

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEPREM KAYNAKLI İYONOSFERİK ANOMALİLERİN İNCELENMESİ

Osman Batur ÇELİK

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPREM KAYNAKLI İYONOSFERİK ANOMALİLERİN İNCELENMESİ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ

Bu çalışmada Türkiye'deki deprem aktivitesinin öncülü olabilecek iyonosferik anomalileri belirlemede GPS verilerinin kullanımını ve iyonosferdeki değişimleri anlamak amacıyla yapılan araştırmaları kapsamaktadır. Alaska depreminden günümüze kadar olan süreçte deprem ve atmosfer arasındaki ilişkinin incelenmesinde GPS teknolojisinin jeodezik ölçümler, kinematik nesne izleme ve gerçek zamanlı navigasyon uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Araştırma, GPS Toplam Elektron İçeriği (TEİ) ölçümleri kullanılarak iyonosferdeki değişimleri belirleme yöntemlerini ele almaktadır. Uygulama aşamasında önce 2017 – 2023 yılları arasında 20.07.2017, 12.06.2017, 08.08.2019, 30.10.2020, 24.01.2020, 06.02.2023 tarihlerinde gerçekleştirmiş büyüklüğü altı'dan büyük olan ($M_w > 6$) depremler belirlenmiştir. GNSS uyduları aracılığıyla Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) istasyonları tarafından kaydedilen veriler kullanılmıştır. Depremlerin potansiyel öncül belirtileri olarak kabul edilebilecek iyonosferik anomalilerin tespiti için geliştirilen bir yaklaşım üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda, IONOLAB adlı web servisi üzerinden sağlanan IONOLAB-TEC yazılımı kullanılarak TEİ tahminleri ve bu tahminleri düzenleme amacıyla kullanılan yazılımlar açıklanmıştır. Bu çalışma, jeodezik ölçümler, GPS teknolojisi ve iyonosferik değişimlerin birleşimini içeren geniş bir disiplinler arası araştırma alanını temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar, hem jeodezik ölçümlerle deprem analizine hem de GPS teknolojisinin iyonosferdeki değişimleri belirleme potansiyeline katkıda bulunmaktadır. Sonuç olarak depremden hemen sonra ani yükseliş ve alçalış gözlenmekle birlikte, bunların her istasyonda aynı şekilde gözlenmediği ayrıca yapılan iyonosferik gözlemlerin ve toplam elektron içeriğindeki değişimlerin doğrudan incelenen depremler ile ilişkilendirilememiştir.

Ocak 2024, 139 sayfa

Anahtar Kelimeler: GNSS, İyonosfer, TEİ, Deprem Öncü Sinyalleri

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF EARTHQUAKE-INDUCED IONOSPHERIC ANOMALIES

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ

This study focuses on the use of GPS data to identify ionospheric anomalies that may serve as precursors to seismic activity in Turkey and investigates changes in the ionosphere. The research encompasses the period from the Alaska earthquake to the present day, examining the relationship between earthquakes and the atmosphere through studies on GPS technology, geodetic measurements, kinematic object tracking, and real-time navigation applications. The study addresses methods for determining changes in the ionosphere using GPS Total Electron Content (TEC) measurements. In the application phase, earthquakes with a magnitude greater than six ($M_w > 6$) that occurred between 2017 and 2023, specifically on 20.07.2017, 12.06.2017, 08.08.2019, 30.10.2020, 24.01.2020, and 06.02.2023, were identified. Data recorded by the Turkey National Fixed GSS Network-Active (TUSAGA-Active) stations through GNSS satellites were utilized. The study emphasizes a novel approach developed to detect ionospheric anomalies that could potentially serve as precursors to earthquakes. In this context, the IONOLAB-TEC software provided through the IONOLAB web service was employed for TEC predictions, and the software used for editing these predictions was explained. This research represents a broad interdisciplinary field encompassing geodetic measurements, GPS technology, and ionospheric changes. The results contribute to both seismic analysis through geodetic measurements and the potential of GPS technology to determine changes in the ionosphere. Ultimately, sudden rises and falls were observed immediately after earthquakes; however, it was noted that these observations were not uniform across all stations. Furthermore, direct correlations between the observed ionospheric changes and the earthquakes under consideration could not be established.

January 2024, 139 pages

Keywords: GNSS, Ionosphere, TEC, Earthquake Precursor Signals

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bana yol gösteren, beraber çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca mesleki tecrübesinden yararlandığım süre boyunca gösterdiği hoşgörü, sabır ve destek için değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ'ya içtenlikle teşekkür ederim. Araştırma sürecinde, bu yolda yanımda olan sevgili annem Şerife ÇELİK'e, babam Hasan ÇELİK'e, kardeşim Şule ÇELİK'e ve ayrıca süre boyunca yardımları ile beni destekleyen sevgili arkadaşlarım Tuğçe BİLGİÇ'e, İnan ÖZDAŞDELEN'e, Doğukan OSKAY'a, ayırdığı vakitten dolayı İrem KÖZ'e, değerli dostlarıma minnettarlığımı ifade etmek isterim. Ailem ve arkadaşlarımla sürekli motivasyonları, destekleri ve anlayışları, bu uzun soluklu çalışma sürecinde beni ileriye taşıyan önemli unsurlardan biri oldu. Bu noktada, aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, UDAP-Ç-19-32 numaralı "İyonosferik Anomaliler İle Deprem Öncesi Ve Sonrası İlişkisinin İncelenmesi" projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu projenin destek ve katkıları, araştırma sürecini daha verimli kılmamda etkili oldu. Bu vesileyle, proje sürecinde beni destekleyen Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ'ya, Prof. Dr. Bülent KAYPAK'a ve Dr. Öğr. Üyesi Begüm KOCA'ya ve ayrıca Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) kurumuna teşekkür ederim.

Görüşlerinden ve ayırdığı vakitten ötürü sayın Doç. Dr. Kamil TEKE'ye teşekkür ederim.

Son olarak bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Osman Batur ÇELİK
Ankara, Ocak 2024

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. İYONOSFER.....	13
3.1 İyonosfer Değişimlerine Sebep Olan Faktörler	14
3.1.1 Coğrafi konum.....	15
3.1.2 Gece-Gündüz döngüsü	15
3.1.3 Mevsimler.....	19
3.1.4 Güneş lekeleri	21
3.1.5 Manyetik fırtına.....	22
3.1.6 Deprem	24
3.2 Türkiye'nin Depremselliği.....	26
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
4.1 Materyal	29
4.2 Yöntem	32
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	37
5.1 12.06.2017 Ege Denizi Depremi.....	39
5.2 21.07.2017 Gökova Depremi.....	53
5.3 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi	63
5.4 24.01.2020 Elazığ -Kalaba Depremi.....	78
5.5 30.10.2020 Ege Denizi Depremi.....	88
5.6 02.06.2023 Maraş Depremleri	104
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	133
KAYNAKLAR	135
ÖZGEÇMİŞ.....	139

SİMGELER DİZİNİ

L	Taşıyıcı Faz Ölçümü
P	Kod Ölçümü
ρ	Gnss Uydu ile Alıcı Arasındaki Gerçek Mesafe
d_{ion}	İyonosferik Gecikme
d_{Trop}	Troposferik Gecikme
c	Vakum Ortamında Işık Hızı
τ	Uydu Ve Alıcının Saat Hatası
b	Cihaz Faz İlerlemesi
d	Cihaz Kod Gecikmesidir
N	Taşıyıcı Fazın Belirsizliği
Λ	Dalga Boyu
E	Epsilon
P	Gerçek Mesafe
T	Saat Hatası
R	Yerin Yarıçapı

