2010, Maule, Şili depremi (Mw=8.8) uzay iklim koşulları analizi	126

SEMBOLLER DİZİNİ

c	: Işık hızı (m/sn)
f_0	: Temel frekans (Hz)
f_0F2	: F2-bölgesi kritik frekansı (Hz)
$NmF2$	: F2-bölgesi maksimum elektron yoğunluğu
f_1, f_2	: GPS frekansları (Hz)
L_1, L_2	: Taşıyıcı dalgalar
L_4	: Geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon
λ	: Dalga boyu (m)
Φ	: Faz ölçüleri
P	: Kod ölçüleri
n_p	: Ortamın kırılma indisi
v	: Elektromanyetik dalganın geçtiği ortamın hızı
m	: Uydu numarası indisi
u	: Alıcı numarası indisi
n	: Ölçüm sayısı
d_{trop}	: Troposfer kaynaklı grup gecikmeleri
d_{ion}	: İyonosfer kaynaklı grup gecikmeleri
$\lambda \Phi_{trop}$	: Troposfer kaynaklı faz gecikmeleri
$\lambda \Phi_{ion}$	: İyonosfer kaynaklı faz gecikmeleri
$M(\epsilon_m(n))$	: İzdüşüm Fonksiyonu
ϵ_m	: Uydu yükselik açısı
DCB	: Sinyal gecikmelerinin diferansiyel kod farklarını
IFB	: Sinyal gecikmelerinin frekanslar arası farklarıdır
R	: Dünya'nın yarıçapı
H	: İyonosferik tek tabaka yüksekliği
ρ	: Deprem hazırlık alanı yarıçapı
$^{\circ}K$	: Kelvin
GHz	: Giga Hertz
MHz	: Mega Hertz
M	: Magnitude

<i>M_w</i>	: Moment magnitüdü ölçęęi
<i>IGS</i>	: International GNSS Service
<i>nT</i>	: Nano Tesla
<i>RMS</i>	: Root Mean Square
<i>SFU</i>	: Solar Flux Units
<i>SSN</i>	: Sun Spot Number
<i>GPS</i>	: Global Positioning System
<i>TECU</i>	: Total Electron Content Unit
<i>TEC</i>	: Total Electron Content
<i>STEC</i>	: Slant Total Electron Content
<i>VTEC</i>	: Vertical Electron Content
<i>GIM</i>	: Global Ionosphere Maps
<i>EUV</i>	: Extreme Ultra Violet
<i>N_p</i>	: Proton yoğunluğu
<i>N_e</i>	: Elektron yoğunluğu
<i>MeV</i>	: Mega elektron volt

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Depremlerin meydana geliş aşamalarındaki belirsizliklerden dolayı, depremlerin ne zaman, nerede ve hangi büyüklüklerde meydana geleceği gizemi günümüzde halen daha tam olarak keşfedilebilmiş değildir. Bunun yerine bilim adamları tarafından deprem öncülerinin belirlenmesi ve deprem tahmininde bu öncülerin kullanılması üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Depremler sismik faaliyetler olduğu için sismik faaliyetler oluşmadan önce çeşitli belirtiler meydana getirmektedir. Sismik aktivitelerin bir etkisinin de iyonosfer tabakası üzerinde olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple iyonosfer tabakası üzerinde değişimler gözlemlenerek olası sismik faaliyetler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda en önemli unsurlardan birisi de iyonosferik Toplam Elektron İçeriği (TEC-Total Electron Content) değerinin değişimidir. Sismik hareketlilik ile iyonosferde meydana gelen değişimler arasındaki ilişki, ilk olarak Barnes ve Leonard (1965) tarafından 27 Mart 1964 tarihinde meydana gelen Alaska depreminin ($M_w=9.2$) iyonosferde yaptığı değişimler incelenerek araştırılmaya başlanmıştır. Depremin gerçekleştiği bölgede sınırlı sayıda bulunan iyonosonda istasyonlarına ait gözlemler kullanılarak, iyonosondaların depremin merkez üssüne yakınlığı ilişkisinden depremin iyonosferde yaptığı etkilerin ilk değişimleri gözlemlenmiştir. Büyük depremlerden önce herhangi bir öncül işaretin belirlenmesi için kritik frekans, F2 katmanının en üst elektron yoğunluğu ve TEC incelemesi üzerine çeşitli çalışmalar da yapılmıştır (Datchenko vd., 1972). Yatsugutage Rasathanesi'nde 1995 yılından beri olası bir depremin tahmini için yer manyetik alanındaki değişimler ile iyonosfer tabakasındaki değişimlerin incelenmesi çalışmalarına devam edilmektedir. Bu rasathanede, 17 Ocak 1995 Kobe depremi ($M_w=6.9$) için deprem ve elektromanyetik alan ilişkisi incelenerek, depremin deprem öncesi elektromanyetik ölçümlerde bir anomali oluşturduğu belirlenmiştir (Nagao vd., 2002). Chuo vd., (2002)'de, Chung-li iyonosonda istasyonunda gözlemlenen foF2 kritik frekans değişimleri ile 20 Eylül 1999 Chi-Chi depremi ($M_w=7.6$) ve 22 Ekim 1999 Chia-Yi depreminin ($M=6.4$) gerçekleştiği periyotta gözlemlenen veriler değerlendirilerek, 15 günlük hareketli ortalama değerler istatistiksel analiz yöntemine göre değerlendirilmiş; Chi-Chi (3-4 gün), Chia-Ya (1-3 gün) önce foF2 verilerinde anormal değişimler ortaya çıkmıştır.

Günümüzde elektron yoğunluğu değişimi ile sismik hareketlilik arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Pulnits vd., (1994) tarafından depremin iyonosfer tabakasından geçen radyo sinyallerinde oluşturduğu olumsuz etkileri incelemek için Litosfer-Atmosfer-İyonosfer Bağlantısı (LAIC) modeli oluşturulmuştur. Bu alandaki ilk hipotez, sıkışan kayaların ortaya çıkardığı elektrik akımı (piezoelektrik) etkisidir. Laboratuvar ortamında yapılan bir deneyde, granit bloğunun üst yüzeyine mekanik basıncın artırılarak uygulanması sürecinde granit bloğunun yan yüzeylerinin havayla temas ettiği yerlerde iyonlaşmanın olduğu gözlemlenmiştir (Freund, 2005). Laboratuvar ortamında sıkıştırılan kayaların sıkışmayan taraflarına doğru metre seviyesinde kuvvetli elektron akışının gerçekleştiği belirlenmiştir. Dünya üzerindeki geniş alanlarda gerçekleşen bu elektron akışı, yeryüzünden atmosfere doğru kilometrelerce mesafeye kadar ulaşabilir. Pulnits (2009)'da, küresel elektrik akımı (KEB-GEC: Global Electric Current) kavramı ile düşey atmosferdeki elektrik alanının varlığı ve litosferin iyonosferle olan bağıntısını önermiş ve aktif tektonik fay bölgelerinde havanın iyonizasyonunun artan radon salınımı ile ilişkisini araştırmıştır. Yerel olarak yapılan KEB'nin iyileştirilmesi çalışması tektonik aktivitenin iyonosferik değişimle ilişkisini ortaya çıkarmıştır. Kuo vd., (2011) tarafından, sıkışan kayaçların yeryüzüne elektrik yük/akım salınımını gerçekleştirdiği, sıkışan kayaçlar-yeryüzü yükleri-atmosfer-iyonosfer sistemi formülize edilerek deneysel sonuçlarla ortaya koyulmuştur. Klimenko vd., (2011) tarafından yapılan çalışmada, 12 Mayıs 2008 Wenchuan depreminin ($M_w=7.9$) sismo-iyonosferik etkisi atmosferik elektrik alanı ve/veya küçük ölçekte yerçekimi dalgalarıyla (IGW: Internal Gravity Waves) açıklanmıştır. Araştırma sonucunda, sismo-iyonosferik etki mekanizmasının yeryüzünden iyonosfere sismik aktivitelere bağlı bir elektrik alanı etkileşimi şeklinde olduğu belirlenmiştir. Büyük depremlerin öncesinde meydana gelen havadaki bu iyonizasyon artışı elektrik iletkenliğini artırırken iyonosferik bozulmalara, deprem ışıklarına ve kızılötesi yayılımlara ve buna bağlı olağan dışı hayvan davranışlarına sebep olabilir (St-Laurent vd., 2006; Freund vd., 2009; Freund, 2011).

LAIC modeliyle birlikte iyonosferik TEC değişimlerinden deprem öncülerinin belirlenmesi önem kazanmaya başlamıştır. İyonosferik TEC'in modellenmesi çalışmalarına ilk olarak 1950'ler de başlanmıştır. İlk ölçümler ay yüzeyine yansıtılan çok yüksek frekanslı (VHF: Very High Frequency) radyo dalgalarının geri dönmesi sonucu sinyalde meydana gelen polarizasyon bükülmelerinin gözlemlenmesiyle yapılmıştır. Yapay uyduların yörüngeye oturtulmasından sonra bu uydulardan yayınlanan VHF radyo

sinyalleri kullanılarak TEC değerlerinin hesaplaması yapılmıştır (Klobuchar ve Aarons, 1973). Kartal (1995) çalışmasında Balkan bölgesindeki iyonosferik TEC değişimleri, iyonosonda verileriyle belirlenen iyonosfer tabakasının foF2 kritik frekans değerlerini Di Giovanni ve Radicella (DGR) modelinde kullanarak belirlemiş ve Uluslararası Referans İyonosferi (IRI: International Reference of Ionosphere) ile test ederek güvenilir sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Hassas konum belirlemede kullanılan GNSS uyduları aynı zamanda dünyanın etrafında dolaşan birer algılayıcı gibi kullanılarak deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası iyonosferik TEC değişimlerinin belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Wild (1994)'de, iyonosferik TEC'i oluşturan deterministik model ve iyonosferin düzensiz kısmını oluşturan stokastik model ile Dünya'nın herhangi bir yerinde ve herhangi bir zamanında iyonosferik TEC belirleme çalışması sonucunda, çift frekanslı GPS alıcıları ile bölgesel veya yerel iyonosferik TEC'in saatlik çözünürlükte bile güvenilir olarak hesaplanabileceği görülmüştür. Komjathy (1997) tarafından yapılan çalışmada, iyonosferin çift frekanslı GPS sinyalleri üzerine olan etkileri araştırmıştır. Ayrıca GPS verileri ile bölgesel ve global ölçekte saatlik TEC haritalarını oluşturan bir yazılım geliştirilmiş ve IGS istasyonlarına ait veriler kullanılarak uygulaması yapılmıştır. Schaer (1999) tarafından da global ve bölgesel iyonosferik haritaları oluşturan altyapı hazırlamış, istasyon bazlı TEC haritaları oluşturulmuş, global TEC parametrelerinin ve haritalarının kestirimini yapmış, GPS/GLONASS sistemleri için uydu ve alıcı DCB kestirimleri yapılmış, DCB zaman serileri oluşturulmuş, iyonosfer haritası değişimi (IONEX: IONosphere map EXchange) formatında IGS (International GNSS System) global iyonosfer haritaları hazırlanmıştır. Can ve Gümrükçü (2009) tarafından yapılan çalışmada, depremlerin GPS sinyalleri üzerindeki etkileri araştırılmış, farklı iyonosfer modelleri ve IRI iyonosfer modeli kullanılarak toplam elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi incelenmiştir. Erdoğan ve Arslan (2009)'da, 12 ve 13 Nisan 2006 tarihlerinde Avrupa'da bulunan IGS istasyonları verilerinden elde edilen her bir uydu ve alıcı arasındaki VTEC değerlerine zaman serileri analizi uygulanarak incelenmiştir. Arslan (2010)'da, şiddetli jeomanyetik fırtınanın GPS konum değişimlere ve 2 saat çözünürlüklü hesaplanan TEC değişimlerine etkileri araştırılmıştır. Şiddetli jeomanyetik fırtına etkisine maruz kalan TEC değişimlerindeki artışın, 2 saat çözünürlüklü koordinat bileşenlerine ait baz uzunluğunda da artışa sebep olduğu görülmüştür. Nohutcu vd., (2010) tarafından yapılan çalışmada, 26 Eylül 2007 tarihinde Türkiye geneline yayılmış 27 tane çift frekanslı GPS alıcısına ait GPS gözlemleri kullanılarak B-Spline fonksiyonları ile VTEC modellemesi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada modelleme, 2-boyutlu yaklaşımla Güneş-sabit referans sisteminde iyonosfer sabit varsayımında bulunarak iki parametrelili, 3-boyutlu yaklaşımda ise Yer-sabit referans sisteminde iyonosferin zamana bağlı değişimi de göz önüne alınarak üç parametrelili bir modelleme gerçekleştirilmiştir. Karslioglu ve Durmaz (2012) tarafından yapılan çalışmada da, bölgesel iyonosferik VTEC'in mekansal ve zamansal boyutlarda çok değişkenli uyabilen B-Spline regresyonu (BMARS) kullanılarak belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Çalışmada Avrupa'daki GPS istasyonlarından elde edilen veriler, 15 Şubat 2011 tarihinde meydana gelen jeomanyetik bir fırtınayı da göz önüne alarak değerlendirilmiştir. Algoritmanın performansını değerlendirebilmek için BMARS sonuçları hem nümerik hem de görsel olarak Nohutcu vd. (2010) tarafından sunulan B-Spline'a dayalı diğer bir bölgesel iyonosfer modeli ve küresel harmoniklere dayalı bir modelleme ile karşılaştırılmıştır. BMARS algoritmasıyla daha yumuşak VTEC değerleri elde edilmiş ve düşük RMS değerleri hesaplanmıştır. BMARS algoritması bölgesel ölçekte çok iyi sonuçlar vermiştir. Çepni vd., (2013)'de, istasyon tabanlı iyonosferik TEC değişimleri zenit açısı ağırlıklandırma filtresiyle belirlenmiş ve küçük bölgelerde iyonosferik TEC değişimlerinin istasyon tabanlı hesabının daha uygun olacağı gösterilmiştir. Durmaz ve Karslioglu (2014)'de, bölgesel VTEC modellemeleri için yarı-parametrik değişkenli uyabilen B-Spline Regresyonu (SP-BMARS) yöntemi kullanılarak uydu ve alıcı DCB'leri elde edilmiştir. Ortaya çıkan modelin güvenilirliği yerel iyonosferik modeller ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca uydu ve alıcılara ait DCB kestirimleri yine Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü'ne bağlı Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi'nin (CODE: Center for Orbit Determination in Europe) yayımladığı DCB değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, SP-BMARS algoritmasının uydu ve alıcı DCB'lerini kestirmede kullanılabilir olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Depremlerden önce meydana gelen iyonosferik TEC değişimlerinin, depremlerin önceden tahmininde kullanılabilirliği üzerine çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Liu vd., (2004)'de, deprem öncesi iyonosferik TEC anomalileri GPS alıcıları tarafından elde edilen verilerle araştırılmıştır. Bu çalışmada, Eylül 1999 - Aralık 2002 tarihleri arasında Tayvan'da meydana gelen ($M = 6.0+$) depremler için elde edilen iyonosferik TEC değerlerine 15 günlük hareketli ortanca değer istatistiksel analiz yöntemi uygulanarak İyonosferik TEC anomalileri elde edilmiştir. Pulinets vd., (2007) tarafından yapılan araştırmada, 16 Ekim 1999 tarihinde Kaliforniya'da gerçekleşen, HectorMine depremi ($M_w=7.1$), 22 Ocak 2003 tarihinde Meksika'da meydana gelen Colima depremi ($M_w=7.6$),

22 Aralık 2003 tarihinde Kaliforniya'da gerçekleşen San Simeon Depremi ($M_s=6.5$) ve 28 Eylül 2004 tarihinde Kaliforniya'da meydana gelen Parkfield depremin ($M_w=6.0$) incelenmiştir. Depremlerin meydana geldiği bölgelerdeki GPS istasyonlarından elde edilen verilerle çapraz korelasyon analizi, bölgesel iyonosferik TEC haritalamaları ve bölgesel değişkenlik indeksi yöntemleri kullanılarak bölgesel iyonosferik TEC anomalilerinin depremlerden yaklaşık 5-10 gün önce ortaya çıktığı belirlenmiştir. Zakharenkova vd., (2007) tarafından yapılan 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi ($M_w=8.3$) öncesi iyonosferik TEC değişimlerinde meydana gelen deprem öncülerini belirlemeye yönelik analizde, anormal TEC değişimlerinin depremin merkez üssüne yakın bölgelerde depremden 5 gün öncesinde ortaya çıktığı belirlenmiştir.. Liu vd., (2009)'de, 12 Mayıs 2008 tarihinde Çin'de meydana gelen Wenchuan depreminden ($M_s=8.0$) önce ortaya çıkan iyonosferik anomalileri araştırmıştır. Çalışmada, deprem merkez üssü etrafındaki 13 GPS istasyonu verileriyle Neymen-Pearson sinyal tespit yöntemi kullanılarak deprem öncesi iyonosferik TEC anomalilerinin depremden 7 gün önce ortaya çıktığı belirlenmiştir. Namgaladze vd., (2009) tarafından, güçlü depremlerin iyonosferde GPS sinyallerinden elde edilen TEC değişimlerinin ekvatorial ve orta enlemde meydana gelen depremlerin iyonosferin F2 bölgesine yaptıkları etkileri araştırmış ve anomalilerin depremlerden 1-4 gün önce ortaya çıktıklarını belirlemiştir. Jhuang vd., (2010) tarafından, 12 Mayıs 2008 tarihinde meydana gelen Wenchuan depreminin ($M_w=8.0$) deprem öncesinde ortaya çıkan sismo-iyonosferik anomalileri, Global iyonosfer haritalarından (GIM: Global Ionosphere Map) elde edilen TEC değerleri normlandırılarak hesaplanmış ve deprem öncesi iyonosferik TEC anomalilerinin depremden 5, 6 ve 13 gün önce ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Aynı depremin Lin (2011) tarafından yapılmış çalışmasında, deprem öncesi temel bileşenler analizi (PCA: Principal Component Analysis) yöntemi ile iyonosferik TEC anomalilerini belirlenmiş ve deprem öncesi iyonosferik anomalilerin depremden 3 gün önce ortaya çıktığı görülmüştür. Özilhan (2010)'da, Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde 2009 yılında meydana gelen bazı depremlerin çevresindeki GPS istasyonlarından elde edilen VTEC verilerine çapraz ilinti katsayısı, Kullback-Leibler Mesafesi ve L2 normu uygulanarak VTEC kestirimlerinin olası deprem işaretleriyle ilişkisi incelenmiş ve depremlerden 3-5 gün önce iyonosferik TEC anomalileri belirlenmiştir. Liu vd., (2010)'de, 2001-2007 yılları arasında Tayvan bölgesinde meydana gelmiş depremler ($M \geq 5.0$) için sekiz GNSS alıcısından elde edilen GPS gözlemleri 15 günlük hareketli ortanca değer istatistik analiz yöntemi kullanılarak iyonosferik TEC değişimleri analiz edilmiştir. Karatay (2010)

tarafından yapılan çalışmada, Japonya ve Çin’de konumlandırılmış sekiz adet GPS istasyonundan ve Türkiye’de konumlandırılmış on bir adet TUSAGA-Aktif istasyonundan elde edilen VTEC değerleri kullanılarak, çapraz ilinti katsayısı, simetrik Kullback-Leibler mesafesi, L2 normu, kayan pencere istatistiksel analizi ve dağılımlar ıraksaklığı yöntemleri ile iyonosferin; sakin günlerini, jeomanyetik fırtınaları günlerini ve güçlü depremler öncesi meydana gelen TEC anomalilerini belirleme araştırması yapılmıştır. Liu vd., (2011) tarafından, dört büyük depremden (26 Aralık 2004 Sumatra M=9.3, 26 Aralık 2006 Pingtung M=7.0, 16 Temmuz 2007 Chuetsu Oki M=6.8, ve 12 Mayıs 2008 Wenchuan M=8.0) önce meydana gelen deprem öncesi iyonosferik anomaliler çapraz-sorgulama yöntemine göre araştırılmıştır. Bu çalışmada, kabuk gerilimleri, ses hızı altı dalgalar, muhabbet kuşu zıplamaları verileri litosferdeki ve atmosferdeki anomalileri izlemeye kullanılırken, iyonosferik anomalileri izlemeye TEC değişimleri kullanılmıştır. Bahsi geçen verilere kendi aralarında çapraz-sorgulama yapılmış ve deprem öncesi anomaliler; Sumatra depreminden 5 gün önce, Pingtung depreminden 4 gün önce, Chunetsu Oki depreminden 3 gün önce ve Wenchuan depreminden 4-6 gün önce belirlenmiştir. Akhoondzadeh (2012)’de, 11 Mart 2011 tarihinde meydana gelen Tokyo depremi (Mw=9.0) öncesinde iyonosferik TEC anomalileri ortalama değer, ortanca değer, dalgacık dönüşümü ve kalman filtreleme tekniği kullanarak belirlenmiş ve 2 saat çözünürlüklü günlük TEC değişimleri verileri, GIM-TEC haritalarından meydana gelen depremin merkez üssüne ait coğrafi enlem ve boylam koordinatlarına göre analiz edilerek, TEC anomalileri depremden 1-3 gün önce ortaya çıktığı belirlenmiştir. Arıkan vd., (2012)’de, 23 Ekim 2011 tarihinde Van depremi (Mw=7.2) öncesinde iyonosferik TEC’de meydana gelen anomalileri belirlemek için, simetrik Kullback-Leibler mesafesi yöntemi kullanılarak bir analiz yapılmış ve depremden yaklaşık 6 gün öncesinde iyonosferik deprem öncülü işaretleri belirlenmiştir. Akhoondzadeh (2013) çalışmasında, 6 Şubat 2013 tarihinde Avusturalya-Pasifik tektonik plakasında meydana gelen ve Solomon Adalarını vuran deprem (Mw=8.0) öncesinde ortaya çıkan iyonosferik TEC anomalilerini çeşitli istatistik analiz yöntemleriyle belirlemiş ve analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Akyol (2013)’de, 2010-2011 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş depremlerin 150 km yarıçaplı alanında bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarından elde edilen verilerden VTEC değişimleri hesaplanmış ve Richter ölçeğinde 5 ve üzeri meydana gelen depremler için uyarı işareti gözlemlenmiştir. Lin (2013)’de, 21 Eylül 1999 Tayvan’da meydana gelen Chi-Chi depreminin (Mw=7.6) neden olduğu iyonosferik TEC değişimleri, lineer olmayan

PCA ve PCA kullanarak araştırılmış ve iyonosferik anomalilerin depremde 1, 3, 4 ve 38 gün önce ortaya çıktığı belirlenmiştir. Pundhir vd., (2014)'de, 1 Nisan - 1 Mayıs 2013 tarihleri arasında Hindistan ve etrafındaki ülkelerde meydana gelmiş birçok deprem için GPS verilerinden elde edilen iyonosferik TEC değişimleri çeyrek ve epok tabanlı istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak depremde 1-9 gün önce iyonosferik TEC anomalilerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Deprem kaynaklı TEC değişiminin incelenmesinde iyonosferi etkileyen uzay iklim koşullarının dikkate alınmaması yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Uzay iklim koşulları (Güneş aktiviteleri, jeomanyetik fırtınalar, jeomanyetik aktiviteler, manyetik alan değişimleri, plazma yoğunluğu, parçacık akısı vd.) ve sismik aktiviteler, iyonosferik plazmada değişimlere sebep olurlar. Bu değişimler hem doğal hem de yapay olarak meydana getirilen sinyallerin bozulmasıyla tespit edilebilirler. Bu nedenle iyonosferik TEC değişimlerinin deprem öncülü olabilirliğinin araştırılmasında, önce uzay iklim koşullarının incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Uzay iklim koşullarının iyonosferik TEC'e yapmış olduğu etkilerin belirlenmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Liu vd., (2001) tarafından yapılan çalışmada, elektron yoğunluğu (NmF2) değerleri ile TEC değişimleri arasındaki korelasyonun yüksek olduğu belirlenmiştir. Barbás vd., (2002) tarafından, Arjantin'in Tucuman bölgesindeki GNSS istasyonlarının 1-19 Nisan 1997 tarihlerindeki verilerinden VTEC değişimleri hesaplanmış ve 11-12 Nisan 1997 tarihlerinde gerçekleşen jeomanyetik fırtınanın (Kp=7) bu değişimlere yapmış olduğu etkiler incelenerek, sakin jeomanyetik fırtına dönemlerine göre yaklaşık %30 civarında bir artış olduğu belirlenmiştir. Wu vd., (2004)'de, Güneş'in etkisinin en az olduğu dönem olan Eylül 1996-Ağustos 1997 tarihleri arasında Tayvan Bölgesi'ndeki 9 GPS istasyonu verilerinden elde edilen TEC değişimlerinin Kp indisi değişimleri ile arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.41$ ve aynı TEC değişimlerinin jeomanyetik aktivite (Dst) indisi değişimleri ile arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.72$ olarak belirlenmiştir. Singh vd., (2009) tarafından, 1 Eylül 2006 - 30 Kasım 2007 tarihleri arasında Agra (Hindistan) istasyonunun GPS verilerinden belirlenen TEC değişimlerinin istatistik analizi yapılarak hafif manyetik fırtınaların meydana geldiği zamanlar ve depremlerden önceki zamanlar için anormal TEC değişimleri incelenmiş ve genel olarak Hindistan ve civarındaki bölgelerde gerçekleşen depremlerden 0-9 gün öncesinde iyonosferik TEC anomalileri belirlenmiştir. Akhoondzadeh vd., (2010) tarafından yapılan çalışmada, DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions) uydusu plazma

sondajı verileri ve GPS-TEC değişimleri dört büyük deprem için jeomanyetik aktivite (Dst ve Kp) indisleri de dikkate alınarak depremden 1 ile 5 gün öncesinde iyonosferik anomaliler belirlenmiştir. Zhao vd., (2010)'da, 12 Mayıs 2008 Wenchuan depreminden ($M_w=7.9$) önce ortaya çıkan iyonosferik öncülleri araştırmak için Çin ve yakınındaki GPS alıcı verilerinden elde edilen iyonosferik TEC değişimleri incelenmiş ve 9 Mayıs 2008 tarihinde öğlen-akşam saatlerinde ve jeomanyetik koşulların sakin olduğu anlarda depremden 3 gün önce anormal TEC genişlemesi görülmüştür. Akhoondzadeh (2012)'de, 11 Mart 2011 Tokyo depreminin meydana getirdiği anormal TEC değişimlerini belirlemede, uzay iklim koşullarının ortaya çıkarabileceği olumsuz etkileri ayrıştırabilmek için jeomanyetik ve solar aktivite indisleri kullanılmış ve deprem öncesi iyonosferik TEC anomalileri depremden 1-3 gün önce belirlenmiştir. Yao vd., (2012a) tarafından yapılan araştırmada, 2010 yılında meydana gelen 7 deprem ($M_w \geq 7$) için deprem öncesi iyonosferik TEC değişimleri Global iyonosfer haritalarından (GIM) elde edilmiştir. Deprem öncesi belirlenen TEC anomalileri, uzay iklim koşulları ve manyetik alan değişimleri dikkate alınarak incelenmiş ve bazı durumlarda iyonosferik anomalilerin uzay iklim koşullarından kaynaklandığı görülmüştür. Su vd., (2013)'de, 16 Ekim 1999 tarihinde meydana gelen HectorMine depremi ($M_w=7.1$) öncesi GPS verilerinden hesaplanan iyonosferik TEC değişimlerinin sismo-iyonosferik öncülü olabilirliği solar radyasyon ve manyetik fırtınalar dikkate alınarak incelenmiştir. Ayrıca GIM haritalarından global iyonosferik TEC değişimleri belirlenmiş ve her iki yöntemle elde edilen iyonosferik TEC anomalileri depremden 5 gün önce görülmüştür. Zhu vd., (2013) tarafından, 11 Nisan 2012 Endonezya'nın batı kıyılarında Sumatra'yı vuran deprem ($M_s=8.6$) için GPS verilerinden belirlenen iyonosferik TEC değişimleri solar aktivite ve manyetik fırtınalar dikkate alınarak incelenmiş ve depremden 6 gün önce iyonosferik TEC anomalisi tespit edilmiştir. Chen vd., (2014)'de Düşük Güneş aktivitesi anlarında NmF2 ve EUV akısı değişimlerinin birbirine göre doğrusal olduğu gösterilmiştir. Bu bağlamda, EUV akısı değişimleri ile TEC değişimleri arasındaki korelasyonun yüksek olabileceği söylenebilir.

Bir bölgede deprem öncesi iyonosferik anomaliler, GPS ölçülerinden elde edilen iyonosferik TEC değişimleri ile aynı bölgede farklı ölçme yöntemleri elde edilen veriler beraber değerlendirilerek belirlenmektedir. İyonosferik TEC değişimlerinin yanı sıra kısa dalga radyo sinyali izlemesi yapılan ve iyonosfer radarı denilen iyonosondalardan elde edilen iyonosfer gözlemleri ile deprem öncesi iyonosferdeki değişimlerin incelenmesi yapılmaktadır. Liu vd., (2001) tarafından, 20 Eylül 1999 Chi-Chi depremi ($M_w=7.6$)

öncesinde Chung-Li iyonosondasından elde edilen foF2 kritik frekans, plazma frekansı değişimleri ile GPS gözlemlerinden elde edilen TEC değişimleri analiz edilmiştir ve deprem öncülleri Chi-Chi depreminden 1, 3 ve 4 gün önce belirlenmiştir. Zakharenkova vd., (2008)'de 26 Eylül 2005 Peru depremi ($M_w=7.5$) öncesinde ortaya çıkan iyonosferik anomalilerin belirlenmesi için GIM-TEC verileriyle birlikte atmosferik ve iyonosferik araştırmalar için kullanılan CHAMP (Challenging Minisatellite Payload) uydusu gözlemlerine ait elektron yoğunluğu verileri kullanılmıştır. TEC değişimlerinin analizi sonucunda depremden 2-3 gün önce ekvatorial anomalilerdeki değişimler CHAMP uydusu verilerinin analizi sonucunda doğrulanmıştır. Chauhan vd., (2009), 1 Mayıs-30 Kasım 2007 tarihleri arasında Agra GNSS istasyonunda gözlemlenen GPS ölçülerinden hesaplanan iyonosferik TEC ve Bichpuri istasyonunda gözlemlenen çok düşük frekans (ULF: Ultra-low-frequency) manyetik alan gözlemleri ile elde edilen verilerin istatistiksel analizleri sonucunda $M_w \geq 4.5$ olan yerel depremlerden önce iyonosfer ve manyetosfer tabakalarında anomaliler meydana getirdiğini belirlemiştir. Singh vd., (2010)'da, DEMETER uydusundan alınan elektron yoğunluğu (Ne) verileri ve GPS-TEC değişimleri beraber değerlendirilmiş, 8 Ocak 2007 ($M=6$) ve 5 Mayıs 2007 ($M=6.2$) tarihinde Hindistan'da meydana gelen depremlerin, merkez üslerinin 1587 km ve 887 km uzağındaki Agra gözlem istasyonuna olan etkileri, yedi ay boyunca değerlendirilen TEC ve Ne değişimlerinin depremden 1-4 gün önce ve 1-2 gün sonra aylık ortalama değerlerinin %40-80 arasında farklı değerler belirlenmiştir. Xu vd., (2011)'de, 11 Mart 2011 Tokyo depremi ($M_w=9.0$) öncesinde ortaya çıkan anomalileri belirlemek için Uluslararası GNSS servisi açısından elde edilen GPS-TEC değişimleri ve Ulusal Atmosferik Araştırmalar Merkezi Bilimsel Hesaplama Bölümü (NCAR: Scientific Computing Division of the National Center for Atmospheric Research) tarafından sunulan Gizli Yüzey Isısı Akısı (SLHF: Surface Latent Heat Flux) verilerine ait değişim analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları GPS-TEC ve SLHF artışlarının depremden 3 gün önce ortaya çıktığını göstermiştir. Karia vd., (2012)'de, 30 Eylül 2009 Sumatra depreminin ($M_w=7.6$) GIM-TEC değişimleri ve DEMETER uydusu tarafından yapılan elektron yoğunluğu gözlemleri kullanılarak deprem öncesi iyonosferik anomalilerin belirlenmesi üzerine bir analiz yapmıştır. Deprem öncesi iyonosferik anomalilerin depremden 1, 3 ve 5 gün önce ortaya çıktığı belirlenmiştir. Akhoondzadeh vd., (2012)'de, elektron ve iyon yoğunluğu, elektron sıcaklığı, TEC, elektrik alanlar, manyetik alanlar ve karasal yüzey sıcaklığı gibi değişkenleri, Samoa Adaları depremi (29 Eylül 2009, $M_w=8.1$), Sichuan depremi (12 Mayıs 2008, $M_w=7.9$) ve

Borujerd depremi (31 Mart 2006, $M_w=6.1$) öncesinde meydana gelen anomalileri belirlemek için jeomanyetik indis (Dst ve Kp) değişimleri de incelenmiştir. Deprem öncesi görülen iyonosferik anomaliler Samoa depreminden 15 gün önce, Sichuan depreminden 10 gün önce ve Borujerd depreminden 1-2 gün önce görülmüştür. Yao vd., (2012b)'de, 11 Mart 2011 Honshu depremi ($M_w=9.0$) öncesinde ortaya çıkan iyonosferik anomalileri belirlemek için deprem merkez üssüne yakın GNSS ve iyonosonda istasyon verileri ile elde edilen GPS-TEC ve foF2 değişimleri kullanılarak deprem öncesinde iyonosferde meydana gelen anomaliler, depremden 3 gün önce ortaya çıktığı belirlenmiştir. Ho vd., (2013)'de, 27 Şubat 2010 Şili depremi ($M_w=8.8$) öncesi iyonosferik anomalileri araştırmak için TEC değişimleri GIM-TEC haritalarından, elektron yoğunluğu (Ne) değişimlerini de DEMETER uydusuna ait ölçüler kullanılarak konumsal analizler sonucunda deprem öncesi iyonosferik anomalilerin depremden 1-6 gün önce deprem merkez üssü üzerinde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Ovalle vd., (2013) tarafından, 27 Şubat 2010 Şili depremi ($M_w=8.8$) öncesi maksimum elektron yoğunluğu (NmF2) ve TEC değişimleri araştırılmıştır. Deprem öncesi NmF2 ve TEC anomalilerinde görülen işaretler diğer parametreler (elektron/ion yoğunluğu, enerji yüklü parçacık patlamaları ve elektromanyetik yayılımlar) ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada, deprem öncesi ortaya çıkan iyonosferik deprem anomalilerinden bazılarının diğer parametrelerle tutarlı oldukları belirlenmiş ancak hiçbiri açıkça Şili depremiyle ilişkilendirilememiştir.

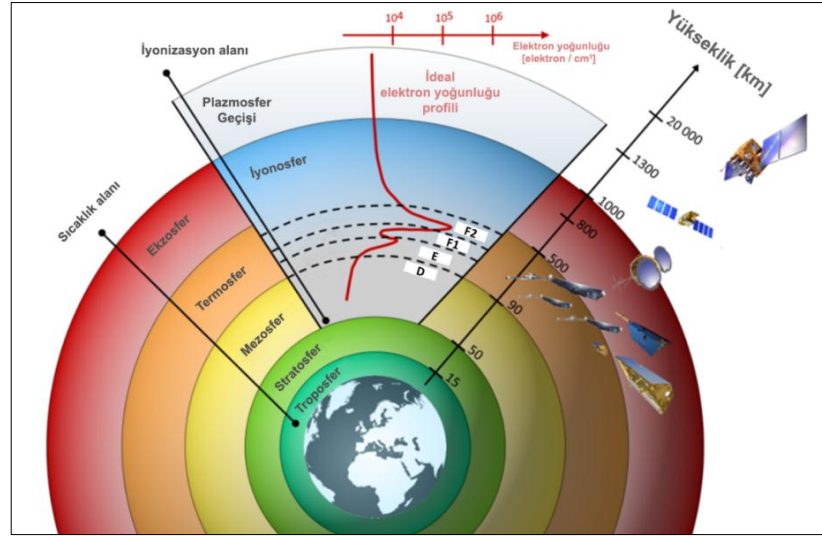
Literatür araştırmalarında görüldüğü gibi çalışmalarda, genellikle aynı bölgede meydana gelmiş depremler öncesi iyonosferik TEC anomalileri analiz edilmiş; uzay iklim koşullarından kaynaklanan muhtemel iyonosferik bozulmaların belirlenmesi için yalnızca jeomanyetik fırtına (Kp), jeomanyetik aktivite (Dst) ve güneş akısı (F10.7) indisleri kullanılmış; depremlerle iyonosferik TEC anomalileri arasındaki ilişki analizinde bölgenin jeo-tektonik yapısı dikkate alınmamıştır. Bu tez kapsamında, ekvatorial ve orta kuşakta 2000 yılından sonra meydana gelmiş $M=7+$ depremler için iyonosferik anomaliler analiz edilmiş; uzay iklim koşullarından kaynaklanan muhtemel iyonosferik bozulmaların belirlenmesi için jeomanyetik fırtına (Kp), jeomanyetik aktivite (Dst), güneş akısı (F10.7, EUV 0.1-50 nm, EUV 26-43 nm), manyetik alan (Bx, By, Bz), plazma yoğunluğu (NP) ve plazma akısı (>1 MeV, >2 MeV, >4 MeV, >10 MeV, >30 MeV, >60 MeV) gibi birçok indis kullanılmış; depremlerle iyonosferik TEC anomalileri arasındaki ilişki analizinde bölgenin jeo-tektonik yapısı dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, birçok uzay iklim koşulu indislerinin analizi sonucu iyonosfer ortamının deprem öncesi sakin günleri daha gerçekçi

belirlenmiş; bu sakin günlere göre farklı kuşaklar olan Ekvatorial ve Orta kuşaklardaki depremler öncesi iyonosferik TEC anomalileri belirlenerek bu farklı kuşaklar için sonuçlar irdelenmiş; depremlerin meydana geldiği bölgelerin jeo-tektonik yapıları, depremlerin derinlikleri, büyüklükleri ve kara ya da denizde meydana gelme durumları dikkate alınarak iyonosferik TEC anomalileri değerlendirilmiştir. Özetle bu tezde, ekvatorial ve orta kuşaklarda deniz ya da karada meydana gelen farklı büyüklüklerde ve farklı derinliklerdeki depremlerden iyonosferik TEC değişimlerinin nasıl etkileneceğinin, depremlerin meydana geldikleri bölgelerin jeo-tektonik yapısı da dikkate alınarak ortaya konulması ve yorumlanması amaçlanmıştır. Sonuçların (LAIC) modeline de katkıda bulunması düşünülmektedir.

Bu tezin birinci bölümünde, geniş bir literatür taraması; iyonosferin yapısı, iyonosferdeki iyonizasyon ve iyonizasyonun ana kaynağı, uzay iklim koşulları ve indisleri; jeo-tektonik yapı ve depremler, iyonosferik deprem öncülerinin fiziksel mekanizması; iyonosferin GPS sinyallerine etkisi, GPS sinyallerinden iyonosferik TEC değişimlerinin belirlenmesi ve GPS-TEC değişimlerinin analizi hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde yapılan çalışmalar; üçüncü bölümde elde edilen bulgular; dördüncü bölümde irdellemeler; beşinci bölümde sonuçlar; altıncı bölümde öneriler sunulmuştur.

1.2. İyonosfer

Dünya'nın etrafını çevreleyen atmosfer tabakasını, %99 Azot (N_2) ve Oksijen (O_2) kalan kısmını ise Karbondioksit (CO_2) ve diğer gaz halindeki yapılar oluşturmaktadır (Rishbeth ve Garriott, 1969; Ratcliffe, 1972; Kelley, 1989). Dünya'nın atmosferi, Güneş'in aktivitesine, Dünya'nın yerçekimine ve manyetik alanına, sıcaklığa ve iyonizasyon derecesine bağlı olarak çeşitli katmanlara ayrılır. Sıcaklığa bağlı olarak troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosfer bölgelerine ayrılmıştır. İyonizasyon derecesine bağlı olan iyonosfer tabakası, 70 km yüksekliğe kadar nötr iyonosfer, 70 km yükseklikten 1000 km yüksekliğe kadar plazmosfer ve manyetosfer olarak ayrılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Atmosferin katmanları (URL-2, 2014'ten değiştirilerek).