Kısaltmalar

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CHAMP	Challenging Minisatellite Payload
CSR	California Spatial Reference Center
DCB	Differential Code Biases
DsT	Jeomanteyik Fırtına İndeksi
FAI	Faraday Anomaly Index
F10.7cm	10.7 cm dalga boyundaki güneş radyosu akısı
FACS	Çapraz Saçılma Alanı
FALS	Hızlı Saçılma Alanı
GEONET	Global Navigation Satellite System Earth Observation Network
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
H	Yükseklik
IMF	Interplanetary Magnetic Field
IGW	İç Yerçekimi Dalgaları
IFB	Inter-frequency biases
Kp	Kp İndeksi
LAIC	Litosfer-Atmosfer-İyonosfer Birleşimi
LEO	Low Earth Orbit
MHz	Megahertz
Mw	Moment Magnitüdü
P1	Birinci frekans için kod ölçümü
P2	İkinci frekans için kod ölçümü

PNT	Konumlandırma, Navigasyon Ve Zamanlama
R	Güneş Diskindeki Koyu Lekelerin Sayısı
SAC-C	Scientific Applications Satellite-C
SLIM	Single Layer Ionosphere Model
SOPAC	Scripps Orbit and Permanent Array Center
STEC	Slant Total Electron Content
TEİ	Toplam Elektron İçeriği
TEİB	Toplam Elektron İçeriği Birimi
TEC	Total Electron Count
TUSAGA-Aktif	Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları
UT	Evrensel Zaman
vd.	ve diğerleri
VTEC	Vertical Total Electron Content



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Atmosfer ve İyonosferin Katmanları	14
Şekil 3.2 Enlem ve Boyamlar (Özçağlar 2016)	15
Şekil 3.3 Gece-Gündüz döngüsü ve İyonosfer.....	16
Şekil 3.4 19/02/2014 tarihi ait TEİ haritaları	18
Şekil 3.5 Mevsimler döngüler (Jonobo 2009).....	19
Şekil 3.6 2014 yılına günlük TEİ değerleri.....	20
Şekil 3.7 Yıl içerisindeki TEC değişimleri	21
Şekil 3.8 Güneş döngüsü (NASA)	22
Şekil 3.9 Jeomanyetik fırtınaya ait X ışını görüntüsü (NASA)	23
Şekil 3.10 LAIC modeline ait şematik gösterim (Köz İ. 2022)	24
Şekil 3.11 Tohoku depremi sonrası TEİ'de meydana gelen değişimler (NASA)	25
Şekil 3.12 Türkiye levha sınırları (Bird 2003) ve Faylar (MTA 2013) haritası.....	26
Şekil 3.13 GPS Hız vektörleri haritası (McClusky vd. 2000).....	27
Şekil 3.14 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2019).....	27
Şekil 4.1 Çalışma kapsamında kullanılan depremlerin lokasyonları	30
Şekil 4.2 TUSAGA-Aktif istasyon haritası.....	31
Şekil 4.3 TEİ gözlemine ait grafik (Bülbül 2020)	33
Şekil 4.4 Tek Katman İyonosfer Modeli (Single Layer Ionosphere Model - SLIM)	34
Şekil 4.5 Diferansiyel Kod Yanlılıkları (DCB).....	36
Şekil 5.1 Veri işleme sürecine ait akış diyagramı	38
Şekil 5.2 12.06.2017 Ege Denizi Depremi.....	39
Şekil 5.3 12.06.2017 Ege Denizi Depremi kullanılan istasyonlar haritası	40
Şekil 5.4 AYVL istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram	42
Şekil 5.5 IZMI istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	43
Şekil 5.6 KİKA istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram	43
Şekil 5.7 SALH istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	44
Şekil 5.8 AYVL istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri.....	44
Şekil 5.9 AYVL istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	45
Şekil 5.10 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	45
Şekil 5.11 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	46
Şekil 5.12 KİKA istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	46
Şekil 5.14 SALH istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	47
Şekil 5.13 KİKA istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri.....	47
Şekil 5.15 SALH istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	48
Şekil 5.16 IZMI istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	49
Şekil 5.17 SALH istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	49
Şekil 5.18 AYVL istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri.....	50
Şekil 5.19 KİKA istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri.....	50
Şekil 5.20 SALH istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	51
Şekil 5.21 AYVL istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri.....	51
Şekil 5.23 KİKA istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri.....	52
Şekil 5.22 IZMI istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	52
Şekil 5.24 21.07.2017 Gökova Depremi	53
Şekil 5.25 21.07.2017 Gökova Depremi için kullanılan istasyonların haritası.....	54

Şekil 5.26 DIDI istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	56
Şekil 5.27 MUG1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	57
Şekil 5.28 DATC istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri.....	57
Şekil 5.29 DATC istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	58
Şekil 5.30 DIDI istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	58
Şekil 5.31 DIDI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	59
Şekil 5.32 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	59
Şekil 5.33 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	60
Şekil 5.34 DATC istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	60
Şekil 5.35 DIDI istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	61
Şekil 5.36 MUG1 istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri.....	61
Şekil 5.37 DATC istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri.....	62
Şekil 5.38 MUG1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	62
Şekil 5.39 DIDI istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	63
Şekil 5.40 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi.....	64
Şekil 5.41 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi için kullanılan istasyonlar haritası	65
Şekil 5.42 ANTL istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	68
Şekil 5.43 DINA istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram	68
Şekil 5.44 MUG1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	69
Şekil 5.45 DNZ1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram	69
Şekil 5.46 ANTL istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	70
Şekil 5.47 ANTL istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	70
Şekil 5.48 DINA istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri.....	71
Şekil 5.49 DINA istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	71
Şekil 5.50 DNZ1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	72
Şekil 5.51 DNZ1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri.....	72
Şekil 5.52 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	73
Şekil 5.53 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	73
Şekil 5.54 ANTL istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	74
Şekil 5.55 ANTL istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	74
Şekil 5.56 DINA istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri.....	75
Şekil 5.57 DINA istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri.....	75
Şekil 5.58 DNZ1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri.....	76
Şekil 5.59 DNZ1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan VTEC değerleri.....	76
Şekil 5.60 MUG1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	77
Şekil 5.61 MUG1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan VTEC değerleri.....	77
Şekil 5.62 24.01.2020 Elazığ -Kalaba Depremi.....	78
Şekil 5.63 24.01.2020 Elazığ -Kalaba Depremi kullanılan istasyonlar haritası	79
Şekil 5.64 ELAZ istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram	81
Şekil 5.65 ADY1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	81
Şekil 5.66 ERGN istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram	82
Şekil 5.67 ADY1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	82
Şekil 5.68 ADY1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	83
Şekil 5.69 ELAZ istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri.....	83
Şekil 5.70 ELAZ istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	84
Şekil 5.71 ERGN istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	84
Şekil 5.72 ERGN istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	85
Şekil 5.73 ELAZ istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri.....	85