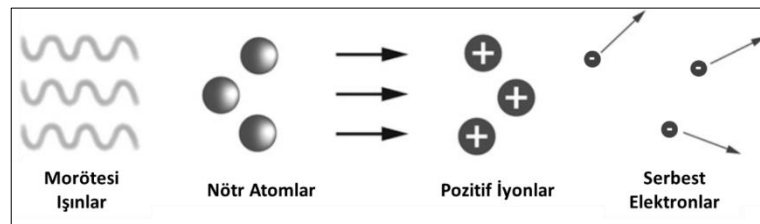
Troposfer, kalınlığı yaklaşık 7 – 16 km arasında kutup ve ekvatorial bölgeler üzerinde değişen atmosferin en alt tabakasıdır. Atmosferde bulunan gazların %75'i, su buharının ise tamamı bu katmanda bulunmaktadır. Yoğunluğu en fazla olan katmandır. Meteorolojik oluşumların tamamının meydana geldiği bu katman hava sıcaklığının düzenlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Güneş'ten Dünya yüzeyine gelen ısı radyasyonunun büyük kısmının emildiği tabakadır (Rishbeth ve Garriott, 1969; URL-3, 2014). Stratosfer, Atmosferin Dünya'dan itibaren yaklaşık 16 – 50 km yüksekliklerde olan ikinci tabakadır. Stratosfer Güneş'in zararlı morötesi radyasyonunun Dünya yüzeyine ulaşmasını engelleyen Ozon tabakasını bulundurmaktadır. Mezosfer, yaklaşık 50 – 80 km yükseklikler arasında bulunan, yüksekliğin arttıkça sıcaklığın azaldığı, atmosfer sıcaklığının en düşük ($\sim 93^{\circ}\text{C}$) olabildiği ve basıncın düşük olduğu tabakadır (Rishbeth ve Garriott, 1969). Termosfer, sıcaklığın yüksek ve yoğunluğun düşük olduğu, bünyesinde iyonosferi barındıran ve yaklaşık 80 – 300 km yükseklikler arasında değişen tabakadır. Bu katmanda gazlar iyon halinde bulunur ve iyonlar arasında elektron alışverişi oldukça fazladır. Bu nedenle, termosfer katmanında haberleşme sinyalleri ve radyo dalgaları çok iyi iletilir. Ekzosfer, atmosferin en üst katı olup az miktarda hidrojen ve helyum atomlarından oluşur. Kesin sınırı bilinmemekle birlikte üst sınırının yerden yaklaşık 10.000 km yükseklikte olduğu kabul edilmiştir. Bu katmandan sonra artık bir sınır olmadığı için boşluğa geçiş başlar. Yapay uydular bu katmanda bulunur, yerçekimi çok düşüktür ve gazlar çok seyrek (URL-4, 2014).

İyonosfer, mezosfer ve termosfer bölgelerini kapsayan atmosferin yaklaşık 50 – 350 km yüksekliklerindeki tabakadır. Atmosferin en üst katmanında güneş ışınlarının

(morötesi- ve gama ışınları) nötr hava moleküllerinin önemli bir kısmını sürekli iyonize etmesi nedeniyle, bu katman iyonosfer olarak adlandırılır. İyonosfer tabakasının atmosferin üst kısmındaki iletken bir tabaka olarak anlaşılması yaklaşık bir asır öncesine dayanır. Atmosferin içindeki manyetik alan değişimlerinden etkilenen bir iletken tabakanın olduğu fikri 1839 yılında Gauss, 1860 yılında ise Kelvin tarafından ortaya konulmuştur. 1903 yılında Taylor ve 1906 yılında Fleming, bu tabakanın Güneş ışınlarından etkilendiğini belirtmişlerdir. Tam olarak iyonküre kavramı Thomson'un elektronu keşfinden birkaç yıl sonra geliştirilmiştir (Ratcliffe 1972; Komjathy, 1997; Karatay, 2010). Genel olarak iyonosfer; coğrafi konuma, jeomanyetik konuma, jeomanyetik aktiviteye, güneş aktivitesine, güneş lekeleri sayısına, mevsimselliğe, yerel zamana, nükleer patlamalara, kuvvetli yıldırım ve şiddetli fırtınalara, balistik füze uçuşlarına ve yüksekliğe bağlı değişimler gösterebilir (Wild, 1994; Secan ve Wilkinson, 1997; Sharma vd., 2008; Liu vd., 2014; Vellinov vd., 1992; Hawarey ve Ayan, 2004).

1.2.1. İyonosferdeki İyonizasyon (Foto-iyonizasyon) ve İyonosferin Bölgeleri

Gündüz Güneşten yayılan aşırı mor ötesi (EUV) ışınlar ve X-Işınları, atmosferde gaz halinde bulunan atomlara ve moleküllere çarparak pozitif yüklü iyonların ve negatif yüklü serbest elektronların oluşmasına yani Fotoiyonizasyona uğramasına sebep olurlar (Ratcliffe, 1972; Zolesi ve Cander, 2014) (Şekil 2).



Şekil 2. Foto-iyonizasyon olayı (Zolesi ve Cander, 2014'ten değiştirilerek).

Güneşin görülmediği saatlerde iyon ve elektronların tekrar birleşerek nötr atomları ve molekülleri oluşturmasıyla iyonosferdeki geriye dönük ters işlemler meydana gelir. İyonosfer tabakasında en önemli parametre olan birim hacimdeki elektron miktarını gösteren elektron yoğunluğu, coğrafi ve jeomanyetik konum, Güneş aktivitesi, jeomanyetik aktivite, mevsimsellik, yerel saat ve yüksekliğe göre değişim gösterir. Foto-

iyonizasyon, iyonosferdeki farklı süreçlerle elektron-iyon yoğunluğundaki değişimi etkilemektedir (Prölss, 2004; Durmaz, 2013; Hofmann-Wellenhof vd., 2008). İyonosferde gerçekleşen iyonizasyonun süreçleri:

Birincil Foto-iyonizasyon, Güneş'ten gelen fotonların atmosferin bölgesine göre baskın olan (X) gazlarına (O , N_2 ve O_2) çarpması sonucu nötr atomların son yörüngesinden elektronların (e_p^-) kopması ile birincil iyonizasyon,



biçiminde gerçekleşir. Daha sonra serbest kalan elektronlar, sahip oldukları yüksek enerji seviyesiyle diğer molekülleri de etkileyerek ikincil iyonizasyon sürecinin gerçekleşmesini sağlarlar. Yük değişimi, atmosferde nötr halde bulunan atomların (X) pozitif yüklü iyonlar (Y^+) ile çarpışması sonucunda son yörüngelerindeki elektronların değişimi sonucunda atomik veya moleküler yapıda pozitif yüklü (X^+) iyon ile muhtemel yeniden bağ kurabilecek (Y^*) ürün ile yük değişimi,



biçiminde gerçekleşir. Parçacık koparımı, üst atmosferde bulunan nötr gazların (X) yüksek enerjili birincil elektronlar (e_p^-) ile çarpışarak ikincil elektronların da (e_s^-) serbest bırakmasıyla,



biçiminde gerçekleşir. Moleküler haldeki iyonların kombinasyonu bozulması, moleküler haldeki pozitif yüklü iyonların (XY^+) yüksek enerjili elektronlar (e_p^-) ile çarpışarak muhtemel yeniden bağ kurabilecek atomik veya moleküler yapıda ürünleri (X^*, Y^*),

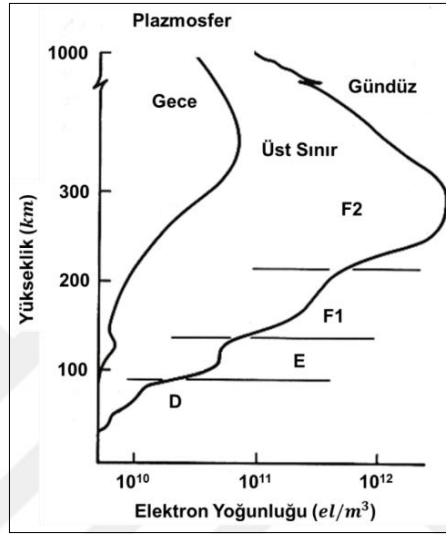


biçiminde oluşurlar. Radyoaktif olarak yeniden yapılandırılabilir atomik iyonlar, pozitif yüklü atomik haldeki iyonların yüksek enerjili elektronlar ile çarpışarak, muhtemel yeniden yapılandırılabilir ürünün (X^*) ve çıkan enerjinin tamamı veya bir kısmının ışıma (radyasyon) yaparak ortaya çıkması,



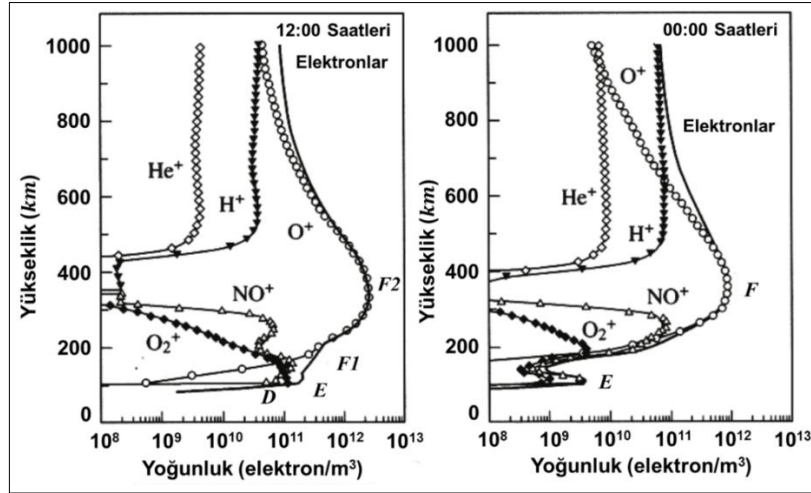
biçiminde gerçekleşir.

Çeşitli molekül ve atomların aynı olmayan ışın emilimlerinden, yükseklik farklarından ve nötr moleküllerin yoğunluk değişimlerinden dolayı, iyonosferde elektron yoğunluğunun farklı olduğu D, E, F1 ve F2 alt bölgeleri ortaya çıkmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. İyonosferde yüksekliğe göre elektron yoğunluğu değişimi (Pulinets ve Boyarchuk, 2004'ten değiştirilerek).

Bu alt bölgeler kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından farklı olduğundan, gündüz ve gece saatlerinde iyonosferik bölgelerin elektron-iyon yoğunluğu değişimi farklılık gösterebilir (Şekil 4).



Şekil 4. İyonosferin yüksekliğe göre elektron-iyon yoğunluk profili (Pulinets ve Boyarchuk, 2004'ten değiştirilerek).

D- Bölgesi, iyonosferin 60 -90 km arasındaki en alt tabakasıdır. Bu bölgede, gündüz ve gece elektron yoğunluğu değişimi oranı aynıdır. Güneş radyasyonunun nötr atmosferin küçük bileşenleri olan ve çok düşük iyonizasyon potansiyeline sahip azotmonoksit (NO) moleküllerinin NO^+ iyonuna dönüştürmesiyle bu bölgedeki pozitif yüklü iyon miktarı artar. Buna rağmen, geceleri elektronlar atomlara ve moleküllere tutunarak negatif iyonların oluşmasına sebep olurlar ve bunun sonucunda D bölgesi kaybolur. Gündüz ise güneşin radyasyonu sonucunda elektronlar kendilerini iyonlardan kurtarırlar ve D bölgesi elektronları ortaya çıkarak bu bölgeyi tekrar oluştururlar. Bunun sonucu olarak D bölgesindeki elektronlar, sadece gündüz anlarında 60 – 90 km yüksekliklerdeki elektron yoğunluğunun günlük değişimine neden olur (Wild, 1994; Pulinets ve Boyarchuk, 2004; Komjathy, 1997; Zolesi ve Cander, 2014). E- Bölgesi, iyonosferin 90 -140 km arasındaki ikinci tabakasıdır. Bu bölgenin davranışı tümüyle güneş aktivitesinin seviyesine ve güneşin zenit açısına bağlıdır. E bölgesinin değişimleri herhangi bir aktiviteden bağımsız ve günlük değişim gösterebilir. Bu bölgede güneşin mor ötesi radyasyonunun salınımı sonucu meydana gelen iyonizasyon, mevsimsel ve günlük değişimlere göre farklılıklar göstermektedir. E-Bölgesi elektron yoğunluğu geceleyin tümüyle yok olmaz ancak pratik hesaplamalar için sıfır kabul edilir. Bu bölgede atmosfer seyrek ve sadece iki farklı moleküler birleşme görülebilir. Atomik iyonların elektronlarla birleşmesi daha zor, moleküllerin iyonlarla birleşmesi ise daha kolaydır. Bu genel etkiler neticesinde pozitif yüklü moleküler iyonların görülmesi muhtemeldir. Bu bölgede iyonize olan O_2 ve N_2 molekülleri O_2^+ ve NO^+ iyonlarına dönüşerek iyon-molekül reaksiyonunu ortaya çıkarırlar.

Bazı yüklerin metal atomlarına bağlanarak uzun süreli iyonları oluşturmaları, E bölgesinin orta enlemde başlıca iyonik bölge olmasını sağlamaktadır (Wild, 1994; Pulinets ve Boyarchuk, 2004; Komjathy, 1997; Zolesi ve Cander, 2014). F- Bölgesi, iyonosferin 140 - 350 km arasındaki üçüncü tabakasıdır. İyonosferin 350 – 1000 km arası ise iyonosferin üst sınırı olarak isimlendirilen bölgedir. Birçok haberleşme ve navigasyon sistemleri için önemlidir. İyonosfer tabakasının karmaşık fiziksel mekanizmasından dolayı F-Bölgesi Güneş Radyasyonunun etkisiyle iki ayrı katmana (F1 ve F2) ayrışır (Zolesi ve Cander, 2014). F1 katmanı, E bölgesi ve F2 katmanları arasında yer alan (yaklaşık 140-200 km) ve başlıca iyonizasyon kaynağı EUV ışınları olan katmandır. F1 katmanının iyonizasyon evresi E bölgesinin iyon-molekül reaksiyonuyla aynıdır. Elektron yoğunluğunun öncelikli olarak güneşin zenit açısına bağlılığından dolayı F1 tabakası sadece gündüz anında gözlemlenebilir. F2 katmanı, iyonosferin en üst, en dinamik ve en yoğun bölgesidir ve yaklaşık 200-350 km yükseklikler arasında yer alır. Bu katmana iyonize özelliğini veren atomik yapıdaki oksijendir. Fakat N_2 ve O_2 molekülleri çözülerek atom-iyon değişimi sırasında elektron paylaşımına yardımcı olmaktadır. F2 katmanının 500 km'lerine kadar tek başına görülebilen O^+ iyonları bu yükseklikten sonra daha sık görülen ve daha hafif olan He^+ ve H^+ iyonları ile beraber görülmeye başlar. F2 katmanı yüksek frekans (HF) sinyallerinin yayılımı için en önemli iyonosferik tabaka durumundadır. GNSS hata kaynaklarının neredeyse tamamı bu katmandan kaynaklanmaktadır. F2 katmanındaki elektron yoğunluğu değişimi güneşin zenit açısından bağımsızdır. Bu sebeple F2 tabakası kritik frekansı (f_oF2), yazın küçük günlük değişimler gösterir, kışın Ocak ayının öğle anında ise yaz ayları değerlerinin iki katı olabilmektedir. Ekvatorun 20° kuzey ve güney enlemleri için araştırılan f_oF2 değerlerinin, jeomanyetik etkilerden kaynaklandığını ve f_oF2 'nin global mekansal konumuna göre F2 tabakasının jeomanyetik etkilere bağımlı olduğunu göstermiştir. Bu bağlamda, F2 katmanındaki kritik frekanslar güneşteki leke sayısı ile doğru orantı göstermektedir (Wild, 1994; Pulinets ve Boyarchuk, 2004; Komjathy, 1997; Zolesi ve Cander, 2014).

1.2.2. İyonizasyonun Ana Kaynağı

Dünya'ya en yakın yıldız olan Güneş, üst atmosferin iyonizasyon enerjisinin en önemli kaynaklarından biridir. Diğer yıldızlar gibi Güneş'in de %90'ı hidrojen ve yaklaşık %10'u da helyum gazlarından oluşmaktadır. Güneşte oluşan enerjinin kaynağı,

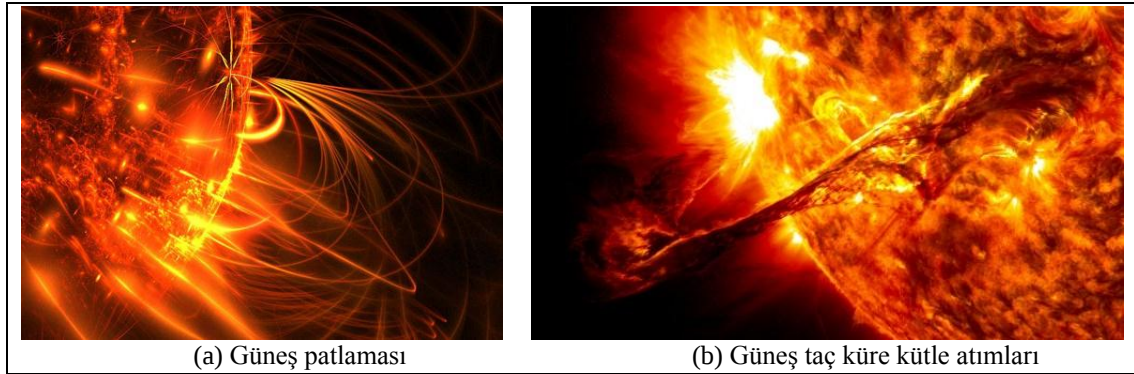
çekirdeğindeki sürekli nükleer füzyonla hidrojenin helyuma dönüşmesidir ve burada sıcaklık yaklaşık $15 \times 10^6 K$ 'dir (Kelley, 1989; Zolesi ve Cander, 2014). Açığa çıkan enerji, ilk olarak X-ışınlarını, sonra mor-ötesi ışınları ve son olarak ta görünür ışınları meydana getirir. Güneşi temel olarak Güneş içi ve Güneş Atmosferi olarak inceleyebiliriz; Güneş içyapısı; iç çekirdek, radyoaktif ve konveksiyon bölgelerinden oluşur. Güneş atmosferi; ışık küre (fotosfer), renk küre (kromosfer) ve taç küre (korona) katmanlarından oluşmaktadır (URL-35, 2014). İç çekirdek; Güneş yarıçapının merkezinden 1/3'lük kısmına kadar olan bölümüdür. Füzyonun gerçekleştiği, enerjinin üretildiği kısımdır. Basınç, sıcaklık ve yoğunluğun en yüksek olduğu katmandır. Üretilen enerji radyoaktif bölgeye iletilir. Radyoaktif bölge; Güneşin 1/3'lük kısmı olan çekirdeğin hemen üstündeki 1/3'lük diğer kısmını oluşturur. Bu katmandan enerji konveksiyon bölgesine ışıınım olarak taşınır. Taşınan bu ışıınım gamma fotonlarından oluşur. Konveksiyon bölgesi; Güneş yüzeyinden radyoaktif bölgeye kadar olan yaklaşık 2×10^5 km'den oluşur. Bu katmanda enerji, ışıımsal taşımadan daha çok plazmanın yüzeye doğru dikey hareketi ile taşınır. Güneş'in manyetik alanının temel olarak bu katmanda oluştuğu düşünülmektedir.

Dünya atmosferindeki iyonizasyonun oluşumunda önemli bir rol üstlenen Güneş'in dış yapısını belirlemek, iyonosferik sinyal yayılımındaki etkilerinden dolayı Güneş'in gaz yapısını tahmin etmeyi mümkün kılmaktadır. Işık küre (fotosfer), Güneş'in sarı renkli görünen diskine denir ve Güneş'in boyutları göz önüne alındığında kalınlığı yaklaşık 500-700 km arasında değişen bir katmandır. Bu katmanda, yüzeyde yarıçapları 700-1100 km civarında değişen pirinç taneleri gibi birkaç dakikalık sürede aktiviteleri başlayıp ve biten konveksiyon hücreleri bulunmaktadır. Güneş lekeleri bu katmanda gözlemlenir. Güneşin bağıl olarak en soğuk katmanıdır. Renk küre (kromosfer), ışık kürenin hemen üzerinde, yaklaşık kalınlığı 2000 – 2500 km olan ve tam güneş tutulması anında kıvılcımsı görülen kısımdır. Bu kısımda sıcaklık $600 - 20000 K$ civarında değişmekte ve farklı plazma püskürmeleri gözlemlenmektedir. Taç küre (korona), kromosferin üzerinde ve Güneş'in dış atmosferinde yer almaktadır. Tam Güneş tutulması anında beyaz renkte ışık olarak görülen bu kısım birkaç Güneş çapı kadar genişlemektedir. Taç kürenin plazması aşırı derecede düşük yoğunlukludur, fakat sıcaklığı $\sim 10^6 K$ civarındadır. Bu katmanın beklenenin üzerinde ani olarak ısınma sebebinin manyetik ve basınç kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Kelley, 1989; Zolesi ve Cander, 2014; URL-5, 2014).

1.2.2.1. Güneş Aktiviteleri

İyonosferdeki iyonizasyon, güneş aktiviteleri ve jeomanyetik alan değişimlerinden etkilenmektedir. Güneş'in dış yüzeyine yakın fotosfer bölgesi üzerinde bulunan Güneş lekeleri, Güneş'teki güçlü manyetik çekim alanının, daha alt bölgelerden gelen sıcak gazları fotosfer bölgesine çıkarmamasının sonucunda meydana gelir. Güneş lekeleri Güneş'teki manyetik alan şiddetinin en yoğun yaşandığı bölgelerdir (Kelley, 1989; Zolesi ve Cander, 2014; URL-6, 2014; URL-7, 2014). Güneş lekelerinin meydana gelme süreleri birkaç günden birkaç aya kadar devam eder, boyutları değişkendir ve bazı durumlarda çıplak gözle görülebilirler. Güneş lekelerinin sayısı sabit değildir ve Güneş döngüsü denen 11 yıllık bir döngü içinde değişiklik gösterir (URL-6, 2014; URL-13, 2014).

Güneş patlaması, Güneş lekesini oluşturan manyetik alanlar boyunca ipliksi filamentler şeklinde yayılan sıcak plazma halindeki hidrojen ve helyum gazlarının, manyetik alan izlerinin kopması sonucu büyük bir güçle uzay boşluğuna saçılımıyla meydana gelir. Güneş patlamalarında, Güneş yüzeyinin akışkanlığı nedeniyle manyetik alan kutuplarının sürekli hareket halinde olması sonucu manyetik alan izlerinin gerilmesi ve ardından da kopmasıyla sıcak gazlar uzay boşluğuna saçılırlar. Güneş tacı kütle atımları ise şiddetli Güneş patlamaları sonucu Güneş tacında oluşan deliklerden yüksek enerjili parçacıkların dış uzaya salınmasıyla oluşurlar (URL-8, 2014), (Şekil 5).



Şekil 5. Güneş aktiviteleri (URL-6, 2014'ten değiştirilerek).

Bu olaylar birkaç saat içerisinde gerçekleşir. Bu parçacıklar Dünya'ya yaklaştığında dış manyetik alan yani manyetosferde elektronik ve haberleşme sistemlerini etkilemektedir. Güneş patlaması ve Güneş tacı kütle atımları kimi zaman birbiriyle ilişkili olurken genelde birbirinden bağımsız olaylardır (Ratcliffe, 1972; URL-6, 2014).

Güneş'in içindeki gazların basıncı üst plazma ağırlığından daha fazla bir hale geldiğinde, plazmadaki parçacıklar (proton ve elektron) artarak hızları yaklaşık 500-1500 km/saniye civarına ulaşır Güneş sistemi boyunca akmaya başlarlar, bu taşınma sırasında yaklaşık 10 Milyar Ton Güneş parçacığının uzayda yayılmasıyla Güneş rüzgarlarını oluştururlar (Ratcliffe, 1972; Rahman vd., 2010). Güneş'ten gelen bu sürekli akı, gezegenler arası manyetik alanı da etkilemektedir. Güneş'in sabit manyetik alanı göz önüne alındığında manyetik alan ve Güneş rüzgarları Güneş'in yarıçapı boyunca simetrik bir şekilde genişlemektedir, ancak gerçekte Güneş'in dönmesi sonucunda dairesel alan etkisinden dolayı spiral forma dönen manyetik alanın yoğunluğu mesafenin karesiyle ters orantılı olarak azalmaktadır.

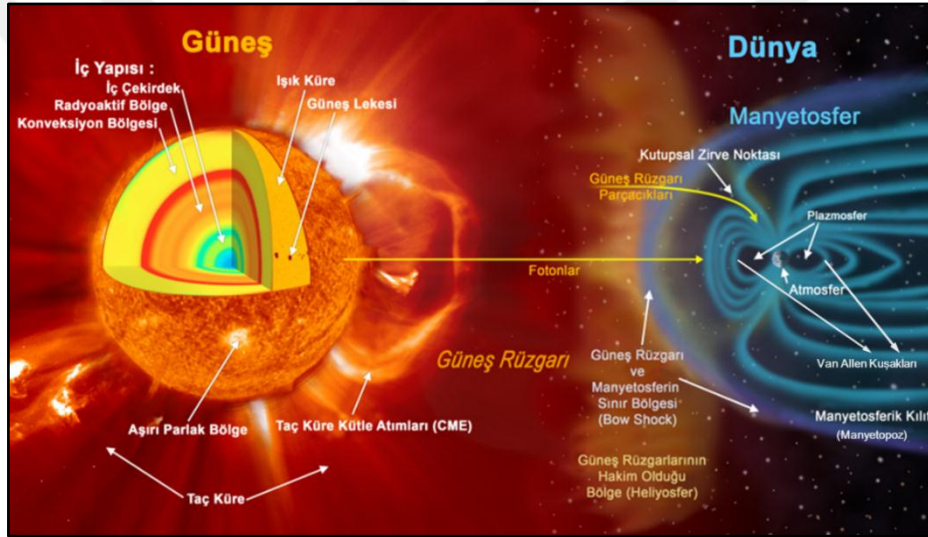
Jeomanyetik fırtınalar, manyetik alan bulutu veya Güneş rüzgarı şok dalgasının Dünya'nın manyetik alanı ile etkileşimleri sonucunda oluşur. Güneş rüzgarı basıncındaki artış başlangıçta manyetosferi sıkıştırır ve Güneş rüzgarının manyetik alanı Dünya'nın manyetik alanıyla etkileşerek manyetosfer içindeki enerji miktarını artırır. Bu etkileşimler nedeniyle manyetosfere doğru artan plazma hareketi ile manyetosfer ve iyonosferdeki elektrik akımı da artar (Şekil 6). Jeomanyetik fırtınanın ana fazı sırasında manyetosferdeki elektrik akımı Güneş rüzgarı ve manyetosfer arasındaki sınırı dışarı atan bir manyetik kuvvet oluşturur. Jeomanyetik fırtınayı oluşturan gezegenler arası uzay ortamındaki bozulma, Güneş tacı kütle atımları veya Güneş rüzgarlarının yüksek hızla akışından kaynaklanabilir (Risheth ve Garriott, 1969; Kelley, 1989; URL-8, 2014).

1.2.2.2. Jeomanyetik Alan

Jeomanyetik alan, Dünya'nın çekirdeğinde bulunan metalik yapıdaki sıvıların yine Dünya'nın iç kuvvetlerinin hareketine bağlı dinamo etkisi ile meydana gelmektedir. Ortaya çıkan bu yapıya manyetosfer denir. Manyetosfer, uzaydaki herhangi bir cismin içinde bulunduğu elektron ortamını kendi manyetik alanının etkisiyle çevresinde ve belirli bir yükseklikte yoğunlaştırdığı bölgedir (Ratcliffe, 1972). Jeomanyetik alan, sadece Dünya'nın iyonosferini etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda Güneş'ten gelen enerji yüklü parçacıklar ile Dünya'nın etrafındaki manyetik alan çizgilerini de yönlendirir. Dünya'nın manyetik alanı, Ay'ın ve Güneş'in etrafındaki hareketlerine bağlı olarak da değişmektedir (Lang, 2003). Manyetik alanın yoğunluğu, manyetik alan indüksiyonu $\mathbf{B}$ ile gösterilir ve Tesla biriminde ölçülür. Daha pratik kullanımlarda 10^{-9} T olan nanoTesla (nT) birimi ile ifade

edilir ve 10^{-5} gauss olarak da geleneksel santimetre gram saniye (CGS) sisteminde gösterilir. Bu alandaki değişimler farklı kategorilerde sınıflandırılır. Manyetik alandaki yavaş değişimler yaklaşık yüzbinlerce yıllık kutupsal değişimlerdir. Hızlı değişimler ise günlük değişimlerdir. Düzensizlikler genellikle Güneş olgularından veya üst atmosfer ve manyetosferin etkileşimlerinden kaynaklanır (Kelley, 1989; URL-9, 2014).

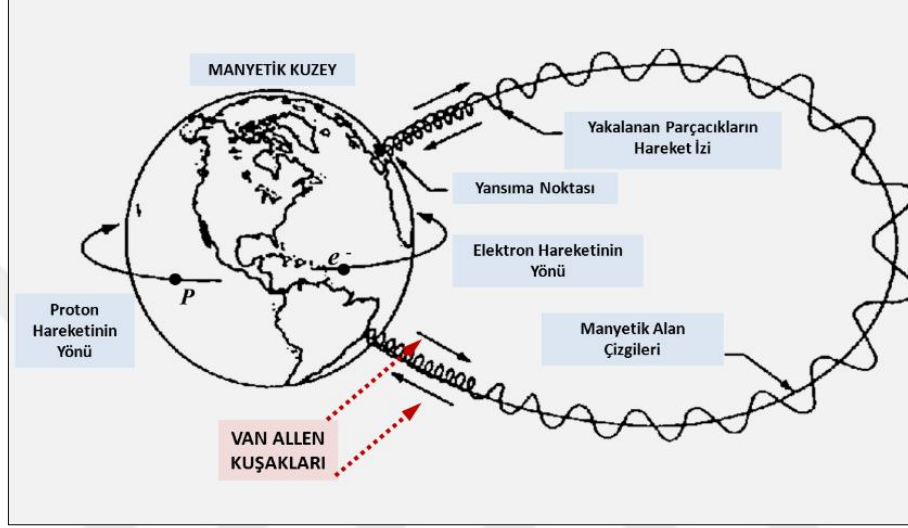
Jeomanyetik alan çizgileri, manyetik kutupların Dünya'nın yüzeyine yakın jeomanyetik davranışlarla oluşturduğu etkilerdir ve uzay boşluğuna yayılmazlar. Güneş rüzgarları sonucunda gelen yüklü parçacıklar jeomanyetik alan çizgileriyle etkileşerek bu alanın şeklini değiştirirler. Jeomanyetik alan çizgileri, Güneşi gören taraflarda daha sık, aksi doğrultularda karmaşık bir yapıda uzama gösterirler (URL-35, 2014), (Şekil 6).



Şekil 6. Yüklü parçacıkların jeomanyetik alan ile etkileşimi (URL-35, 2014'ten değiştirilerek).

Şekil 6'da görüldüğü gibi, Güneş doğrultusundan gönderilen yüklü parçacıklar ile jeomanyetik alan çizgileri çarpışarak Bow shock dalgasını ortaya çıkarırlar. Birçok parçacık, bu şok dalgası ile geçiş bölgesine saptırılarak manyetosfer ve Güneş rüzgarlarının sınır bölgesi olan manyetopozu oluşturur. Bu bölgedeki yüklü parçacıklar Dünya'nın jeomanyetik ve elektrik alanından etkilenir. Dünya etrafında manyetosferin alt kısmında yer alan plazmosfer bölgesi uydular tarafından TEC ölçümlerinin yapıldığı ve Dünya-uzay arası sinyal yayılımının etkilendiği bir bölgedir. Plazmosferin kutuplarında Güneş rüzgarlarıyla gelen yüklü parçacıklar daha yoğundur ve üst atmosferdeki bu bölgeler Aurora bölgesi olarak isimlendirilir.

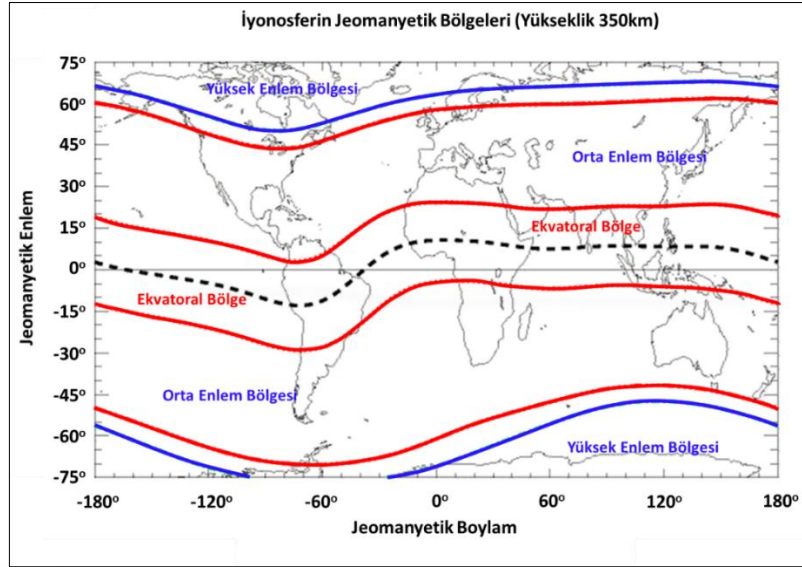
Manyetosferin ve plazmosferin arasında kalan bölge Van Allen kuşakları olarak bilinir. Radyasyonun ilk tabakası manyetik ekvator boyunca yeryüzünden yaklaşık 1000 km ve 3 Dünya yarıçapı arasında hareket eder. Bileşenleri Güneş rüzgarlarıyla ve alt iyonosferden gelen protonlardır. İkinci tabakası, 4 ve 6 Dünya yarıçapı mesafesinde ve genel olarak güneş rüzgarları sırasında taşınan elektronlardan oluşur (Şekil 7).



Şekil 7. Protonların ve elektronların jeomanyetik alan çizgileri boyunca hareketleri (URL-38, 2014'den değiştirilerek).

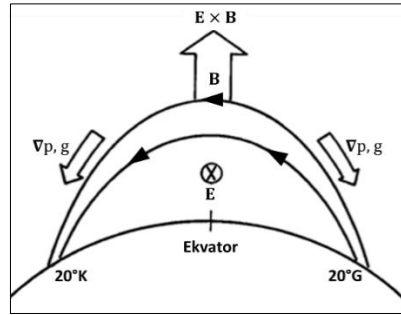
Şekil 7'de görüldüğü gibi, bu parçacıklar, jeomanyetik Kuzey ve Güney kutupları arasında salınarak manyetik alan çizgilerinin etrafında dönme hareketini gerçekleştirirler. Bu titreşime ek olarak elektron ve protonlar birbirlerine zıt ve boylamlar yönünde hareket ederek oluşturdukları Dünya'nın yüzük akımını jeomanyetik alanın değişimlerinin izlenmesinde ve ölçülmesinde kullanılan bir parametredir.

Jeomanyetik alanın etkisine göre iyonosfer çeşitli jeomanyetik bölgelere ayrılmaktadır. Bunlar yüksek enlem (aurora), orta enlem ve ekvatorial bölgeleridir (Şekil 8). Ekvatorial bölge; elektron yoğunluğunun en yüksek olduğu ve en belirgin ışıma etkisinin karakterize edildiği bölgedir.



Şekil 8. İyonosferin jeomanyetik bölgeleri (URL-24, 2014'den değiştirilerek).

Güneşten gelen yüksek radyasyon seviyesi, yerin elektriksel ve manyetik alan etkileri elektronları yükseltip yerin yatay manyetik hatları boyunca hareket ettirerek fiske etkisini meydana getirirler (Şekil 9).



Şekil 9. Ekvatorial bölge fiske etkisi (Fejer vd., 1999'dan değiştirilerek).

Yüksek yoğunluklu elektronların meydana getirdiği bu fiske hareketleri genellikle ekvatorial bölgede iyonosferik anomalilere neden olmaktadır. Ekvatorial enlem bölgesi kuzey ve güney jeomanyetik enlemlerde yaklaşık 10° ve 20° enlemleri arasında elektrik alanı ve manyetik alanın dönme etkisiyle ($\mathbf{E} \times \mathbf{B}$) yükselen iyonosfer orta enlem bölgelerine yer çekiminin etkisiyle ($\nabla p, g$) düşmektedir (Ratcliffe, 1972; Komjathy, 1997). Orta enlem bölgesi; elektron yoğunluğu değişimi en az olan, genellikle ekvatorial bölgede görülen

yatay manyetik alan geometrisinden pek fazla etkilenmeyen, iyonosferin tanımlanmasında kullanılan cihazların konumlandırıldığı ve iyonosferik gözlemlerin yapıldığı bölgedir. Orta enlem bölgesi kuzey ve güney jeomanyetik enlemlerde yaklaşık 20° ve 65° enlemleri arasındadır (Ratcliffe, 1972; Komjathy, 1997). Yüksek enlem bölgesi; orta enlem ve ekvatorial bölgelere göre daha düşük elektron yoğunluğuna sahip, sık ve kısa periyotlu iyonosferik değişimlerin gözlenmediği, foto-iyonizasyona ek olarak Güneş'ten gelen enerji yüklü parçacıkların çarpışarak iyonlaşmaya neden olduğu bölgedir. Bu iyonlaşma, jeomanyetik alan çizgilerinin E bölgesine inen yüklü parçacıklarının neredeyse düşey konumda olmalarından kaynaklanmaktadır. Yüksek enlem bölgesi kuzey ve güney jeomanyetik enlemlerde yaklaşık 64° ve 70° enlemleri arasındadır (Ratcliffe, 1972; Komjathy, 1997).

İyonosferik bozukluklar, güneş aktivitelerinden veya jeomanyetik alan bozulmalarından kaynaklı olabilir. İyonosferik bozulmaların direkt veya dolaylı olarak güneş ile ilişkisi vardır. Jeomanyetik bozukluklara güneş kaynaklı olayların neden olduğu gibi dıştaki jeomanyetik alan çizgilerinin basıncı da jeomanyetik bozulmalara neden olmaktadır. İyonosferik bozulmalar, iyonosferik fırtınalar, jeomanyetik fırtınalar ve iyonosferik parıldamalardan olarak sınıflandırılır (Ratcliffe, 1972; Komjathy, 1997).

1.2.3. Uzay İklim Koşulları

Güneş ve/veya jeomanyetik aktivitelerin etkisiyle manyetosfer, iyonosfer ve termosferdeki şartlar da dahil olmak üzere Güneş Sisteminde meydana gelen zamana bağlı değişimler uzay iklim koşullarını oluşturur. Güneş aktiviteleri Dünya'nın uzay iklim koşullarını üç farklı biçimde etkileyebilir. Birincisi, uzay boşluğuna aşırı sıcak plazma saçan Taç Küre Kütle Atımları (CME-Coronal Mass Ejections), ikincisi Güneş rüzgarlarını oluşturan taç küre deliklerden salınan yüksek hızlı plazma, üçüncüsü ise yoğun bir radyasyonla birlikte manyetik enerjinin serbest kaldığı Güneş patlamalarıdır (URL-10, 2014). İyonosfer tabakasının etkilenmesi, iyonosfer tabakasındaki yoğunluk dağılımının değişmesine, TEC değerlerinin artmasına veya azalmasına ve iyonosfer tabakasındaki akım dengesinin bozulması gibi büyük değişikliklere sebep olur (Komjathy, 1997). İyonosferdeki bu değişimlerin modellenmesi için güneş aktiviteleri ve/veya jeomanyetik indisleri tanımlanarak Güneş ve jeomanyetik etki seviyelerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. İyonosferdeki değişikliğe sebep olan Güneş ve jeomanyetik aktiviteleri

yorumlamak için uzay iklim koşullarına ait değişkenler olarak isimlendirilen indis değerleri kullanılır. Uzay iklim koşulu indisleri yersel veya uzaysal cihazlar ile sürekli gözlemlenerek tanımlanabilir. Uzay iklim koşullarının belirlenmesinde, Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite, manyetik alan, plazma yoğunluğu ve parçacık akısı gibi indisler kullanılır (Ratcliffe, 1972; Komjathy, 1997; Kelley, 1989; Rahman vd., 2010; URL-9, 2014)..

1.2.3.1. Güneş Aktivitesi İndisleri

Güneş aktivitesinden kaynaklanan uzay iklim koşulunun ölçüldüğü Güneş akısı indisleri, 10.7cm dalga boyunda Güneş ışıması gözlemleri ile belirlenen F10.7 indisi ve aşırı morötesi (EUV) Güneş ışımlarına ait gözlemlerin yapıldığı 0.1-50 ve 26-34 nanometre (nm) dalga boylarındaki ölçümlerle belirlenen EUV(0.1-50 ve 26-34 nm) vd. indislerden oluşur.

F10.7 Güneş aktivitelerinin seviyesini gösteren ve en yaygın olarak kullanılan bu indis, Güneşten yayılan UV ve X-ışınlarının miktarının ölçülmesini imkan sağlayan bu sistem, güneş aktivitelerinin iyonosferde meydana getirdiği değişimlerin araştırılmasında kullanılır. Güneş akısı, Güneş lekesi sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu indis, Dominion Radyo Astrofizik Gözlemevi (DRAO) Penticton, Kanada’da bulunan üç adet teleskop ile ölçülmektedir (Johnson ve Newman, 1980; URL-39, 2014). Güneş akısı araştırmalarında, “ölçülen” ve “kestirilen” olmak üzere iki farklı karakteristik veri kullanılır. Ölçülen olarak tanımlanan veriler teleskoplardan direkt elde edilir ve yeryüzüne ait çalışmalar için kullanılır (URL-17, 2014; URL-18, 2014). Kestirilen veriler ise Dünya’nın Güneş’e olan değişken uzaklığı da modele eklenerek değerlendirilir ve Güneş araştırmaları için kullanılır (URL-16, 2014). İki farklı ölçeği bulunan F10.7 indisinin 150 sfu’dan küçük olduğu anlar zayıf güneş aktivitesi, 150 sfu’dan büyük olduğu anlarda ise yüksek güneş aktivitesi olarak değerlendirilir (Vitinsky vd., 1986; Bruevich vd., 2014; Coley vd., 2014). Güneş akısı indisine ait veriler Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi’nin Uzay Fiziği Veri Tesisi’ne ait (URL-27, 2014) internet ara yüzünden sekiz saat çözünürlüklü olarak alınabilmektedir.

Aşırı Morötesi Akısı (EUV) indisi, Güneş radyasyonunun 0.1-120 nm dalga boyundaki elektro manyetik spektrumunu kapsar. Bu yüksek enerjili parçacıklar üst atmosferi etkiler ve burada emilerek iyonosfer tabakasını sadece ısıtmakla kalmayıp foto-iyonizasyonun da gerçekleşmesini sağlar. Dünya’ya ulaşan EUV fotonları da yaklaşık 80

km yükseklikteki üst atmosfer tarafından tamamen emilirler. EUV fotonları atmosferi iyonize ederek elektronların oluşumu ile iyonosferin oluşmasını da sağlarlar (Tobiska, 1996; Chen vd., 2012; Zolesi ve Cander, 2014; URL-19, 2014). Güneş EUV radyasyonu üst atmosfer tarafından tamamıyla emilmesi nedeniyle yerden ölçülmesi imkansızdır. Bu ölçümler ya uydular ya da roketler tarafından direkt atmosfer dışından yapılmalıdır. Güneş aktivitelerini belirlemek için EUV ölçümlerinin yapılamadığı zamanlarda bilim insanları güneş lekeleri sayısı ve F10.7 cm Güneş akısı indisini kullanmışlardır (URL-20, 2014). Güneş EUV İzleme (SEM: Solar EUV Monitoring) Solar Heliospheric Observatory (SOHO) uydusu tarafından 26-34 nm ve 0.1-50 nm dalga boylarındaki bantlarda 1996 yılından beri yapılmaktadır (Judge vd., 1998). EUV indislerine ait değerler Güney Kaliforniya Üniversitesi Uzay Bilimleri Merkezi'ne ait (URL-26, 2014) internet ara yüzünden günlük çözünürlüklü olarak alınabilmektedir.

1.2.3.2. Jeomanyetik Fırtına ve Jeomanyetik Aktivite İndisleri

Jeomanyetik fırtınaların sebep olduğu bozulmalar, iyonosfer tabakasından geçen yüksek frekanstaki GPS sinyallerini de etkileyerek iyonosferin modellenmesindeki hatanın kaynağını oluşturmaktadırlar (Zolesi ve Cander, 2014). Bu durum, küresel elektrik dengesinin (GEC: Global Electric Current) değişkenliğini etkileyerek bozulmalara sebep olurlar (URL-18, 2014). Uzay ve Dünya üzerindeki istasyonlardan aktif değişimlerinin ölçümlendiği ve değerlendirildiği bu etkiler, jeomanyetik fırtına (Kp), jeomanyetik aktivite (Dst) vb. indisler tarafından karakterize edilirler.

Jeomanyetik fırtına indisi olan Kp- indisi, Dünya'nın manyetik alanına ve jeomanyetik değişimlerin belirlenmesinde, ikaz ve uyarılarının duyurulması için kullanışlı bir indistir. Kp indisi değerleri, Dünya üzerinde 44° ve 60° Kuzey ve Güney enlemleri arasında konumlandırılmış 13 manyetometre istasyonundan alınan ölçülerin NOAA Space Weather Prediction Center tarafından belirlenir. 0 ile 9 arasında değişen Kp- indisi ölçeğinin belirlenmesinde Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşenini kullanır (De Canck, 2007; Zolesi ve Cander, 2014; URL-21, 2014). Jeomanyetik fırtına indisine ait veriler Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin (SPDF) Uzay Fiziği Veri Tesisi'ne ait (URL-27, 2014) internet ara yüzünden bir saat çözünürlüklü olarak alınabilmektedir. Kp- indisi ne ait ölçek değerleri, nanoTesla (nT) birimindeki jeomanyetik alan ve jeomanyetik fırtına etkisinin değişimine göre belirlenir (Tablo 1).

Tablo 1. Kp- indisi sınır değerleri ve fırtına etkisi (De Canck, 2007; URL-22, 2014'den değiştirilerek).

Kp- İndisi	Jeomanyetik Alan (nT)	Fırtına Etkisi
0	0-5	Aktivite Yok
1	5-10	Çok Sakin Aktivite
2	10-20	Sakin Aktivite
3	20-40	Tedirgin Aktivite
4	40-50	Faal Aktivite
5	50-120	Küçük Fırtına
6	120-200	Büyük Fırtına
7	200-330	Şiddetli Fırtına
8	330-500	Çok Şiddetli Fırtına
9	>500	Uç, aşırı Fırtına

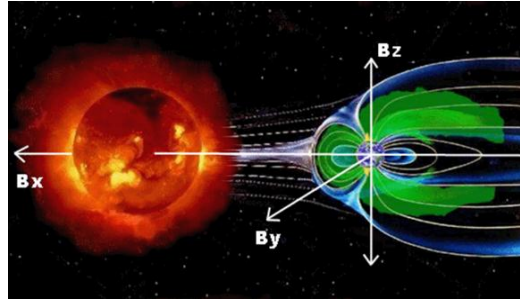
Dst- indisi, ekvatorial bölgelerde meydana gelen manyetik akım değişimlerini tanımlayan jeomanyetik bir indistir ve ölçüleri ekvatorial bölgelere yerleştirilmiş manyetometreler tarafından alınmaktadır (Mosna vd., 2007; Cahyadi, 2014; Zolesi ve Cander, 2014). Manyetik sarsılmanın saatlik ortalaması olarak elde edilen Dst- indisi ölçüleri Japonya'daki Kyoto Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeomanyetizma ve Uzay Manyetizması Veri Analiz Merkezi tarafından değerlendirilerek, Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Tesisi'ne ait (URL-27, 2014) internet ara yüzünden bir saat çözünürlüklü olarak yayımlanır. Loewe ve Prölss (1997) tarafından beş farklı ölçekte sınıflandırılan Jeomanyetik aktivite indisi sınır değerleri daha sonra Kamide vd., (1998), Rozhnoi vd., (2004) ve Contadakıs vd., (2012) tarafından üç farklı ölçekte sınıflandırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Dst- indisi sınır değerleri (Loewe ve Prölss 1997'den değiştirilerek)

Dst- İndisi (nT)	Jeomanyetik Aktivite
$Dst_{min} \geq -30$	Sakin
$-30 \geq Dst_{min} \geq -50$	Zayıf Fırtına
$-50 \geq Dst_{min} \geq -100$	Hafif Fırtına
$-100 \geq Dst_{min} \geq -200$	Kuvvetli Fırtına
$-200 \geq Dst_{min}$	Yoğun Fırtına

1.2.3.3. Manyetik Alan Değişimi İndisleri

Dünya'nın manyetik alanı çubuk mıknatısın manyetik alanının benzer davranışlarını gösterir. Güneş rüzgarlarının etkisi altında bu manyetik alan çizgileri Güneş doğrultusunda sıkışır ve rüzgar yönünde uzar. Bu etki Dünya'nın etrafındaki manyetosferin gözyaşı damlası denilen özel şeklini oluşturur. Gezegenler arası manyetik alan düşüncesi yüksek hızlı Güneş yayılımının iki ana bileşeni olan Güneş'in etki alanı ve taç kürede meydana gelen plazma fışkırımlarının manyetik alan etkileridir. Dünya'nın manyetik alanına benzeyen Güneş'in manyetik alanı da kutuplarda birbirine yakın ama ekvatorlarda birbirinden uzak manyetik alan çizgilerinden meydana gelir (Aschwanden, 2005; Zolesi ve Cander, 2014). Manyetik alan çizgilerinin yoğunlaştığı bu yerler ikiz kutuplar (dipole) olarak tanımlanır. Ancak Dünya'nın manyetik alanı Güneş'inkinden 100 kez daha küçüktür. Güneş aktivitesi en üst seviyesine ulaştığında birçok güneş lekeleri Güneş'in parlak diski üzerinde görüntülenebilir hale gelir. Bu durumda Güneş lekeleri manyetizma ve büyük manyetik alan çizgileriyle doludur ve madde fışkırımları tespit edilir (Gonzalez vd., 1994; Zolesi ve Cander, 2014; URL-23, 2014). Gezegenler arası manyetik alan indisleri (B_x , B_y ve B_z), vektörel büyüklükler olarak ifade edilir ve iki bileşeni (B_x ve B_y) yörünge düzlemine paralel, üçüncü bileşen (B_z) yörünge düzlemine diktir (Şekil 10).



Şekil 10. Dünya'nın jeosantrik solar manyetosferik koordinat sistemi (URL-23, 2014'ten değiştirilerek).

Manyetik alanın B_z bileşeni sakin gün koşullarında kuzey yönünde iken manyetik fırtınanın başlangıç fazında güneye döner ve fırtına gerçekleşir (Abraha 2014; Zolesi ve Cander, 2014). Sakin koşullarda elektrik alanının B_y bileşenindeki elektrik alanı (E) ve manyetik alan (B) olmak üzere $E \times B$ dönmesi batı yönünde gerçekleşir. Genellikle gerçekleşen manyetik bozulmalarda B_y azalır (ekvatorial bölgelerde) ve bu aşağı yönlü

kaymalarda (negatif değerden pozitif değere geçme) azalmaya sebep olur pozitif faz gerçekleşir. Ancak şiddetli bozulmalarda By’de aşağı yönlü kaymalarda artış gözlemlenir ve bununla birlikte fırtınanın negatif fazı ortaya çıkar (Turunen ve Rao 1980, Adeniyi 1986). Bununla beraber meydana gelen ekstra plazma üretimi F2 katmanının da genişlemesine sebep olmaktadır (Abraha 2014; Zolesi ve Cander, 2014). Loewe ve Prölss (1997)’de beş farklı ölçekte sınıflandırılan Manyetik aktivite indisi sınır değerleri Gonzalez vd., (1994) tarafından üç farklı ölçekte sınıflandırılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Manyetik alan indisi değerleri değişimi (Gonzalez vd., 1994).

B- İndisi (nT)	Manyetik Aktivite	ΔT (Saat)
-10	Kuvvetli Fırtına	3
-5	Hafif Fırtına	2
-3	Zayıf Fırtına	1

İyonosferik anomaliler ile depremler arasındaki ilişkiler incelenirken Güneş’e ve yerküreye ait çevresel etkiler Güneş’in veya jeomanyetik aktivitelerin etkilerini elimine etmek için göz önünde bulundurulmalıdır (Pulinets ve Legen’ka, 2003; Pulinets vd., 2003). Manyetik alan indisine ait veriler Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi’nin Uzay Fiziği Veri Tesisi (URL-27, 2014) internet ara yüzünden bir saat çözünürlüklü olarak alınabilmektedir.

1.2.3.4. Plazma Yoğunluğu ve Parçacık Akısı İndisleri

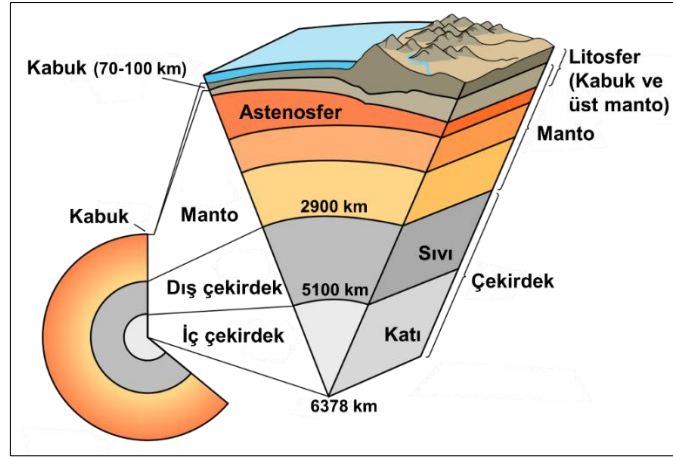
Radyasyon fırtınalarıyla taşınan protonlar olan plazma yoğunluğu, Dünya’nın manyetik alanı tarafından yönlendirilirler ve üst atmosferde kuzey ve güney kutuplarda çarpışırlar. Hızlı hareket eden protonlar X-ışını fotonları gibi aynı etkiyi gösterirler ve iyonosferin D-katmanında genişleme yaparlar ve yüksek enlemlerde yüksek frekanslı sinyal iletişimini kesintiye uğratırlar. Auroral etkiler sırasında azalan elektronlar diğer katmanlarda artar ve sinyal iletiminde aksamalar (parazitler) oluştururlar (URL-14, 2014). Plazma yoğunluğunun birimi proton yoğunluğu (N_p/cm^3) olarak verilmiştir ve birim santimetreküplük hacimden geçen proton sayısını göstermektedir (URL-15, 2014). Yavaş Güneş rüzgarlarında Proton yoğunluğu değeri artarken hızlı Güneş rüzgarlarında azalmaktadır (Schwenn, 2001; Shollykutty ve Kurian, 2009). Dashora vd., (2009)’de proton yoğunluğunda meydana gelen piklerin (>15 proton/ cm^3), manyetik alan indisi değerlerinden Bz indisinde meydana gelen +5 nT (hafif fırtına) değerinden büyük veya -5

nT (hafif fırtına) değerinden küçük olduğu durumlarda direkt ilişki halinde olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle 15 proton/cm³ değerinden büyük olan proton yoğunluğu indisi değerleri aktif uzay iklim koşulu olarak değerlendirilmektedir. Proton yoğunluğu indisine ait veriler Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Tesisi'ne ait (URL-27, 2014) internet ara yüzünden bir saat çözünürlüklü olarak alınabilmektedir.

Güneş patlamaları ve gezegenler arası manyetik alanın da etkileriyle yayılımı gerçekleşen enerji yüklü parçacıkların (proton) enerji miktarlarıyla parçacık akısı tespit edilir (Melnikov, 1990; Shea ve Smart, 1993; URL-13, 2014). Enerji yüklü parçacıklar altı enerji eşiğinde (1, 2, 4, 10, 30 ve 60 MeV: Milyon elektro volt) değerlendirilir (URL-11, 2014). Melnikov (1990) tarafından, mikrodalga yayılımı ve >10 MeV proton akısı arasındaki korelasyon ortaya çıkarılmıştır. MeV biriminde tanımlanan yüklü parçacıkların enerji birimi, parçacık akısı biriminde (pfu: proton flux unit) protonların enerji miktarını gösterir. Parçacık akısı (10 pfu), iki boyutlu bir yüzey olan birim santimetrekarenin (cm²) bir steradyanlık açısında (eğri yüzey olarak tanımlanmış) bir saniyede geçen proton sayısının (10 pfu = 10 proton cm⁻² sr⁻¹s⁻¹) tespitiyle gerçekleştirilir (Schwenn, 2001, Shollykutty ve Kurian, 2009; URL-12, 2014; URL-13, 2014). Parçacık akısı indislerine ait veriler Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Tesisi'ne ait (URL-27, 2014) internet ara yüzünden bir saat çözünürlüklü olarak alınabilmektedir.

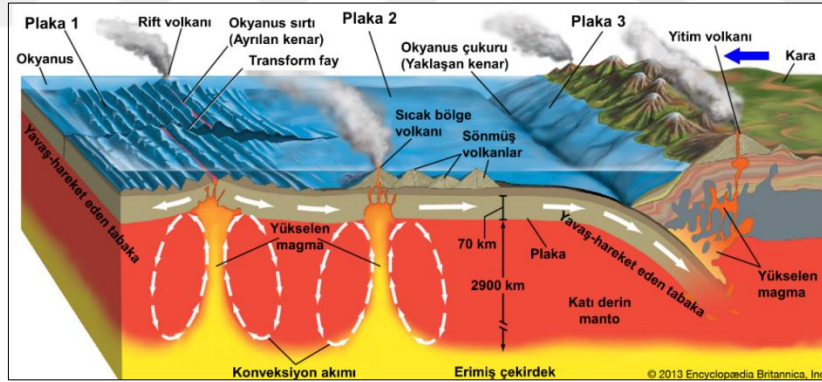
1.3. Jeo-Tektonik Yapı ve Deprem

Tektonik olaylar yerkürenin içyapısından kaynaklanır. Yerkürenin içyapısı sırasıyla yaklaşık 70-100 km kalınlığında litosfer, litosferden sonra 2900 km derinliğe kadar manto, mantodan sonra 5100 km derinliğe kadar dış çekirdekten ve dış çekirdekten sonra 6378 km derinliğe kadar da iç çekirdekten oluşmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Yerkürenin içyapısı ve katmanları (URL-40, 2014'den değiştirilerek).

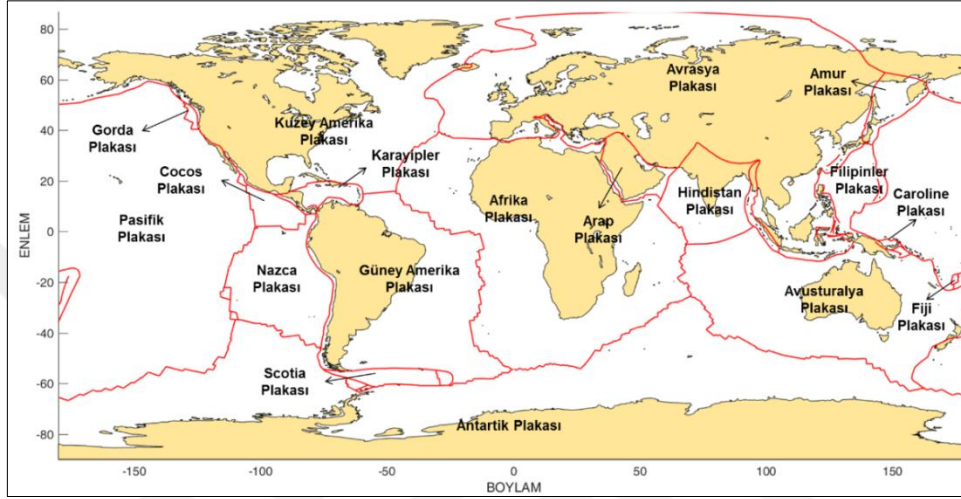
Çekirdekten gelen yüksek sıcaklık ve basınçtan dolayı mantoda bulunan sıvı haldeki magma, ısınarak yukarı doğru çıkar ve yukarıda soğuyarak tekrar aşağı doğru dönerek konveksiyon akımı oluşturur. Bu akım sonucu çeşitli tektonik olaylar meydana gelir (Kanori, 1951; URL-1, 2014), (Şekil 12).



Şekil 12. Depremlerin oluşumu (URL-36, 2014'den değiştirilerek).

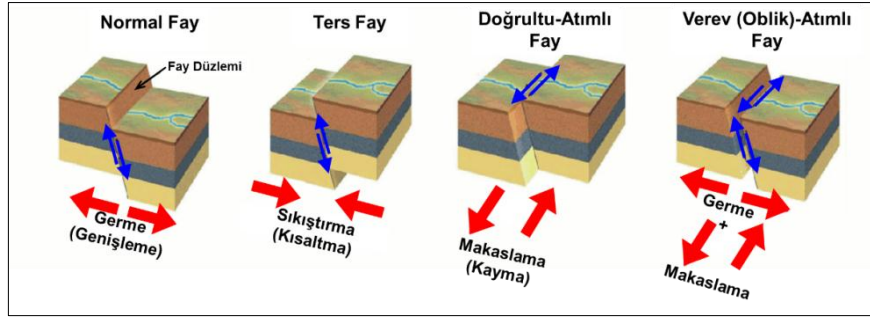
Konveksiyon akımları yukarılara yükseldikçe litosferde gerilmelere ve daha sonra da zayıf yer kabuğunun kırılmasıyla plakaların oluşmasına neden olmaktadır (Kanori, 1951; URL-1, 2014). Magmanın konveksiyon hareketi nedeniyle plakalar, yaklaşır (çarpışır), uzaklaşır (ayrılır) ya da yanıl yer değiştirirler. Plakalar birbirinden uzaklaştığında plakalar arasında açılmalar ve çatlaklar oluşur. Magmanın çoğu uzaklaşan levhaların kenarlarında birikip katılarak okyanus tabanlarında okyanus ortası sırtlarını, karalarda rift vadilerini oluştururken, bir kısmı da çatlaklardan yüzeye ulaşarak volkanik sıradağları oluşturur.

Plakalar çarpıştığında, çok yoğun olan plaka diğer plakanın altına dalıp sıcak magmada eriyip zayıf bölgelerden yukarı çıkarak volkanları, denizlerde adaları ve batmayan plakalar da sıra dağları oluştururken, plakalar aynı yoğunlukta ise kıvrılıp yükselerek kıvrımlı sıra dağları oluştururlar. Yeryüzünde 10 kadar büyük plaka ve çok sayıda küçük plaka bulunmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. Yeryüzü üzerindeki tektonik plakalar

Tektonik olaylar sırasında yeryüzünde, bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve fay adı verilen kırıklar oluşabilir (Reid, 1911; Kanori, 1951). Faylar oluşum mekanizmalarına göre üçe ayrılırlar: a) Normal; tavan bloğu taban bloğuna göre, fay düzlemi üzerinde aşağıya doğru hareket eden faylar. b) Ters; tavan bloğu taban bloğuna nazaran yukarıya doğru hareket eden faylar. c) Doğrultu atımlı; fay blokları birbirlerine göre fayın doğrultusu boyunca hareket eden faylar. Eğer hareket karşıdaki bloğun sağa doğru yer değiştirmesiyle meydana gelmişse sağ yönlü doğrultu atımlı fay, karşıdaki bloğun sola doğru yer değiştirmesiyle meydana gelmişse sol yönlü doğrultu atımlı fay oluşur. Faylar atımlarına göre de sınıflandırılırlar: a) Eğim atımlı; fayın hareket doğrultusu fayın eğim doğrultusu boyunca hareket eden faylar. b) Doğrultu atımlı; hareketi fayın doğrultusu boyunca olan faylar. c) Verev (oblik) atımlı; hareket ne fayın eğimi boyunca ne de doğrultusu boyunca gelişmeyen doğrultusunun ve eğiminin bileşkesi şeklinde hareket eden faylar (URL-41, 2014), (Şekil 14).



Şekil 14. Fay türleri (URL-42, 2016'dan değiştirilerek)

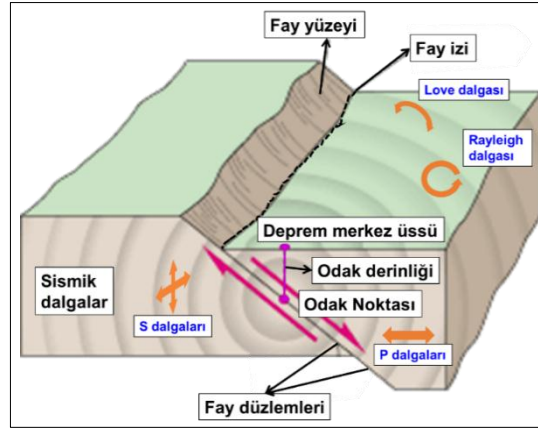
1.3.1. Deprem

Deprem, tektonik olaylar sonucu, plakaların birbirine temas ettiği kırık düzlemlerinde biriken enerjinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinden kaynaklanan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzünü sarsması olayıdır (URL-1, 2014). Depremlerin büyük çoğunluğu tektonik plakaların birbirlerini zorladıkları plaka sınırlarında dar kuşaklar üzerinde oluşmaktadır (Kanori, 1951; URL-1, 2014), (Şekil 15).



Şekil 15. Plaka sınırlarındaki depremler (URL-37, 2014).

Kayaçlar içerisinde odaktan çevreye doğru yayılan deprem dalgaları cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olarak iki gruba ayrılır (Şekil 16).



Şekil 16. Deprem (URL-43, 2016'dan değiştirilerek).

Cisim dalgaları, odak noktasından başlayıp her yöne doğru yayılan P ve S dalgalarından oluşur. P dalgaları, en hızlı yayılan, deprem kayıt aletlerinde en önce görülen ve titreşim hareketi yayılma doğrultusuyla aynı olan, yıkım etkisi düşük dalgalardır. S dalgaları, daha yavaş yayılan, kayıt aletlerinde ikinci olarak görülen ve titreşim hareketi yayılma doğrultusuna dik olan, yıkım etkisi yüksek dalgalardır. Yüzey dalgaları, merkez üssünden yayılan ve yeryüzünde ilerleyen dalgalardır. Cisim dalgalarına göre yavaş yayılırlar ancak genlikleri daha büyüktür. Bu dalgalar Rayleigh ve Love dalgalarıdır. Bu dalganın yıkım etkisi yüksektir (Kanori, 1951; URL-1, 2014).

Deprem parametreleri, odak noktası (hiposantr), merkez üssü (episantr), odak derinliği, şiddet, magnitüd vb. kavramlarla daha iyi açıklanabilmektedir. Odak noktası; yer içerisinde deprem enerjisinin ortaya çıktığı bir alandır. Merkez üssü; odak noktasına en yakın olan yeryüzünde depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği alandır. Odak derinliği; odak noktası ile merkez üssü arasındaki mesafedir. Depremler, odak derinliklerine göre sınıflandırılırlar (Tablo 4).

Tablo 4. Odak derinliğine göre depremler (URL-44, 2016)

Odak Derinliği (km)	Deprem Türü
0-70	Sığ
70-300	Orta derinlikte
>300	Derin

Orta ve derin depremler daha çok bir plakanın bir diğer plaka altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ

depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler. Magnitüd; depremde açığa çıkan enerjinin bir ölçüsüdür. Enerji doğrudan doğruya ölçülemediğinden depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "M: Magnitüd" ile tanımlanmıştır. Depremler magnitüdlerine göre altı farklı ölçektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Büyüklüklerine göre depremler (URL-44, 2016)

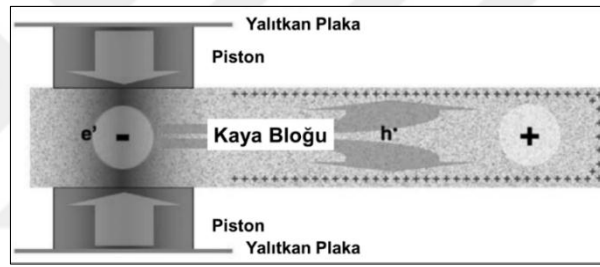
Büyüklük	Deprem Türü
$M \geq 8.0$	Çok büyük depremler
$7.0 \leq M < 8.0$	Büyük depremler
$5.0 \leq M < 7.0$	Orta büyüklükteki depremler
$3.0 \leq M < 5.0$	Küçük depremler
$1.0 \leq M < 3.0$	Mikro depremler
$M < 1.0$	Ultra-mikro depremler

Şiddet; herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Büyüklük; depremde açığa çıkan enerji miktarıdır. Sismograf denilen aletlerle ölçülür.

1.3.2. İyonosferik Deprem Öncülerinin Fiziksel Mekanizması

Depremlerin meydana gelmeden önce hazırlık aşamasındaki değişimleri direkt olarak belirlenemediğinden, bu etkilerin dolaylı olarak çevresel değişimlere bakılarak ortaya çıkarılmasının daha uygun olduğu görülmektedir. Öte yandan ortaya çıkan bu etkiler jeolojik veya atmosferik koşullardan dolayı etkilenmiş olabilir, ancak sismik hareketlilik ile bu değişimleri tetikleyen etkiler hala tam anlamıyla açıklanabilmiş değildir (Guo ve Wang, 2008; Pulnits vd., 2006; Tronin vd., 2002, 2004; Fidani, 2010; Ikeya, 2004). Büyük depremler öncesinde yerkabuğundan bazen güçlü, çoğu zaman zayıf ve bazen de kısa süreli sinyaller yayılırlar. Bu sinyaller, yerel manyetik alan değişimlerini, geniş bir frekans aralığındaki elektromanyetik yayılımları ve atmosferik ve iyonosferik olayları içermektedir. Yerkabuğundaki kayalar sıkıştığı zaman peroksi bağlar kırılırlar ve elektrik yüklü taşıyıcılar serbest hale geçerek pozitif delikleri oluştururlar. Pozitif delikler çok hareketlidir ve sıkışmış hacimlerden serbest hacimlere kolayca taşabilirler. Pillerdeki sisteme benzeyen sistemde, pilin kutupları birleştirildiğinde pozitif akım geçişi ile oluşan elektrik akımı, manyetik alan değişimlerini ve düşük frekans elektromanyetik yayılımını ortaya çıkarır. Pozitif delikler yeryüzüne ulaştığında yer-hava arayüzünde iyonizasyon

oluşur. Yükselen iyonize olmuş hava iyonosferdeki düzensizliklerin muhtemel sebebi olarak görülebilir (Freund, 2011). Günümüzde elektron yoğunluğu değişimi ile sismik hareketlilik arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar bulunmaktadır (Pulinets, 1998; Namgaladze vd., 2009). Bu alanda yapılan ilk hipotez, sıkışan kayaların ortaya çıkardığı elektrik akımı, yani piezoelektrik etkidir. Laboratuvar ortamında yapılan bir deneyde, granit bloğunun üst yüzeyine hidrolik pistonla mekanik basınç artırılarak uygulanmış ve granit bloğunun yan yüzeylerindeki hava ortamında iyonlaşma olduğu gözlemlenmiştir (Freund, 2005). Kaya bloğunun basınç uygulanan bir ucunda elektronlar (e^-) ve sıkışan kaya hacminden sıkışmayan hacmine doğru akışı gerçekleşen yük taşıyıcı delikler (h^+) potansiyel bir fark oluşturur. Bu durum açık devre elektro-kimyasal bir batarya gibi davranmaktadır. Sıkışan hacim negatif ve sıkışmayan hacim pozitif yüklerle yüklüdür. Yük taşıyıcı h^+ deliklerinin ise pozitif yükün yüzey üzerinde tutulmasını sağlar (Şekil 17).



Şekil 17. Sıkışan kaya bloğunda yük taşınımı (Freund, 2005'den değiştirilerek).

Laboratuvar ortamında sıkıştırılan kayaların sıkışmayan taraflarına doğru kuvvetli elektron akışı granit bloğunda gözlemlenmiştir. Bu deneyin konumsal olarak genişletilmesi ile kuvvetli depremlerin öncesinde fay kırıklarında biriken stres ile kayalarda iyonizasyonun ortaya çıkacağı ve kayaç kırıklarında iyonize olan havanın saçılarak iyonosfer tabakasına kadar ulaşacağı ve iyonosfer tabakasındaki elektron yoğunluğunu artırabileceği kanıtlanmış ve sıkışan kayaçlar-Dünya yüzey değişimleri-atmosfer-iyonosfer sistemi formüle edilerek deneysel sonuçlar ile ortaya koyulmuştur (St-Laurent vd., 2006; Freund vd., 2009; Kuo vd., 2011 ve Freund 2011).

Atmosferdeki elektrik akımları hesaplanarak iyonosfer simüle edildiğinde, deprem fay bölgesi içinde ortaya çıkan akımın yoğunluğu TEC'de gündüz %2-25 arası, gece ise %1-30 civarında bir değişimine sebep olduğu belirlenmiştir. Farklı yüzeylerdeki atmosfer, iyonosfer ve kısa-dönemli deprem öncüleri olarak isimlendirilen anormal değişimlerin

arasındaki ilişki Litosfer-Atmosfer-İyonosfer Bağlantı (LAIC: Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling Model) modelinde açıklanır (Pulinets, 1998; Pulinets ve Ouzounov, 2011). LAIC modeli, Pulinets vd., (1994) tarafından depremin iyonosfer tabakasından geçen radyo sinyalleri üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerin incelenmesi amacıyla kurulmuştur.

1.4. İyonosferin GPS Sinyallerine Etkisi

GPS sinyalleri iyonosfer tabakasından geçerken kırılmaya uğrarlar. Elektromanyetik dalganın bir ortamdaki yayılımını gösteren kırılma indisi,

$$n = c/v \quad (6)$$

biçimindedir. Burada c , ışığın boşluktaki hızını; v ise elektromanyetik dalganın geçtiği ortamdaki hızını göstermektedir. İyonosfer yapısı gereği 30 MHz ve altındaki frekanslardaki dalgaları yansıtmaktadır. 50 MHz ve üstündeki sinyaller ise iyonosferden geçebilir fakat iyonosferde zayıflama ve gecikme etkisine uğrarlar (Schaer, 1999). Atmosfer, içinden geçen sinyallere etki eden kırılma indisi bakımından iki temel katmana ayrılabilir. Bunlar troposfer için kırılma indisi $n > 1$, iyonosfer ve manyetosfer için $n < 1$ 'dir. İyonosfer kırılma indisi (n_p) frekansa bağlıdır. İyonosfer saçıcı bir ortam olduğundan iki frekansın birleşimi ile iyonosferik etkiler giderilebilir (Wild, 1994). Yön bağımlı iyonosfer için kırılma indisi Appleton-Hartree tarafından;

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \frac{Y_T^2}{2(1 - X - iZ)} \pm \left(\frac{Y_T^4}{4(1 - X - iZ)^2} + Y_L^2 \right)^{1/2}} \quad (7)$$

biçiminde türetilmiştir. Bu eşitlikte;

$$X = \frac{N_e e^2}{\epsilon_0 m_e \omega^2}, Y_L = \frac{e B \cos \theta}{m_e \omega}, Y_T = \frac{e B \cos \theta}{m_e \omega} \text{ ve } Z = \frac{v}{\omega} \quad (8)$$

biçiminde ifade edilir. Burada; N_e , elektron yoğunluğunu (el/m^3); e , elektron yükünü ($1.602 \times 10^{-19} \text{ Columb}$); m_e , elektron kütlesini ($9.107 \times 10^{-31} \text{ kg}$); ϵ_0 , uzaydaki di-

elektrik sabitini ($8.854 \times 10^{-12} F/m$); v , elektron çarpışma frekansını; $\omega = 2\pi f$, radyal frekans; $\mathbf{B}$, dünyanın manyetik alanının akı yoğunluğunu (*Tesla*); θ , dalga vektörü ile manyetik alan vektörü arasındaki açıyı göstermektedir. GPS'te kullanılan frekanslar için dünyanın manyetik alanını içeren terimlerin bir kısmı ve elektron çarpışmaları ihmal edildiğinde kırılma indisi;

$$n = 1 - \frac{X}{2(1 \pm Y_L)} \quad (9)$$

eşitliğinden hesaplanır (Teunissen ve Kleusberg, 1996). Dünyanın manyetik alanının boylamsal etkileri yok sayılıp gerekli düzenlemeler yapılırsa f frekansındaki faz ölçüleri için kırılma indisi;

$$n_\phi = 1 - \frac{40.28}{f^2} N_e \quad (10)$$

biçiminde elde edilir. Aynı işlemler kod ölçüleri için yapıldığında kırılma indisi;

$$n_p = 1 + \frac{40.28}{f^2} N_e \quad (11)$$

eşitliğinden elde edilir (Subirana vd., 2013). İyonosferin kırılma indisi (n_p) bilindiğinde iyonosferden kaynaklanan grup gecikmesi, faz ilerlemesi ve Doppler kayması gibi etkiler

$$\Delta r = \int (n_g - 1) dl \quad (12)$$

olarak hesaplanabilir. Burada, l , sinyalin iyonosferde kat ettiği yolu göstermektedir. Eşitlik (10) ve Eşitlik (11) ile Eşitlik (12) kullanılarak iyonosferden kaynaklı kod ve faz gecikmeleri;

$$\Delta P = \frac{A}{f^2} \int N_e dl \quad (13)$$

$$\Delta \Phi = \frac{1}{\lambda} \int (n_e - 1) dl = -\frac{A}{cf} \int N_e dl \quad (14)$$

eşitliklerinden hesaplanır. Buradaki $\int N_e dl$ TEC olarak isimlendirilmektedir. TEC hesaplamak iyonosferin yapısını incelemek için doğrudan kullanılan bir parametredir. TEC, toplam elektron içeriği biriminde $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el/m}^2$ gösterilmektedir.

1.4.1. GPS Sinyallerinden İyonosferik TEC Belirleme

Uzun dönem kararlılığına sahip sezyum atomu kristalleri ile oluşturulan GPS sinyallerinin temel frekansı $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$ 'dir. Bu temel frekanslı sinyal 154 ile çarpılarak $f_1 = 1575.420 \text{ MHz}$ ve 120 ile çarpılarak $f_2 = 1227.600 \text{ MHz}$ frekansındaki taşıyıcı sinyal elde edilmektedir. f_1 taşıyıcı sinyalinin gönderildiği kanal L1 kanalı, f_2 taşıyıcı sinyalinin gönderildiği kanal ise L2 kanalı olarak adlandırılır. İyonosferin etkilerini elimine etmek amacıyla bu iki farklı frekansta yayın yapılmaktadır. GPS uydularından gönderilen C/A ve P kod ölçüleri GPS sinyalinin uydudan çıkış zamanını taşımaktadır. GPS alıcılarınca belirli aralıklarla kayıt edilen kod ve kodu üzerinde taşıyan faz ölçülerinden konum belirlenmektedir (Subirana vd., 2013). GPS sinyalinin uydudan çıkış zamanı (T_S) ile alıcıya ulaşma zamanı (T) arasında geçen zaman farkı hesaplanarak, c elektromanyetik dalganın boşlukta yayılma hızı ile çarpımından uydu ile alıcı arasındaki kod ölçüleri (Pseudo-range) hesaplanmaktadır.

$$\rho_u^m = c(T - T_S) \quad (15)$$

Burada iyonosferik, troposferik etkiler ile alıcı, uydu saat hataları hesaba katılmadığından hesaplanacak mesafe (ρ_u^m) gerçek mesafe olmayacaktır. m uydu için, n ölçüm anında f_1 ve f_2 frekansları için GPS alıcısının ölçtüğü kod ölçüleri,

$$P_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop1,u}^m + d_{ion1,u}^m + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \alpha \quad (16)$$

$$P_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop2,u}^m + d_{ion2,u}^m + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \alpha \quad (17)$$

eşitliklerinde verilmiştir. Burada, m , uydu numarasını; u alıcı numarasını; $d_{ion1,u}^m$ ve $d_{ion2,u}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonosfer kaynaklı grup gecikmelerini; $d_{trop1,u}^m$ ve $d_{trop2,u}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki troposfer kaynaklı grup gecikmelerini; Δt^m

ve Δt_u , uydu ve alıcı saat hatalarını; ε^m ve ε_u , uydu ve alıcı donanımsal gecikmelerini (birim zamanda); α , rasgele hataları veya artıkları göstermektedir. Benzer bir model faz ölçüleri için de kurulabilir. GPS sinyal taşıyıcı faz gözleminde faz değeri sinyalin tur sayısını ifade eder. GPS alıcıları uydudan alınan sinyalin o andaki faz kesrini kayıt eder. Sinyalin uydudan alıcıya kadar olan mesafede kaç tur attığı ise bilinmemektedir. Çift frekanslı alıcılarda bu faz iki sinyalde de aynı olması gerektiğinden aradaki fark tur sayısını verir. Ancak kod ölçülerinde olduğu gibi faz ölçülerinde de atmosferik etkiler, alıcı uydu saat hataları, uydu konum bilgisi hataları gibi birçok hata ölçüme etki eder. Ayrıca ölçümde meydana gelen kesiklikler (cycle-slip) faz bilinmeyenini meydana getirir. Tekrar sinyal alınmaya başlandığında ise hangi faz tam sayısında olduğu bilinmediğinden bunun da hesaplanması gerekmektedir. Faz gözlem modeli için;

$$\lambda_1 \Phi_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_1 \Phi_{trop1,u}^m - \lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m + \lambda_1 B_u^m + \alpha \quad (18)$$

$$\lambda_2 \Phi_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_2 \Phi_{trop2,u}^m - \lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m + \lambda_2 B_u^m + \alpha \quad (19)$$

yazılabilir. Eşitliklerde, m , uydu numarasını; u , alıcı numarasını, $\lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m$ ve $\lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonosferden kaynaklı faz gecikmelerini; $\lambda_1 \Phi_{trop1,u}^m$ ve $\lambda_2 \Phi_{trop2,u}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki troposferden kaynaklı faz gecikmelerini göstermektedir. Burada, $B_u^m = \lambda_i(N_{i,u}^m + \delta N_{i,u}^m) + c(\varepsilon_i^m + \varepsilon_{i,u})$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki sabit yanlılıkları; $N_{i,u}^m$, tamsayıyı; $\delta N_{i,u}^m$, tamsayı faz belirsizliğini göstermektedir.