Şekil 5.74 ADY1 istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	86
Şekil 5.75 ERGN istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	86
Şekil 5.76 ADY1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	87
Şekil 5.77 ERGN istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	87
Şekil 5.78 ELAZ istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri.....	88
Şekil 5.79 ELAZ istasyonu IFB değerleri histogramı.....	88
Şekil 5.80 30.10.2020 Ege Denizi depremi kullanılan istasyonlar haritası	89
Şekil 5.81 DIDI istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	93
Şekil 5.82 IZMI istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	93
Şekil 5.83 MUG1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram	94
Şekil 5.84 SALH istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram.....	94
Şekil 5.85 DIDI istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	95
Şekil 5.86 DIDI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	95
Şekil 5.87 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	96
Şekil 5.88 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	96
Şekil 5.89 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	96
Şekil 5.90 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	96
Şekil 5.91 SALH istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri	96
Şekil 5.92 SALH istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	96
Şekil 5.93 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri	96
Şekil 5.94 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri.....	96
Şekil 5.95 IZMI istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	96
Şekil 5.96 MUG1 istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri.....	101
Şekil 5.97 DIDI istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri	101
Şekil 5.98 SALH istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	102
Şekil 5.99 MUG1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	102
Şekil 5.100 IZMI istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	103
Şekil 5.101 DIDI istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri	103
Şekil 5.102 06.02.2023 Maraş Depremleri için kullanılan istasyonlar	104
Şekil 5.103 06.02.2023 Maraş Depremlerinin merkez üsleri.....	105
Şekil 5.104 VIR2 istasyonu için sapma değerleri	111
Şekil 5.105 MLY1 istasyonu için sapma değerleri	112
Şekil 5.106 MAR1 istasyonu için sapma değerleri.....	112
Şekil 5.107 KLS1 istasyonu için sapma değerleri	113
Şekil 5.108 EKZ1 istasyonu için sapma değerleri	113
Şekil 5.109 HAT2 istasyonu için sapma değerleri.....	114
Şekil 5.110 ARTS istasyonu için sapma değerleri.....	114
Şekil 5.111 DIY1 istasyonu için sapma değerleri.....	115
Şekil 5.112 ADN2 istasyonu için sapma değerleri	115
Şekil 5.113 ADY1 istasyonu için sapma değerleri	115
Şekil 5.114 VIR 2, MLY1, MAR1 istasyonlarına ait VTEC değerleri.....	116
Şekil 5.115 KLS1, EKZ1, DIY1 istasyonlarına ait VTEC değerleri	117
Şekil 5.116 ARST, HAT2, ADN2 istasyonlarına ait VTEC değerleri	118
Şekil 5.117 ADY1 istasyonuna ait VTEC değerleri	119
Şekil 5.118 VIR 2, MLY1, MAR1 istasyonlarına ait VTEC değerleri.....	120
Şekil 5.119 KLS1, EKZ1, DIY1 istasyonlarına ait VTEC değerleri	121
Şekil 5.120 ARST, HAT2, ADN2 istasyonlarına ait VTEC değerleri	122
Şekil 5.121 ADY1 istasyonuna ait VTEC değerleri	123

Şekil 5.122 MAR1 istasyonuna ait VTEC değerleri	124
Şekil 5.123 MLY1 istasyonuna ait VTEC değerleri	124
Şekil 5.124 HAT2 istasyonuna ait VTEC değerleri	125
Şekil 5.125 KLS1 istasyonuna ait VTEC değerleri	125
Şekil 5.126 EKZ1 istasyonuna ait VTEC değerleri	126
Şekil 5.127 DIY1 istasyonuna ait VTEC değerleri	126
Şekil 5.128 ADY1 istasyonuna ait VTEC değerleri	127
Şekil 5.129 ADN2 istasyonuna ait VTEC değerleri	127
Şekil 5.130 HAT2 istasyonuna ait STEC değerleri	128
Şekil 5.131 VIR2 istasyonuna ait VTEC değerleri	128
Şekil 5.132 ADY1 istasyonuna ait STEC değerleri	129
Şekil 5.133 KLS1 istasyonuna ait STEC değerleri	129
Şekil 5.134 VIR2 istasyonuna ait STEC değerleri	130
Şekil 5.135 DIY1 istasyonuna ait STEC değerleri	130
Şekil 5.136 ADN2 istasyonuna ait STEC değerleri	131
Şekil 5.137 MLY1 istasyonuna ait STEC değerleri	131
Şekil 5.139 EKZ1 istasyonuna ait STEC değerleri	132
Şekil 5.138 MAR1 istasyonuna ait STEC değerleri	132

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Çalışma kapsamında kullanılan depremlere ait bilgiler.....	28
Çizelge 4.2 Depremlerin odak mekanizması çözümlerine ait sayısal değerler	29
Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan verilerin kaynakları	30
Çizelge 5.1 12.06.2017 Ege Denizi Depremi IFB değerleri	40
Çizelge 5.2 12.06.2017 Ege Denizi Depremi IFB değerleri	41
Çizelge 5.3 21.07.2017 Gökova Depremi IFB değerleri	55
Çizelge 5.4 21.07.2017 Gökova Depremi IFB değerleri	56
Çizelge 5.5 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi IFB değerleri	65
Çizelge 5.6 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi IFB değerleri	66
Çizelge 5.7 24.01.2020 Elazığ - Kalaba Depremi IFB değerleri	79
Çizelge 5.8 30.10.2020 Ege Denizi depremi IFB değerleri	90
Çizelge 5.9 30.10.2020 Ege Denizi depremi IFB değerleri	91
Çizelge 5.10 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri.....	104
Çizelge 5.11 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri.....	105
Çizelge 5.12 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri.....	106
Çizelge 5.13 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri.....	107
Çizelge 5.14 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri.....	108
Çizelge 5.15 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri.....	109

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca depremler meydana gelmiş ve bu depremler sonucunda sayısız can kaybına, ayrıca maddi kayıplara sebep olmuştur. Bilinen ilk deprem kaydı Çin'in Shandong eyaletinde MÖ 1831'e kadar uzanmaktadır, ayrıca Çin'deki Zhou Hanedanlığı döneminde MÖ 780 yılına kadar uzanan kayıtlarda bulunmaktadır (USGS 2022). Yazılı kayıtların aksine, aletsel kayıtların gelişimi ve deprem gözlemlerinde kullanılmasının tarihi yazılı kayıtlar kadar eski değildir. Tarihte ilk defa 1751 yılında bir Sarkaç Sismometre deprem kaydında kullanılmıştır (USGS 2022). Teknolojinin gelişmesi ve deprem kayıtlarında hız, ivme, yer değiştirme gibi parametrelerin gözlemlenerek, cihazların modernleşmesi ile beraber deprem ile ilgili yeni sorular ortaya çıkmıştır. Bu soruların başında gelenler ise Ne zaman ve Nerede olmuştur. Günümüzde bu sorulara doğrudan yanıt vermek mümkün olmamakla birlikte bilim insanları yakın geçmişte yapmış oldukları çalışmalar ile depremlerin önceden belirlenmesinin mümkün olup olmadığını araştırmaktadır. Deprem öncülleri olarak adlandırılan jeokimyasal (Inan vd. 2023), hidrolojik, kabuk stresi gibi yer kabuğunun altında ve üstünde meydana gelebilecek fiziksel ve kimyasal değişimlerin (Christopher vd. 1973) depremler ile olan potansiyel ilişkisinin ortaya konabilmesi bu soruları yanıtlamakta faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Doğası gereği depremler anlaşılması ve incelenmesi günümüzde teknolojinin oldukça ilerlemiş olmasına karşın geleneksel yöntemler ile beraber (sismometre, hız ve ivme ölçer) halen üzerinde çalışması zor bir konudur. Günümüzde gözlem için sismometreler kullanılmakta depremin lokasyonu, magnitudü ve odak mekanizmasının belirlenmesini sağlamaktadır. Geleneksel yöntemler ile yapılan gözlemler litosfer – iyonosfer - atmosfer çalışmalarında yeterli olamamaktadır, deprem kaynaklı hasarların azaltılması ve ardından gerçekleşen heyelan, tsunami gibi ikincil doğal olayların tespiti ve önceden uyarısının sağlanması kayıpların azaltılması adına önem taşımaktadır. Ancak küresel konumlandırma ve uydu sistemlerinin gelişmesiyle beraber, GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri) yardımıyla toplam elektron içeriğindeki değişimin hesaplanması sismo iyonosferik değişimlerin ve anomalilerin gözlenmesinde, bu sayede depremler ile iyonosfer arasındaki potansiyel ilişkinin incelenmesini mümkün kılmıştır. GNSS