GPS uydularından konum belirleme amaçlı yayımlanan çift frekanslı sinyaller iyonosferin izlenmesinde en ekonomik ve en değerli veriyi sağlar. GPS sinyalleri iyonosfer tabakasından geçerken iyonosferdeki yüksek elektron yoğunluğundan dolayı sinyalin frekansına bağlı kırılmaya uğrarlar. Bu sebeple farklı frekanslardaki sinyaller alıcıya farklı zamanlarda ulaşırlar. Bu gecikme TEC'in bir fonksiyonudur ve konuma, zamana ve frekansa bağlı olarak değişmektedir (Schaer, 1999). İyonosfer tabakasından kaynaklanan gecikmeyi kalibre edebilmek için GPS uydularından iki farklı frekansta sinyal gönderilir (Dach, 2007). GPS uydularından gönderilen sinyal iki farklı frekans üzerine modüle edilmiş kod ölçülerini içermektedir. Kod ölçülerini, faz ölçülerini ya da her ikisini birden kullanarak TEC hesabı yapmak mümkündür (Nayir, 2007). Kod (P) ve taşıyıcı faz (Φ) ölçülerinin geometriden bağımsız kombinasyonu iyonosferik TEC'i belirlemede

kullanılabilir (Schmidt vd., 2008). Pseudo mesafe ölçmelerinde, geometriden bağımsız doğrusal kombinasyonlar P_2 kod ölçülerini P_1 kod ölçülerinden çıkararak,

$$P_{4,u}^m = P_1 - P_2 = A \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) STEC_u^m + DCB^m + DCB_u \quad (20)$$

elde edilir. Burada, $A = 40.3 \text{ m}^3/\text{s}^2$ katsayısı; $STEC_u^m$, her bir u alıcısı ve m uydusu arasındaki eğri sinyal yolu boyunca belirlenen TEC miktarını; DCB^m ve DCB_u , pseudo mesafe gözlemleri için uydu ve alıcı donanımlarına bağlı f_1 ve f_2 frekanslarındaki sinyal gecikmelerinin diferansiyel kod farklarını göstermektedir. Taşıyıcı faz gözlemlerinde geometriden bağımsız doğrusal kombinasyonlar Φ_2 faz gözlemini Φ_1 faz gözlemlerinden çıkarılarak,

$$\Phi_{4,u}^m = \Phi_1 - \Phi_2 = -A \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) STEC_u^m + IFB^m + IFB_u + \Delta N_{u,4}^m \quad (21)$$

elde edilir. Burada, IFB^m ve IFB_u , taşıyıcı faz gözlemleri için uydu ve alıcı donanımlarına bağlı f_1 ve f_2 frekanslarındaki sinyal gecikmelerinin frekanslar arasındaki farklarıdır (IFB). Faz belirsizliği farkı $\Delta N_{u,4}^m$,

$$\Delta N_{u,4}^m = \lambda_1 N_{u,1}^m - \lambda_2 N_{u,2}^m \quad (22)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, $N_{u,1}^m$ ve $N_{u,2}^m$, sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarıyla ilişkili faz belirsizliklerini göstermektedir (Komjathy, 1997; Liao, 2000; Leick, 2004; Dach vd., 2007; Jin vd., 2012).

Eğik TEC'in (STEC) belirlenebilmesi için diferansiyel kod farklarının bilinmesi gerekmektedir. DCB değerleri günlük olarak bazı IGS istasyonları için IONEX dosyalarında ve çoğunlukla JPL (Jet Propulsion Laboratory), CODE (Center for Orbit Determination in Europe) ve ESA (European Space Agency) gibi iyonosferle ilişkilendirilmiş analiz merkezleri tarafından sunulmaktadır. Ancak, TEC'in belirlenmesinde DCB'lerin kullanımıyla ilgili herhangi bir standart işleyiş bulunmamaktadır (Komjathy, 1997; Warnant, 1997; Makalea vd., 2001). En çok kullanılan STEC belirleme yöntemi, DCB değerlerinin gözlemlerden çıkartılarak STEC değerlerinin,

$$STEC_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} \right) [P_{4,u}^m(n) - (DCB^m + DCB_u)] \quad (23)$$

elde edilmesidir. Burada, n indisi bir kayıta 1'den N 'ye kadar olan toplam örnek sayısını göstermektedir. Tipik bir GNSS alıcısı gözlemlerini 30 saniye aralıklarla kaydeder. 24 saatlik sürekli bir gözlem periyodunda N sayısı 2880 değerini alır. Eğer her bir uydu ve alıcı için DCB değerleri biliniyorsa STEC değeri her bir yay boyunca Eşitlik (23) ile hesaplanabilir. STEC hesaplamalarında, taşıyıcı faz gözlemlerinin düşük gürültüye sahip olma avantajı kullanılarak, Φ_4 gözlemleri literatürde bahsedilen farklı birçok algoritma ile P_4 gözlemlerine oturtulurlar (Lanyi ve Roth, 1988; Jakowski vd., 1996; Komjathy ve Langley 1996; Otsuka vd., 2002; Jin vd., 2012). Φ_4 'ün P_4 'e seviyelendirilmesi veya oturtulması genellikle faz ölçümlerinin her kesintisiz yayı için bir yumuşatma katsayısı,

$$B^m = \frac{1}{N_{me}} \sum_{n_{me}=1}^{N_{me}} (P_{4,u}^m(n_{me}) + \Phi_{4,u}^m(n_{me})) \quad (24)$$

biçiminde tanımlanır. Burada, B^m , m . uydu için yumuşatma katsayısı değerini; N_{me} , her bir kesintisiz faz ölçüsündeki toplam örnek sayısını ve n_{me} , kesintisiz faz ölçüsüne ait toplam örnek sayısının zaman indeksini göstermektedir. Her bir faz kayması veya faz kopukluğu giderilmesine bir diğer yumuşatma katsayısının hesaplanmasıyla başlanır. Yumuşatma katsayısı değeri B^m , Φ_4 ile kombine edilerek STEC değerleri,

$$STEC_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} \right) (B^m - \Phi_{4,u}^m(n) - (DCB^m + DCB_u)) \quad (25)$$

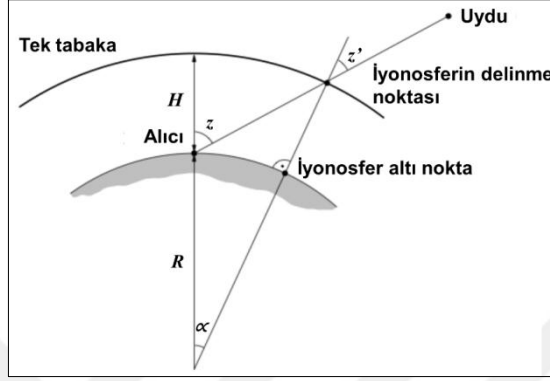
biçiminde hesaplanır. Eğer DCB değerleri biliniyorsa, STEC değeri Eşitlik (23) veya (25)'ten hesaplanabilir. STEC değeri hesaplandıktan sonra İnce Tabaka İyonosfer Modeline (SLIM) göre düşey toplam elektron içeriği (VTEC) değerleri,

$$M(\epsilon_m(n)) = \frac{STEC_u^m(n)}{VTEC_u^m(n)} \quad (26)$$

eşitliğinden belirlenir (Klobuchar, 1986). Burada tanımlanan izdüşüm fonksiyonu $M(\epsilon_m(n))$,

$$M(\epsilon_m(n)) = \frac{1}{\cos z} = \frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2 z'}} , z' = \sin^{-1} \left(\frac{R}{R+H} \sin(\alpha z) \right) \quad (27)$$

şeklindedir (Şekil 18).



Şekil 18. Tek Tabaka İyonosfer Modeli Geometrisi (Schaer vd., 1999'den değiştirilerek).

Burada, z , uydu ile alıcı konumunun sinyal yolundaki zenit açısını; z' , uydu ile alıcı arasındaki sinyal yolunun ince tabakadan geçerken ki yani İyonosferin Delinme Noktalarındaki (IPP) zenit açısını; R , dünyanın yarıçapını ($6,378.137 \text{ km}$) ve H , iyonosferik ince tabaka yüksekliğini (350 km) göstermektedir (Mannucci vd., 1993; Langley vd., 2002; Rao vd., 2006; Spogli vd., 2013; Chakraborty vd., 2014).

Uydulara ve alıcılara ait DCB değerleri IGS IONEX dosyalarından elde edilebilir. İstasyonlara ait bilinmeyen DCB değerleri günlük sabitler olarak bölgesel veya global VTEC modeli tabanlı küresel harmonikler kullanılarak kestirilebilir (Jin vd., 2012). Jin vd., (2012) küresel harmonik serilerin mertebesi çalışma bölgesine bağlıdır ve bölgesel, kıtasal ve küresel ölçekteki çalışmalarda sırasıyla 4, 8 ve 15. mertebeden seçilebilir.

Bölgesel iyonosfer modelinde, $E_v(\beta, s)$ düşey elektron yoğunluğunun Taylor serisine göre açılımı olan,

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^{m_{\max}} E_{nm}(\beta - \beta_0)^n (s - s_0)^m \quad (28)$$

eşitliği kullanılır. Burada; n_{max} ve m_{max} , enlem ve boylama göre iki boyutlu Taylor dizisinin en büyük derecesini; E_{nm} , bilinmeyen katsayıları; β_0 ve s_0 , seçilen bölgeyi ortalama olarak temsil eden açılım merkezinin koordinatlarını; β ve s , TEC değeri hesaplanmak istenen bölgenin koordinatları olarak ifade edilen enlem ve boylam değerlerini gösterir (Schaer, 1999). Bölgesel TEC belirleme çalışmalarında kullanılan Taylor serisine açılım küresel TEC belirleme çalışmalarında yetersiz kalmaktadır. Küresel TEC belirleme çalışmalarında küresel harmonik serilere açılım yaklaşımı kullanılmaktadır (Schaer, 1999). $E_v(\beta, s)$ 'nin küresel harmonik serilere açılımı için,

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\sin\beta) (\tilde{C}_{nm} \cos(ms) + \tilde{S}_{nm} \sin(ms)) \quad (29)$$

eşitliği kullanılır. Burada; β , coğrafi enlem; $s = \lambda - \lambda_0$, iyonosferik delinme noktasının güneş-sabit referans sistemindeki boylamı; λ , iyonosfer geçiş noktasının boylamı; λ_0 , güneşin boylamı; n_{max} , küresel harmonik serilere açılımın en büyük değeri; $\tilde{P}_{nm} = N_{nm}P_{nm}$, Legendre Fonksiyonu; N_{nm} , normlandırma fonksiyonu; P_{nm} , normlandırılmış Legendre fonksiyonu; $\tilde{C}_{nm}$ ve $\tilde{S}_{nm}$ küresel harmonik serilere açılımın bilinmeyen katsayılarını ya da küresel iyonosfer haritalarının kestirilen parametrelerini gösterir.

Bu tez çalışması kapsamında belirlenen bölgesel TEC parametreleri yüzey polinomu katsayıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalibre edilmiş STEC değişimleri Eşitlik (25)'deki gibi her bir uydu yayından DCB değerlerinin elimine edilmesi ile belirlenir ve VTEC değerleri Eşitlik (26)'deki iz düşüm fonksiyonu kullanılarak her bir sürekli yay boyunca hesaplanabilir. VTEC değerlerinin her saat için gözlem penceresi boyutu belirlenerek seçilen IPP noktalarındaki VTEC ölçülerine uygun yüzey polinomunun katsayıları hesaplanabilir. Daha sonra belirlenen yüzey polinomu katsayıları ile her bir GNSS istasyon tepesi saatlik VTEC değerleri elde edilebilir. GPS ölçümleriyle konum belirleme hesaplamalarında IGS analiz merkezlerinin ürettiği TEC değerleri kullanılmaktadır. Ancak uzun mesafelerde ve anlık konum belirlemede küresel olarak üretilen TEC değerleri yeterli hassasiyeti sağlamamakta ve bu nedenle yerel TEC değerinin hesaplanması ve ölçülere dahil edilmesi gerekmektedir (Aslan, 2004). Bu çalışmada, bölgesel VTEC değişimleri ikinci dereceden polinom yüzeyleri geçirilerek elde edilmiştir. Bir gün boyunca, her bir GNSS istasyonu üzerindeki IPP'de kalibre edilmiş VTEC

değerlerinden bölgesel saatlik VTEC değişimleri, ikinci dereceden polinom yüzeyi geçirimi yaklaşımla (Durmaz ve Karslioglu, 2014),

$$VTEC(\varphi_{IPP}, S_{IPP}) = a_0 + a_1\varphi_{IPP} + a_2S_{IPP} + a_3\varphi_{IPP}^2 + a_4\varphi_{IPP}S_{IPP} + a_5S_{IPP}^2 \quad (30)$$

eşitliğinden elde edilmiştir. Burada φ_{IPP} ve S_{IPP} , IPP'nin güneş sabit referanslı küresel koordinatlarını; a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 ve a_5 polinomal yüzey katsayılarını göstermektedir. Polinomal yüzey katsayılarının saatlik kestirimi için kullanılan veri penceresi 120 epoka ayarlanmıştır (önce ve sonra 60 epok). Eşitlik (30)'daki bilinmeyen saatlik polinomal yüzey katsayıları en küçük kareler yöntemine (EKK) göre kestirilmiştir. Her bir istasyonun güneş sabit küresel koordinatları, belirlenen yüzey polinomunda yerine koyularak her saat için istasyon tepesi VTEC değerleri elde edilmiştir. Ancak, istasyon üstü kayıp VTEC değerleri IGS'in son IONEX dosyalarından alınan grid TEC değerlerinin enterpolasyonu ile tamamlanmıştır (Schaer vd., 1999).

1.4.2. Referans ve Koordinat Sistemleri

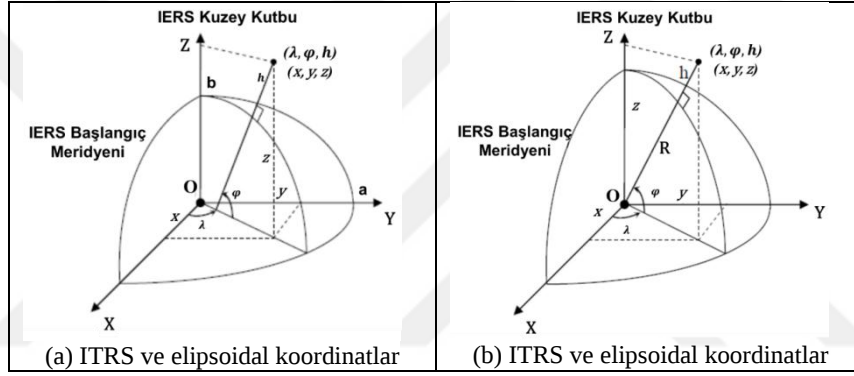
Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan referans ve koordinat sistemleri açıklanmıştır. Uluslararası Yer Dönüklük ve Referans Sistemi Servisi (IERS: nternational Earth Rotation and Reference System Service), çok önemli bir Yersel Referans Çatısı'nı (TRF: Terrestrial Reference Frame), Uluslararası Yersel Referans Çatısı (ITRF) ismiyle Uluslararası Yersel Referans Sistemi'nin (ITRS: International Terrestrial Reference System) gerçekleştirilmesini yapmıştır. ITRS'in orjini yer merkezli olarak, Z eksenini IERS'in Referans Kutbunu, X eksenini IERS'in Başlangıç Meridyeni doğrultusunda tanımlanmıştır. Bu sistemdeki koordinatlar genellikle Yer-Merkezli Yer-Sabit (ECEF: Earth-Centered Earth-Fixed) olarak isimlendirilmiştir. Dünya yüzeyindeki yatay ve düşey konum bilgisinin gösteriminde, 3 boyutlu Kartezyen koordinat sistemi değerleri kullanılarak gösterim uygun olmadığından bunun yerine küresel veya elipsoidal koordinat sistemleri kullanılmaktadır (Durmaz, 2013).

Dünya Jeodezik Sistemi (WGS84: World Geodetic System-1984), yersel referanstaki koordinat sistemidir ve 1960'larda GPS ile beraber geliştirilmiştir. Başlangıç meridyeni ve kuzey kutup özelliklerinde IERS teamüllerini uygulamaktadır (Seeber, 2003; Durmaz, 2013). Elipsoid koordinatlarından (λ, φ, h) , 3 boyutlu Kartezyen koordinatlarına (x, y, z)

dönüşüm Hofmann- Wellenhof vd., (2008)'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 19). Güneş-sabit referans sistemi, ortalama Güneş konumuyla ilişkili olarak tanımlanmıştır. Ortalama Güneş konumu, Güneş'in ekvator etrafında sabit bir hızla hareket ettiği varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu yüzden enlem Güneş-sabit referans sisteminden etkilenmez fakat boylam;

$$\lambda_{gs} = \lambda - \lambda_0 \quad (31)$$

biçimindedir. Burada, λ_{gs} , Güneş-sabit referans sistemindeki boylam, λ_0 , ortalama güneş boylamıdır (Şekil 19).



Şekil 19. Referans ve koordinat sistemleri (Durmaz, 2013'ten değiştirilerek).

1.4.3. GPS TEC Değişimlerinin Analizi

VTEC değerlerindeki anormal değişimlerin analiz edildiği istatistik yöntemlerden biri de çeyrekler arası fark istatistiksel yöntemidir (Liu vd., 2009). Bu yöntemde, hareketli ortanca (M) yöntemi ile TEC değişimindeki ortanca değerler ile birinci (LQ) ve üçüncü (UQ) çeyrek değerleri belirlenmektedir. İlk 15 gün için elde edilen bu değerler sonrasındaki 16. gün için karşılaştırılır. Devamındaki işlemlerde 2 ve 16 günleri arasında hesaplanan bu değerler 17. gün için sınır değerleri oluşturmada kullanılır. Bu şekilde tüm veri sonuna kadar değerlendirilir. Daha sonra m ortalama değerine ve σ standart sapmasına sahip olduğu varsayılan kestirilen VTEC değerleri, m ve 1.34σ aralığında kabul aralığı olarak seçilir (Klotz ve Johnson, 1983). Alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri sırasıyla $LB=M-1.5(M-LQ)$ ve $UB=M+1.5(UQ-M)$ eşitliklerinden belirlenir. VTEC değişimlerinin anormal olduğu günleri belirlemek için bir gündeki saatlik VTEC değişimlerinin LB veya

UB sınırlarından düşük veya yüksek olan sayılarının yüzde oranları belirlenip ve bir gündeki değişimin 3'te 1'i (bir günde 8 saatlik anormallik) sınır değeri kabul edilebilir. Bu anormallik pozitif anomalilerde ortaya çıkıyorsa pozitif anormal gün, negatif anomalilerde ortaya çıkıyorsa negatif anormal gün olarak gösterilir.

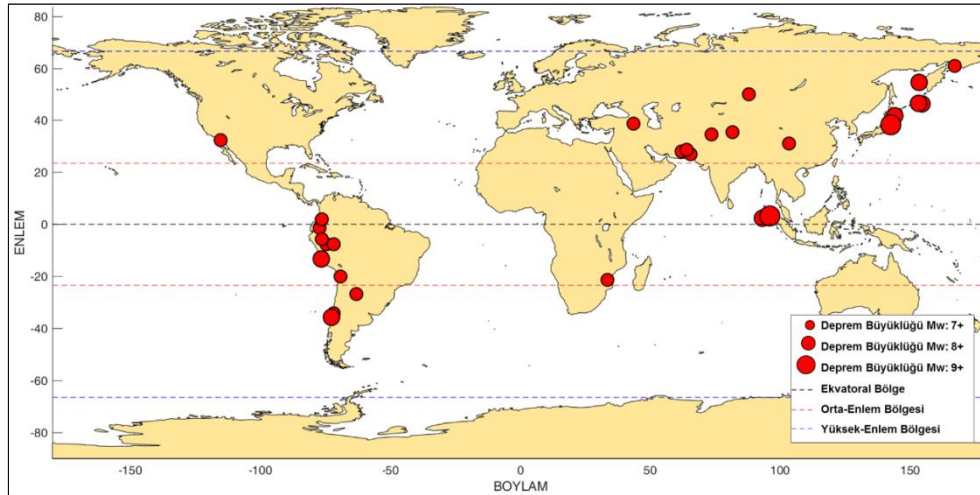


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında, ekvatorial ve orta kuşaklarda uzay iklim koşulları dikkate alınarak, deprem büyüklükleri, derinlikleri ve depremlerin meydana geldiği bölgelerin jeotektonik yapıları için deprem öncesi belirlenen iyonosferik TEC anomalilerinin depremlerle olan ilişkileri araştırılmıştır.

2.1. Depremlerin Seçimi

Bu çalışmada, 2000 yılından sonra kuzey ve güney yarıküredeki Ekvatorial ve Orta Kuşaklarda meydana gelmiş büyüklüğü 7'den büyük depremler (158) (URL-25, 2014) adresinden belirlenmiştir. Bu depremlerin deprem hazırlık alanına (DHA) ve çevresine giren IGS istasyonlarına ait GPS gözlemlerinin sürekliliği kontrol edilmiş ve kesintisiz GPS verisi olan depremlerden bir ay önce ve bir ay sonraki uzay iklim koşullarına ait indis değerleri de incelenerek genelde veri kesintisi olmayan 28 deprem uygulama için seçilmiştir. Bu incelemeler sonucunda Kuzey Yarıküre Ekvatorial Kuşakta (3), Güney Yarıküre Ekvatorial Kuşakta (7), Kuzey Yarıküre Orta Kuşakta (15), Güney Yarıküre Orta Kuşakta (3) deprem seçilmiştir (Şekil 20, Tablo 6).



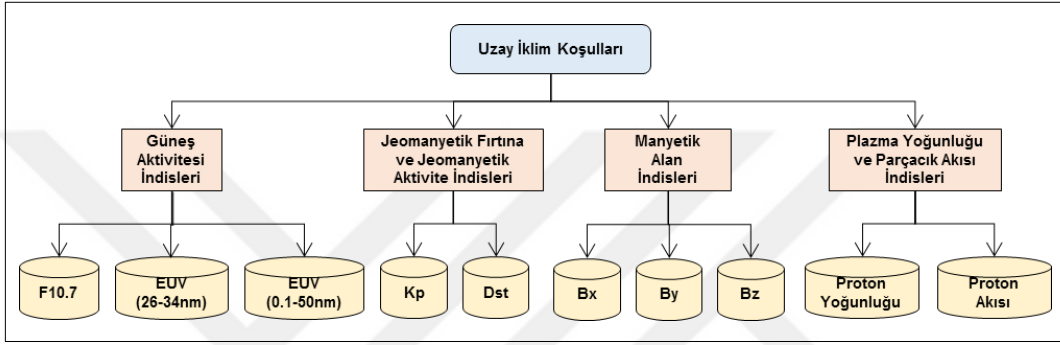
Şekil 20. Depremlerin dünya üzerindeki dağılımları

Tablo 6. 2000 yılı sonrası seçilen depremler

Kuşak	Bölge	Tarih / Saat	Mag. (Mw)	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Derinlik (km)
Ekvatorial Kuşak (KYK.)	G. AMERİKA, Kolombiya, San Agustin	30.09.2012 16:31:35.97	7.3	1.93	-76.36	170.0
	ASYA, Endonezya, Sumatra	11.04.2012 08:38:36.72	8.6	2.31	93.06	20.0
	ASYA, Sumatra, Kuzey Batı Sumatra Kıyısı	26.12.2004 00:58:53.45	9.1	3.29	95.98	30.0
Ekvatorial Kuşak (Güney Yarım Küre)	G. AFRİKA, Mozambik, Manica	22.02.2006 22:19:07.80	7.0	-21.32	33.58	11.0
	G. AMERİKA, Peru, Kuzey Peru	24.08.2011 17:46:11.65	7.0	-7.64	-74.53	147.0
	G. AMERİKA, Ekvador, Güney Batı Amerika	12.08.2010 11:54:15.58	7.1	-1.26	-77.31	206.7
	G. AMERİKA, Şili, Tarapaca	13.06.2005 22:44:33.90	7.8	-19.99	-69.20	115.6
	G. AMERİKA, Peru, Kuzey Peru	26.09.2005 01:55:37.67	7.5	-5.68	-76.40	115.0
	G. AMERİKA, Brezilya, Amazonlar	20.06.2003 06:19:38.91	7.1	-7.61	-71.72	558.1
	G. AMERİKA, Peru, Kıyısı	15.08.2007 23:40:57.89	8.0	-13.38	-76.60	39.0
Orta Kuşak (Kuzey Yarım Küre)	ANADOLU, Türkiye, Van	23.10.2011 10:41:22.93	7.1	38.72	43.51	16.0
	ASYA, İran, Haş	16.04.2013 10:44:20.70	7.7	28.11	62.05	82.0
	ASYA, Pakistan, Avaran	24.09.2013 11:29:47.97	7.7	26.95	65.50	15
	ASYA, Pakistan, Dalbandi	18.01.2011 20:23:23.48	7.2	28.78	63.95	68.0
	ASYA, Çin, Sincan-Uygur Sınırı	20.03.2008 22:32:57.93	7.2	35.49	81.47	10.0
	ASYA, Çin, Batı Sincan	12.05.2008 06:28:01.57	7.9	31.00	103.30	19.0
	ASYA, Pakistan, Kuzey Muzafferabad	08.10.2005 03:50:40.80	7.6	34.54	73.59	26.0
	ASYA, Rusya, Sibirya	27.09.2003 11:33:25.08	7.3	50.04	87.81	16.0
	JAPONYA, Japonya, Hokkaido Batı kıyısı	11.03.2011 05:46:24.12	9.0	38.30	142.40	29.0
	G. AMERİKA, Meksika, Baja Kaliforniya	04.04.2010 22:40:43.10	7.2	32.30	-115.30	4.0
	K. ASYA, Rusya, Koryakiya Batı Kıyısı	20.04.2006 23:25:02.15	7.6	60.95	167.10	22.0
	JAPONYA, Japonya, Kuril Adalarının Doğusu	24.05.2013 05:44:49.60	8.3	54.57	153.28	608.9
	JAPONYA, Japonya, Kuril Adalarının Doğusu	13.01.2007 04:23:21.16	8.1	46.24	154.52	10.0
	JAPONYA, Japonya, Kuril Adalarının Doğusu	15.11.2006 11:14:13.57	8.3	46.59	153.22	10.0
	JAPONYA, Japonya, Hokkaido Bölgesi	25.09.2003 19:50:06.36	8.3	41.81	143.91	27.0
Orta Kuşak (Güney Yarım K.)	G. AMERİKA, Arjantin, Santiago Del Estero	01.01.2011 09:56:58.12	7.0	-26.80	-63.14	576.8
	G. AMERİKA, Şili, O'Higgins Bölgesi	11.03.2010 14:55:27.51	7.0	-34.33	-71.80	18.0
	G. AMERİKA, Şili, Güneybatı Kıyıları	27.02.2010 06:34:11.53	8.8	-35.84	-72.72	22.9

2.2. Uzak İklım Koşulları Verileri

İyonosferin sakin zamanlarını belirlemek için uzak iklim koşulları incelenmiştir. Bu çalışmada uzak iklim koşulları indislerinden; Güneş aktivitesi indisleri (F10.7cm ve EUV 0.1-50nm, EUV 26-34nm), jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite indisleri (Kp ve Dst), manyetik alan indisleri (Bx, By ve Bz), plazma yoğunluğu ve parçacık akısı indisleri (proton yoğunluğu ve altı farklı enerji seviyesindeki proton akısı) kullanılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Uygulamada kullanılan uzak iklim koşulları

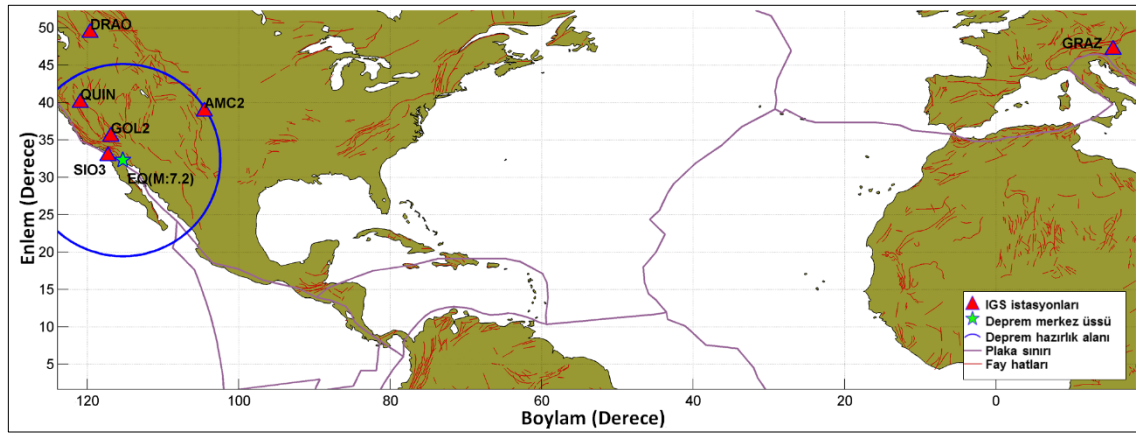
Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite indislerinin, manyetik alan indislerinin, plazma yoğunluğu ve parçacık akısı indislerinin her deprem için depremden önce 30 ve depremden sonra 30 günlük verileri, Nasa Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nin Uzay Fiziği Veri Tesisi'ne ait (URL-27, 2014) internet ara yüzünden bir saat çözünürlüklü olarak alınmıştır. Her deprem için Güneş aktivite indislerinin (EUV Akısı 0.1-50 nm ve 26-34 nm) depremden önce 30 ve depremden sonra 30 günlük verileri, Güney Kaliforniya Üniversitesi (USC) Uzay Bilimleri Merkezi'ne ait (URL-26, 2014) internet ara yüzünden günlük çözünürlüklü olarak elde edilmiştir.

2.3. İyonosferik VTEC Değişimi Belirleme Verileri

Her deprem için IGS istasyonlarının seçimi yapılmış ve iyonosferik VTEC değişimlerinin belirlemesi ve güvenilirlikleri için gerekli olan veriler elde edilmiştir. Her deprem için deprem hazırlık alanlarına (DHA) giren IGS istasyonlarının belirlenmesi amacıyla depremlerin hazırlık alanlarının yarıçapları Dobrovolsky vd., (1979),

$$\rho = 10^{0.43 \cdot M} \text{ km} \quad (32)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada, ρ , deprem hazırlık alanının yarıçapını; M , moment büyüklüğü ölçeğinde depremin büyüklüğünü göstermektedir. Her deprem için bu eşitlikten hesaplanan ρ yarıçaplı deprem hazırlık alanının içindeki IGS istasyonları ile farklı bölgelerdeki uzay iklim koşullarına ait etkileri de görebilmek için deprem hazırlık alanı yakınında ve uzağındaki IGS istasyonları <http://igs.org/network> adresinden alınan konumlarına göre belirlenmiş ve örnek olarak 4 Nisan 2010'da meydana gelen $M_w=7.2$ büyüklüğündeki Meksika, Baja Kaliforniya depremi için gösterilmiştir (Şekil 22).



Şekil 22. 2010 Meksika, Baja Kaliforniya depremi için seçilen IGS istasyonları

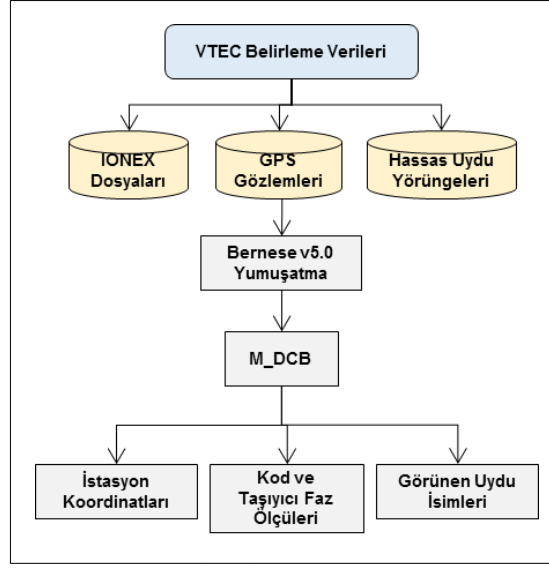
Şekil 22'de görüldüğü gibi deprem hazırlık alanı içinde (SIO3, GOL2, QUIN ve AMC2), deprem hazırlık alanı yakınında (DRAO) ve deprem hazırlık alanının uzağında, muhtemel iyonosferik deprem anomalileri ve uzay iklim koşullarına ait anomali farklarını görebilmek için (GRAZ) 6 IGS istasyonu belirlenmiştir. Bütün depremler için aynı yöntemle IGS istasyonları seçilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Depremler için seçilen IGS istasyonları

Bölge	DHA (km)	Seçilen IGS İstasyonları
G. AFRİKA, Mozambik, Manica	1377.2	PRE1, PRE2, SUTH
G. AMERİKA, Peru, Kuzey Peru	4988.8	BOGT, CONT
G. AMERİKA, Ekvador, Güney Batı Amerika	8184.6	AREQ, CRO1, UNSA
G. AMERİKA, Şili, Tarapaca	1023.3	AREQ, SANT, QUI1, BUE1
G. AMERİKA, Peru, Kuzey Peru	1023.3	QUI1, BOGT, AREQ, CRO1
G. AMERİKA, Brezilya, Amazonlar	1129.8	AREQ, BOGT, UNSA
G. AMERİKA, Peru, Kıyısı	2259.4	AREQ, SANT, BUE1, BUE2
ANADOLU, Türkiye, Van	1678.8	ANKR, CRAO, MDVJ, ZWE2
ASYA, İran, Haş	1129.8	POL2, GUAO, URUM, ADIS
ASYA, Pakistan, Avaran	2754.2	POL2, IISC, GUAO, URUM
ASYA, Pakistan, Dalbandi	1129.8	POL2, IISC, GUAO, URUM
ASYA, Çin, Sincan-Uygur Sınırı	2046.4	GUAO, URUM, LHAZ, NOVM, IRKM
ASYA, Çin, Batı Sincan	2046.4	IRKM, NOVM, ARTU
ASYA, Pakistan, Kuzey Muzafferabad	1247.4	POL2, GUAO, BHR1, ARTU
ASYA, Rusya, Sibirya	1247.4	GUAO, NRIL
JAPONYA, Japonya, Hokkaido Batı kıyısı	2494.6	MTKA, USUD, YSSK, TWTF, KHAJ, PETS, YAKT, SHAO, CHAN
G. AMERİKA, Meksika, Baja Kaliforniya	1853.5	SIO3, GOL2, QUIN, AMC2, DRAO, GRAZ
K. ASYA, Rusya, Koryakiya Batı Kıyısı	1377.2	PETP, PETS, YSSK
JAPONYA, Japonya, Kuril Adalarının Doğusu	7413.1	PETS, YSSK, MIZU, USUD, CHAN, SHAO
JAPONYA, Japonya, Kuril Adalarının Doğusu	1247.4	PETS, YSSK, MIZU, KHAJ
JAPONYA, Japonya, Kuril Adalarının Doğusu	1853.5	PETS, YSSK, MIZU, YAKT, TWTF
JAPONYA, Japonya, Hokkaido Bölgesi	3706.8	YSSK, MTKA, USUD
G. AMERİKA, Arjantin, Santiago Del Estero	3040.9	UNSA, SANT, AREQ, FALK
G. AMERİKA, Şili, O'Higgins Bölgesi	3706.8	SANT, BUE1, BUE2, AREQ
G. AMERİKA, Şili, Güneybatı Kıyıları	3706.8	SANT, BUE1, BUE2, AREQ, FALK
G. AMERİKA, Kolombiya, San Agustin	1023.3	AREQ, CRO1
ASYA, Endonezya, Sumatra	1023.3	IISC
ASYA, Sumatra, Kuzey Batı Sumatra Kıyısı	6081.4	IISC, DGAR, TWTF, YAR2

2.3.2. İyonosferik VTEC Değişimleri ve Güvenirlilik Verileri

İyonosferik VTEC değişimlerini belirlemede, seçilen IGS istasyonlarının depremde 1 ay önce ve depremde 1 ay sonrasına ait GPS gözlemleri, GNSS istasyonlarının gördüğü GPS uydularına ait hassas yörünge koordinatları (SP3), uydu ve alıcı DCB değerleri, ayrıca hesaplanan DCB ve VTEC değişimlerinin güvenirliliğini test etmek için IONEX (IONosphere Map EXchange Format) dosyalarındaki DCB değerleri ve GIM-TEC haritaları kullanılmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. VTEC belirleme verileri

GPS gözlemleri, her alıcı için RINEX formatında indirilerek çok fazla gürültüye sahip kod ölçülerinin yumuşatılması ve ayrıştırılması işlemleri gösterilmiştir. GPS gözlemleri, Kabuk Dinamikleri Verisi ve Bilgi Sistemi (CDDIS: Crustal Dynamics Data and Information System) GNSS veri ve ürünleri arşivi (URL-29, 2014) adresinden MATLAB ortamında hazırlanan program kodlarıyla RINEX formatında indirilmiştir. RINEX dosyalarının başlık kısmından istasyonların kartezyen koordinatları (X, Y, Z) ve aynı dosyanın ölçüler kısmından, GNSS istasyonunun ölçüm süresi boyunca gördüğü uydu isimleri ve GPS gözlemleri (kod (P1, P2) ve taşıyıcı faz (L1, L2)) verileri alınmıştır. Taşıyıcı faz gözlemlerindeki faz kaymaları ve kaba hataların kod ölçülerini yumuşatmadan önce taşıyıcı faz ölçülerinden kaldırılması gerektiğinden, Bernese v5.0 yazılımı yumuşatma algoritması GNSS istasyonlarına ait tüm RINEX dosyalarına uygulanmıştır. İyonosferik TEC değişimlerinin belirlenmesi için her bir istasyona ait RINEX dosyalarından; istasyon koordinatları, kod ve taşıyıcı faz ölçüleri ve görünen uydu isimleri gibi veriler M_DCB yazılımına (Jin vd. 2012) yapılan bir iyileştirme kullanılarak elde edilmiştir.

Hassas uydu yörünge koordinatları, her GNSS uyduları için SP3 uzantılı dosyalarda IGS tarafından saatlik olarak, (URL-28, 2014) adresinden MATLAB ortamında hazırlanan yazılımla indirilmiştir. GNSS alıcılarının RINEX dosyasında gördüğü GPS uydularının isimleri, SP3 dosyalarındaki GPS uydularının isimlerine göre eşleştirilerek uyduların hassas yörünge koordinatlarının kaydedilmesi M_DCB yazılımı (Jin vd., 2012) ile yapılmıştır.

IONEX dosyaları, konumsal çözünürlüğü enlem ve boylamda sırasıyla 2.5° ve 5° çözünürlüklü olan GIM-TEC haritaları IONEX dosyaları içerisinde; iyonosferik TEC değerlerini, iyonosferik TEC değerlerinin karesel ortalama hatalarını, GNSS uyduları ile IGS istasyonlarına ait alıcı DCB değerlerini bulundurmaktadır. IONEX dosyalarında bulunan uydulara ait DCB değerleri, Uluslararası IGS Analiz Merkezleri (IGS, ESA, CODE, JPL, vd.) tarafından günlük olarak yayımlanmaktadır (URL-30, 2014). Bu çalışmada kullanılan DCB ve GIM-TEC haritaları, MATLAB ortamında hazırlanan yazılımla IGS Veri ve Ürünleri Arşivi'nden indirilmiştir. GPS uydularına ait DCB verileri, GNSS alıcılarının RINEX dosyasında gördüğü GPS uydularının isimlerine göre eşleştirilerek IONEX dosyalarından M_DCB yazılımı (Jin vd. 2012) kullanılarak kaydedilmiştir. Alıcı DCB'leri, yumuşatılan RINEX dosyalarından M_DCB yazılımı (Jin vd., 2012) kullanılarak bölgesel VTEC modeli tabanlı küresel harmonikler ile günlük sabitler olarak kestirilmiştir. Çalışma alanının büyüklüğü ve burada bulunan GNSS alıcılarının sayısına göre M_DCB yazılımında, küresel harmoniklerin genişletileceği maksimum mertebe 4 olarak seçilmiştir. GPS sinyallerindeki çok yolluluk etkilerini elimine etmek için ise yükseklik kesme açısı 10 derece olarak belirlenmiştir. Alıcı DCB kestirimlerinin güvenilirliğini kontrol etmek için, IGS son IONEX dosyalarında bulunan istasyonlara ait alıcı DCB değerleri de M_DCB yazılımı (Jin vd., 2012) kullanılarak ayrıştırılmıştır. IGS istasyonlarının kestirilen günlük alıcı DCB değerleri ile IGS son IONEX DCB'leri arasındaki farklar belirlenmiştir.

GNSS istasyonlarından elde edilen gözlem verilerinden üretilen TEC değerleri çeşitli lokal, bölgesel ve küresel iyonosfer haritalarının üretiminde kullanılmaktadır. Seçilen bir bölgeye ilişkin TEC değerleri üretilen bu haritalardan belirlenebilir. Günümüzde küresel iyonosfer TEC haritası üreten birçok analiz merkezi (CODE, ESA, IGS, JPL, NOAA, UNB, UPC vs.) bulunmaktadır. Bu çalışmada bu analiz merkezlerinin ürettiği GIM-TEC haritalarının ağırlıklı çözümlerine ait IGS veri ve analiz merkezi tarafından üretilen son IONEX haritaları kullanılmıştır. IGS IONEX dosyalarından alınan grid TEC değerlerinin enterpolasyonu ile kestirdiğimiz istasyon üstü kayıp VTEC değerlerinin tamamlanması yapılmıştır (Schaer vd., 1998). GIM-TEC haritalarından alınan VTEC değerleri hesapladığımız VTEC değerleri karşılaştırılmıştır. IGS IONEX dosyalarındaki GIM-TEC haritalarından alınan VTEC değerlerinin doğruluğunun kıtalar üzerinde 2-8 TECU (URL-31, 2014) aralığında olması dikkate alınarak kestirilen VTEC değerlerinin güvenilirliği kontrol edilmiştir.

3. BULGULAR

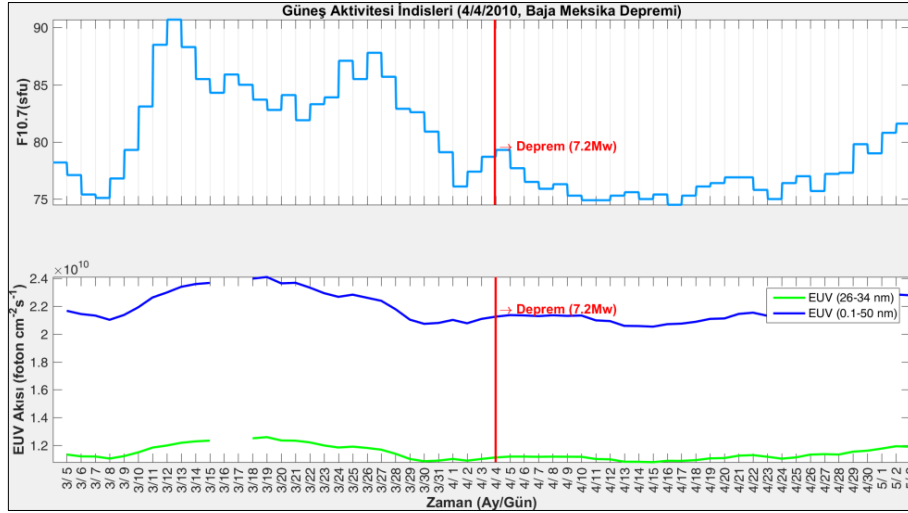
Tez çalışması kapsamında, deprem öncesi iyonosferde meydana gelen TEC değişimlerinin, Dünya üzerindeki farklı kuşaklarda (ekvatorial ve orta), farklı büyüklük (7'den büyük) ve derinliklerdeki depremler için depremlerin meydana geldikleri bölgelerin jeo-tektonik yapıları da dikkate alınarak incelenip analiz edilerek yorumlanması yapılmıştır. Bu amaçla gerekli veriler elde edildikten sonra;

- Uzak iklim koşullarının analizi,
- İyonosferik VTEC değişiminin belirlenmesi,
- Uzak İklim koşulları ve iyonosferik VTEC değişimlerinin analizi,
- İyonosferik VTEC değişimlerinin deprem parametreleri ve jeo-tektonik yapıyla birlikte değerlendirilmesi,
- Yorumlama

olarak işlem adımları gerçekleştirilmiştir. Bu işlem adımları tüm depremler için uygulanmış ve ayrıntılı gösterimi örnek olarak “4 Nisan 2010’da meydana gelen Mw=7.2 büyüklüğündeki Meksika, Baja Kaliforniya depremi” için verilmiştir.

3.1. Uzak İklim Koşullarının Analizi

Uzak iklim koşullarından uygulamada kullanılan Güneş aktivitesi (GA) indislerinin (F10.7cm ve EUV 0.1-50nm, EUV 26-34nm), jeomanyetik fırtına (JF) ve jeomanyetik aktivite (JA) indislerinin (Kp ve Dst), manyetik alan (MA) indislerinin (Bx, By ve Bz), plazma yoğunluğu (PY) ve parçacık akısı (PA) indislerinin (proton yoğunluğu ve altı farklı enerji seviyesindeki proton akısı) verileri tüm depremler için elde edildikten sonra, bu verilerin zaman serileri oluşturulmuş (Ekler Tablo 41, Tablo 67) ve analizleri yapılmıştır. Örnek olarak 4 Nisan 2010’da meydana gelen Mw=7.2 büyüklüğündeki Meksika, Baja Kaliforniya depremi” için 5 Mart – 3 Mayıs 2010 tarihleri arasındaki uzak iklim koşullarının zaman serileri verilmiş ve analizleri yapılmıştır. Uzak iklim koşullarından Güneş aktivitesi indislerine (F10.7cm ve EUV 0.1-50nm, EUV 26-34nm) ait zaman serileri (Şekil 24) belirlenmiş ve analizleri yapılmıştır.



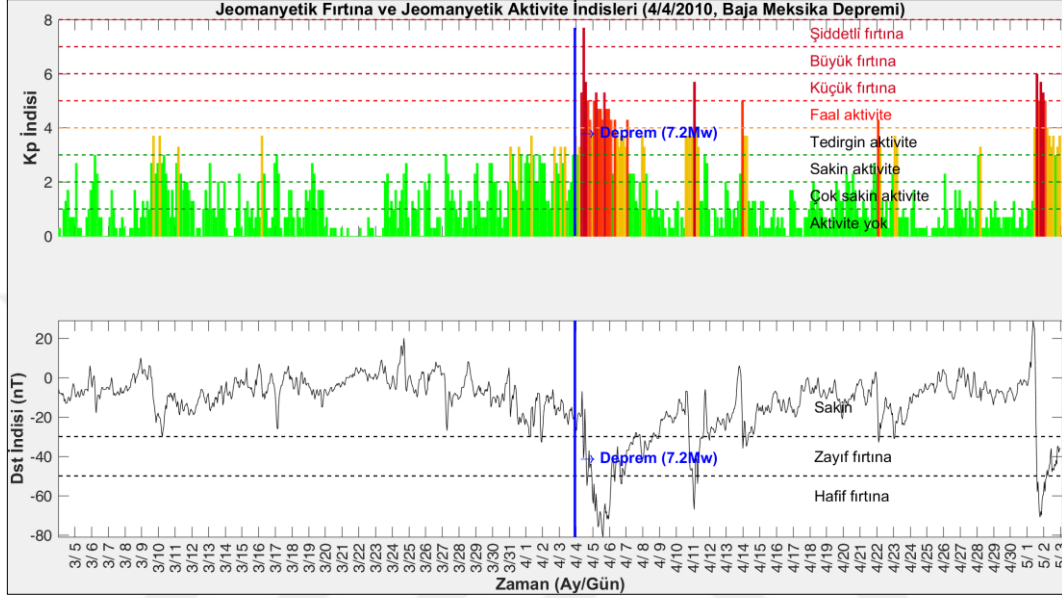
Şekil 24. Güneş aktivitesi indisleri (F10.7cm ve EUV 0.1-50nm, EUV 26-34nm)

Şekil 24'deki Güneş aktivitesi değişimlerine ait indis değerleri incelendiğinde; F10.7cm Güneş akısı indisi değişimlerinin, deprem öncesi ve sonrası yüksek Güneş akısı sınır değeri olan 150 sfu'dan düşük olduğu görülmüştür. Deprem öncesi, F10.7cm indisi değişim değerlerinin 13 Mart (90.7 sfu), 17 Mart (85.9 sfu), 21 Mart (84.1 sfu), 25 Mart (87.1 sfu) ve 27 Mart (87.8 sfu) tarihlerinde pik yaptığı görülmüştür. Deprem sonrası F10.7cm indisi değişim değerlerinin 5 Nisan (79.3 sfu), 9 Nisan (76.3 sfu), 14 Nisan (75.6 sfu), 16 Nisan (75.4 sfu), 22 Nisan (76.9 sfu), 26 Nisan (77 sfu), 30 Nisan (79.8 sfu) ve 3 Mayıs (81.6 sfu) tarihlerinde pik yaptığı görülmüştür.

EUV (0.1-50 nm) ve EUV (26-34 nm) indisleri değişimlerinin, depremden önce 16 ve 17 Mart tarihlerinde veri kayıplarının olduğu görülmüştür. Ancak bu günler TEC anomalilerinin 15 günlük hareketli ortalama istatistiksel analiz yönteminde kullanılan ilk 15 gün içinde kaldığından dikkate alınmamıştır. Deprem öncesi, EUV (0.1-50 nm) indisi değişim değerlerinin 19 Mart (2.408×10^{10} foton $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 21 Mart (2.366×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 25 Mart (2.281×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 1 Nisan (2.100×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) tarihlerinde pik yaptığı görülmüştür. EUV (26-34 nm) indisi değişim değerlerinin 19 Mart (1.260×10^{10} foton $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 21 Mart (1.234×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 25 Mart (1.192×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 1 Nisan (1.104×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) tarihlerinde pik yaptığı görülmüştür. Deprem sonrası, EUV (0.1-50 nm) indisi değişim değerlerinin 5 Nisan (2.135×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 8 Nisan (2.134×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 10 Nisan (2.132×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 22 Nisan (2.152×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 27 Nisan (2.165×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 2 Mayıs (2.282×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) tarihlerinde pik yaptığı görülmüştür. EUV (26-34 nm) indisi değişim değerlerinin 5 Nisan (1.121×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 8 Nisan (1.120×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 10 Nisan (1.120×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 22 Nisan (1.131×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 27 Nisan (1.131×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), 2 Mayıs (1.131×10^{10} $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) tarihlerinde pik yaptığı görülmüştür.

$^2s^{-1}$), 27 Nisan ($1.138e10 \text{ cm}^{-2}s^{-1}$), 2 Mayıs ($1.195e10 \text{ cm}^{-2}s^{-1}$) tarihlerinde pik yaptığı görülmüştür.

Uzay iklim koşullarından jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite indislerine (Kp ve Dst) ait zaman serileri oluşturulmuş (Şekil 25) ve analizleri yapılmıştır.

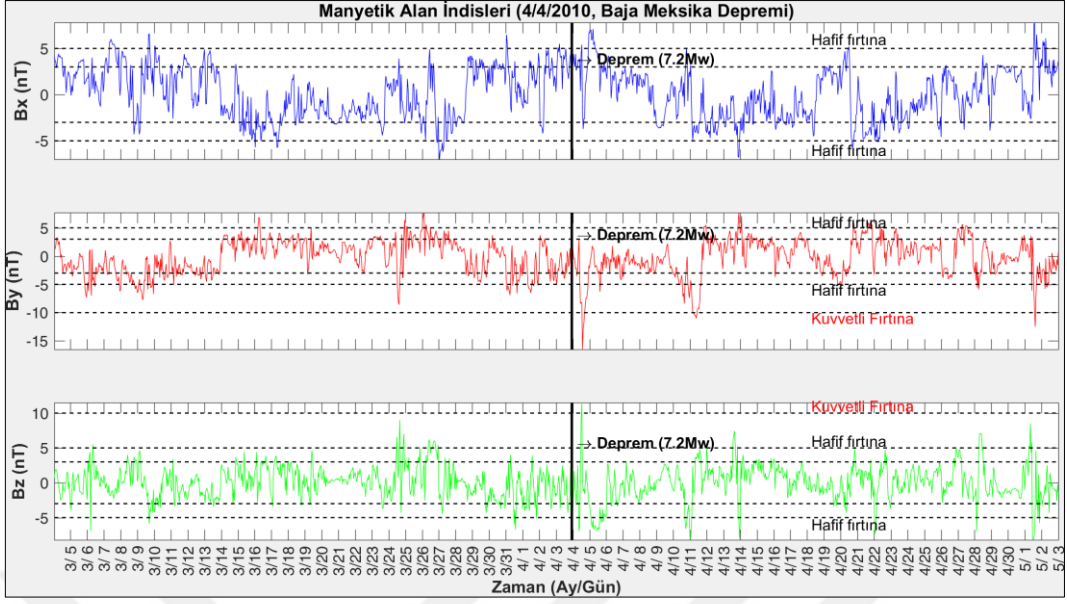


Şekil 25. Jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite indisleri (Kp ve Dst)

Şekil 25'deki jeomanyetik fırtına (Kp) ve jeomanyetik aktivite (Dst) değişimlerine ait indis değerleri incelendiğinde; Kp indis değerlerinin deprem öncesi 4 Kp sınır değerini aşmadığı depremden sonra ise 5 Nisan (7.7 Kp: Şiddetli fırtına), 6 Nisan (5.3 Kp: Küçük fırtına), 7 Nisan (4.3 Kp: Faal aktivite), 8 Nisan (4.3 Kp: Faal aktivite), 12 Nisan (5.7 Kp: Küçük fırtına), 14 Nisan (5.0 Kp: Küçük fırtına), 23 Nisan (4.3 Kp: Faal aktivite) ve 2 Mayıs (6.0 Kp: Büyük fırtına), 3 Mayıs (5.0 Kp: Küçük fırtına) tarihlerinde aştığı görülmüştür.

Jeomanyetik aktivite (Dst) indis değerlerinin (-50 nT) sınır değerini depremden önce aşmadığı, depremden sonra ise 5 Nisan (-55 nT: Hafif fırtına), 6 Nisan (-81 nT: Hafif fırtına), 7 Nisan (-54 nT: Hafif fırtına), 12 Nisan (-67 nT: Hafif fırtına), 2 Mayıs (-71 nT: Hafif fırtına) ve 3 Mayıs (-58 nT: Hafif fırtına) tarihlerinde (-50 nT) sınır değerinden düşük olduğu görülmüştür.

Uzay iklim koşullarından manyetik alan indislerine (Bx, By ve Bz) ait zaman serileri (Şekil 26) çizilmiş ve analizleri yapılmıştır.



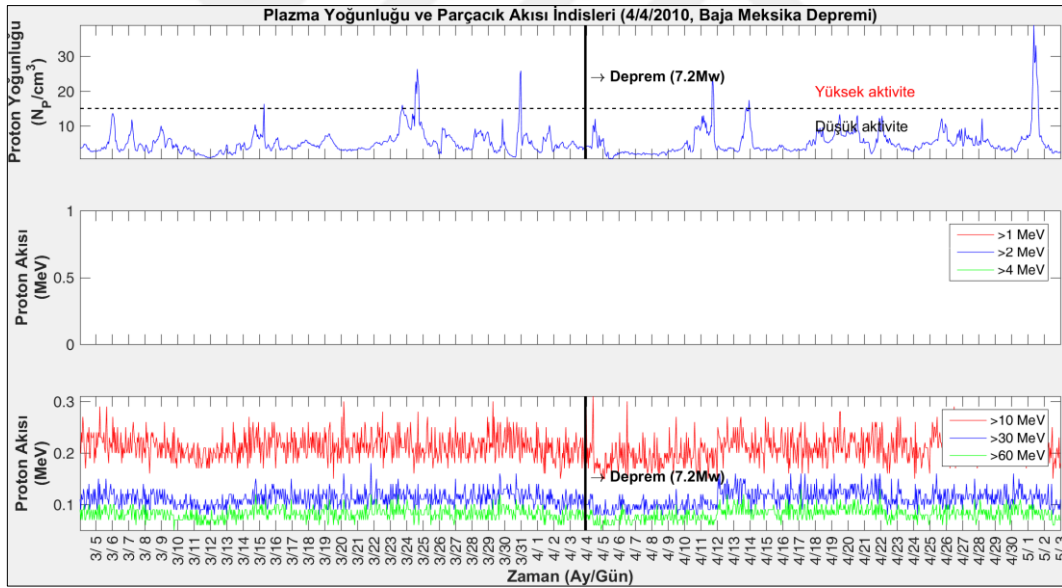
Şekil 26. Manyetik alan indisleri (Bx, By ve Bz)

Manyetik alan indis (Bx, By ve Bz) değişimlerinin depremden önce ve sonra +5 ve -5 nT sınır değerlerini aştığı görülmüştür. Deprem öncesi Bx indisinin; 8 Mart (+6.0 nT: Pozitif hafif fırtına), 10 Mart (+6.6 nT: Pozitif hafif fırtına), 17 Mart (-5.7 nT: Negatif hafif fırtına), 18 Mart (-5.7 nT: Negatif hafif fırtına), 28 Mart (-7.0 nT: Negatif hafif fırtına), 1 Nisan (+6.5 nT: Pozitif hafif fırtına), 4 Nisan (+5.5 nT: Pozitif hafif fırtına) tarihlerinde sınır değerleri aştığı; By indisinin 6 Mart (-7.3 nT: Negatif hafif fırtına), 7 Mart (-7.0 nT: Negatif hafif fırtına), 8 Mart (-6.2 nT: Negatif hafif fırtına), 10 Mart (-7.7 nT: Negatif hafif fırtına), 17 Mart (+6.9 nT: Pozitif hafif fırtına), 25 Mart (-8.6 nT: Negatif hafif fırtına), 26 Mart (+5.3 nT: Pozitif hafif fırtına), 27 Mart (+7.7 nT: Pozitif hafif fırtına), 1 Nisan (-6.9 nT: Negatif hafif fırtına), 2 Nisan (-6.5 nT: Negatif hafif fırtına) tarihlerinde sınır değerleri aştığı; Bz indisinin 7 Mart (-7.0 nT: Negatif hafif fırtına), 10 Mart (-5.9 nT: Negatif hafif fırtına), 25 Mart (+9.0 nT: Pozitif hafif fırtına), 26 Mart (+5.1 nT: Pozitif hafif fırtına), 27 Mart (+6.2 nT: Pozitif hafif fırtına), 1 Nisan (-6.7 nT: Negatif hafif fırtına), 2 Nisan (-5.1 nT: Negatif hafif fırtına) tarihlerinde sınır değerleri aştığı görülmüştür.

Depremden sonrası; Bx indisinin 5 Nisan (+6.6 nT: Pozitif hafif fırtına), 6 Nisan (+7.1 nT: Pozitif hafif fırtına), 11 Nisan (+5.1 nT: Pozitif hafif fırtına), 14 Nisan (-6.8 nT: Negatif hafif fırtına), 21 Nisan (-5.8 nT: Negatif hafif fırtına), 23 Nisan (-5.1 nT: Negatif hafif fırtına), 2 Mayıs (+7.8 nT: Pozitif hafif fırtına), 3 Mayıs (+6.1 nT: Pozitif hafif fırtına) tarihlerinde sınır değerleri aştığı; By indisinin 5 Nisan (-16.5 nT: Negatif kuvvetli

fırtına), 6 Nisan (-6.3 nT: Negatif hafif fırtına), 11 Nisan (-8.4 nT: Negatif hafif fırtına), 12 Nisan (-11.0 nT: Negatif kuvvetli fırtına), 14 Nisan (+7.6 nT: Pozitif hafif fırtına), 15 Nisan (+7.1 nT: Pozitif hafif fırtına), 20 Nisan (-5.2 nT: Negatif hafif fırtına), 21 Nisan (+5.8 nT: Pozitif hafif fırtına), 22 Nisan (+5.9 nT: Pozitif hafif fırtına), 23 Nisan (+5.2 nT: Pozitif hafif fırtına), 28 Nisan (+5.4 nT: Pozitif hafif fırtına), 29 Nisan (-5.9 nT: Negatif hafif fırtına), 2 Mayıs (-12.5 nT: Negatif kuvvetli fırtına), 3 Mayıs (-5.5 nT: Negatif hafif fırtına) tarihlerinde sınır değerleri aştığı; Bz indisinin 5 Nisan (+11.5 nT: Pozitif kuvvetli fırtına), 6 Nisan (-6.7 nT: Negatif hafif fırtına), 11 Nisan (-6.6 nT: Negatif hafif fırtına), 12 Nisan (-8.0 nT: Negatif hafif fırtına), 14 Nisan (-8.0 nT: Negatif hafif fırtına), 23 Nisan (-7.3 nT: Negatif hafif fırtına), 29 Nisan (+7.0 nT: Pozitif hafif fırtına), 2 Mayıs (-8.2 nT: Negatif hafif fırtına) tarihlerinde sınır değerleri aştığı görülmüştür.

Plazma yoğunluğu ve parçacık akısı indislerine ait zaman serileri çizilmiş (Şekil 27) ve analizleri yapılmıştır.



Şekil 27. Plazma yoğunluğu ve parçacık akısı indisleri

Bu indisler incelendiğinde; deprem öncesi proton yoğunluğu indisinin 16 Mart (16.3 proton/cm³), 24 Mart (16.0 proton/cm³), 25 Mart (26.3 proton/cm³), 1 Nisan (25.8 proton/cm³) tarihlerinde sınır değerleri aştığı görülmüştür. Deprem sonrası, 12 Nisan (24.0 proton/cm³), 14 Nisan (17.4 proton/cm³), 2 Mayıs (38.9 proton/cm³) tarihlerinde sınır değerleri aştığı görülmüştür. Parçacık akısı indisinin deprem öncesi proton akısı (>1 MeV, >2 MeV, >4 MeV) enerji eşik değerleri için verilerin olmadığı; proton akısı (>10 MeV,

>30 MeV, >60 MeV) enerji eşik değerleri için indis değişim değerlerinin normal değişim gösterdiği ve ani pik değişimi yapmadığı görülmüştür. Deprem sonrası proton akısı (>1 MeV, >2 MeV, >4 MeV) enerji eşik değerleri için verilerin olmadığı; proton akısı (>10 MeV, >30 MeV, >60 MeV) enerji eşik değerleri için indis değişim değerlerinin normal değişim gösterdiği ve ani pik değişimi yapmadığı görülmüştür.

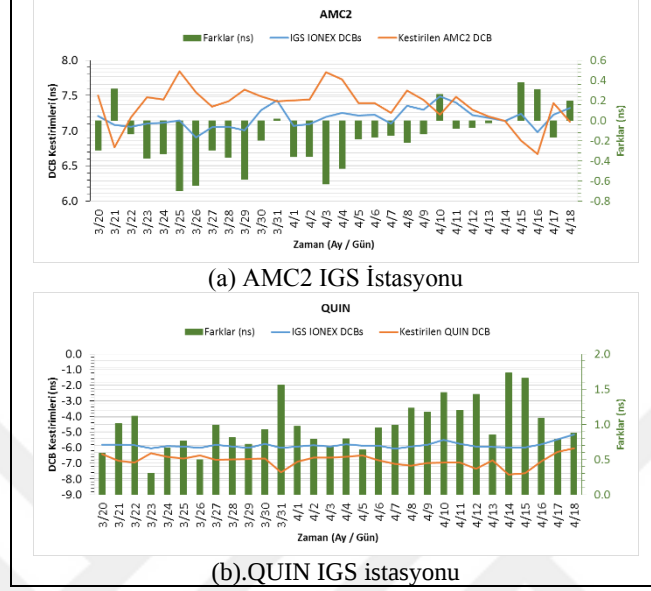
Şekil 24, Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27’deki tüm indisler birlikte incelenerek, indislerin pik yaptığı ve sınır değeri aştığı günler belirlenmiş ve (+) olarak gösterilmiştir. Indis değerlerinden pik yapmayan ya da sınır değeri aşmayan günler için “sakin gün (S)” kararı verilmiştir. Her deprem için depremden 30 gün önce ve depremden 30 gün sonrasını kapsayacak biçimde tüm indislerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Ancak sonuçları daha net görebilmek için tablolarda yalnızca depremden önceki 15 ve depremden sonraki 5 gün için gösterilmiş (Ekler Tablo 41-Tablo 67) ve 2010 Meksika, Baja Kaliforniya depremi için verilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. 2010 Meksika, Baja Kaliforniya depremi (Mw=7.2) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31	4/1	4/2	4/3	4/4	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9
GA	F10.7		+				+		+									+				+
	EUV(1-50nm)		+				+							+				+				+
	EUV(26-34nm)		+				+							+				+				+
JA JF	Kp																	+	+	+		
	Dst (nT)																	+	+	+		
MA	Bx (nT)								+					+				+	+			
	By (nT)						+	+	+					+	+			+	+			
	Bz (nT)						+		+					+				+	+			
PY PA	N _p					+	+															
	>1MeV																					
	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S		S	S					S	S	S	S			S					S	

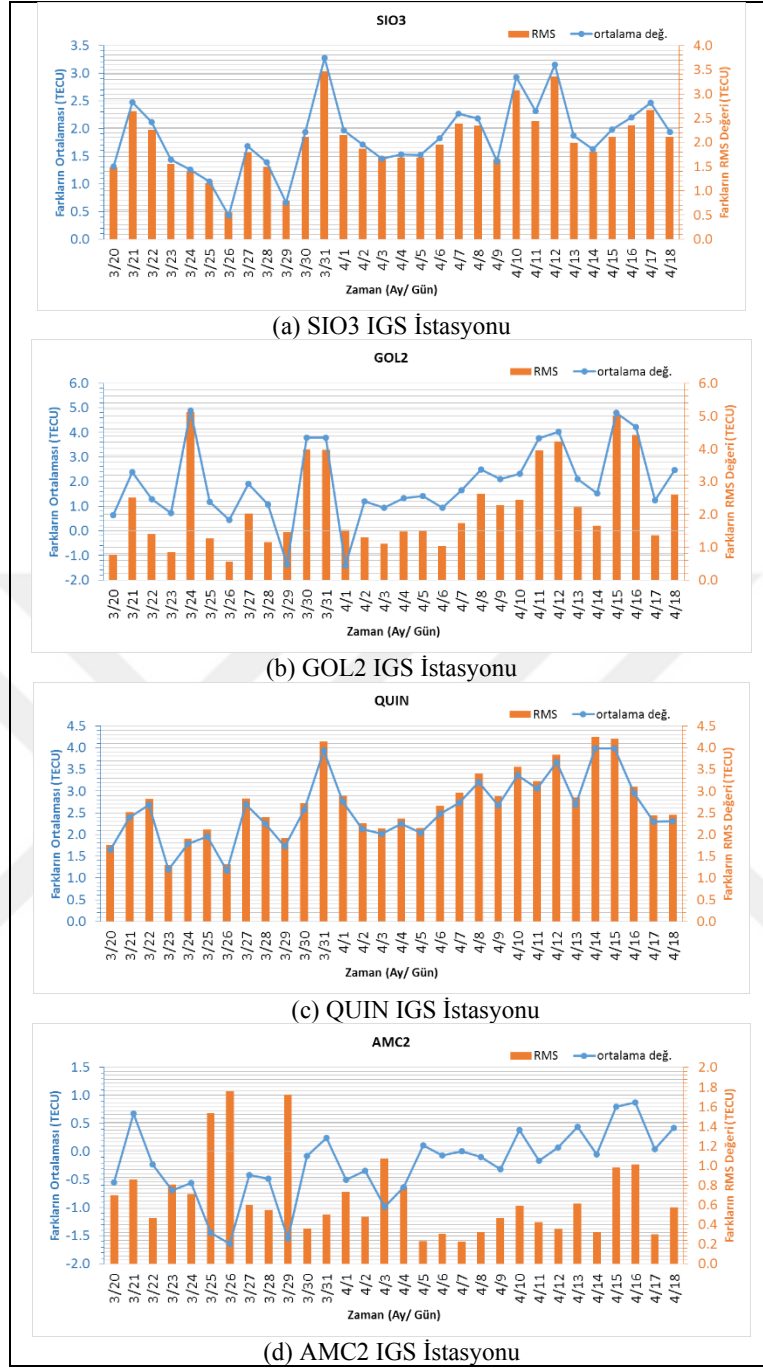
Tablo 8’de görüldüğü gibi, uzay iklim koşullarına göre sakin günler, depremden önce 1 gün (3 Nisan), 2 gün (2 Nisan), 4 gün (31 Mart), 5 gün (30 Mart), 6 gün (29 Mart), 7 gün (28 Mart), 12 gün (22 Mart), 13 gün (21 Mart), 15 gün (19 Mart) ve depremden sonra 4 gün (8 Nisan) olarak belirlenmiştir.

dosyalarında DCB değerleri bulunan AMC2 ve QUIN istasyonlarına ait DCB değerleri ile bu istasyonlar için kestirilen DCB değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 29).

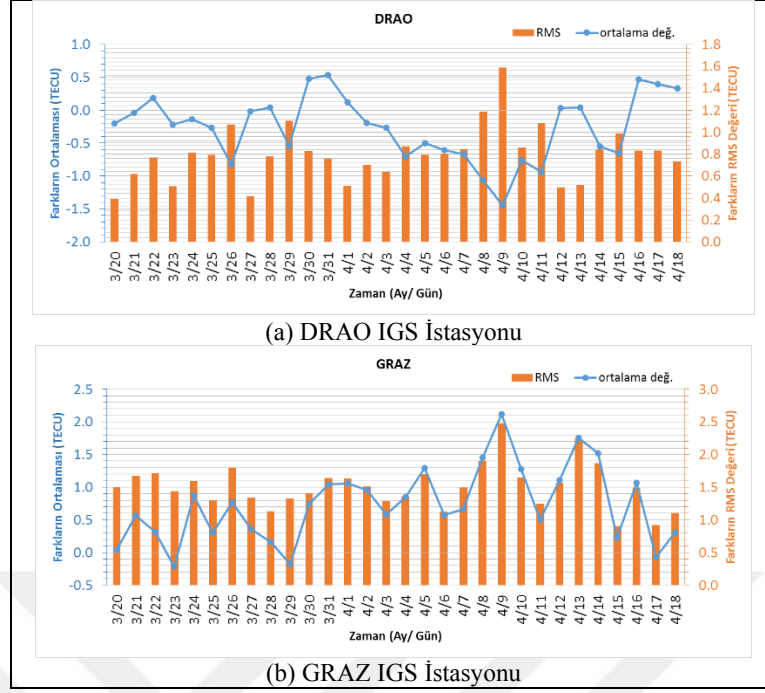


Şekil 29. IGS istasyonlarına ait kestirilen DCB güvenilirlikleri

Şekil 29’de görüldüğü gibi, kestirilen DCB değerleri IGS IONEX dosyalarından alınan DCB değerleri arasındaki farkların genelde 1.5 ns’den az olduğu görülmektedir. DCB değerlerinin farklarının Karesel Ortalama Hataları sırasıyla $(RMS)_{AMC2} = \pm 0.29$ ns ve $(RMS)_{QUIN} = \pm 0.30$ ns olarak hesaplanmış ve kestirilen DCB değerlerinin güvenilir olduğuna karar verilmiştir. Kestirilen alıcı DCB değerleri ve uydulara ait DCB değerlerinin her bir uydu yayından kaldırılması ile kalibre edilmiş STEC değerleri Eşitlik (23)’ten elde edilmiştir. Her IPP noktasındaki VTEC değerleri, kalibre edilmiş STEC değerleri, hassas uydu yörüngeleri ve alıcı koordinatları kullanılarak Eşitlik (26)’dan belirlenmiştir. IPP noktalarında hesaplanmış VTEC değerleri ile yüzey polinomları kullanılarak saatlik VTEC değişimleri Eşitlik (30)’dan hesaplanmıştır. IGS istasyonlarının hesaplanan VTEC değerlerinin güvenilirliğini test etmek için GIM-TEC haritalarına ait VTEC değerleri ile kestirilen VTEC değerleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla hesaplanan VTEC değerleri ile IGS IONEX dosyalarından alınan VTEC değerlerinin farklarının günlük ortalamaları ve standart sapmaları her bir IGS istasyonu için hesaplanmış ve 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi için örnek olarak verilmiştir (Şekil 30, Şekil 31).



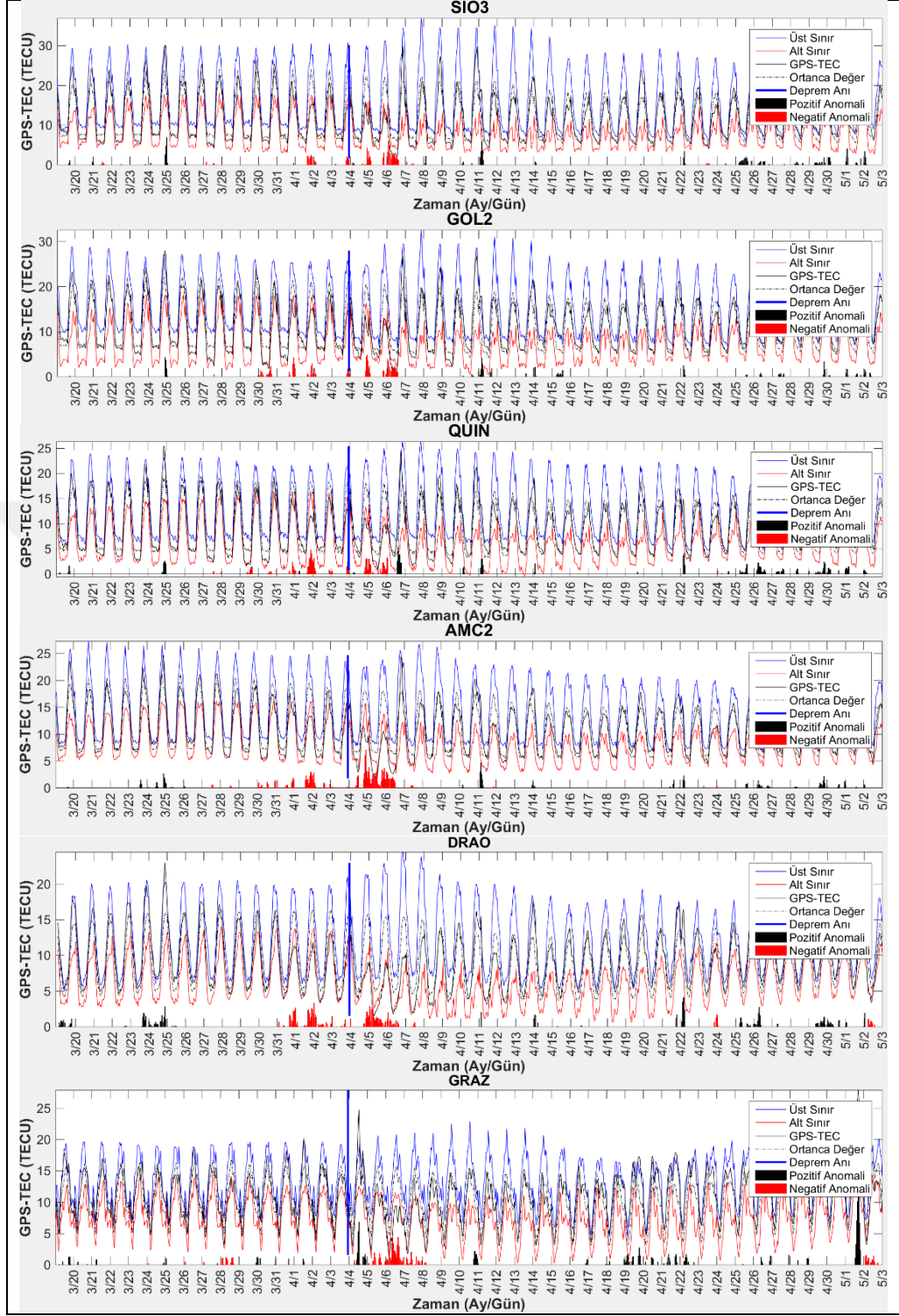
Şekil 30. DHA içindeki IGS istasyonlarının kestirilen VTEC ve GIM-TEC farklarının günlük ortalamaları ve standart sapmaları



Şekil 31. IGS istasyonlarının VTEC ve GIM-TEC farklarının günlük ortalamaları ve standart sapmaları

IGS IONEX dosyalarındaki TEC değerlerinin doğruluğu kıtalar üzerinde 2-8 TECU aralığında tanımlanmıştır (URL-31, 2014). Şekil 30’te görüldüğü gibi kestirilen VTEC değerleri güvenilir olarak kabul edilebilir.