sistemleri yaygın olarak konumlandırma, navigasyon ve zamanlama (PNT) için kullanılmaktadır. GNSS sinyalleri atmosfer boyunca yol alırken troposfer ve iyonosfer katmanlarında yansıma sonucu gecikmeye uğrarlar, sinyallerin geometrik yollarının uzamasına ayrıca faz ve grup hızında değişimlere sebep olur. İyonosferik gecikme frekansla ilgilidir ve çift frekanslı GNSS alıcıları, kodlar ve taşıyıcı fazlar üzerindeki modülasyonları ölçerek iyonosferik gecikmeyi veya toplam elektron içeriğini (TEİ) tahmin edebilir. Bu sayede deprem öncesi, anı ve sonrası yapılan hesaplamalar yardımıyla iyonosferik değişimlerin depremler ile olan potansiyel ilişkisi gözlemlenebilir. Bu bağlamda depremlerin atmosfer ile olan potansiyel ilişkisinin ilk defa 28 Mart 1964 yılında Mw 9.2 büyüklüğündeki Alaska depremi sonrası radyo dalgalarındaki değişimler incelenerek Davies (1965) tarafından yapılmıştır. Depremden sonra tektonik deformasyona bağlı akustik yerçekimi dalgası iyonosferin F bölgesinde saptanabilir olduğunu belirtilmiştir. Bu ön sonuçlar, fayın kopması sırasında açığa çıkan enerjinin sadece katı toprakta yayılmakla kalmayıp, aynı zamanda Dünya atmosferine ve hatta iyonosferde de yayıldığı belirtilmiştir (Jin 2015). Rayleigh dalgaları tarafından meydana getirilen akustik dalgalar oluşturdukları dikey yer değiştirme ile iyonosfere kadar yayılmaktadır. Yukarı yayılım sırasında kinetik enerjinin korunması ve atmosfer yoğunluğunun giderek azalması sebebiyle, iyonosfere ulaşan akustik dalgalar plazma yoğunluğunda ve plazma hızında değişime sebep olmaktadır, plazma yoğunluğundaki değişimler GPS yardımıyla, plazma hızındaki değişimler ise Doppler etkisi ile gözlemlenebilmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle 2017 – 2023 yılları arasında meydana gelen Mw >6 depremler içinden seçilen depremler, deprem odağına en yakın Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları (TUSAGA-Aktif) istasyonları belirlenmiş ardından istasyonlara ait çift frekanslı GNSS ölçümleri kullanılarak depreme ait farklı zaman periyotları için iyonosferik gecikmeler ve buna bağlı olarak Eğik Toplam Elektron İçeriği (TEİ) (Slant Total Electron Content) belirlenmiştir. Ardından bu Eğik Toplam Elektron İçeriği değerleri Dikey Toplam Elektron İçeriği (Vertical Total Electron Count) dönüştürülmüştür. Çalışma boyunca elde edilen bu sonuçlarda Dikey Toplam Elektron İçeriği olarak hesaplanmasının ardında görselleştirilmiştir. Dikey Toplam Elektron İçeriği (VTEC) değerleri TEİ'ye karşılık gelmektedir ve çalışma boyunca VTEC olarak

ifade edilecektir. Elde edilen bu sonuçlar yorumlanarak depremlerle olabilecek potansiyel deprem – iyonosfer ilişkisi incelenecektir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatüre baktığımızda deprem-iyonosfer ilişkisini inceleyen çalışmalar 28 Mart 1964 Alaska depremi sonrası Davies ve Baker (1965)'in yaptığı çalışmalardan başlayarak günümüze kadar uzanmaktadır. GPS sistemlerinin gelişmesi ile beraber ilk olarak Calais (1995) tarafından Northridge depreminin meydana getirdiği ionosfer anomalileri GPS yardımıyla gözlenmiştir. Ardından geçen süreçte 1999 Tayvan Mw 7.6, 2002 Denali Mw 7.9, 2004 Sumatra Mw 9.1 , 2011 Tohoku Mw 9.0, gibi lokasyonlarda meydana gelen büyük depremler sonrası yapılan çalışmalar, Toplam Elektron İçeriği (TEİ) gözlemlerinin deprem ve tsunami araştırmaları için olan önemine, ayrıca potansiyeline dikkat çekmiştir. Yapılan ve bahsi geçen akademik çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Davies ve Baker tarafından (1965) 28.03.1964 tarihi 03:35 UTC saatinde gerçekleşen Mw=9.2 büyüklüğündeki Alaska depremi incelemiş ve Boulder, Colorado'da yapılan gözlemler deprem sonrası 03:52 UTC saatinde meydana gelen ionosferik değişimlerin deprem ile olan ilişkisini ortaya koymuştur.

Ardından aynı yıl Leonard ve Barnes (1965) tarafından 1964 Alaska depremi için yapılan çalışmada, College, Alaska; Adak, Alaska; Palo Alto, California; ve Maui, Hawaii lokasyonlarında bulunan ionogramların 15 dk periyotlar ile incelenmesi sonucu ionosferin F katmanında değişimler Alaska depremi ile ilişkilendirilmiştir.

Row (1966,1967), yapmış olduğu çalışmalarla Leonard ve Barnes (1965) ve Davies ve Baker (1965) tarafından, (03:36 UT) Mart 28, 1964 tarihindeki Alaska depremi sonucu ionosferde oluşan bozulmalar hakkında bilgi yayınlamıştır. Her ikisinin de verilerinin birbirleriyle uyumlu olduğu gösterilmiştir. Büyük periyotlu bozulmaların Boulder'da Doppler kayıtlarında ve Boulder ve diğer yerlerdeki dikey ionogramlarında görülmesinin, deprem odağının yakınında ionosfere fırlatılan uzun periyotlu yönlendirilmiş akustik-gravite dalgalarının bir göstergesi olduğu önerilmektedir. Yazarlar, bu dalgaların muhtemelen deprem tarafından neden olduğunu göstermiştir ve ionosfer üzerindeki

potansiyel etkilerini tartışmıştır. Ayrıca, gözlemleri teorik modellerle karşılaştırmış ve bu tür dalgaların atmosferde yayılımını anlamaya yönelik olası sonuçları tartışılmıştır.

Calais (1995), yapmış olduğu çalışmada 17 Ocak 1994 Northridge depremi sonrası iyonosferik değişimleri GPS yardımıyla incelemiş, deprem sonrası 10 ila 30 dakika sonrasında, iyonosfer elektron içeriğindeki 10-3 dk frekans bandında anormallikler görülmüştür. Episentrdan uzaklaştıkça zaman gecikmeleri gösteren bu anomaliler, atmosferde 300 ile 600 m/s hızında yayılım gösteren bir bozulma ile uyumlu görülmüştür. Sinyal frekansı ve yayılım hızı, sismik kaynaklar tarafından uyarılan iyonosferik akustik-gravite dalgalarının sayısal modelleriyle ve önceki elektromanyetik sondajlarla iyi uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle, iyonosfer elektron içeriği üzerindeki bu bozulmaların nedeni, depremle ilişkili güçlü yer hareketlerinin iyonosferik tepkisi olarak yorumlanmıştır.