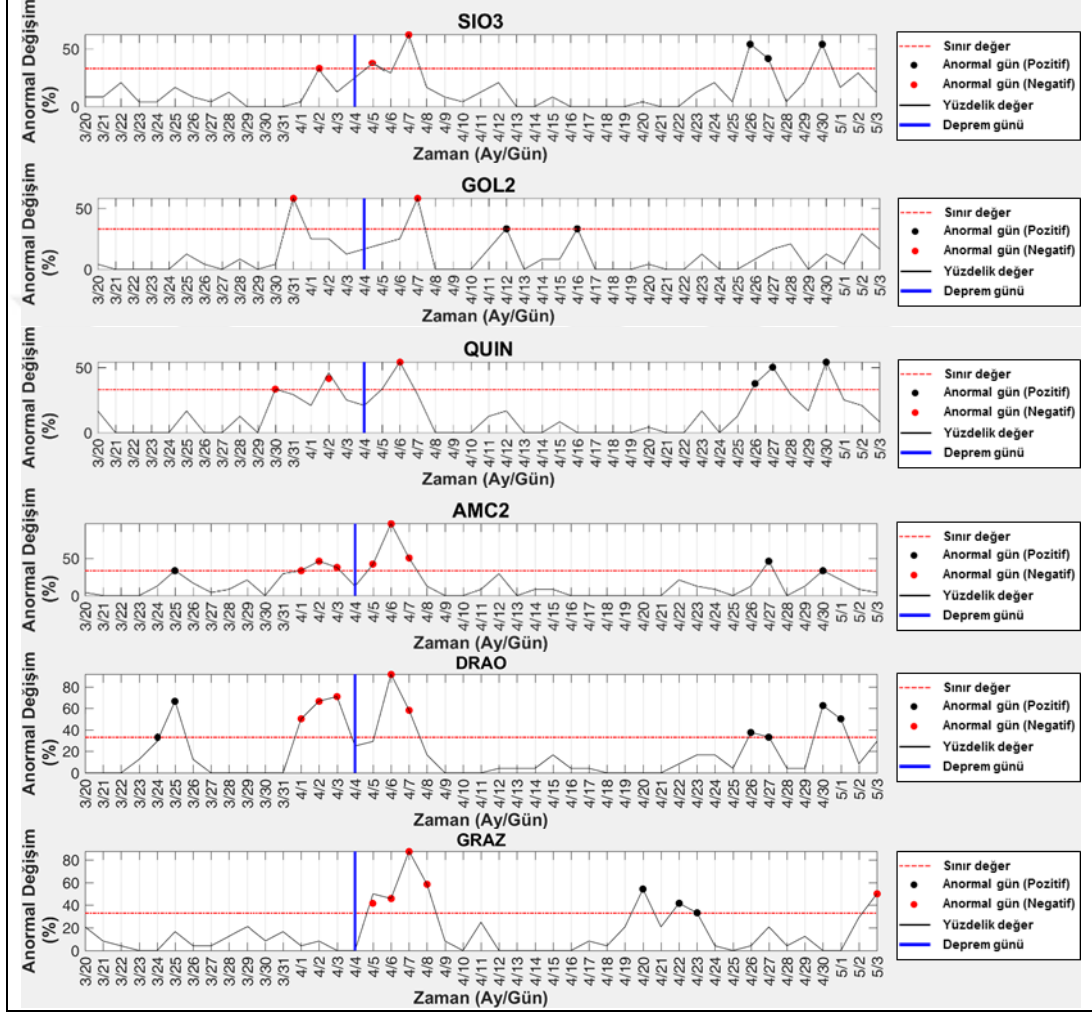
Kestirilen VTEC değerlerinin güvenilirliği test edildikten sonra VTEC değerlerindeki anormal değişimler, Liu vd. (2009)’daki yönteme benzer bir algoritma ile çeyrekler arası fark istatistiksel analizine göre yapılmıştır. Hareketli ortalama (M) yöntemi ile TEC değişimindeki ortalama değerler ile birinci (LQ) ve üçüncü (UQ) çeyrek değerleri belirlenmiştir. İlk 15 gün için elde edilen bu değerler sonrasındaki 16. gün için karşılaştırılmıştır. Devamındaki işlemlerde 2 ve 16 günleri arasında hesaplanan bu değerler 17. gün için sınır değerleri oluşturmada kullanılmıştır. Bu şekilde tüm veriler sonuna kadar değerlendirilmiştir. Daha sonra m ortalama değerine ve σ standart sapmasına sahip olduğu varsayılan kestirilmiş VTEC değerleri için m ve 1.34σ kabul aralığı olarak seçilmiştir (Klotz ve Johnson, 1983). Alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri sırasıyla $LB=M-1.5(M-LQ)$ ve $UB=M+1.5(UQ-M)$ eşitliklerinden belirlenmiştir. Örnek olarak 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi ($M_w=7.2$) IGS istasyonları için deprem merkez üssüne yakınlıklarına göre sıralı biçimde gösterilmiştir (Şekil 32).



Şekil 32. 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi IGS istasyonlarının VTEC değerleri

VTEC değişimlerinin anormal olduğu günleri belirlemek için MATLAB ortamında hazırlanan yazılım ile bir gündeki saatlik VTEC değişimlerinin LB veya UB sınırlarından

düşük veya yüksek olan sayılarının yüzde oranları belirlenmiş ve bir gündeki değişimin 3'te 1'i (bir günde 8 saatlik anormallik) sınır değer olarak kabul edilmiştir. Örnek olarak 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi için belirlenen anormal günler deprem merkez üssüne yakınlığına göre sıralı biçimde gösterilmiştir (Şekil 33).



Şekil 33. 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi anormal günler

3.3. Uzak İklim Koşulları ve İyonosferik VTEC Değişimlerinin Analizi

Her deprem için seçilmiş IGS noktalarından belirlenen anormal günlerinin VTEC değişim yüzdeleri ($>8/24$ saat) hesaplanmış ve uzak iklim koşullarının değerlendirilmesi sonucu sakin gün kararı ile birlikte negatif anormal gün VTEC değişim yüzdeleri pembe, pozitif anormal gün VTEC değişim yüzdeleri gri renklerde olacak biçimde 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi için örnek olarak verilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. 2010, Meksika, Baja Kaliforniya depremi IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31	4/1	4/2	4/3	4/4	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9
KARAR	S		S	S					S	S	S	S			S					S	
İyonosferik VTEC Değişim Yüzdeleri (%)																					
GRAZ					33.3	66.7							50.0	66.7	70.8		50.0	45.8	87.5	58.3	
DRAO																					
AMC2						33.3							33.3	45.8	37.5		41.7	95.8	50.0		
QUIN											33.3			41.7				54.2			
GOL2												58.3							58.3		
SIO3														33.3			37.5		62.5		

Tablo 8 ve Tablo 9 birlikte incelendiğinde, VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 24 Mart pozitif anormal gün (plazma yoğunluğu), 25 Mart pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 30 ve 31 Mart negatif anormal günleri (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 1 Nisan negatif anormal gün (Güneş aktivitesi ve manyetik alan), 2 Nisan negatif anormal gün (manyetik alan), 3 Nisan negatif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü); deprem sonrası, 5 Nisan negatif anormal gün (Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 6 Nisan negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik alan ve manyetik alan), 7 Nisan negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite), 8 Nisan negatif anormal gün sakin uzay iklim koşulunda gerçekleşmiştir ve farklı etkilere kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Her deprem için aynı işlemler yapılarak IGS istasyonlarından elde edilen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri, Ekvatorial Kuşak (KYK), Orta Kuşak (KYK), Ekvatorial Kuşak (GYK), Orta Kuşak (GYK) bölgeleri gerçekleşen depremler için verilmiştir.

Tablo 10. 2012, Kolombiya, San Agustin depremi ($M_w=7.3$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30	10/1	10/2	10/3	10/4	10/5
KARAR	S	S	S	S			S	S	S	S	S		S						S	S	S
VTEC (%)																	58.3				
CRO1 AREQ												66.7	62.5								

Tablo 10 ve Ekler (Tablo 41) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 26 Eylül pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, manyetik alan), 27 Eylül pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü); deprem sonrası, 1 Kasım pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, manyetik alan ve plazma yoğunluğu) olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 11. 26 Aralık 2004, Sumatra-Andaman Adaları depremi ($M_w=9.1$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	12/11	12/12	12/13	12/14	12/15	12/16	12/17	12/18	12/19	12/20	12/21	12/22	12/23	12/24	12/25	12/26	12/27	12/28	12/29	12/30	12/31
KARAR					S		S		S	S			S	S					S		
VTEC Değ. (%)																					
IISC					62.5	37.5															
DGAR					45.8																
TWTF																		50.0			
YAR2															37.5						

Tablo 11 ve Ekler (Tablo 42) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 15 Aralık negatif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 16 Aralık negatif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 25 Aralık pozitif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu); deprem sonrası, 28 Aralık pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına ve manyetik alan) olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 12. 2012, Endonezya, Kuzey depremi ($M_w=8.6$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31	4/1	4/2	4/3	4/4	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	4/10	4/11	4/12	4/13	4/14	4/15	4/16
KARAR								S	S				S	S	S				S	S	S
VTEC (%)								37.5													
IISC																					

Tablo 12 ve Ekler (Tablo 43) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, 3 Nisan Pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü) olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 13. 2011, Türkiye Van depremi ($M_w=7.1$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	10/8	10/9	10/10	10/11	10/12	10/13	10/14	10/15	10/16	10/17	10/18	10/19	10/20	10/21	10/22	10/23	10/24	10/25	10/26	10/27	10/28
KARAR					S	S	S	S	S		S	S							S	S	S
VTEC Değ. (%)								33.3	41.6									45.8		33.3	45.8
								58.3	45.8										54.1	54.1	87.5
						37.5	50.0	41.6	54.1									70.8		41.6	75.0
							37.5	58.3	41.6	37.5								54.1	70.8	62.5	75.0

Tablo 13 ve Ekler (Tablo 44) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 13 ve 14 Ekim pozitif anormal günleri (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 15 ve 16 Ekim pozitif anormal günleri (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 17 Ekim pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi); deprem sonrası, 25 Ekim pozitif ve negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 26, 27 ve 28 Ekim negatif anormal günlerin uzay iklim koşulunda gerçekleşmiş, farklı etkilere kaynaklı olabileceği ve araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Tablo 14. 2013, Doğu İran depremi (Mw=7.7) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

VTEC Değ. (%)					Zaman Ay/Gün
ADIS	URUM	GUAO	POL2	KARAR	
		50.0		5	4/1
		33.3		5	4/2
		50.0		5	4/3
	41.6	83.3	75.0	5	4/4
	33.3	54.1	50.0	5	4/5
	54.1	70.8	54.1		4/6
	33.3	54.1	50.0		4/7
	33.3	33.3		5	4/8
33.3	37.5			5	4/9
	45.8				4/10
					4/11
					4/12
				5	4/13
					4/14
					4/15
				5	4/16
				5	4/17
50.0				5	4/18
45.8				5	4/19
54.1				5	4/20
33.3					4/21

Tablo 14 ve Ekler (Tablo 45) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 1, 2, 3, 4, 5, 8 ve 9 Nisan pozitif anormal günleri (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 6 Nisan pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına ve manyetik alan), 7 Nisan pozitif anormal gün (manyetik alan), 10 Nisan pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi); deprem sonrası, 18, 19 ve 20 Nisan negatif anormal günde (sakin uzay iklim koşulu) gerçekleşmiş, farklı etkilere kaynaklı olabileceği ve araştırılması gerektiği düşünülmektedir, 21 Nisan negatif anormal gün (plazma yoğunluğu ve parçacık akısı) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 15. 2013, Güneybatı Pakistan depremi (Mw=7.7) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

VTEC Dğ. (%)				Zaman Ay/Gün
URUM	GUAO	IISC	POL2	KARAR
41.6				S 9/9
				S 9/10
				S 9/11
				9/12
				S 9/13
				S 9/14
				S 9/15
				S 9/16
33.3				9/17
				S 9/18
				S 9/19
				S 9/20
				S 9/21
				9/22
		50.0		S 9/23
41.6		58.3		9/24
				9/25
				S 9/26
				S 9/27
				S 9/28
				S 9/29

Tablo 15 ve Ekler (Tablo 46) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 9 ve 23 Eylül pozitif anormal günleri (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 17 Eylül pozitif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu) ve 24 Eylül deprem günü pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, manyetik alan ve plazma yoğunluğu) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 16. 2011, Güneybatı Pakistan depremi (Mw=7.2) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23
KARAR		S	S			S	S	S	S	S		S	S		S	S	S	S			S
VTEC Değ. (%)																					
POL2		62.5		54.1	62.5								45.8								
IISC				50.0								37.5		41.6							
GUAO		45.8			79.1			33.3													
URUM					75.0																

Tablo 16 ve Ekler (Tablo 47) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 4 ve 10 Ocak pozitif anormal günler (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 6 Ocak pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına ve plazma yoğunluğu), 7 Ocak pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına ve manyetik alan), 14 ve 15 Ocak negatif anormal günleri (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 16 Ocak negatif anormal gün (plazma yoğunluğu) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 17. 2008, Doğu Siçuan, Çin depremi (Mw=7.9) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	4/27	4/28	4/29	4/30	5/1	5/2	5/3	5/4	5/5	5/6	5/7	5/8	5/9	5/10	5/11	5/12	5/13	5/14	5/15	5/16	5/17
KARAR	S	S	S					S	S	S	S	S	S	S		S	S	S			S
VTEC Değ. (%)																					
IRKM								41.6							41.6	75.0		91.6	37.5	33.3	
NOVM									45.8								37.5				
ARTU																50.0	33.3				

Tablo 17 ve Ekler (Tablo 48) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi; 4 ve 5 Mayıs pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 11 Mayıs pozitif anormal gün (plazma yoğunluğu), 12 Mayıs deprem günü pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü); deprem sonrası, 13, 14 Mayıs pozitif anormal gün: Sakin uzay iklim koşulunda gerçekleşmiş, farklı etkilerden kaynaklı olabileceği ve araştırılması gerektiği düşünülmektedir, 15 Mayıs pozitif anormal gün (plazma yoğunluğu), 16 Mayıs pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, manyetik alan, plazma yoğunluğu) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 18. 2008, Sincan-Uygur depremi ($M_w=7.2$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25
KARAR	S	S	S			S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		S	S	
VTEC Değ. (%)				50.0																	58.3
				37.5															33.3	33.3	70.8
			95.8																		54.1
				41.6															41.6	62.5	

Tablo 18 ve Ekler (Tablo 49) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi; 7 Mart pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 8 Mart pozitif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu); deprem sonrası, 23 ve 24 Mart pozitif anormal gün sakin uzay iklim koşulunda gerçekleşmiş farklı etkilerden kaynaklı olabileceği ve araştırılması gerektiği düşünülmektedir, 25 Mart pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 19. 2005, Kuzey Pakistan depremi ($M_w=7.6$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30	10/1	10/2	10/3	10/4	10/5	10/6	10/7	10/8	10/9	10/10	10/11	10/12	10/13
KARAR	S						S		S	S	S			S			S		S	S	
VTEC Değ. (%)	POL2																				
	GUAO										41.6	70.8				45.8					
	BHR1			33.3												37.5			50.0		
	ARTU							33.3													

Tablo 19 ve Ekler (Tablo 50) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 25 ve 30 Eylül negatif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 3 Ekim negatif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 4 Ekim negatif anormal gün (Güneş aktivitesi), 8 Ekim deprem günü pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik alan, manyetik alan ve plazma yoğunluğu); deprem sonrası, 11 Ekim pozitif anormal gün sakin uzay iklim koşulunda gerçekleşmiş, farklı etkilerden kaynaklı olabileceği ve araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Tablo 20. 2003, Güneybatı Sibirya depremi ($M_w=7.3$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30	10/1	10/2
KARAR		S	S							S					S	S		S			
VTEC (%)	NRIL					58.3	37.5	41.6											37.5	33.3	
						54.1	37.5														37.5

Tablo 20 ve Ekler (Tablo 51) incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 17 ve 19 Eylül negatif anormal günleri (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 18 Eylül negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite); deprem sonrası, 30 Eylül pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 1 Ekim pozitif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 2 Ekim pozitif anormal gün (manyetik alan) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 21. 2011, Büyük Tokyo depremi ($M_w=9.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	2/24	2/25	2/26	2/27	2/28	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16
KARAR	S		S	S				S	S	S	S							S			
VTEC Değ. (%)																					
CHAN						37.5	79.1	62.5	95.8	66.6	58.3	87.5	58.3								
SHAO						37.5		41.6	50.0	37.5	70.8	37.5	45.8								
YAKT						58.3					87.5	95.8	62.5	79.1							
PETS											33.3	54.1			33.3					45.8	
KHAJ									41.6		41.6	91.6	66.6	75.0							
TWTF						33.3				45.8			70.8								
YSSK						33.3	50.0		58.3		50.0	87.5		62.5							
USUD							54.1	45.8	75.0		58.3	41.6									

Tablo 21 ve Ekler (Tablo 52) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 1 ve 2 Mart pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 3, 4, 5 ve 6 Mart pozitif anormal günleri (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 7 Mart pozitif anormal gün (manyetik alan), 8 Mart pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi ve parçacık akısı), 9 Mart pozitif anormal gün (manyetik alan ve parçacık akısı), 10 Mart pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, manyetik alan, plazma yoğunluğu ve parçacık akısı), deprem sonrası; 15 Mart pozitif anormal gün (manyetik alan) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 22. 2006, Koryakiya Rusya depremi ($M_w=7.6$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	4/10	4/11	4/12	4/13	4/14	4/15	4/16	4/17	4/18	4/19	4/20	4/21	4/22	4/23	4/24	4/25
KARAR			S	S		S		S				S		S	S				S	S	S
VTEC Değ. (%)	YSSK	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS
										37.5	83.3	54.1									
										45.8	79.1	45.8									
										45.8	66.6	41.6									

Tablo 22 ve Ekler (Tablo 53) birlikte incelendiğinde VTEC değişimindeki anormalliklerin nedeninin, deprem öncesi 14 Nisan negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 15 Nisan negatif anormal gün (Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite), 16 Nisan negatif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü olabilir) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 23. 2013, Othosk depremi ($M_w=8.3$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	5/9	5/10	5/11	5/12	5/13	5/14	5/15	5/16	5/17	5/18	5/19	5/20	5/21	5/22	5/23	5/24	5/25	5/26	5/27	5/28	5/29
KARAR	S	S	S	S									S						S	S	S
VTEC Değ. (%)	SHAO	CHAN	USUD	MIZU	YSSK	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS	PETS
	45.8			33.3													41.6	79.1			
				33.3	37.5													50.0	45.8		
				33.3														50.0			
														41.6							
																		37.5	37.5		
	58.3																				

Tablo 23 ve Ekler (Tablo 54) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi; 13 ve 14 Mayıs pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, manyetik alan), 15 ve 20 Mayıs pozitif anormal gün (manyetik alan, plazma yoğunluğu ve plazma akısı), 22 Mayıs

pozitif anormal gün (plazma yoğunluğu); deprem sonrası, 25 Mayıs negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 26 Mayıs negatif anormal gün (manyetik alan), 27 Mayıs negatif anormal gün sakin uzay iklim koşulunda gerçekleşmiş, farklı etkilere kaynaklı olabileceği ve araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Tablo 24. 2007, Kuril Adaları depremi (Mw=8.1) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	12/29	12/30	12/31	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18
KARAR	S						S	S	S	S	S										
VTEC Değ. (%)																					
PETS																		37.5			41.6
YSSK																		37.5			
MIZU																			33.3		
KHAJ															37.5						

Tablo 24 ve Ekler (Tablo 55) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 12 Ocak negatif anormal gün (Güneş aktivitesi); deprem sonrası, 15 Ocak pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 16 Ocak negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına ve manyetik alan), 18 Ocak negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 25. 2003, Hokkaido depremi (Mw=8.3) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	9/10	9/11	9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30
KARAR		S		S	S													S			
VTEC Değ. (%)																					
YSSK								95.0	83.3	79.1										33.3	
MTKA						37.5						45.8	45.8								
USUD															33.3						

Tablo 25 ve Ekler (Tablo 56) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 15 Eylül negatif anormal gün (plazma yoğunluğu), 17 Eylül negatif anormal gün (Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, manyetik alan ve parçacık akısı), 18 Eylül negatif anormal gün (Güneş aktivitesi, Jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, manyetik alan ve parçacık akısı), 19 Eylül negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 21 Eylül negatif anormal gün (Güneş aktivitesi ve manyetik alan), 22 Eylül negatif anormal gün (manyetik alan), 24 Eylül pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan); deprem sonrası, 29 Eylül pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 26. 2006, Kuril Adaları depremi ($M_w=8.3$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	10/31	11/1	11/2	11/3	11/4	11/5	11/6	11/7	11/8	11/9	11/10	11/11	11/12	11/13	11/14	11/15	11/16	11/17	11/18	11/19	11/20
KARAR	S	S				S	S					S	S	S	S						
VTEC Değ. (%)	PETS						45.8				41.6	37.5									
	YSSK										54.1										
	MIZU										58.3					70.8					
	YAKT					45.8		54.1							37.5						
	TWTF								37.5												

Tablo 26 ve Ekler (Tablo 57) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi 5 ve 6 Ocak negatif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 7 Ocak negatif anormal gün (Güneş aktivitesi), 9 Ocak pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 10 Ocak pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, Jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 11 ve 14 Ocak pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), deprem anı 15 Ocak deprem günü negatif anormal gün (Güneş aktivitesi, manyetik alan) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 27. 2006, Mozambik depremi (Mw=7.0) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	2/7	2/8	2/9	2/10	2/11	2/12	2/13	2/14	2/15	2/16	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23	2/24	2/25	2/26	2/27
KARAR			S			S	S			S	S	S			S		S	S	S		
VTEC Değ. (%)	PRE1														33.3						
	PRE2														37.5						
	SUTH												33.3		33.3						

Tablo 27 ve Ekler (Tablo 58) birlikte incelendiğinde VTEC değişimindeki anormalliklerin nedeninin, deprem öncesi; 19 Şubat pozitif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 21 Şubat negatif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 28. 2010, Ekvador depremi (Mw=7.1) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	7/28	7/29	7/30	7/31	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17
KARAR		S	S	S	S	S				S				S	S	S	S				S
VTEC Değ. (%)	AREQ					37.5		37.5	87.5	41.6											
	CRO1									41.6											
	UNSA				37.5			62.5	75.0												

Tablo 28 ve Ekler (Tablo 59) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 1, 2 ve 6 Ağustos pozitif anormal günleri (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 4 Ağustos pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 5 Ağustos pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 29. 2011, Kuzey Peru depremi (Mw=7.0) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	8/29
KARAR		S	S	S	S			S		S	S	S				S	S	S			
VTEC (%)																					
CONT	66.6	33.3		54.1					33.3							54.1					
BOGT																					

Tablo 29 ve Ekler (Tablo 60) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 9 Ağustos pozitif anormal gün (parçacık akısı), 10 ve 12 Ağustos pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 17 Ağustos pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi); deprem anı, 24 Ağustos deprem günü pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 30. 2005, Kuzey Peru depremi (Mw=7.5) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	9/11	9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30	10/1
KARAR									S	S			S						S		
VTEC Değ. (%)																					
CRO1																					
AREQ	41.6	62.5	62.5				37.5					37.5									41.6
BOGT				33.3				54.1	41.6												
QUI1				41.6			50.0	45.8													

Tablo 30 ve Ekler (Tablo 61) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 11 Eylül pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, manyetik alan ve parçacık akısı), 12 Eylül pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 13 Eylül pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 14 Eylül pozitif anormal gün (jeomanyetik aktivite), 17 Eylül pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi), 18 Eylül pozitif anormal gün (jeomanyetik aktivite), 19 Eylül pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik

deprem öncülü), 22 Eylül pozitif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu); deprem sonrası, 1 Ekim negatif anormal gün (manyetik alan) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 31. 2003, Amazon Brezilya depremi ($M_w=7.1$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	6/5	6/6	6/7	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14	6/15	6/16	6/17	6/18	6/19	6/20	6/21	6/22	6/23	6/24
KARAR								S												
VTEC Değ. (%)	AREQ												33.3							
	BOGT										41.6		45.8 37.5							
	UNSA												37.5	37.5						

Tablo 31 ve Ekler (Tablo 62) birlikte incelendiğinde VTEC değişimindeki anormalliklerin nedeninin, deprem öncesi, 15 ve 17 Haziran(sınır değeri aşan iki anomali) pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan), 18 Haziran pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, manyetik alan ve plazma yoğunluğu) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 32. 2007, Pisco Peru depremi ($M_w=8.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	7/31	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20
KARAR	S		S		S	S			S	S		S									
VTEC Değ. (%)	AREQ		33.3		33.3		37.5		45.8												
	SANT						58.3	75.0		45.8		33.3									
	BUE1				33.3		41.6	58.3		33.3		62.5	45.8								
	BUE2						70.8	62.5			54.1	54.1									

Tablo 32 ve Ekler (Tablo 63) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 31 Temmuz, 4, 8, 9 ve 11 pozitif anormal günler (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 3 Ağustos negatif anormal gün (Güneş aktivitesi), 6 Ağustos pozitif anormal gün

(jeomanyetik fırtına, manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 7 Ağustos pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına ve manyetik alan), 10 Ağustos pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 12 Ağustos pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 33. 2011, Santiago Del Estero Arjantin depremi ($M_w=7.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	12/17	12/18	12/19	12/20	12/21	12/22	12/23	12/24	12/25	12/26	12/27	12/28	12/29	12/30	12/31	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
KARAR	S	S			S	S		S								S				S	
VTEC Değ. (%)																					
UNSA																					
SANT								37.5				33.3									
AREQ				50.0																	
FALK						58.3	54.1					33.3									

Tablo 33 ve Ekler (Tablo 64) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 20 Aralık negatif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 22 Aralık pozitif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 23 Aralık pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi), 24 Aralık negatif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), 28 Aralık pozitif ve negatif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 34. 2005, Kuzey Şili depremi ($M_w=7.8$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	5/29	5/30	5/31	6/1	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14	6/15	6/16	6/17	6/18
KARAR						S					S		S	S							
VTEC Değ. (%)																					
SANT		87.5														45.8	50.0				
QUII																45.8	54.1				
BUE1																45.8					

Tablo 34 ve Ekler (Tablo 65) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 30 Mayıs pozitif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik alan ve manyetik alan), 13 Haziran deprem günü pozitif ve negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite ve manyetik alan); deprem sonrası, 14 Haziran negatif anormal gün (jeomanyetik fırtına ve manyetik alan) olduğu düşünülmektedir.

Tablo 35. 2010, O'Higgins Bölgesi, Şili depremi ($M_w=7.0$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	2/24	2/25	2/26	2/27	2/28	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16
KARAR		S	S	S				S		S										S	
VTEC Değ. (%)					33.3				41.6												
SANT																					
BUE1																					
BUE2																					
AREQ																58.3	41.6				

Tablo 35 ve Ekler (Tablo 66) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 28 Şubat negatif anormal gün (manyetik alan ve plazma yoğunluğu), 4 Mart pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi ve manyetik alan), 11 Mart deprem günü ve deprem sonrası 12 Mart günlerinin pozitif anormal günler (manyetik alan) olduğu düşünülmektedir.

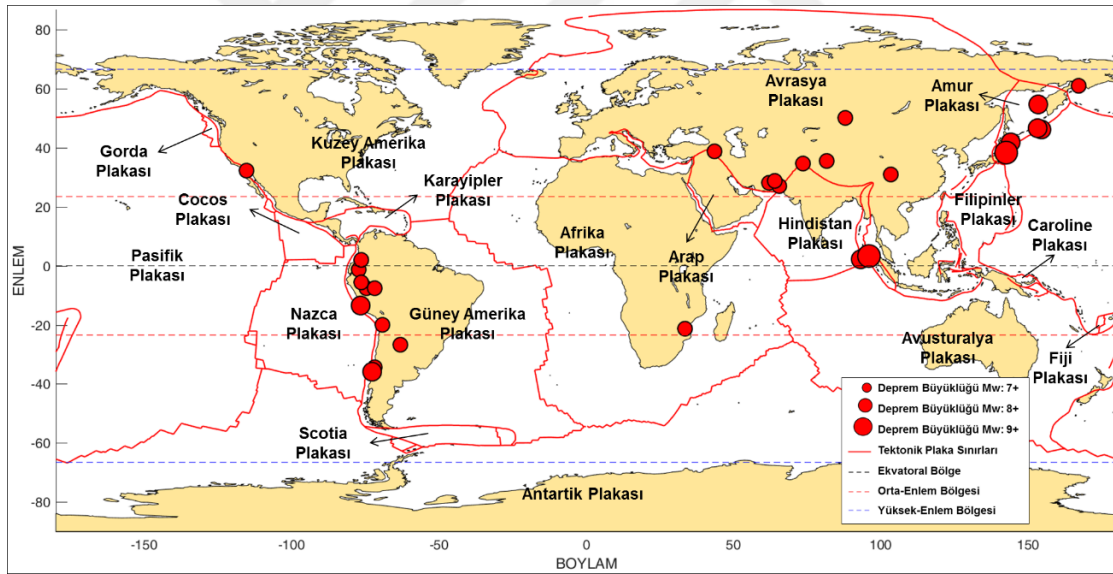
Tablo 36. 27 Şubat 2010, Maule, Şili depremi ($M_w=8.8$) IGS istasyonlarından belirlenen anormal gün VTEC değişim yüzdeleri

Zaman Ay/Gün	2/12	2/13	2/14	2/15	2/16	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23	2/24	2/25	2/26	2/27	2/28	3/1	3/2	3/3	3/4
KARAR													S		S		S			S	
VTEC Değ. (%)																					
SANT		33.3															37.5				37.5
BUE1		41.6	62.5																		
BUE2		41.6	45.8																		
AREQ		45.8	58.3												58.3						
FALK			79.1															41.6			

Tablo 36 ve Ekler (Tablo 67) birlikte incelendiğinde VTEC anomali nedenlerinin, deprem öncesi, 13 Şubat pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi ve manyetik alan), 14 Şubat pozitif anormal gün (Manyetik alan), 26 Şubat negatif anormal gün (muhtemel iyonosferik deprem öncülü), deprem sonrası; 28 Şubat negatif anormal gün sakin uzay iklim koşulunda gerçekleşmiş, farklı etkilerden kaynaklı olabileceği ve araştırılması gerektiği, 2 Mart pozitif anormal gün (manyetik alan), 4 Mart pozitif anormal gün (Güneş aktivitesi ve manyetik alan) olduğu düşünülmektedir.

3.4. Jeo-tektonik Yapı ile İyonosferik VTEC Değişimlerinin Değerlendirilmesi

2000 yılından sonra Ekvatorial Kuşak (KYK ve GYK) ve Orta Kuşakta (KYK ve GYK) meydana gelen 7'den büyük depremlerin meydana geldiği tektonik plakalar incelenmiştir (Şekil 34).



Şekil 34. Depremlerin meydana geldiği tektonik plakalar

Şekil 34'te görüldüğü gibi genelde depremler plaka sınırlarında meydana gelmiştir. Depremlerin meydana geldiği tektonik plakalar ve depremlerin meydana geldiği bölgenin jeo-tektonik yapısı incelenmiştir. Depremler, büyüklüklerine, deprem odak derinliklerine göre sınıflandırılarak, tektonik plakaları ve jeo-tektonik yapıları ile bu depremler için iyonosferik deprem öncülü işaretlerinin belirlendiği gün ve belirlenen IGS istasyonlarının

VTEC değişim yüzdeleri (öncül işareti görüldüğü IGS istasyonu) birlikte gösterilmiştir (Tablo 37-Tablo 40).

Tablo 37. Ekvatorial Kuşakta (KYK) meydana gelen depremlerin jeo-tektmik yapı

Deprem	Mag. (Mw)	Derinlik (km)	Tektonik Plaka	Jeo-tektmik Yapı (Fay Türü)	Deprem Öncülü (Depremden önceki gün)	VTEC Yüzdesi (IGS İst.)
Kolombiya, San Agustin	7.3/ Büyük	170/ Orta derinlik	Nazca-Güney Amerika	Normal faylanma	3	62.5 (CRO1)
Endonezya, Kuzey	8.6/ Çok büyük	20/ Sığ	Hindistan-Avusturalya (Deniz)	Doğrultu Atımlı faylanma	8	37.5 (IISC)
Sumatra-Andaman Adaları	9.1/ Çok büyük	30/ Sığ	Hindistan-Avusturalya (Deniz)	Ters faylanma	11	62.5 (IISC) 45.8 (DGAR)

Tablo 37’de görüldüğü gibi, Ekvatorial Kuşakta (KYK) sığ ve orta derinlikte büyük ve çok büyük depremler meydana gelmiştir. Plaka sınırlarında oluşan bu depremlerin meydana geldikleri bölgelerdeki jeo-tektmik yapılar normal, doğrultu atımlı ve ters faylardan oluşmaktadır. İyonosferik VTEC deprem öncülü; orta derinlikte meydana gelen büyük deprem için 3 gün öncesinde; sığ derinlikte meydana gelen çok büyük depremler için 8 ve 11 gün öncesinde ortaya çıktığı görülmüştür.

Tablo 38. Ekvatorial Kuşakta (GYK) meydana gelen depremlerin jeo-tektmik yapı

Deprem	Mag. (Mw)	Derinlik (km)	Tektonik Plaka	Jeo-tektmik Yapı (Fay Türü)	Deprem Öncülü (Depremden önceki gün)	VTEC Yüzdesi (IGS İst.)
Mozambik	7.0/ Büyük	11.0/ Sığ	Afrika	Doğrultu Atımlı faylanma	1	33.3 (PRE1) 37.5 (PRE2) 33.3 (SUTH)
Kuzey Peru	7.0/ Büyük	147.0/ Orta derinlik	Nazca-Güney Amerika	Normal faylanma	14 12 0	33.3 (BOGT) 54.2 (BOGT) 54.2 (CONT)
Ekvador	7.1/ Büyük	206.7/ Orta derinlik	Nazca-Güney Amerika	Normal faylanma	10 9 6	37.5 (UNSA) 37.5 (AREQ) 41.7 (AREQ) 41.7 (CRO1)
Kuzey Şili	7.8/ Büyük	115.6/ Orta derinlik	Nazca-Güney Amerika	Ters faylanma	-	-

Tablo 38'in devamı

Deprem	Mag. (Mw)	Derinlik (km)	Tektonik Plaka	Jeo-tektonik Yapı (Fay Türü)	Deprem Öncülü (Depremden önceki gün)	VTEC Yüzdesi (IGS İst.)
Kuzey Peru	7.5/ Büyük	115.0/ Orta derinlik	Nazca-Güney Amerika	Normal faylanma	7	41.7 (BOGT)
Amazon, Brezilya	7.1/ Büyük	558.1/ Derin	Nazca-Güney Amerika	Ters faylanma	-	-
Pisco, Peru	8.0/ Çok büyük	39.0/ Sığ	Nazca-Güney Amerika (Deniz)	Ters faylanma	15	33.3 (AREQ)
					11	33.3 (BUE1)
					7	45.8 (AREQ)
					6	45.8 (SANT) 33.3 (BUE1)
					4	33.3 (SANT) 62.5 (BUE1) 54.2 (BUE2)

Tablo 38'de görüldüğü gibi, Ekvatorial Kuşakta (GYK) büyük ve çok büyük depremler sığ, derin ve orta derinliklerde meydana gelmiştir. Plaka sınırlarında oluşan bu depremlerin meydana geldikleri bölgelerde normal, doğrultu atımlı ve ters faylardan oluşan jeo-tektonik yapılar görülmüştür. Depremlerden biri deniz altında meydana gelmiştir. Deprem öncesi; orta derinlikte meydana gelen büyük depremler için 6-14 gün, sığ derinlikte meydana gelen büyük depremler için 1 gün önce, sığ derinlikte meydana gelen çok büyük için 4-15 gün önce ortaya çıktığı belirlenmiş, orta derin ve derin, büyük deprem için iyonosferik deprem öncülü belirlenmemiştir.

Tablo 39. Orta Kuşak (KYK) meydana gelen depremlerin jeo-tekttonik yapısı

Deprem	Mag. (Mw)	Derinlik (km)	Tektonik Plaka	Jeo-tekttonik Yapı (Fay Türü)	Deprem Öncülü (Depremden önceki gün)	VTEC Yüzdesi (IGS İst.)
Türkiye Bölgesi Van	7.1/ Büyük	16.0/ Sığ	Arap-Avrasya	Ters faylanma	10	37.5 (MDVJ)
					9	50.0 (MDVJ) 37.5 (ZWE2)
					8	33.3 (ANKR) 58.3 (CRAO) 61.7 (MDVJ) 58.3 (ZWE2)
					7	41.7 (ANKR) 45.8 (CRAO) 54.2 (MDVJ) 41.7 (ZWE2)
Doğu İran	7.7/ Büyük	82.0/ Orta derinlik	Arap-Avrasya	Normal faylanma	15	50.0 (GUAO)
					14	33.3 (GUAO)
					13	50.0 (GUAO)
					12	75.0 (POL2) 83.3 (GUAO) 41.7 (URUM)
					11	50.0 (POL2) 54.2 (GUAO) 33.3 (URUM)
					8	33.3 (GUAO) 33.3 (URUM)
					7	37.3 (URUM) 33.3 (ADIS)
Güneybatı Pakistan	7.7/ Büyük	15/ Sığ	Hindistan-Avrasya	Doğrultu Atımlı faylanma	15	41.7 (URUM)
					1	50.0 (POL2)
Güneybatı Pakistan	7.2/ Büyük	68.0/ Orta derinlik	Hindistan-Avrasya	Normal faylanma	14	62.5 (POL2) 45.3 (GUAO)
					8	33.3 (GUAO)
					4	37.5 (IISC)
					3	45.8 (POL2)
Sincan-Uygur	7.2/ Büyük	10.0/ Sığ	Hindistan-Avrasya	Normal faylanma	13	95.8 (NOVM)
Doğu Siçuan, Çin	7.9/ Büyük	19.0/ Sığ	Filipin-Avrasya	Ters faylanma	8	41.7 (IRKM)
					7	45.8 (NOVM)
					0	75.0 (IRKM) 50.0 (ARTU)
Kuzey Pakistan	7.6/ Büyük	26.0/ Sığ	Hindistan-Avrasya	Ters faylanma	5	41.7 (GUAO)
Güneybatı Sibirya	7.3/ Büyük	16.0/ Sığ	Hindistan-Avrasya	Ters faylanma	-	-

Tablo 39'un devamı

Deprem	Mag. (Mw)	Derinlik (km)	Tektonik Plaka	Jeo-tekttonik Yapı (Fay Türü)	Deprem Öncülü (Depremden önceki gün)	VTEC Yüzdesi (IGS İst.)
Büyük Tokyo	9.0/ Çok büyük	29.0/ Sığ	Amur- Pasifik (Deniz)	Ters faylanma	8	45.8 (USUD) 41.7 (SHAO) 62.5 (CHAN)
					7	75.0 (USUD) 58.3 (YSSK) 41.7 (KHAJ) 50.0 (SHAO) 95.8 (CHAN)
					6	45.8 (YSSK) 37.5 (SHAO) 66.7 (CHAN)
					5	58.3 (USUD) 50.0 (YSSK) 41.7 (KHAJ) 33.3 (PETS) 87.5 (YAKT) 70.8 (SHAO) 58.3 (CHAN)
Baja Meksika	7.2/ Büyük	4.0/ Sığ	Pasifik- Kuzey Amerika	Doğrultu Atımlı faylanma	5	33.3 (QUIN)
					4	58.3 (GOL2)
					1	37.5 (AMC2) 70.8 (DRAO)
Koryakiya, Rusya	7.6/ Büyük	22.0/ Sığ	Avrasya- Kuzey Amerika	Doğrultu Atımlı faylanma	4	41.7 (PETP) 45.8 (PETS) 54.2 (YSSK)
Othosk Denizi	8.3/ Çok büyük	608.9/ Derin	Avrasya- Pasifik (Deniz)	Normal faylanma	-	-
Kuril Adaları	8.1/ Çok büyük	10.0/ Sığ	Amur- Pasifik (Deniz)	Normal faylanma	-	-
Kuril Adaları	8.3/ Çok büyük	10.0/ Sığ	Amur- Pasifik (Deniz)	Ters faylanma	10	45.8 (YAKT)
					9	45.8 (PETS)
					4	37.5 (PETS)
					1	37.5 (YAKT)
Hokkaido	8.3/ Çok büyük	27.0/ Sığ	Pasifik- Kuzey Amerika (Deniz)	Ters faylanma	-	-

Tablo 39’da görüldüğü gibi, Orta Kuşakta (KYK) sığ, orta derinlikte ve derin büyük ve çok büyük depremler meydana gelmiştir. Plaka sınırlarında oluşan bu depremlerin meydana geldikleri bölgelerde normal, doğrultu atımlı ve ters faylardan oluşan ayrıca ters ve doğrultu atımlı faylanmanın beraber gerçekleştiği jeo-tektonik yapılar görülmüştür. Sığ ve büyük meydana depremlerde 0-15 gün önce, sığ ve çok büyük meydana gelen normal faylanmalı deniz depremlerinde genellikle görülmemiş ancak iki tane ters faylanmadan kaynaklı deniz depreminde 1-10 gün önce, orta derinlikte ve büyük depremlerde 3-15 gün önce, derin ve çok büyük normal faylanmalı deniz depreminde iyonosferik deprem öncülü belirlenmemiştir.