Ducic vd. (2003) 2002 tarihinde Denali ulusal parkında meydana Mw=7.9 büyüklüğündeki deprem sonrası, Kaliforniya'da bulunan yoğun GPS ağı sayesinde, Rayleigh dalgaları ile ilişkili atmosferik akustik dalgalarla meydana gelen iyonosferik bir bozulmayı tespit etti. Yapılan çalışmalar neticesinde büyük depremlerin Rayleigh dalgaları ile ilişkili elektron yoğunluğu bozulmalarını uzaktan algılamayı ve veriyi işlemenin ardından, Dünya'nın litosferinin kayma modülünün yüksek çözünürlüklü haritalarını oluşturmada kullanılabileceğini söylemektedir.

Liu vd. (2004) Tayvan'da Eylül 1999'dan Aralık 2002 tarihleri arasında meydana gelen magnitudü altıdan büyük olan yirmi depremi incelemişlerdir ($20 \text{ Mw} \geq 6.0$). Çalışmada deprem öncesi iyonosferik anomaliler, yer tabanlı GPS alıcılarından elde edilen Toplam Elektron İçeriği (TEİ) değerlerinin 15 günlük ortalaması ve çeyrekler açıklığı değerleri anormal sinyalleri belirlemekte kullanılmıştır. Sonuç olarak deprem öncesindeki 5 gün içerisinde iyonosferik anomalilerin özellikle 18:00 – 22:00 saatleri arasında meydana geldiğini ve çalışmaya konu olan 20 depremden 16 tanesinde bahsi geçen anomalilerin gözlemlendiğini, GPS tabanlı TEİ hesaplarının bu çalışma içerisinde %80 başarı oranına

sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak GPS tabanlı hesaplamalar ile TEİ'de meydana gelen değışimlerin büyük depremler öncesi anomaliler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Ping ve Heki (2005), Japonya'nın Pasifik kıyısında meydana gelen depremler sonrası iyonosfer 'de bulunan elektron içeriğinin, 4-5 dakika süren depremlerden yaklaşık 10 dk sonra yatay olarak yayıldığını (~ 1 km/sn), yayılımın kuzey-güney asimetrisi gösterdiğini ve akustik dalgalar içinde şarj edilmiş parçacıkların hareketleri ve jeomagnetik alanlar arasındaki etkileşime girdiği gözlemlenmiştir.

Heki vd. (2006), 26 Aralık 2004 tarihinde gerçekleşen Büyük Sumatra-Andaman Depremi sırasında Endonezya ve Taylanda bulunan dokuz sürekli GPS alıcı istasyonu ile kaydedilmiştir. Kayıtlar elde edilen sonuçlar göstermiştir ki Sumatra ve Andaman Adaları arasında ~ 1300 km uzunluğunda bir alanda, kırılmanın meydana getirdiği iyonosfer değışiminin, kırılma sonrası 4-5 dk zaman dilimi içerisinde gerçekleştiğinde bahsedilmiştir.

Occhipinti vd. (2006), 26 Aralık 2004 meydana gelen Sumatra depremi sonucu oluşan tsunami meydana getirdiği gravite dalgaları sebebiyle, iyonosferik plazmada değışime sebep olmuştur. Jason-1 ve Topex/Poseidon uydularından tarafından ölçülen TEİ değerleri ve 3B sayısal modelleme yardımıyla okyanus-atmosfer-iyonosfer arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Gerçek ve sentetik veri arasındaki uyum, tsunamiler için erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde, tsunamilerin izlenmesinde ve takibinde, iyonosferdeki TEİ değerlerinin kullanılmasının yeni yararlar ortaya koyabileceğini göstermiştir.

Dautermann vd. (2009), 13 Temmuz 2003 tarihinde Soufriere tepeleri yanardağında meydana gelen volkan patlaması sonrası araştırmacılar, yer kabuğunun temel modları ile atmosferin temel mod frekanslarının rezonansı sonucu meydana gelen dalga boylarının ve sinyal sürelerinin benzer olduğunu ayrıca iki veri seti içinde genliklerinin maksimum 4 mHz olduğunu görmüşlerdir.

Afraimovich vd. (2010), 12 Mayıs 06:28 UT 2008 tarihinde Wenchuan ($M_w=8.0$)’da meydana gelen deprem üzerine yapılan çalışmada GPS tarafından kaydedilen yüksek frekanslı bir şok-akustik dalga bulunmuştur. Bu dalga, Wenchuan Depremi'nin odak merkezinden yaklaşık 1000 km uzaklıktaki güneydoğu yönünde, yarım periyodu yaklaşık 200 saniye olan, yüzey dalgaları şeklinde ve hızı 580 m/s olan bir düzlem dalga cephesidir. Dalga'nın meydana getirdiği TEİ üzerindeki değişim, yer değiştirme ile paralellikler göstermektedir. Güney Kore ve Japonya gibi odak merkezinden uzak alanlarda herhangi bir dikkat çekici TEİ yanıtı bulunamamıştır.

Jin vd. (2010), 2008 Wenchuan depremi Longmenshan fay zonunda meydana gelmiştir. Çin'in sahip olduğu yoğun GPS ağı sayesinde toplanan veriler ışığında, deprem sonrası deformasyonların odak merkezine doğru hareket etmiştir, en büyük deformasyonların Wenchuan, Qingchuan ve Beichuan ilçelerinde gözlenmiştir. Beichuan ilçesinde bu deformasyon 2.3 m'ye ulaşmaktadır. GPS'den elde edilen yer değiştirmelerinin toplam momenti 2.4×10^{21} nm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu momentin 8.1 büyüklüğüne denk geldiği ve sismolojik olarak hesaplan $M_w=8.0$ ile tutarlı bulunmaktadır. Ayrıca deprem sonrası TEİ 'de meydana gelen değişimin, yayılan akustik dalga'nın 600 m/sn hızında olduğu hesaplanmıştır.

Rolland vd. (2011), 2011 Tohoku depreminin ardından tsunaminin oluşturduğu yerçekimi dalgalarının 3B sayısal modellenmesi ve Hawaii'de okyanus üzerinde gözlemlenen hava parlaması incelemiştir. Hava parlaması ile sonuçta sentetik ve gerçek verinin uyumlu olduğu, bu yeni çalışma ile deprem sonucu meydana gelen tsunamilerin atmosfer-iyonosfer gözlemleri ile tespitinin olayları önceden belirlemek adına ne kadar yararlı olabileceğini göstermiştir.

Afraimovich vd. (2011) bu makalede, Japonya'daki yoğun GPS ağı gözlemleri kullanılarak, yerel manyetik alan vektörüne göre görüş alanının açısız tarama yöntemiyle orta-enlem alan hizalı düzensizlikleri (FAI) araştırılmıştır. Bu, ilk kez 12 Şubat 2000 geomanyetik fırtınasının geri dönüş evresinde Japonya'daki GPS L2 faz kaymalarının FAI'lar tarafından hem manyetik alan hattının hizasına (hizalı saçılma alanı, FALS) ve manyetik alan hattının karşısına (çapraz saçılma alanı, FACS) olan görüş açılarının neden

olduğunu ortaya koymuştur. FALS sonuçları, CHAMP ve SAC-C gibi düşük dünya uydusu (LEO) uydularının GPS gizlenme gözlemlerinin manyetik alan yönlendirme kontrolü verileriyle de iyi bir uyum göstermektedir. GPS parıltısında büyük açılı saçılmanın rolü, diğer faktörlerle karşılaştırıldığında düzensizlik anisotropi faktörünün azalmasıyla belirlenmiştir.

Astafyeva vd. (2011) bu çalışmada, Japonya'daki GPS ağı GEONET'den elde edilen 1Hz GPS ölçümleri kullanılarak, büyük ($M_w=9.0$) Tohoku Depremi'nin jeolojik hat üzerindeki atmosferde bulunan toplam elektron içeriği (TEC) ölçümleri aracılığıyla bilgi edinilmiştir. 3/11/2011 depremi durumunda, ilk iyonosferik bozulmalar Honshu'nun doğusundaki tsunaminin varışından 17 dakika önce kaydedilmiştir. TEC bozulmanın ilk varışı, depremin 140 km doğusundaki deprem odağından 464 saniye sonra kaydedilmiştir. Bir sonraki 45 saniye içinde, iyonosferik noktaların dağılımı ($37.39-39.28^\circ$ K; $142.8-143.73^\circ$ D) ko-sismik kabuk kırılması alanıyla eşleşen dikdörtgen bir alanı görüntülemiştir. Bu kaynak bölgesinden, ko-sismik iyonosferik bozulma daha sonra 1.3-1.5 km/s hızıyla yayılmıştır. Bu hız değerleri, daha önce akustik dalgalar için rapor edilen değerlerin %30-40'ından daha yüksektir. Muhtemelen süpersonik hızla yayılan şok-akustik dalgaların gözlemlendiğini ve bu dalgalar yerden iyonosfere kadar mevcut olan tüm elektronları havaya uçurmuş olduğu düşünülmektedir. Bu, genel olarak, düşük bir süre olarak kabul edilen düzgün bir akustik dalgaının iyonosfere ulaşması için çok kısa bir süredir. Elde edilen bulgular, jeolojik olarak aktif bölgelerin gerçek zamanlı GPS izlemesinin ko-sismik kabuk değişikliklerinin parametreleri hakkında bilgi verebileceğini ve daha sonra kısa vadeli tsunami uyarıları için kullanılabileceğini göstermektedir.

Occhipinti vd. (2011), Tohoku mega-depremi sonra meydana gelen tsunami büyük miktarda veri oluşturmuştur. Ayrıca bu olay, ilk kez Hawaii'de bulunan yer-tabanlı havayı ısıltı kamerası ile tsunami ile ilgili dahili yerçekimi dalgalarının (IGW) tespit edilebileceğini göstermiştir. Tsunaminin meydana getirdiği belirsizlikler, Hawaii'deki adalar üzerine uçan atmosferde yayılan tsunami ile ilgili IGW'ları içeren 3B modelleme ile araştırılmıştır. Modelleme ile karşılaştırma, ilk olarak havayı ısıltı verilerinin tsunami ile ilişkili olduğunu ve sentetik veri ile beraber ortak olarak görülen "Y" şeklinin karakteristiği ile ortaya koymuştur.

İkinci olarak, tsunami öncesi ilk dalğanın beklenen sinyalinin nedenini açıklamışlardır ve son olarak, 2°'lik kaymanın rüzgar etkisiyle açıklandığını göstermişlerdir. Bu ön çalışmanın sonuçları, hava ısıltısı gözlemlerinin tam modellenmesinin geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir ve bu model, rüzgar dışında hava ısıltısı sinyali oluşumunda rol oynayan farklı izole edilmiş türleri ve yer-tabanlı kameranın gözlem geometrisini de dikkate alınması gerektiğine dikkat çekmiştir. Sonuç olarak uzaktan algılama ve yer tabanlı iyonosfer/atmosfer gözlemlerinin, yapılan çalışma ile tsunami için erken uyarı sistemlerine olan potansiyel katkısına dikkat çekmişlerdir.

Rolland vd. (2011), 2011 Tohoku depremi sonrası GEONET ağından gelen veriler yardımıyla TEİ'de meydana gelen pertürbasyonların incelenmesini kapsamaktadır. Sismik kırılmadan yaklaşık 10 dk sonra ilk sinyal gözlenmiş olup ilk yanıt iki modda ortaya çıkmıştır: Biri 3 km/s'nin üstünde yayılmaktadır ve diğeri neredeyse 1 km/s hızında yayılmaktadır. TEİ zaman serilerinde yapılmış olan incelemelerde, akustik rezonansın tipik frekanslarını göstermiştir. Kaynaktan 400 km uzaklıkta, deprem ve tsunami kaynaklı gravite dalgaları ve üçüncü mod depremden yaklaşık 45 dk sonra Kuzay-Batı yönünde görülmüştür. Sonuç olarak yapılan çalışma ile Tohoku depreminin gösterdiği rezonans yanıtı ve TEİ gözlemleri ortaya konmuştur.

Tsugawa vd. (2011) yapılan bu çalışmada Tohoku depreminin ardından Japonya'daki yüksek çözünürlüklü GPS toplam elektron miktarı gözlemleri ile iyonosferik bozulmaların, odak merkezinin yakınında küçük TEİ artışlarını izleyen ani değişimler şeklinde ortaya çıkmıştır. Daha sonra, 138-3.457 m/s hızları ile radyal yönde yayılan ko-sismik dalgalar görülmüştür. Japonya'nın batısında da bölgesel olarak yayılmış TEİ artışları ortaya çıkmıştır. Episantr yakınında, periyodu yaklaşık 4 dakika olan kısa periyotlu osilasyonlar görülmüştür. Bu çalışmada osilasyonların merkezi sayılan "iyonosferik episantr" depremin 170 km güneydoğusunda olduğu ve yayılım özelliklerine göre üç şekilde sınıflandırılmıştır bunlar: Rayleigh dalgası tarafından üretilen akustik dalgalar, iyonosferik episantr tarafından üretilen akustik dalgalar ve iyonosferik episantr tarafından üretilen atmosferik gravite dalgalarıdır. İyonosferik episantr aynı zamanda tsunaminin kaynağına daha yakın bir konumda olduğu bulunmuştur. Bu bilgiler ışığında

gerçek zamanlı GPS-TEİ izlemlerinin potansiyel tsunami uyarılarında kullanabileceğine ulaşılmıştır.

Inan vd. (2012), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada Türkiye’de 2011 yılında Van’da meydana gelen Mw 7.2 depremi öncesinde bölgede bulunan EREK Kaynağından elde edilen ve ticari olarak satılan içme suyunda hidrojeokimyasal öncüler gözlenmiştir. Mevcut su örnekleri, 8 Eylül 2011’den 11 Ocak 2012’ye kadar olan dönemi kapsamaktadır ve çalışma boyunca örneklerde Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} ve Cl^{-} ’de azalan eğilimler ve Na^{+} ve SO_4^{2-} ’de artan eğilimler gözlenmiştir. Örneklerde bulunan tüm iyon konsantrasyonları, depremden yaklaşık bir ay sonra istikrarlı bir duruma ulaşmıştır. Bu sonuçlara dayanarak, kaynak suyunda bulunan kimyasal anormalliklerinin potansiyel deprem öncülleri olarak izlenebileceğini göstermektedir.

Occhipinti vd. (2013), 26 Aralık 2004 ve 12 Eylül 2007’de Sumatra; 14 Kasım 2007’de Şili’de; 29 Eylül 2009’da Samoa’da meydana gelen depremler çalışma kapsamında irdelenmiştir. Sumatra tsunamisi sırasında iyonosferik anormalliklerin tespiti, iyonosferin tsunamisinin yayılımına duyarlı olduğunu göstermiştir. Tsunamiler tarafından oluşturulan iyonosferik anormalliklerin çoğu, tsunami’nin iyonosferde açıkça tanımlanabilir olduğu uzak alanda gözlenmiştir. Bu çalışmada, episantr yakınında GPS tarafından ölçülen toplam elektron içeriği ile tsunamijenik depremlerden kaynaklanan iyonosferik anormalliklerin erken işaretlerine odaklanmışlardır. Modellenmiş veriler ile desteklenen gözlemler, tsunami kaynaklı iyonosferik anormalliklerinin sayısal modelleme yoluyla kuramsal olarak tahmin edilebilir ve tekrarlanabilir olduğunu göstermiştir.