Tablo 40. Orta Kuşakta (GYK) meydana gelen depremlerin jeo-tektonik yapısı

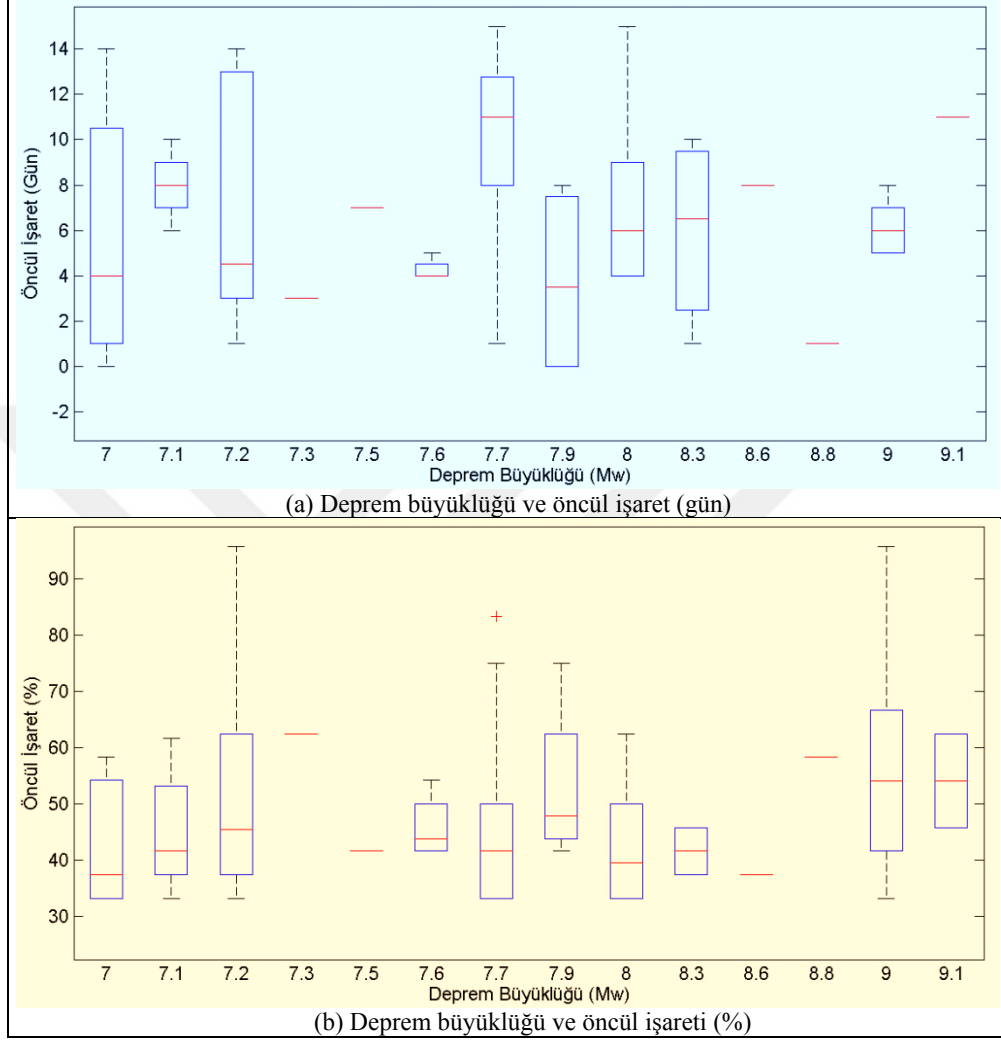
Deprem	Mag. (Mw)	Derinlik (km)	Tektonik Plaka	Jeo-tektonik Yapı (Fay Türü)	Deprem Öncülü (Depremden önceki gün)	VTEC Yüzdesi (IGS İst.)
Santiago Del Estero, Arjantin	7.0/ Büyük	576.8/ Derin	Nazca-Güney Amerika	Normal faylanma	9	58.3 (FALK)
					7	37.5 (SANT)
O'Higgins Bölgesi, Şili	7.0/ Büyük	18.0/ Sığ	Nazca-Güney Amerika	Normal faylanma	-	-
Maule, Şili	8.8/ Çok büyük	22.9/ Sığ	Nazca-Güney Amerika (Deniz)	Ters faylanma	1	58.3 (AREQ)

Tablo 40’da görüldüğü gibi, orta kuşakta (GYK) sığ ve derin büyük ve çok büyük depremler meydana gelmiştir. Plaka sınırlarında oluşan bu depremlerin meydana geldikleri bölgelerde normal ve ters faylanmanın gerçekleştiği jeo-tektonik yapılar görülmüştür. Derinde meydana gelen büyük deprem için 7-9 gün önce, sığ meydana gelen çok büyük ters faylanmalı deniz deprem için 1 gün önce, sığ ve çok büyük deprem için iyonosferik deprem öncülü iyonosferik deprem öncülü belirlenmemiştir.

3.5. Deprem Büyüklükleri ve Odak Derinlikleri ile İyonosferik VTEC Değişimlerinin Değerlendirilmesi

Deprem büyüklükleri ile iyonosferik TEC anomali olan deprem öncülünün belirlendiği gün ve iyonosferik TEC anomali yüzdeleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu bağlamda, sakin uzay iklim koşullarının olduğu günlerde IGS istasyonlarından belirlenen iyonosferik TEC anomalilerinin depremden kaç gün önce gerçekleştiğini

belirten gün ve o günlere ait anomali yüzdeleri ile deprem büyüklükleri arasındaki grafikleri çizdirilmiştir (Şekil 35).

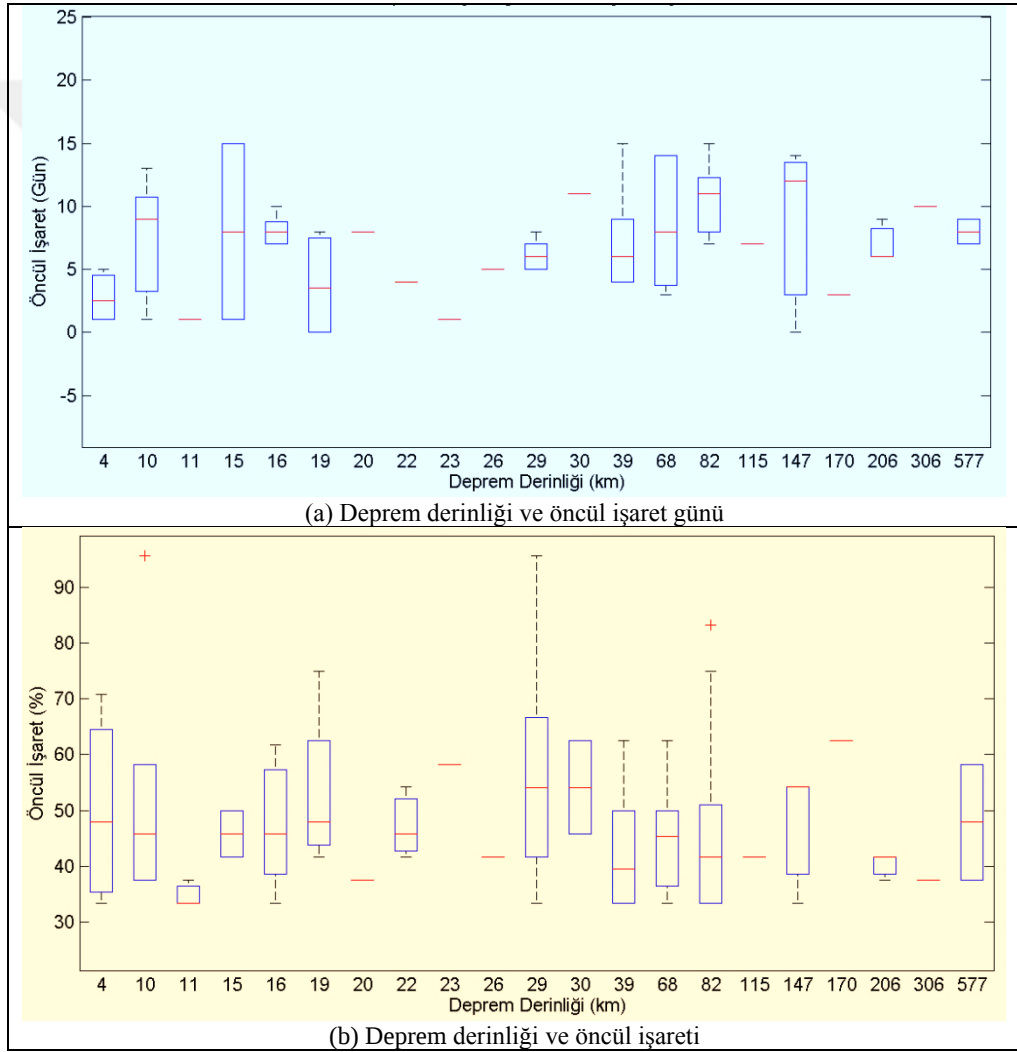


Şekil 35. Deprem büyüklükleri ile öncül işaret günü ve öncül işaret yüzdesi ilişkisi

Şekil 35 (a)'daki grafikte görüldüğü gibi $7.0 \leq M < 8.0$ aralığındaki büyük depremlerde daha erken öncül işareti (yaklaşık depremden 15 gün önce) belirlenmiştir. Şekil 35 (a)'daki deprem büyüklükleri ile deprem öncül işaretlerinin belirlendiği günler arasındaki grafiğin verilerinden, $7.0 \leq M < 8.0$ aralığındaki büyük depremler için ortalama 8 gün önce, $M \geq 8.0$ büyüklüğündeki çok büyük depremler için ortalama 6 gün önce belirlenmiştir. Şekil 35 (b)'deki grafikte görüldüğü gibi en yüksek anomali $M \geq 8.0$ büyüklüğündeki çok büyük depremlerde (yaklaşık %90 TECU) belirlenmiştir. Şekil 35 (b)'deki deprem büyüklükleri ile deprem öncül işaret yüzdeleri arasındaki grafiğin verilerinden, $7.0 \leq M < 8.0$ aralığındaki büyük depremler için ortalama öncül işaret yüzdesi ortalama %47.2 TECU, M

≥ 8.0 büyüklüğündeki çok büyük depremler için ortalama öncül işaret yüzdesi ortalama %51 TECU olarak bulunmuştur.

Bu irdelemeye ek olarak, deprem odak derinlikleri ile iyonosferik TEC anomali ilişkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, sakin uzay iklim koşullarının olduğu günlerde IGS istasyonlarından belirlenen iyonosferik TEC anomalilerinin depremden kaç gün önce gerçekleştiğini belirten gün ve o günlere ait anomali yüzdeleri ile deprem odak derinlikleri arasındaki dağılım grafikleri çizdirilmiştir (Şekil 36).



Şekil 36. Deprem derinlikleri ile öncül işaret günü ve öncül işaret arasındaki ilişkisi

Şekil 36 (a)'daki grafikte görüldüğü gibi 0 – 70 km aralığındaki sık depremlerde daha erken öncül işareti (yaklaşık depremden 15 gün önce) belirlenmiştir. Şekil 36 (a)'daki deprem derinlikleri ile deprem öncül işaretlerinin belirlendiği günler arasındaki grafiğin

verilerinden, 0 – 70 km aralığındaki sığ depremler için ortalama 6 gün önce, 70 – 300 km aralığındaki orta derinlikteki depremler için ortalama 10 gün önce, 300 km’den daha derin depremler için ortalama 9 gün önce belirlenmiştir. Şekil 36 (b)’deki grafikte görüldüğü gibi en yüksek anomali 0 – 70 km aralığındaki sığ depremlerde (yaklaşık %95 TECU) olarak belirlenmiştir. Şekil 36 (b)’deki deprem derinlikleri ile deprem öncül işaret yüzdeleri arasındaki grafiğin verilerinden, 0 – 70 km derinlikteki sığ depremler için ortalama öncül işaret yüzdesi ortalama %50 TECU, 70 – 300 km aralığındaki orta derinlikteki depremler için ortalama öncül işaret yüzdesi ortalama %45 TECU ve 300 km’den daha derin depremler için ortalama %44 TECU olarak bulunmuştur.



4. İRDELEMELER

Bu tez çalışmasında, uzay iklim koşulları dikkate alınarak depremlerden önce belirlenen iyonosferik TEC anomalilerinin, ekvatorial ve orta kuşaklarda meydana gelmiş depremler ($M=7+$), büyüklük, odak derinliği ve depremlerin meydana geldikleri bölgelerin jeo-tektonik yapıları gibi parametreler ile iyonosferik TEC anomalileri arasındaki ilişkiler ortaya konularak, iyonosferik TEC anomalilerinin ekvatorial ve orta kuşaklarda deprem öncülü olabilirliğinin irdelemeleri yapılmıştır.

Literatürde yapılan deprem öncesi iyonosferik TEC anomalilerini belirleme çalışmalarında uzay iklim koşullarından genelde jeomanyetik fırtına (K_p) ve jeomanyetik aktivite (Dst) indisleri dikkate alınmıştır. Bu tez çalışmasında ise Güneş aktivitesi indisleri ($F10.7cm$ ve $EUV\ 0.1-50nm$, $EUV\ 26-34nm$), jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite indisleri (K_p ve Dst), manyetik alan indisleri (B_x , B_y ve B_z), plazma yoğunluğu ve parçacık akısı indisleri (proton yoğunluğu ve altı farklı enerji seviyesindeki proton akısı) gibi çeşitli indisler dikkate alınmış ve her depremden 1 ay önce ve 1 ay sonrası için incelenmiştir. Her deprem için yapılan indis değerlendirmeleri incelendiğinde, proton yoğunluğu, manyetik alan ve jeomanyetik fırtına indislerine ait değişimlerin aynı günlerde etkin olduğu görülmüştür. Bazı günlerde ise değerlendirmede kullanılan indislerden yalnızca birisi aktif olarak görülmüştür. Bu bağlamda, değerlendirmede dikkate alınan uzay iklim koşullarına ait indisler ne kadar fazla olursa sakin gün konusunda daha gerçekçi kararlar verilebileceği söylenebilir.

Depremler için hesaplanan iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin, ekvatorial ve orta kuşaklara göre ortalamaları hesaplanmış ve irdelenmiştir. Orta kuşak ve ekvatorial kuşakta meydana gelen depremlerin bölgelerindeki IGS istasyonlarına ait TEC değişimlerinin yüzdelik anomali değerlerinin ortalamaları ayrı ayrı hesaplandığında; orta kuşak bölgelerindeki iyonosferik TEC anomalilerinin ortalaması %50.4 TECU, ekvatorial kuşak bölgelerindeki anomalilerin ortalaması %43.3 TECU olarak bulunmuştur. Bu değişimler göz önüne alındığında orta kuşakta meydana gelen iyonosferik TEC anomali değişimlerinin ekvatorial kuşağa göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Deprem büyüklükleri ile iyonosferik TEC anomalisi olan deprem öncülünün belirlendiği günler arasındaki ilişki incelendiğinde, en erken öncül işaret büyük depremlerde yaklaşık depremden 15 gün önce görülmüştür. Depremden önceki günlerin

ortalama değerleri, büyük depremler için 8 gün, çok büyük depremler için de 6 gün olarak hesaplanmıştır. Bu durum, deprem büyüklükleri arttıkça, deprem öncülü işaretlerinin daha geç ortaya çıktığını göstermektedir. Deprem büyüklükleri ile iyonosferik TEC anomali yüzdeleri arasındaki ilişki incelendiğinde, en yüksek öncül işaret yüzdesi çok büyük depremlerde yaklaşık %90 TECU olarak belirlenmiştir. Deprem öncül yüzdelerinin ortalama değerleri, büyük depremler için %47 TECU, çok büyük depremler için de %51 TECU olarak hesaplanmıştır. Bu durum, deprem büyüklükleri arttıkça, deprem öncülü olabilecek iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin de arttığını göstermektedir.

Deprem derinlikleri ile iyonosferik TEC anomali olan deprem öncülünün belirlendiği gün arasındaki ilişki incelendiğinde, depremden önceki işaret günlerinin ortalama değerleri, sığ depremler için 6 gün, orta derinlikteki depremler için 10 gün ve derin depremler için 9 gün olarak hesaplanmıştır. Bu durum, deprem odak derinlikleri arttıkça, deprem öncülü işaretlerinin daha erken ortaya çıktığını göstermektedir. Deprem derinlikleri ile iyonosferik TEC anomali yüzdeleri arasındaki ilişki incelendiğinde, en yüksek öncül işaret yüzdesi sığ depremlerde yaklaşık %95 TECU olarak belirlenmiştir. Deprem öncül yüzdelerinin ortalama değerleri, sığ depremler için %50 TECU, orta derinlikteki depremler için %45 TECU, derin depremler için de %44 TECU olarak hesaplanmıştır. Bu durum, deprem odak derinlikleri arttıkça, iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin azaldığını göstermektedir.

İyonosferik TEC anomalileri ile depremlerin meydana geldiği bölgelerin jeo-tektonik yapısı beraber değerlendirmiştir. Depremler meydana geldikleri bölgelerin jeo-tektonik yapılarına göre sınıflandırılmış ve aynı sınıflardaki iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin ortalamaları hesaplanarak irdelenmiştir:

- İyonosferik TEC anomali yüzdelerinin ortalamaları, normal faylanmaların olduğu bölgeler için %47.6 TECU, ters faylanmaların olduğu bölgeler için %50.4 TECU ve doğrultu atımlı faylanmaların olduğu bölgeler için %44.2 TECU olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi ters faylanmanın olduğu bölgelerdeki depremler için hesaplanan iyonosferik TEC anomalileri daha yüksek belirlenmiştir.
- Ekvatorial kuşakta normal, ters ve doğrultu atımlı fayların olduğu bölgelerde meydana gelen depremler için belirlenen iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin ortalamaları sırasıyla %44.8, %45.0 ve %35.4 TECU olarak hesaplanmıştır. Sonra orta kuşakta normal, ters ve doğrultu atımlı fayların olduğu bölgelerde meydana gelen depremler için belirlenen iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin ortalamaları

sırasıyla %48.7, %51.8 ve %48.1 TECU olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi ekvatorial ve orta kuşakta da ters faylanmanın olduğu bölgelerdeki depremler için hesaplanan iyonosferik TEC anomalileri daha yüksek belirlenmiştir. Ayrıca normal, ters ve doğrultu atımlı faylanmaların olduğu bölgelerdeki depremler için hesaplanan iyonosferik TEC anomali değerleri ekvatorial kuşağa göre orta kuşakta daha yüksek bulunmuştur.

- Ekvatorial ve orta kuşaklarda normal ve ters fayların olduğu bölgelerde meydana gelen depremler için belirlenen TEC anomali yüzdelerinin, doğrultu atımlı fayların olduğu bölgelerde meydana gelen depremler için belirlenen TEC anomali yüzdelerinden daha yüksek belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen depremlerin bir kısmı denizlerde meydana gelmiştir (Tablo 37-Tablo 40). Denizlerde meydana gelen bu depremlerin genelde magnitudü çok büyük ve sığ olmalarına rağmen, birçoğunda iyonosferik deprem öncülü belirlenmemiştir.

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, uzay iklim koşul indisleri dikkate alınarak, 2000 yılından sonra ekvatorial ve orta kuşak bölgelerinde meydana gelmiş depremlerin etki alanlarında bulunan IGS istasyonlarının GPS verilerinden hesaplanan deprem öncesi iyonosferik TEC anomalilerinin, depremlerin büyüklükleri, odak derinlikleri ve jeo-tektonik yapı gibi parametrelerine göre irdelenerek ekvatorial ve orta kuşaklar için deprem öncülü olabilirliklerinin araştırılması yapılmıştır.

Deprem öncesi iyonosferik TEC belirleme ile ilgili yapılmış çalışmalarda genellikle az sayıda uzay iklim koşulu indisleri dikkate alınmıştır. Bu tez kapsamında ise uzay iklim koşulları indislerinden Güneş aktivitesi indisleri (F10.7cm ve EUV 0.1-50nm, EUV 26-34nm), jeomanyetik fırtına ve jeomanyetik aktivite indisleri (Kp ve Dst), manyetik alan indisleri (Bx, By ve Bz), plazma yoğunluğu ve parçacık akısı indisleri (proton yoğunluğu ve altı farklı enerji seviyesindeki proton akısı) gibi birçok indis dikkate alınarak sakin uzay iklim koşulu günleri belirlenmiştir. Değerlendirmede bazı indislerin etkin olduğu günlerde diğerlerinin etkin olmadığı görülmüştür. Bu bağlamda çok sayıda uzay iklim koşulu indisi kullanarak sakin günlerin daha gerçekçi olarak belirlendiği söylenebilir.

Ekvatorial ve orta kuşakta meydana gelen depremler öncesi belirlenen iyonosferik TEC anomalileri incelendiğinde; ekvatorial kuşakta meydana gelen depremler için belirlenen iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin, orta kuşağa göre daha düşük olduğu görülmüştür. İyonosferin günlük değişiminden kaynaklı ekvatorial kuşakta ortaya çıkan fiskiye etkisinin iyonosferik anomalileri daha yüksek tutması (genişletmesi) nedeniyle zaten aktif olan bu bölgenin deprem öncesi meydana gelen iyonosferik anomalilerle daha da aktif hale gelememesinden kaynaklanabilir (He vd., 2012; Yadav vd., 2016). Bu bağlamda, ekvatorial kuşakta deprem kaynaklı iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin orta kuşağa göre daha zayıf belirleneceği söylenebilir.

Tez kapsamında, deprem büyüklükleri ile iyonosferik TEC anomalisi olan deprem öncülünün depremden önce belirlendiği gün ve iyonosferik TEC anomali yüzdeleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. İnceleme sonucunda, deprem büyüklükleri arttıkça, deprem öncülü işaretlerinin daha geç ortaya çıktığını görülmüştür. Ayrıca deprem büyüklükleri arttıkça, deprem öncülü olabilecek iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin de arttığı belirlenmiştir. Bu artış, ortaya çıkacak deprem enerjisinin büyüklüğüyle orantılı

olarak meydana gelecek pozitif veya negatif iyon oluşumlarını ve elektron emisyonlarını artıracak kuvvetlerin fay yüzeyine daha fazla basınç (enerji birikimi) uygulamasından kaynaklanmış olabilir (Frohlich, 2006; URL 32, 33 ve 34, 2014).

Deprem derinlikleri ile iyonosferik TEC anomali olan deprem öncülünün belirlendiği gün ve iyonosferik TEC anomali yüzdeleri arasındaki ilişkiler de incelenmiştir. İnceleme sonucunda, deprem odak derinlikleri arttıkça, deprem öncülü işaretlerinin depremden çok daha erken ortaya çıktığı görülmüştür. Bu durumun, derin odağa sahip depremlerin daha büyük fay yüzeylerinde basınç oluşturması ve bunun sonucu olarak da açığa çıkacak enerji miktarının daha önceden açığa çıkmaya başlamasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca deprem odak derinlikleri arttıkça, iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin azaldığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin, derinlerde gerçekleşen pozitif veya negatif iyonlaşma ile elektron emisyonlarının atmosfer tabakasına ulaşmadan enerji kaybına uğraması olduğu söylenebilir (Frohlich, 2006; URL 32, 33 ve 34, 2014). Depremler odak derinliklerine göre genel olarak incelendiğinde, iyonosferik TEC değişim yüzde oranları, genelde sığ depremlerde daha yüksek, orta derinlikteki ve derin depremlerde daha düşük belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak, sığ depremlerin ortaya çıkardığı elektron emisyonları yüzeye daha yakın olduklarından hızlı bir biçimde daha az iletken plaka yüzeylerine maruz kalarak iyonosfer tabakasına ulaşmaları, orta derinlikteki ve daha derin depremlerin ortaya çıkardığı elektron emisyonları ise plaka sınırları arasında sönmülerek enerjilerini daha erken kaybetmelerinden kaynaklandığı gösterilebilir (Frohlich, 2006; Freund vd., 2009).

Depremlerin meydana geldiği bölgelerin jeo-tektonik yapısı ile deprem öncesi iyonosferik TEC anomalileri beraber değerlendirildiğinde; depremlerin meydana geldiği ters faylanma bölgelerindeki depremler için hesaplanan deprem öncesi iyonosferik TEC anomali yüzdelerinin normal ve doğrultu atımlı faylanmaya bölgelerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ekvatorial ve orta kuşaklar için depremlerin meydana geldiği bölgelerin jeo-tektonik yapıları ile deprem öncesi iyonosferik TEC anomali yüzdeleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi yapıldığında; orta kuşaktaki normal, ters ve doğrultu atımlı faylanmaların olduğu bölgelerdeki depremler için hesaplanan iyonosferik TEC anomali değerlerinin ekvatorial kuşağa göre daha yüksek olduğu; ayrıca her iki kuşakta da ters faylanmanın olduğu bölgelerdeki depremler için hesaplanan iyonosferik TEC anomalilerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ekvatorial ve orta kuşaklarda doğrultu atımlı fayların olduğu bölgelerde meydana gelen depremler için belirlenen TEC anomali yüzdelerinin, diğer faydaların olduğu bölgelerde meydana gelen depremler için belirlenen TEC anomali yüzdelerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun birinci sebebi olarak, normal ve ters faylanma sonucunda ortaya çıkan fay yüzeylerinin, doğrultu atımlı faylarda ortaya çıkan fay yüzeylerinden daha fazla açığa çıkması sonucunda atmosfere elektron emisyonlarının daha kolay yayılmasının olduğu söylenebilir (Frohlich, 2006; URL 32, 33 ve 34, 2014). İkinci sebebinin de normal ve ters faylanma sonucunda açılma ve sıkışmanın fay yüzeyine dik veya dikliğe yakın doğrultuda kuvvet uygulaması ile oluşan basıncın elektron emisyonunu artırması; doğrultu atımlı faylanmalarda fay yüzeyine paralel kuvvet uygulanması sonucunda ortaya çıkacak elektron emisyonunun daha düşük oranda gerçekleşmesinden kaynaklandığı söylenebilir (Freund, 2005).

Denizlerde meydana gelen depremlerin genelde magnitüdü çok büyük ve sığ olmalarına rağmen, birçoğunda iyonosferik deprem öncülü belirlenmemiştir. Bunun nedeni olarak, plaka sınırlarında çıkan deprem kaynaklı pozitif / negatif yüklerin veya herhangi bir sinyalin, suyun di-elektrik özelliğinden dolayı (Greaves vd., 1996; Garambois vd., 2002; Milsom, 2003) deniz tabanlarında sönümlenmiş veya yavaşlatılmış olmalarından kaynaklandığı söylenebilir.

Bu çalışma sonuçlarının Litosfer-Atmosfer-İyonosfer Bağıntısı (LAIC) Modeline katkı sağlayacağı düşünülmektedir. İyonosferik TEC anomalilerinin farklı jeo-tektonik yapılarda meydana gelen depremler için LAIC Modelinde dikkate alınması iyonosferik deprem öncülü incelemelerine katkı sağlaması beklenmektedir.

6. ÖNERİLER

Depremler genellikle tektonik plaka sınırlarında meydana gelmektedir. Bu nedenle GPS verilerinden iyonosferik TEC anomalilerini sürekli belirleyerek deprem tahminine katkı sağlamak için plaka sınırlarında sürekli ölçü yapan GNSS istasyonlarının sıklaştırılmasının gerektiği önerilir. Böylece deprem hazırlık alanı ve çevresinde daha çok GNSS istasyonu verilerine ulaşılarak daha gerçekçi kararlar verilebilir.

İyonosferdeki sakin günleri gerçekçi belirleyebilmek için daha çok uzay iklim koşulu indisleri incelenmeli ve bu indislerin değerlendirilmesinde ilgili uzmanların görüşlerinin alınması önerilir.

Deprem öncesi iyonosferik TEC anomalileri ile depremlerin derinliği, büyüklüğü, depremlerin meydana geldiği bölgelerin jeo-tektonik yapıları ve farklı kuşaklardaki durumları arasında istatistiki olarak daha gerçekçi ilişki kurabilmek için mümkün olduğu kadar fazla depremin incelenmesi önerilebilir.

Araştırılan bölgenin iyonosferik karakteristiğini daha iyi belirlemek için iyonosferik TEC anomalilerinin ve uzay iklim koşullarının depremden önceki zaman diliminin genişletilmesi önerilir.

Depremlerin meydana geldiği bölgelerin jeo-tektonik yapısı ile iyonosferik TEC anomalilerinin ilişkilendirmesinin daha gerçekçi olması için jeo-tektonik yapının uzman kişilerce belirlenmesi gerekir.

Gelecekte uydu/uzay tekniklerinin ve analiz yöntemlerinin daha da gelişmesiyle deprem öncesi ortaya çıkan iyonosferik anomalilerin kavranması ve farklı sismo-iyonosferik bağlantı mekanizmalarının da keşfedilmesi depremlerin önceden tahminine yönelik katkı sağlayacaktır.

Doğal afetlerden en yıkıcısı olan depremlerin gerçekleşeceği muhtemel plaka sınırları veya fay hatları için kurulacak erken uyarı sistemlerinin bir ön işaretçisi olarak iyonosferik anomalilerin izlenmesinin olabilirliği araştırılmalıdır.

İyonosferik TEC anomalilerinin farklı jeo-tektonik yapılarda meydana gelen depremler için LAIC Modelinde dikkate alınması önerilir. Bu bağlamda, sismo-iyonosferik deprem öncülü incelemelerine yeni bir araştırma alanı açılacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Abraha, G., 2014. Total Electron Content (TEC) Variability of Low Latitude Ionosphere and Role of Dynamical Coupling: Quiet and Storm-Time Characteristics, PhD Thesis, Addis Ababa University Addis Ababa, Ethiopia.
- Adeyini, E., O., 1986. Magnetic Storm Effects on the Morphology of the Equatorial F2-Layer, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 48, 8, 695-702.
- Akhoondzadeh, M., Parrot, M. ve Saradjian, M., R., 2010. Electron and Ion Density Variations before Strong Earthquakes ($M > 6.0$) Using DEMETER and GPS data, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 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.
- Akyol, A., A., 2013. Investigation on the Reliability of Earthquake Prediction Based on Ionospheric Electron Content Variation, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arikan, F., Deviren, M.N., Lenk, O. Sezen, U. ve 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 Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arslan, N., 2010. The Effects of Total Electron Content on Relative GPS Positioning, Journal of Engineering and Naturel Sciences, 28, 266-274.
- Aschwanden, M., J., 2005. Physics of the Solar Corona an Introduction with Problems and Solutions, Springer-Praxis Books in Astronomy and Planetary Sciences, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 908.
- Astafyeva, E., Rolland, L., M. ve Sladen, A., 2014. Strike-Slip Earthquakes can also be Detected in the Ionosphere, Earth and Planetary Science Letters, 405, 180-193.
- Barbás, B., F., de H., Ríos, V., H., Gómez, A., P., ve Santillán, M., 2002. Variations of Total Electron Content during a Magnetic Storm, Geofísica Internacional, 41, 1, 49-55.

- Barnes, R., A. ve Leonard, R., S., 1965. Observations of Ionospheric Disturbances Following the Alaska Earthquake, *J GeophysRes*, 70, 1250–1253.
- Bruevich, E., A., Bruevich, V., V. ve Yakunina, G., V., 2014. Changed Relation between Solar 10.7-cm Radio Flux and some Activity Indices which Describe the Radiation at Different Altitudes of Atmosphere during Cycles 21-23, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 35, 1-15.
- Cahyadi, M., N., 2014. Near-Field Coseismic Ionospheric Disturbances of Earthquakes In and Around Indonesia, PhD Thesis, Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers.
- Can, Z., ve Gümrükçü, O., 2009. İyonosfer ile GPS Sinyallerinin Etkileşimi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8, 15, 69-77.
- Chakraborty, M., Kumar, S., De, B., K. ve Guha, A., 2014. Latitudinal Characteristics of GPS Derived Ionospheric TEC: A Comparative Study with IRI 2012 Model, *Annals of Geophysics*, 57.
- Chauhan, V., Singh, O., P., Kushwah, V., Singh, V. ve 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, 2, 68-74.
- Chen, Y., Liu, L. ve Wan, W., 2012. The Discrepancy in Solar EUV-Proxy Correlations on Solar Cycle and Solar Rotation Timescales and its Manifestation in the Ionosphere, *Journal of Geophysical Research*, 117, A03313, doi:10.1029/2011JA017224.
- Chen, Y., Liu, L., Le, H. ve Wan, W., 2014. How Does Ionospheric TEC Vary if Solar EUV Irradiance Continuously Decreases? *Earth, Planets and Space*, 66, 52.
- Chuo, Y., J., Liu, J., Y., Pulinets, S., A. ve Chen, Y., I., 2002. The Ionospheric Perturbations Prior to the Chi-Chi and Chia-Yi Earthquakes, *Journal of Geodynamics*, 33, 4-5, 509-517.
- Coley W. R., Stoneback R. A., Heelis R. A. ve Hairston M. R., 2014. Topside Equatorial Zonal Ion Velocities Measured by C/NOFS during Rising Solar Activity, *Annales Geophysicae*, 32, 69-75.
- Contadakis, M., Arabelos, D., Pikridas, C. ve 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. ve Meindl, M., 2007. Manual of Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, 612.
- Dashora, N., Sharma, S., Dabas R., S., Alex, S. ve Pandey, R., 2009. Large Enhancements in Low Latitude Total Electron Content During 15 May 2005 Geomagnetic Storm in Indian Zone, *Ann. Geophys.*, 27, 1803-1820.

- Datchenko, E., A., Ulomov, V., I. ve Chernishova, C., P., 1972. Electron Density Anomalies as the Possible Precursor of Tashkent Earthquake, Dokl. AN Uzbek SSR, 12, 30-32.
- De Canck, M., H., 2007. Ionosphere Properties and Behaviors, Antennex, 119, 6-7.
- Dobrovolsky, I., P., Zubkov, S., I. ve Miachkin, V., I., 1979. Estimation of the Size of Earthquake Preparation Zones, Pure and Applied Geophysics, 117, 1025-1044.
- Durmaz, M., 2013. Non-Parametric And Semi-Parametric Regional Modeling of The Ionospheric Vertical Total Electron Content Using Ground-Based GPS Observations, PhD Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Durmaz, M. ve Karslioglu, M., O., 2014. Regional Vertical Total Electron Content (VTEC) Modeling Together with Satellite and Receiver Differential Code Biases (DCBs) Using Semi-Parametric Multivariate Adaptive Regression B-splines (SP-BMARS), J Geod., 89, 4, 347-360.
- Erdoğan, H. ve Arslan, N., 2009. Identification of Vertical Total Electron Content (VTEC) by Timeseries Analysis, Digital Signal Processing, 19, 4, 740-749.
- Fejer, B., G., Scherlies, S., L. ve De Paula, E., R., 1999. Effects of the vertical plasma drift velocity on the generation and evolution of equatorial spread F. J. Geophys. Res., 104, 19859-19870.
- Fidani, C., 2010. The Earthquake Lights (EQL) of the 6 April 2009 Aquila Earthquake, in Central Italy, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 967-978.
- Freund, F., 2005. Cracking the Code of Pre-Earthquake Signals, National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley.
- Freund, F., T., Kulahci, I., G., Cyr, G., Ling, J., Winnick, M., Tregloan-Reed J. ve Freund, M., M., 2006. Air Ionization at Rock Surfaces and Pre-earthquake Signals, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 71, 17, 1824-1834.
- Freund, F., 2011. Pre-earthquake Signals: Underlying Physical Processes, Journal of Asian Earth Sciences, 41, 383-400.
- Frohlich, C., 2006. Deep Earthquakes, New York: Cambridge University Press, 592.
- Garambois, S., Senechal, P. ve Perroud, H., 2002. On the use of Combined Geophysical Methods to Assess Water Content and Water Conductivity of Near-Surface Formations, Journal of Hydrology, 259, 32-48.
- Gonzalez, W., D., Joselyn, J., A., Kamide, Y., Kroehl, H., W., Rostoker, G., Tsurutani, B., T. ve Vasyliunas, V., M., 1994. What is a geomagnetic storm? J. Geophys. Res., 99, 5771-5792.

- Greaves, R., J., Lesmes, D., P., Lee, J., M. ve Toksoz, M., N., 1996. Velocity Variations and Water Content Estimated from Multi-Offset, Ground-Penetrating Radar, Geophysics, 61, 3, 683-695.
- Guo, G. ve Wang, B., 2008. Cloud Anomaly before Iran Earthquake, International Journal of Remote Sensing, 29, 1921-1928.
- Hawarey, M. ve Ayan, T., 2004. Uzay Mekiği Tırmanışı, Deprem, ve Füze Fırlatılışından Kaynaklanan TEC Değişimlerinin GPS ile Belirlenmesi, İTÜ Dergisi, 3, 2-3-4-5, 45-56.
- He, L., M., Wu, L., X., Pulinets, S., Liu, S.J., ve 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. ve 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, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 3281-3289.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Wasle, E., 2008. GNSS Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo more, Springer, Austria.
- Ikeya, M., 2004. Earthquakes and Animals: From Folk Legends to Science, River Edge, NJ: World Scientific, 295.
- Jakowski, N., Sardon, E., Engler, E., Jungstand, A. ve Klahn, D., 1996. Relationships between GPS-Signal Propagation Errors and EISCAT Observations, Ann. Geophysicae., 14, 1429-1436.
- Jhuang, H., K., Ho, Y., Y., Kakinami, Y., Liu, J., Y., Oyama, K., -I., Parrot, M. ve 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.
- Jin, R., Jin, S., G. ve Feng, G., P., 2012. M_DCB: Matlab Code for Estimating GNSS Satellite and Receiver Differential Code Biases, GPS Solut., 16,4, 541-548.
- Johnson, G., G. ve Newman, S., R., 1980. Solar Activity Prediction of Sunspot Numbers, Mission Planning and Analysis Division, Shuttle Program, Solar Activity Prediction of Sunspot Numbers, Predicted Solar Radio Flux, 39.
- Judge, D., L., Mc Mullin, D., R., Ogawa, H., S., Hovestadt, D., Klecker, B., Hilchenbach, M., Mobius, E., Canfield, L., R., Vest, R., E., Watts, R., Tarrio, C., Kuehne, M. ve Wurz, P., 1998. First Solar EUV Irradiances Obtained from SOHO by the CELIAS/SEM, Solar Physics, 177, 1-2, 161-173.

- Kamide, Y., Yokoyama, N., Gonzalez, W., Tsurutani, B. T., Daglis, I. A., Brekke, A. ve Masuda, S., 1998. Two-Step Development of Geomagnetic Storms, Journal of Geophysical Research-Space Physics, 103, 6917-6921.
- Kanaori, Y., 1951. Earthquake Proof Design and Active Faults. Amsterdam; New York: Elsevier, 267.
- Karatay, S., 2010. Deprem ile İyonküredeki Toplam Elektron İçeriği Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Karia, S., Sarkar, S. ve Pathak, K., 2012. Analysis of GPS-based TEC and Electron Density by the DEMETER Satellite before the Sumatra Earthquake on 30 September 2009, International Journal of Remote Sensing, 33, 16, 5119-5134.
- Kartal, S., 1995. Balkanlar Üzerindeki İyonosferde Toplam Elektron Yoğunluğu Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi FBE, İstanbul.
- Kelley, M., C., 1989. The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics, Academic, San Diego, California, 576.
- Khatarkar, P., Purohit, P., K. ve Gwal, A., K., 2012. Study of Ionospheric F2 Layer Characteristics at Low, Mid and High Latitudes, International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN (Online): 2319-7064, Paper ID: SEP14144.
- Klimenko, M., V., Klimenko, V., V., Zakharenkova, I., E., Pulinets, S., A., Zhao, B. ve Tsivilina, 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.
- Klobuchar, J., A. ve Aarons, J., 1973. Introduction - Importance of the Total Electron Content Parameter, Total Electron Content Studies of The Ionosphere, Air Force Cambridge Research Laboratories L. G. Hanscom Field, Massachusetts.
- Klobuchar, J., A., 1986. Design and Characteristics of the GPS Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single-Frequency Users, In: Proceedings of the IEEE Position Location and Navigation Symposium, Las Vegas.
- Klotz, S., ve Johnson, N., L., (Eds.), 1983. Encyclopedia of Statistical Sciences, John Wiley and Sons.
- Komjathy, A. ve Langley, R., 1996. An Assessment of Predicted and Measured Ionospheric Total Electron Content Using a Regional GPS Network, Nat. Tech. Meeting, Inst. of Nav., January, Santa Monica, CA.
- Komjathy, A., 1997. Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System, Ph.D. Thesis, Dept. of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 188. Univ. of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.