Jin vd. (2014) 2011 yılında Japonya’nın Honshu adasının doğu kıyısında gerçekleşen Mw = 9 büyüklüğündeki Tohoku depreminin meydana getirdiği iyonosferik bozulmaların, Japonya’nın sahip olduğu yoğun GEONET ağı sayesinde izlendiği ve buradan elde edilen veriler ışığında bahsedilen çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Tohoku depreminin izlediği yersel iyonosferik bozulmaların genliği, yayılım deseni, yönü, hızı ve evrimi dahil olmak üzere detayları incelenmiştir. Maksimum sismik iyonosferik bozulmalarının genliğinin 4 Toplam Elektron İçeriği Birimi (TEİB) kadar bulunmuş ve bozulma periyodu 10-20 dakika hesaplanmıştır. Toplam Elektron İçeriği (TEİ)

bozulmalarının yayılım hızları, episantrdan 400-600 km kuzey-batı yönünde yayılım gösterirken giderek azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Guo vd. (2019), çalışmada Japonya'da 7 Temmuz 2018 tarihinde meydana gelen orta büyüklükteki ($M_w=5.9$) deprem üzerine çalışılmıştır. Deprem meydana getirdiği iyonosfer değişimleri çok frekanslı radyo teşhis sistemi kullanılarak incelenmiştir. Sismik aktivite sonrası çok modlu yayılma artışı ve Doppler spektrumunun önemli bir şekilde genişlemesi gözlenmiştir.

İnyurt vd. (2020) yapmış oldukları çalışmada Yeni Zelanda'da 14 Kasım 2016 tarihinde meydana gelen $M_w=7.8$ depremine öncesi, anı ve sonrasına ait 60 günlük veriyi, ayrıca deprem kaynaklı anomalilerin daha iyi değerlendirilebilmesi için K_p , D_sT ve $F10.7cm$ değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki depremden öncesindeki bir haftalık süreçte, iki farklı günde TEİ'de anomaliler meydana gelmiştir.

İnan vd. (2023) 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen ve çok fazla kayba neden olan deprem öncesi ve sonrasında çeşitli tarihlerde alınmış ticari olarak satılan kaynak suları incelenmiştir. Kahramanmaraş'ta $M_w 7.7$ ve $M_w 7.6$ büyüklüğündeki iki depremin meydana getirdiği düşünülen, depremlerin odak merkezlerinden sırasıyla yaklaşık 100 km ve 175 km uzaklıktaki Ayrar Kaynağı ve Bahçepınar Kaynağı'ndan alınan su örneklerinden yalnızca Ayrar Kaynağı'nda elektriksel iletkenlik ve major iyonlarda (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , ve SO_4^{2-}) bir artışla tespit edilmiştir. Depremler öncesindeki altı aylık süreçte bu anomaliler gözlenmiştir ve depremden sonraki iki haftalık süreçte bu değerler normale dönmüştür. Gözlemlenen değişimler gerçekleşen depremler ile ilişkilendirilmiş olup, olası deprem öncülü olarak hidrojeokimyasal değişimlerin uzun süreli ve disiplinler arası çalışmalarla izlenmesi gerektiği ayrıca alınan örneklerin konumlarının gözlemler için önemi ortaya konmuştur.

Bahsedilen örneklerde görüldüğü gibi atmosfer-iyonosfer-deprem çalışmalarında Toplam Elektron İçeriği (TEİ) gözlemlerinin, iyonosfer modellerinin oluşturulmasında, tsunami erken uyarı sistemlerindeki potansiyeline, depremin sahip olduğu fiziksel parametreler

ile ilişkisine ve bunlar ile beraber GPS ve GNSS sistemlerinin uygulamadaki önemi ve payını göz önünde bulundurarak kullanılabilirliği açıklanmıştır.

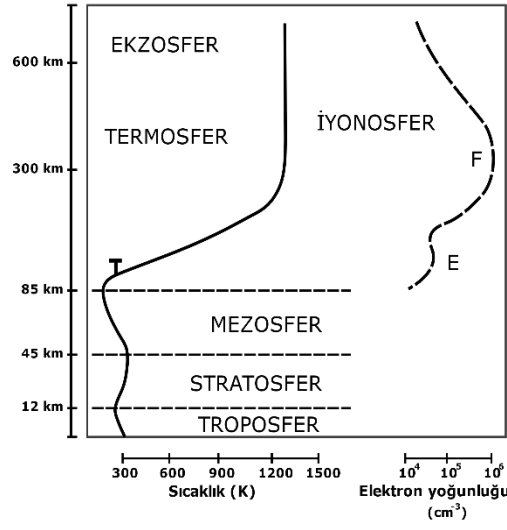


3. İYONOSFER

İyonosfer, atmosferde bulunan bölgelerden biridir. İyonosfer yaklaşık olarak yerden 80 km yukarıda başlayıp yaklaşık olarak 600 km'ye kadar uzanan bir bölgedir. İyonosfer, atmosferin birkaç bölümünden oluşur ve bu bölümlerin birçoğu serbest halde dolaşan elektrik yüklü atomlar ve moleküller içerir. Bu bölümler gruplar halinde topluca iyonosfer olarak adlandırılır.

İyonosferin üç ana bölgesi olarak bilinen D, E ve F katmanları vardır (**Şekil 3.1**). Bu bölgelerin sınırları keskin değildir ve bulundukları yükseklikler gün içinde ve mevsimler arasında değişir. D katmanı yüksekliği en düşük olandır ve yer yüzünden yaklaşık 60 veya 70 km yükseklikte başlar ve yaklaşık 90 km'ye kadar uzanır. Ardından gelen E bölgesi, yaklaşık 90 veya 100 km'lik bir yükseklikte başlar ve 120 veya 150 km'ye kadar uzar. Son olarak iyonosferin en üst bölümü olan F bölgesi yaklaşık 150 km yükseklikte başlar ve 500 km'ye kadar yukarı uzanabilmektedir.

İyonosferin sürekli olarak zamana ve bölgeye göre değişen aktif yapısının ana sebebi Güneşten yüksek enerjili X-ışınları ve ultraviyole (UV) ışık sürekli olarak Dünya'nın üst atmosferindeki gaz molekülleri ve atomlarla çarpışmasıdır. Bu çarpışmaların bazıları atomlar ve moleküllerden elektronları serbest bırakır ve bu serbest elektronlar ve elektrik yüklü iyonlar (elektronları eksik olan atomlar ve moleküller) oluşur. Bu elektrik yüklü iyonlar ve elektronlar normal, elektrik yükü olmayan atomlar ve moleküllerden farklı hareket eder ve davranır. Sürekli değişim sonucunda iyonosfer radyo dalgalarını yansıtan bir davranış sergiler. Global Konumlama Sistemi (GPS) uyduları, konumları belirlemek için radyo sinyallerini kullanır ve bu sinyaller iyonosfer bölgelerinden geçtiğinde, GPS'in doğruluğu ciddi ölçüde azalabilir. Benzer şekilde, bazı radyo iletişimleri, iyonosfer tabakası tarafından tamamen zayıflatılıp emilen bir frekans kullanıldığında bozulabilir ve bu da zayıf sinyal veya iletişimin tamamen kaybına neden olabilir. Bu iletişim kaybının meydana geldiği kritik frekans $f_{kritik} = 9 \times 10^{-3} \sqrt{N}$ ile hesaplanabilir ve burada $N = cm^3$ te bulunan elektron yoğunudur.



Şekil 3.1 Atmosfer ve İyonosferin Katmanları (Bhamer ve tiZom, 2022)

İyonosfer çalışmalarında GPS ve GNSS sistemleri ile yapılan gözlemler sonucu elde edilen parametreler ışığında iyonosfer hakkında bilgi edinilmektedir. Bu parametreler güneş diskindeki koyu lekelerin sayısı (R), 10.7 cm dalga boyunda güneş radyosu akısı (F10.7), Jeomanyetik aktivite indeksi (DST), jeomanyetik fırtına (Kp) indeksidir (Bilitza,2001).