- Kuo, C., L., Huba, J., D., Joyce, G. ve Lee, L., C., 2011. Ionosphere Plasma Bubbles and Density Variations Induced by Pre-earthquake Rock Currents and Associated Surface Charges, J. Geophys. Res., 116, A10317, doi:10.1029/2011ja016628.
- Lang, K., R., 2003. The Cambridge Guide to the Solar System, Cambridge University Press. p. 92. ISBN 0-521-81306-9.
- Langley, R., Fedrizzi, M., Paula, E., Santos, M. ve Komjathy A., 2002. Mapping the Low Latitude Ionosphere with GPS, GPS World, 13, 2, 41-46.
- Lanyi, G., E. ve Roth, T., 1988. A Comparison of Mapped and Measured Total Ionospheric Electron Content Using Global Positioning System and Beacon Satellite Observations, Radio Sci., 23, 483-492.
- Liao, X., 2000. Carrier Phase Based Ionosphere Recovery over a Regional Area GPS Network, M.Sc. Thesis, Univ. of Calgary, Canada.
- Lin, J., -W., 2011. Use of Principal Component Analysis in the Identification of the Spatial Pattern of an Ionospheric Total Electron Content Anomalies after China's May 12, 2008, M = 7.9 Wenchuan Earthquake, Advances in Space Research, 47, 11, 1983-1989.
- Lin, J., -W., 2013. Taiwan' Chi-Chi Earthquake Precursor Detection Using Nonlinear Principal Component Analysis to Multi-Channel Total Electron Content Records, Journal of Earth Science, 24, 2, 244-253.
- Liu, J., Y., Chuo, Y., J. ve Chen, Y., I., 2001. Ionospheric GPS TEC Perturbations Prior to the 20 September 1999, Chi-Chi Earthquake, Geophys Res Lett., 28, 1383–1386.
- Liu, J., Y., Chuo, Y., J, Shan, S., J., Tsai, Y., B., Chen, Y., I., Pulinets, S., A. ve Yu, S., B., 2004. Pre-Earthquake Ionospheric Anomalies Registered by Continuous GPS-TEC Measurements, Annales Geophysicae, 22, 1585–1593.
- 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. ve Lin, C., H., 2009. 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.
- Liu, J., Y., Chen, C., H., Chen, Y., I., Yang, W., H., Oyama, K., I. ve 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, 1-2, 76-80.
- Liu, C., -Y., Liu, J., -Y., Chen, W., S., Li, J., -Z., Xia, Y., -Q. ve 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.

- Liu, M., Luo, G. ve Wang, H., 2014. The 2013 Lushan earthquake in China Tests Hazard Assessments, Seismol. Res. Lett., 85, 1, 40-43.
- Loewe, C., A. ve Prölss, G., W., 1997. Classification and Mean Behavior of Magnetic Storms, Journal of Geophysical Research, 102, A7, 14, 209-213.
- Makalea, J., J., Kelley, M., C., Sojka, J., J., Pi X. ve Manucci, A., J., 2001. GPS Normalization and Preliminary Modeling Results of Total Electron Content During Mid-latitude Space Weather Event, Radio Sci., 36, 356-361.
- Mannucci, A., J., Wilson, B., D. ve Ewards, C., D., 1993. A New Method for Monitoring the Earth's Ionosphere Total Electron Content Using the GPS Global Network, In: Proc. of ION GPS-93, Inst. of Navigation, 1323-1332.
- Melnikov, V.F., 1990. Relationships Between Microwave, Hard X-Ray, and Corpusclar Emissions of Solar Flares, PhD Thesis, Radiophysical Research Institute, Nizhniy Novgorod, Russia.
- Milsom, J., 2003. Field Geophysics 3rd edition, Chicester: John Wiley, 232.
- Mosna, Z., Sauli, P. ve Santolik, O., 2007. Preparation of a Database for the Study of Scaling Phenomena in the Ionosphere, WDS'07 Proceeding of Contributed Papers, 2, 86-92.
- Nagao, Y., Enomoto, Y., Fujinawa, M., Hata, M., Hayakawa, Q., Huang, I., Izutsu, Y., Kushida, K., Maeda, K., Oike, S. ve Uyeda, T., 2002. Yoshino, Electromagnetic anomalies associated with 1995 KOBE earthquake, J. Geodynamics, 33, 401.
- Namgaladze, A., Klimenko, M., V., V., Klimenko, V. ve Zakharenkova, I., E., 2009. Physical Mechanism and Mathematical Modeling of Earthquake Ionospheric Precursors Registered in Total Electron Content, Geomagnetism and Aeronomy, 49, 2, 252-262.
- Nayir, H., 2007. Yerküresel Konumlama Sistemi İşaretleri Kullanılarak İyonosfer Toplam Elektron İçerigi Kestrimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Nohutcu, M., Karslioglu, M. ve Schmidt, M., 2010. B-Spline modeling of VTEC over Turkey using GPS observations, Journal Of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 72, 7-8, 617-624.
- Otsuka, Y., Ogawa, T., Saito, A., Tsugawa, T., Fukao, S. ve Miyazaki, S., 2002. A New Technique for Mapping of Total Electron Content Using GPS Network in Japan, Earth Planets Space, 54, 63-70.
- Ovalle, E., M., Bravo, M., A., Villalobos, C., U. ve Foppiano, A., J., 2013. Maximum Electron Concentration and Total Electron Content of the Ionosphere over Concepción, Chile, Prior to the 27 February 2010 Earthquake, Advances in Space Research, 52, 7, 1274-1288.

- Özilhan, B., E., 2010. Kuzey Anadolu Fay Hattı Depremlerinin ve İyonsfer Toplam Elektron İçeriği Kestirimlerinin Olası İlişkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Prölss, G., 2004. In *Physics of the Earth's Space Environment: An Introduction*, Springer Berlin / Heidelberg, 513.
- Pulinets, S., A., Legen'ka, A., D. ve Alekseev, V., A., 1994. Pre-Earthquakes Effects and Their Possible Mechanisms, in the book "Dusty and Dirty Plasmas, Noise and Chaos in Space and in the Laboratory". Plenum Publishing, New York, 545-557.
- Pulinets, S., A., 1998. Strong Earthquakes Prediction Possibility with the Help of Top Side Sounding from Satellites, Advances in Space Research, 21, 3, 455-458.
- Pulinets, S., A. ve Legen'ka, A., D., 2003. Spatial-Temporal Characteristics of the Large Scale Disturbances of Electron Concentration Observed in the F-region of the Ionosphere Before Strong Earthquakes, Cosm. Res., 41, 221-229.
- Pulinets, S., A., Legen'ka, A., D., Gaivoronskaya, T., V. ve Depuev, V., Kh., 2003. Main Phenomenological Features of Ionospheric Precursors of Strong Earthquakes, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 65, 1337-1347.
- Pulinets, S., A. ve Boyarchuk, K., A., 2004. Ionospheric Precursors of Earthquakes, Springer, New York, NY, USA, 315.
- Pulinets, S., A., Ouzounov, D., Karelin, A., V., Boyarchuk, K., A. ve Pokhmelnikh L., A., 2006. The Physical Nature of Thermal Anomalies Observed Before Strong Earthquakes, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 31, 4-9, 143-153.
- Pulinets, S., Kotsarenko, A., N., Ciralo, L. ve Pulinets, I., A., 2007. Special Case of Ionospheric Day Today Variability Associated with Earthquake Preparation, Adv. Space Res., 39, 970-977.
- Pulinets, S., A., 2009. Physical Mechanism of the Vertical Electric Field Generation over Active Tectonic Faults, Advances in Space Research, 44, 767-773.
- Pulinets, S. ve Ouzounov, D., 2011. Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) Model - An Unified Concept for Earthquake Precursors Validation, Journal of Asian Earth Sciences, 41, 371-382.
- Pundhir, D., Singh, B. ve Singh, O., P., 2014. Anomalous TEC Variations Associated with the Strong Pakistan-Iran Border Region Earthquake of 16 April 2013 at a Low Latitude Station Agra, India, Advances in Space Research, 53, 2, 226-232.
- Rahman, A., M., Manoharan, P., K. ve Umapathy, S., 2010. Propagation Characteristics of Coronal Mass Ejections and Their Effect at the Near-Earth Environment, Indian Journal of Radio and Space Physics, 39, 276-279.

- Rao, P., V., S., R., Niranjana, K., Prasad, D., S., V., V., D., Krishna, S., G. ve Uma, G., 2006. On the Validity of the Ionospheric Pierce Point (IPP) altitude of 350 km in the Indian Equatorial and Low-Latitude Sector, Annales Geophysicae, 24, 2159-2168.
- Ratcliffe, J., A., 1972. An Introduction to the Ionosphere and Magnetosphere, Cambridge University Press, 256.
- Reid, H., F., 1911. The Elastic Rebound Theory of Earthquakes, Bulletin of the Department of Geology, University of California, 6, 413-444.
- Rishbeth, H. ve Garriott, O., K., 1969. Introduction to Ionospheric Physics, Elsevier, New York, 335.
- Rozhnoi, A., Solovieva, M., S., Molchanov, O., A. ve Hayakawa, M., 2004. Middle Latitude LF (40 kHz) Phase Variations Associated with Earthquakes for Quiet and Disturbed Geomagnetic Conditions, Physics and Chemistry of the Earth, 29, 589-598.
- Schaer, S., 1999. Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, PhD Thesis, Geodatisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Vol. 59.
- Schmidt, M., Bilitza, D., Shum, C., K. ve Zeilhofer C., 2008. Regional 4-D Modeling of the Ionospheric Electron Density, Advances in Space Research, 42, 782-790.
- Schwenn, R., 2001. Solar Wind: Global Properties, Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics, Institute of Physics Publishing, Dirac House, Temple Back, Bristol, BS1 6BE, UK.
- Secan, J., A., ve Wilkinson, P., J., 1997. Statistical Studies of an Effective Sunspot Number, Radio Science, 32, 4, 1717-1724.
- Seeber, G., 2003. Satellite Geodesy, Walter de Gruyter, Berlin, Germany, 589.
- Sharma, K., Das, R., Dabas, R., S. ve Mishra, A., K., 2008. Ionospheric Precursors Observed at Low Latitudes around the Time of Koyna Earthquake, Advances in Space Research, 42, 7, 1238-1245.
- Shea, M., A. ve Smart, D., F., 1993. Solar Proton Events: History, Statistics and Predictions, Solar Terrestrial Predictions-IV, 2, National Oceanic and Atmosph. Admin., Environmental Res. Lab., Boulder, Colorado, USA.
- Shollikutty, J. ve Kurian, P., J., 2009. A Statistical Study of the Interdependence of Solar Wind Parameters, Research in Astron. Astrophys, 9, 4, 485-493.
- Singh, O., P., Chauhan, V., Singh, V. ve Singh, B., 2009. Anomalous Variation in Total Electron Content (TEC) Associated with Earthquakes in India during September 2006-November 2007, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 34, 6-7, 479-484.

- Singh, V., Chauhan, V., Singh, O., P. ve Singh, B., 2010. Ionospheric Effect of Earthquakes as Determined from Ground Based TEC Measurement and Satellite Data, Indian J. of Radio& Space Phys., 39, 63-70.
- Spogli, L., Alfonsi, L., Cilliers, P. J., Correia, E., De Franceschi, G., Mitchell, C. N., Romano, V., Kinrade, J. ve Angel C., M., 2013. GPS Scintillations and Total Electron Content Climatology in the Southern Low, Middle and High Latitude Regions, Annals of Geophysics, 56.
- St-Laurent F., Derr, J. ve Freund, F., 2006. Earthquake Lights and the Stress-Activation of Positive Hole Charge Carriers in Rocks, Physics and Chemistry of the Earth, 31, 305-312.
- Su, Y., C., Liu, J., Y., Chen, S., P., Tsai, H., F. ve Chen, M., Q., 2013. Temporal and Spatial Precursors in Ionospheric Total Electron Content of the 16 October 1999 Mw7.1 Hector Mine Earthquake, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 118, 6511-6517.
- Subirana, J., S., Zornoza J., M., J. ve Hernández-Pajares, M., 2013. GNSS Data Processing, Vol. I: Fundamentals and Algorithms, ESA Communications, Noordwijk, Netherlands.
- Teunissen, P., J., G. ve Kleusberg, A., 1996. GPS Observation Equations and Positioning Concepts. In: Kleusberg A, Teunissen PJG (eds) GPS for geodesy. Springer, Berlin, 175-217.
- Tobiska, W., K., 1996. Current Status of Solar EUV Measurements and Modeling, Adv. Space Res., 18, 3-10.
- Tronin, A., Hayakawa, M. ve Molchanov, O., 2002. Thermal IR Satellite Data Application for Earthquake Research in Japan and China, J. Geodynamics, 33, 519-534.
- Tronin, A., Biagi, P., Molchanov, O., Khatkevich, Y. ve Gordeev, E., 2004. Temperature Variations Related to Earthquakes from Simultaneous Observation at the Ground Stations and by Satellites in Kamchatka Area, Phys. Chem. Earth, 29, 501-506.
- Turunen, T. ve Rao, M., M., 1980. Examples of the Influence of Strong Magnetic Storms on the Equatorial F-layer, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 42, 323-330.
- URL-1, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/personel/comoglu/depremnedir/index.htm>
Depremle İlgili Teknik Bilgiler. 15 Mart 2014.
- URL-2, <http://www.dgfi.tum.de/en/research/cross-cutting-research-topics/atmosphere/>
Atmosferin Katmanları. 17 Mart 2014.
- URL-3, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Troposfer> Troposfer Bilgisi. 17 Mart 2014.

- URL-4, <http://www.bilgiustam.com/atmosfer-nedir-katmanlari-nelerdir/> Atmosfer ve Katmanları Bilgisi. 17 Mart 2014.
- URL-5, <http://www.gunesfizigi.com/gunesin-temel-ozellikleri/> Güneşi Yapısı. 20 Mart 2014.
- URL-6, <http://www.gunesfizigi.com/gunes-lekesi-sunspot>, Güneş lekesi ve etkileri. 20 Mart 2014.
- URL-7, <http://www.kozmikanafor.com/gunes-lekeleri-nedir-nasil-olusur/> Güneş Lekeleri ve Oluşum Biçimleri. 20 Mart 2014.
- URL-8, <http://www.kuark.org/2012/07/jeomanyetik-firtinalar/> Jeomanyetik Fırtınalar ve Oluşum Biçimleri. 21 Mart 2014.
- URL-9, <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetosphere> Manyetosfer ve Yapısı. 22 Mart 2014.
- URL-10, <http://www.spaceweather.ca/sbg-en.php> Uzay İklim Koşulları. 22 Mart 2014.
- URL-11, http://omniweb.gsfc.nasa.gov/html/ow_data.html#7 Enerji Yüklü Parçacıklar ve Proton Akısı. 24 Mart 2014.
- URL-12, <ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/SPE.txt> Proton Akısı. 24 Mart 2014.
- URL-13, <http://spaceweather.uma.es/solarstorms.html> Güneş Fırtınaları. 27 Mart 2014.
- URL-14, <http://www.swpc.noaa.gov/impacts/hf-radio-communications> Radyo Sinyallerindeki Bozulmalar. 28 Mart 2014.
- URL-15, <http://www.carnicominstitute.org/articles/solar1.htm> Proton Yoğunluğu. 29 Mart 2014.
- URL-16, <http://www.spaceweather.ca/solarflux/sx-3-en.php> Güneş Akısı İndisi (F10.7cm). 30 Mart 2014.
- URL-17, <http://spaceweather.com/glossary/sunspotnumber.html> Güneş Lekesi Sayısı. 30 Mart 2014.
- URL-18, <http://www.spaceweather.ca/solarflux/sx-1-en.php> Güneş Akısı İndisi (F10.7cm). 30 Mart 2014.
- URL-19, <https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=3407> Güneşteki Aşırı EUV Işımaları. 1 Nisan 2014.
- URL-20, <http://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-euv-irradiance> Güneşteki EUV parlamaları. 1 Nisan 2014.

- URL-21, <http://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index> Uzay İklimi Değişimlerinin Tahmini. 1 Nisan 2014.
- URL-22, <http://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index> Kp İndisi Değişimlerinin Sınıflandırılması. 1 Nisan 2014.
- URL-23, <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-interplanetary-magnetic-field-imf> Dünyanın Manyetik Alan değişimi. 2 Nisan 2014.
- URL-24, <https://spawx.nwra.com/ionoscint/maps/mapbnds.html> Jeomanyetik Enlem Bölgeleri. 3 Nisan 2014.
- URL-25, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/> 2000 Yılı ve Sonrası Seçilen Magnitudü 7'den Büyük Depremler. 19 Nisan 2014.
- URL-26, http://www.usc.edu/dept/space_science/semdownload.htm EUV Akısı (0.1-50 nm ve 26-34 nm) İndis Değerlerinin Alındığı Web Ara Yüzü. 17 Ağustos 2014.
- URL-27, <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> Solar Aktivite (F10.7cm), Jeomanyetik Fırtına (Kp), Jeomanyetik Aktivite (Dst), Manyetik Alan (Bx, By, Bz), Plazma Yoğunluğu ve Parçacık Akısı İndis Değerlerinin Alındığı Web Ara Yüzü. 17 Ağustos 2014.
- URL-28, <ftp://ftp.igs.org/pub/product/> Hassas Uydu Yörünge Koordinatlarına Ait Verilerin Alındığı Bağlantı Adresi. 30 Temmuz 2014.
- URL-29, <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov> GPS Gözlemlerine Ait Verilerin Alındığı Bağlantı Adresi. 30 Temmuz 2014.
- URL-30, <ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/products/ionosphere/> GPS Uyduları ve GIM-TEC Haritalarına Ait Verilerin Alındığı Bağlantı Adresi. 30 Temmuz 2014.
- URL-31, <https://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> IGS Tarafından Hesaplanan Kıtalar Üzerindeki TEC Kestirimlerinin Doğruluğu. 30 Temmuz 2014.
- URL-32, http://www.iris.edu/hq/programs/education_and_outreach/animations/2 Fay Türleri. 22 Kasım 2014.
- URL-33, <https://www2.usgs.gov/faq/categories/9838/3312> Fay Türleri. 22 Kasım 2014.
- URL-34, ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/hazards/cdroms/geohazards_v1/document/647010.htm Fay Türlerinin Deprem Sonrası Ortaya Çıkan Fay Yüzeyleri. 22 Kasım 2014.
- URL-35, <http://space.about.com/od/Space-and-Astronomy-Research/fl/The-Stormy-Sun-Earth-Connection.htm> Güneş rüzgarları, jeomanyetik fırtınalar görseli. 22 Kasım 2014.

- URL-36, <http://www.studynotes.ie/junior-cert/geography-jc/the-restless-earth-revision/> Konveksiyon akımı ve tektonik plaka hareketleri. 22 Kasım 2014.
- URL-37, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/2f.html> Son yüzyılda tektonik plaka sınırlarında gerçekleşen depremler. 22 Kasım 2014.
- URL-38, http://pages.erau.edu/~ericksol/courses/sp300/sp300_earth_magnetic_field.html Yüzük akımı oluşumu. 25 Ocak 2014.
- URL-39, <https://www2.ucar.edu/atmosnews/news/907/more-solar-cycle-sunspots-sun-also-bombards-earth-high-speed-streams-wind> Güneş lekeleri ile orantılı artan güneş akısı. 25 Ocak 2014.
- URL-40, <http://www.universetoday.com/61200/earths-layers/> Yerkürenin katmanları. 25 Ocak 2014.
- URL-41, <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~demirbag/ders4.pdf> Hünkar Demirbağ, Hacettepe Üniversitesi, Faylar ve Kıvrımlar ders notları, 23 Eylül 2014.
- URL-42, <http://uraha.de/de/?p=250> Depremler nasıl gerçekleşir. 3 Eylül 2016.
- URL-43, <http://www.parrotgraphics.com/seismic.htm> Parrot graphics web sayfası. 3 Eylül 2016.
- URL-44, <http://www.jeofizikmuhendisleri.com/makaleler/> Deprem parametreleri. 3 Eylül 2016
- Vellinov, P., I., Spassov, Chr. W. ve Kolev, S., I., 1992. Ionospheric Effects of Lightning during the Increasing Part of Solar Cycle 22. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 534, 10, 1347-1353.
- Vitinsky, Y., I., Kopecky, M. ve Kuklin, G., V., 1986. Statistics of Sunspot Activity (in Russian), Nauka, Moscow, 397.
- Warnant R., 1997. Reliability of the TEC Computed Using GPS Measurements - The Problem of Hardware Biases, Acta Geod. Geoph. Hung., 32, 3-4, 451-459.
- Wild, U., 1994. Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modeling and Monitoring, PhD Thesis, Geodatisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Vol. 48.
- Wu, C., -C., Fry, C., D., Liu, J., -Y., Liou, K. ve Tseng, C., -L., 2004. Annual TEC Variation in the Equatorial Anomaly Region during the Solar Minimum: September 1996-August 1997, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 66, 3-4, 199-207.
- Wyss, M., 1997. Second Round of Evaluations of Proposed Earthquake Precursors, Pure and Applied Geophysics, 149, 3-16.

- Xu, T., Chen, Z., Li, C. ve Wu, Z., -S., 2011. GPS Total Electron Content and Surface Latent Heat Flux Variations before the 11 March 2011 M9.0 Sendai Earthquake, Advances in Space Research, 48, 8, 1311-1317.
- Yadav, K., S., Karia, S., P. ve Pathak, K., N., 2016. Removal of Solar Radiation Effect Based on Nonlinear Data Processing Technique for Seismo-Ionospheric Anomaly Before Few Earthquakes, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7, 3, 1147-1161.
- Yao, Y., B., Chen, P., Zhang, S., Chen, J., J., Yan, F. ve Peng, W., F., 2012a. Analysis of Pre-Earthquake Ionospheric Anomalies before the Global M = 7.0+ Earthquakes in 2010, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 575-585.
- Yao, Y., B., Chen, P., Wu, H., Zhang, S. ve Peng, W., F., 2012b. Analysis of Ionospheric Anomalies before the 2011 Mw = 9.0 Japan Earthquake, Chin. Sci. Bull., 57, 500-510.
- Zakharenkova, I., E., Shagimuratov, I., I., Krankowski, A. ve Lagovsky, A., F., 2007. Precursory Phenomena Observed in the Total Electron Content Measurements before Great Hokkaido Earthquake of September 25, 2003 (M = 8.3), Stud Geophys Geod., 51, 267, doi:10.1007/s11200-007-0014-7.
- Zakharenkova, I., E., Shagimuratov, I., I., Tepenitzina, N., Y. ve Krankowski, A., 2008. Anomalous Modification of the Ionospheric Total Electron Content Prior to the 26 September 2005 Peru Earthquake, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 70, 15, 1919-1928.
- Zhao, B., Wang, M., Yu, T., Xu, G., Wan, W. ve Liu, L., 2010. Ionospheric Total Electron Content Variations Prior to the 2008 Wenchuan Earthquake, International Journal of Remote Sensing, 31, 13, 3545-3557.
- Zhu, F., Zhou, Y. ve Wu, Y., 2013. Anomalous Variation in GPS TEC Prior to the 11 April 2012 Sumatra Earthquake, Astrophys Space Sci., 345, 231-237.
- Zolesi, B. ve Cander, L., R., 2014. Ionospheric Prediction and Forecasting, Springer Geophysics. ISBN 978-3-642-38429-5. Berlin: Springer-Verlag, 240.

8. EKLER

Tablo 41. 2012, Kolombiya, San Agustin depremi (Mw=7.3) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30	10/1	10/2	10/3	10/4	10/5
GA	F10.7												+		+	+						
	EUV(1-50nm)												+		+	+						
	EUV(26-34nm)												+		+	+						
JA JF	Kp					+												+				
	Dst (nT)					+											+	+				
MA	Bx (nT)					+	+						+					+				
	By (nT)					+	+						+					+				
	Bz (nT)					+	+						+					+	+			
PY PA	N _p																+	+	+			
	>1MeV																					
	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV															+						
	>30MeV															+						
	>60MeV																					
	KARAR	S	S	S	S	S			S	S	S	S	S		S						S	S

Tablo 42. 2004, Sumatra-Andaman Adaları depremi (Mw=9.1) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		12/11	12/12	12/13	12/14	12/15	12/16	12/17	12/18	12/19	12/20	12/21	12/22	12/23	12/24	12/25	12/26	12/27	12/28	12/29	12/30	12/31
GA	F10.7											+							+			
	EUV(1-50nm)																					
	EUV(26-34nm)																					
JA JF	Kp	+	+	+					+			+	+						+		+	
	Dst (nT)			+																		
MA	Bx (nT)	+	+	+			+					+	+			+	+		+			+
	By (nT)		+	+	+		+					+				+	+				+	
	Bz (nT)		+	+			+					+	+			+		+	+		+	
PY PA	N _p		+				+					+	+			+					+	
	>1MeV																					
	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
	KARAR					S		S		S	S			S	S					S		

Tablo 45. 2013, Doğu İran depremi (Mw=7.7) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		4/1	4/2	4/3	4/4	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	4/10	4/11	4/12	4/13	4/14	4/15	4/16	4/17	4/18	4/19	4/20	4/21
GA	F10.7										+											
	EUV(.1-50nm)											+										
	EUV(26-34nm)											+										
JA JF	Kp						+															
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)											+			+	+						
	By (nT)						+					+			+	+						
	Bz (nT)							+				+			+	+						
PY	N _p														+							+
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV											+	+									+
	>30MeV											+	+									
	>60MeV											+	+									
KARAR		S	S	S	S	S			S	S				S			S	S	S	S	S	

Tablo 46. 2013, Güneybatı Pakistan depremi (Mw=7.7) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		9/9	9/10	9/11	9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29
GA	F10.7														+			+				
	EUV(.1-50nm)														+			+				
	EUV(26-34nm)														+			+				
JA JF	Kp																+					
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)				+																	
	By (nT)				+					+							+					
	Bz (nT)				+					+												
PY	N _p									+							+					
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S	S	S		S	S	S	S		S	S	S	S		S			S	S	S	S

Tablo 47. 2011, Güneybatı Pakistan depremi (Mw=7.2) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23
GA	F10.7	+																			+	
	EUV(.1-50nm)					+														+		
	EUV(26-34nm)					+														+		
JA JF	Kp				+	+																
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)	+				+						+										
	By (nT)	+				+																
	Bz (nT)	+				+																
PY	N _p	+			+										+							
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR			S	S			S	S	S	S	S		S	S		S	S	S	S			S

Tablo 48. 2008, Doğu Siçuan, Çin depremi (Mw=7.9) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		4/27	4/28	4/29	4/30	5/1	5/2	5/3	5/4	5/5	5/6	5/7	5/8	5/9	5/10	5/11	5/12	5/13	5/14	5/15	5/16	5/17
GA	F10.7																				+	
	EUV(.1-50nm)					+															+	
	EUV(26-34nm)					+															+	
JA JF	Kp				+		+															
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)							+													+	
	By (nT)						+															
	Bz (nT)																					
PY	N _p				+											+				+	+	
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S	S	S					S	S	S	S	S	S	S		S	S	S			S

Tablo 49. 2008, Sincan-Uygur depremi (Mw=7.2) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25
GA	F10.7																					+
	EUV(.1-50nm)																					
	EUV(26-34nm)																					
JA JF	Kp					+																
	Dst (nT)					+																
MA	Bx (nT)				+	+													+			
	By (nT)				+	+																
	Bz (nT)				+	+													+			
PY	N _p				+	+																
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S	S	S			S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		S	S	

Tablo 50. 2005, Kuzey Pakistan depremi (Mw=7.6) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30	10/1	10/2	10/3	10/4	10/5	10/6	10/7	10/8	10/9	10/10	10/11	10/12	10/13
GA	F10.7				+								+									
	EUV(.1-50nm)				+									+					+			+
	EUV(26-34nm)				+									+					+			+
JA JF	Kp																+					
	Dst (nT)																+					
MA	Bx (nT)			+	+				+								+					
	By (nT)			+	+				+							+	+					
	Bz (nT)			+					+							+	+					
PY	N _p		+	+	+	+	+		+							+	+					
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S						S		S	S	S			S			S		S	S	

Tablo 51. 2003, Güneybatı Sibirya depremi (Mw=7.3) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30	10/1	10/2
GA	F10.7													+				+			+	
	EUV(.1-50nm)													+						+		
	EUV(26-34nm)													+						+		
JA JF	Kp					+	+	+	+	+												
	Dst (nT)						+	+	+					+	+							
MA	Bx (nT)	+				+	+		+					+						+	+	+
	By (nT)					+	+					+	+	+	+					+	+	+
	Bz (nT)					+	+						+	+							+	+
PY	N _p				+	+														+	+	
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR			S	S							S					S	S		S			

Tablo 52. 2011, Büyük Tokyo depremi (Mw=9.0) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		2/24	2/25	2/26	2/27	2/28	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16
GA	F10.7													+								+
	EUV(.1-50nm)													+								+
	EUV(26-34nm)													+								+
JA JF	Kp						+	+								+	+	+				
	Dst (nT)						+	+								+	+	+				
MA	Bx (nT)						+											+				
	By (nT)		+				+	+					+		+	+	+	+		+		
	Bz (nT)		+				+									+	+	+			+	+
PY	N _p					+	+									+	+					
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV													+	+	+	+					
	>30MeV													+	+	+	+					
	>60MeV																					
KARAR		S		S	S				S	S	S	S							S			

Tablo 53. 2006, Koryakiya Rusya depremi (Mw=7.6) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	4/10	4/11	4/12	4/13	4/14	4/15	4/16	4/17	4/18	4/19	4/20	4/21	4/22	4/23	4/24	4/25
GA	F10.7							+						+								
	EUV(.1-50nm)					+						+										
	EUV(26-34nm)					+						+										
JA JF	Kp	+				+					+	+							+			
	Dst (nT)	+				+					+	+										
MA	Bx (nT)	+	+			+				+	+							+	+			
	By (nT)	+	+			+				+	+						+	+	+			
	Bz (nT)	+	+			+				+	+						+	+	+			
PY	N _p	+				+				+								+				
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR				S	S		S		S				S		S	S				S	S	S

Tablo 54. 2013, Othosk depremi (Mw=8.3) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		5/9	5/10	5/11	5/12	5/13	5/14	5/15	5/16	5/17	5/18	5/19	5/20	5/21	5/22	5/23	5/24	5/25	5/26	5/27	5/28	5/29
GA	F10.7					+	+									+						
	EUV(.1-50nm)					+										+						
	EUV(26-34nm)					+										+						
JA JF	Kp										+						+	+				
	Dst (nT)										+							+				
MA	Bx (nT)						+	+			+	+	+			+		+	+			
	By (nT)					+		+	+	+	+	+				+	+	+	+			
	Bz (nT)					+	+	+	+		+	+	+				+	+				
PY	N _p							+	+	+	+		+		+							
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV							+	+	+	+		+									
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S	S	S	S									S						S	S	S

Tablo 55. 2007, Kuril Adaları depremi (Mw=8.1) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		12/29	12/30	12/31	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18
GA	F10.7					+							+					+				
	EUV(.1-50nm)						+						+			+						
	EUV(26-34nm)						+						+			+						
JA JF	Kp				+	+													+	+	+	+
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)				+	+								+				+	+	+		
	By (nT)				+	+	+						+	+	+			+	+	+		
	Bz (nT)				+	+	+											+	+	+		
PY	N _p		+	+	+								+						+			
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S						S	S	S	S	S										

Tablo 56. 2003, Hokkaido depremi (Mw=8.3) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		9/10	9/11	9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30
GA	F10.7	+								+			+			+				+		
	EUV(.1-50nm)								+				+			+					+	
	EUV(26-34nm)								+				+			+					+	
JA JF	Kp	+						+	+	+	+	+				+	+					
	Dst (nT)								+	+	+					+	+					
MA	Bx (nT)	+		+				+	+	+	+					+						+
	By (nT)	+						+	+	+			+	+		+	+					+
	Bz (nT)	+						+	+						+	+		+				
PY	N _p						+	+														
	>1MeV								+	+												
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR			S		S	S													S			

Tablo 57. 2006, Kuril Adaları depremi (Mw=8.3) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		10/31	11/1	11/2	11/3	11/4	11/5	11/6	11/7	11/8	11/9	11/10	11/11	11/12	11/13	11/14	11/15	11/16	11/17	11/18	11/19	11/20
GA	F10.7			+					+			+					+					
	EUV(.1-50nm)			+						+								+				
	EUV(26-34nm)			+						+								+				
JA JF	Kp										+	+						+				
	Dst (nT)											+										
MA	Bx (nT)										+	+					+		+			+
	By (nT)										+	+					+		+	+	+	
	Bz (nT)										+	+					+				+	+
PY	N _p				+	+					+											
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S	S				S	S					S	S	S	S						

Tablo 58. 2006, Mozambik depremi (Mw=7.0) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		2/7	2/8	2/9	2/10	2/11	2/12	2/13	2/14	2/15	2/16	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23	2/24	2/25	2/26	2/27
GA	F10.7	+																				
	EUV(.1-50nm)	+																				
	EUV(26-34nm)	+																				
JA JF	Kp														+							
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)				+	+									+						+	
	By (nT)				+	+			+	+				+	+						+	
	Bz (nT)	+							+	+					+						+	
PY	N _p	+	+		+	+								+	+						+	+
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR				S			S	S			S	S	S			S		S	S	S		

Tablo 59. 2010, Ekvador depremi (Mw=7.1) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		7/28	7/29	7/30	7/31	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17
GA	F10.7	+						+		+		+		+						+		
	EUV(.1-50nm)							+						+					+			
	EUV(26-34nm)							+						+					+			
JA JF	Kp								+	+												
	Dst (nT)								+	+												
MA	Bx (nT)							+	+				+						+		+	
	By (nT)							+	+													
	Bz (nT)							+	+	+			+	+								
PY	N _p								+													
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV							+											+			
	>30MeV							+											+			
	>60MeV																					
KARAR			S	S	S	S	S				S				S	S	S	S				S

Tablo 60. 2011, Kuzey Peru depremi (Mw=7.0) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	8/29
GA	F10.7									+					+							
	EUV(.1-50nm)									+						+						
	EUV(26-34nm)									+						+						
JA JF	Kp																					
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)						+	+						+	+	+				+	+	+
	By (nT)						+	+							+	+						
	Bz (nT)						+								+	+						+
PY	N _p						+															
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV	+																				
	>30MeV	+																				
	>60MeV	+																				
KARAR			S	S	S	S			S		S	S	S				S	S	S			

Tablo 61. 2005, Kuzey Peru depremi (Mw=7.5) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		9/11	9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20	9/21	9/22	9/23	9/24	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29	9/30	10/1
GA	F10.7		+			+																
	EUV(.1-50nm)	+						+									+					
	EUV(26-34nm)	+						+									+					
JA JF	Kp	+	+	+																		
	Dst (nT)	+	+	+	+	+	+		+													
MA	Bx (nT)	+	+	+		+										+	+	+			+	
	By (nT)	+	+	+		+						+	+			+	+				+	+
	Bz (nT)		+	+		+										+					+	
PY	N _p												+		+	+	+	+	+		+	
	>1MeV	+																				
PA	>2MeV	+																				
	>4MeV	+																				
	>10MeV	+																				
	>30MeV	+																				
	>60MeV	+																				
KARAR										S	S			S						S		

Tablo 62. 2003, Amazon Brezilya depremi ($M_w=7.1$) uzay iklim koşulları analizi

[illegible]

Tablo 63. 2007, Pisco Peru depremi (Mw=8.0) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		7/31	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20
GA	F10.7				+									+		+				+		+
	EUV(.1-50nm)				+										+	+				+		
	EUV(26-34nm)				+										+	+				+		
JA JF	Kp							+	+			+										
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)		+					+	+			+					+	+			+	
	By (nT)		+					+	+			+						+	+		+	
	Bz (nT)							+				+										
PY	N _p							+				+				+	+					
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR		S		S		S	S			S	S		S									

Tablo 64. 2011, Santiago Del Estero Arjantin depremi (Mw=7.0) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		12/16	12/17	12/18	12/19	12/20	12/21	12/22	12/23	12/24	12/25	12/26	12/27	12/28	12/29	12/30	12/31	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5
GA	F10.7								+			+				+				+		
	EUV(.1-50nm)	+							+			+							+			
	EUV(26-34nm)	+							+			+							+			
JA JF	Kp																					
	Dst (nT)																					
MA	Bx (nT)					+						+	+	+					+	+	+	
	By (nT)				+	+					+	+		+	+	+			+	+	+	
	Bz (nT)					+								+					+	+		
PY	N _p				+	+					+			+					+	+		
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR			S	S			S	S		S								S				S

Tablo 65. 2005, Kuzey Şili depremi (Mw=7.8) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		5/29	5/30	5/31	6/1	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14	6/15	6/16	6/17	6/18
GA	F10.7			+									+							+		
	EUV(.1-50nm)				+								+							+		
	EUV(26-34nm)				+								+							+		
JA JF	Kp	+	+					+								+	+	+	+	+	+	
	Dst (nT)		+	+												+	+					
MA	Bx (nT)	+	+	+				+	+							+			+	+	+	
	By (nT)	+	+	+		+		+	+	+	+					+	+	+	+	+		+
	Bz (nT)	+	+			+		+			+					+	+	+	+	+	+	
PY	N _p	+						+								+						
PA	>1MeV																		+	+	+	
	>2MeV																		+	+	+	
	>4MeV																				+	
	>10MeV																				+	
	>30MeV																				+	
	>60MeV																				+	
KARAR							S					S		S	S							

Tablo 66. 2010, O'Higgins Bölgesi, Şili depremi (Mw=7.0) uzay iklim koşulları analizi

[illegible]

Tablo 67. 2010, Maule, Şili depremi (Mw=8.8) uzay iklim koşulları analizi

Zaman (Ay/Gün)		2/12	2/13	2/14	2/15	2/16	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23	2/24	2/25	2/26	2/27	2/28	3/1	3/2	3/3	2/12
GA	F10.7	+					+						+									+
	EUV(.1-50nm)		+				+						+									
	EUV(26-34nm)		+				+						+									
JA JF	Kp				+																	
	Dst (nT)				+	+																
MA	Bx (nT)					+		+	+	+									+	+		
	By (nT)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+				+			+
	Bz (nT)	+	+	+	+	+		+	+						+				+	+		+
PY	N _p																		+			
	>1MeV																					
PA	>2MeV																					
	>4MeV																					
	>10MeV																					
	>30MeV																					
	>60MeV																					
KARAR														S		S		S			S	

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Ulukavak 1984 Çorum’ da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Kırıkkale’de tamamladı. 2008 yılında KTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2009 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmalarına başladı ve 2010 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü’ deki Yüksek Lisans çalışmalarını yüksek onur belgesi ile tamamladı. 2013 yılında evlendi. 2010 yılından itibaren sürdürdüğü Doktora çalışmaları kapsamında ERASMUS programı dâhilinde Viyana Teknik Üniversitesi’nde (Avusturya) çalışmalar yaptı. Dünyanın atmosfer ve yer bilimleri dalında sayılı meslek birliklerinden IUGG ve EGU’ nin birçok sempozyumuna katılmış, çalışmalar sunmuştur. Bilgiye ulaşmanın çok çalışma, azmetme ve inançla gerçekleşeceğine inanan Mustafa Ulukavak, öğrenmeye ve bildiklerini paylaşmaya devam etmektedir. Seçili bazı yayınları aşağıda verilmiştir.

Ulukavak, M. ve Yalcinkaya, M., 2016. Observed TEC Anomalies by GNSS Sites Preceding the Aegean Sea Earthquake of 2014, UCTEA, Chamber of Surveying and Cadastre Engineers Journal of Geodesy and Geoinformation, Vol.3, Iss.1, 19-27, November 2016, Journal No.108, Doi: 10.9733/jgg.280216.1 (EN – TR).

Ulukavak, M. ve Yalcinkaya, M., 2016. Uzay İklim Koşullarının İyonosferik Toplam Elektron İçeriği Değişimlerine Etkisinin Araştırılması, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 19-21 Ekim 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Ulukavak, M. ve Yalcinkaya, M., 2016. Precursor analysis of ionospheric GPS-TEC variations before the 2010 M7.2 Baja California earthquake, Geomatics, Natural Hazards and Risk, DOI: 10.1080/19475705.2016.1208684.

Ulukavak, M. ve Yalcinkaya, M., 2016a. Investigation of the TEC Changes in the vicinity of the earthquake preparation zone. EGU General Assembly Conference, 17-22 April, Vienna, Austria.

Ulukavak, M. ve Yalcinkaya, M., 2016b. Investigation of the effects of solar and geomagnetic changes on the total electron content: mid-latitude region. EGU General Assembly Conference, 17-22 April, Vienna, Austria.

Ulukavak, M. ve Yalcinkaya, M., Kazanci SZ, Tanır Kayikci ET. 2015. Investigation of Total Electron Content Variations Before the Aegean Sea Earthquake (24.05.2014 Mw 6.9). 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG); 22 June-2 July; Prague, Czech Republic.