Sonuç olarak iyonosfer sürekli aktif halde değişim gösteren, atmosfer bölgelerinin bütünüdür. İyonosfer gözlemlerinde GPS ve GNSS sistemlerinden yararlanılmaktadır.

3.1 İyonosfer Değişimlerine Sebep Olan Faktörler

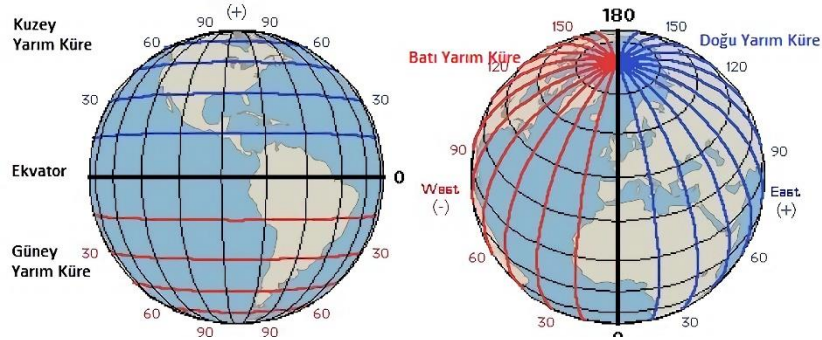
İyonosferde değişimlere sebep olan başlıca kaynaklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Coğrafi konum
- Gece-gündüz döngüsü
- Mevsimler
- Güneş lekeleri
- Solar aktivite

- Manyetik Fırtına
- Deprem

3.1.1 Coğrafi konum

Coğrafi konum, iyonosferin yapısı ve özellikleri üzerinde etkili olabilir. Özellikle Enlem ve Boylam üzerindeki farklılıklar sonucu iyonosfer bariz değişimler gösterebilir (**Şekil 3.2**). Örneğin, iyonosferin yoğunluğu ve elektrik yükü, coğrafi konuma göre değişebilir (Millward 1996, Yizengaw vd. 2012). Düşük enlemlerde iyonosfer daha yoğun olurken, yüksek enlemlerde daha az yoğun olur. İyonosfer yoğunluğu farkının sebebi, atmosferin yapısı ve güneş radyasyonunun yoğunluğu ile ilgilidir. Düşük enlemlerde, güneş radyasyonunun yoğunluğu daha fazladır ve atmosferdeki moleküller daha aktif hale gelir. Bu nedenle, düşük enlemlerde iyonosfer daha yoğun olur. Yüksek enlemlerde ise, güneş radyasyonunun yoğunluğu daha azdır ve atmosferdeki moleküller daha az aktiftir. Bu nedenle, yüksek enlemlerde iyonosfer daha az yoğun olur. Ayrıca, iyonosferin yapısı ve özellikleri, güneş radyasyonunun yoğunluğu, jeomanyetik etkiler, yerçekimi ve atmosferin yapısı gibi faktörlerle de ilişkilidir. Bu nedenle, coğrafi konumun iyonosfer üzerindeki etkisi, diğer faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir.



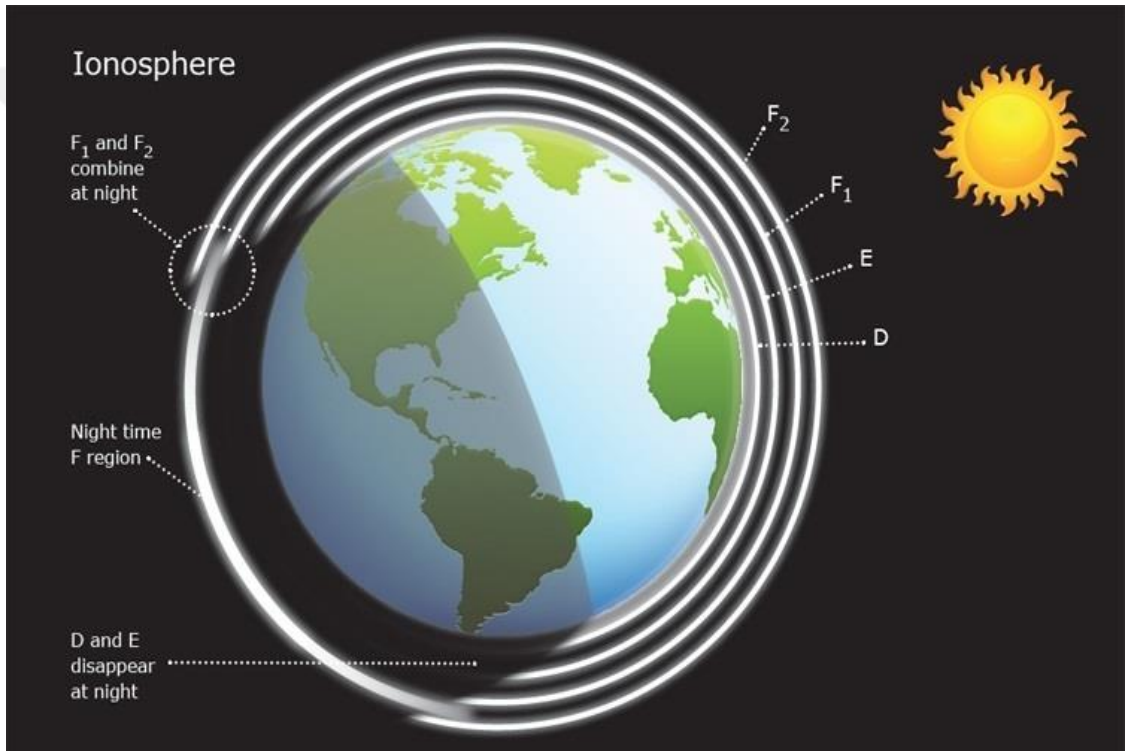
Şekil 3.2 Enlem ve Boyamlar (Özçağlar 2016)

3.1.2 Gece-Gündüz döngüsü

İyonosfer, gece-gündüz döngüsü sırasında değişim gösterir. Gündüz saatlerinde, güneş radyasyonunun yoğunluğu daha fazladır ve iyonosferde daha fazla iyon ve elektron

oluşur. Bu nedenle, gündüz saatlerinde iyonosfer daha yoğun olur. Güneş radyasyonu, iyonosferdeki hava moleküllerini parçalayarak, iyonlar ve elektronlar oluşmasına neden olur. Gece saatlerinde, güneş radyasyonunun yoğunluğu azaldığından, iyonosferdeki iyon ve elektron sayısı azalır. Bu nedenle, gece saatlerinde iyonosfer daha az yoğun olur.

Gece-Gündüz döngüsü iyonosferin farklı katmanlarının yapısını ve özelliklerini etkiler (**Şekil 3.3**).Gündüz saatlerinde, E ve F katmanlarındaki elektron yoğunlukları, gece saatlerinde olanların yaklaşık 100 katıdır.



3.3 Gece-Gündüz döngüsü ve İyonosfer (URL: <https://www.sciencelearn.org.nz/>)

D katmanı, VLF (Very Low Frequency) dalgalarını yansıtır ve uzun mesafeli VLF iletişimi için önemlidir. Ayrıca, dalgaların kısa mesafeli iletişim için kırılmalarını sağlar. Bu katman, HF (High Frequency) dalgalarını emer, VHF (Very High Frequency) ve üstündeki dalgaların üzerinde etkisi daha azdır. Gece saatlerinde kaybolan bir katmandır.

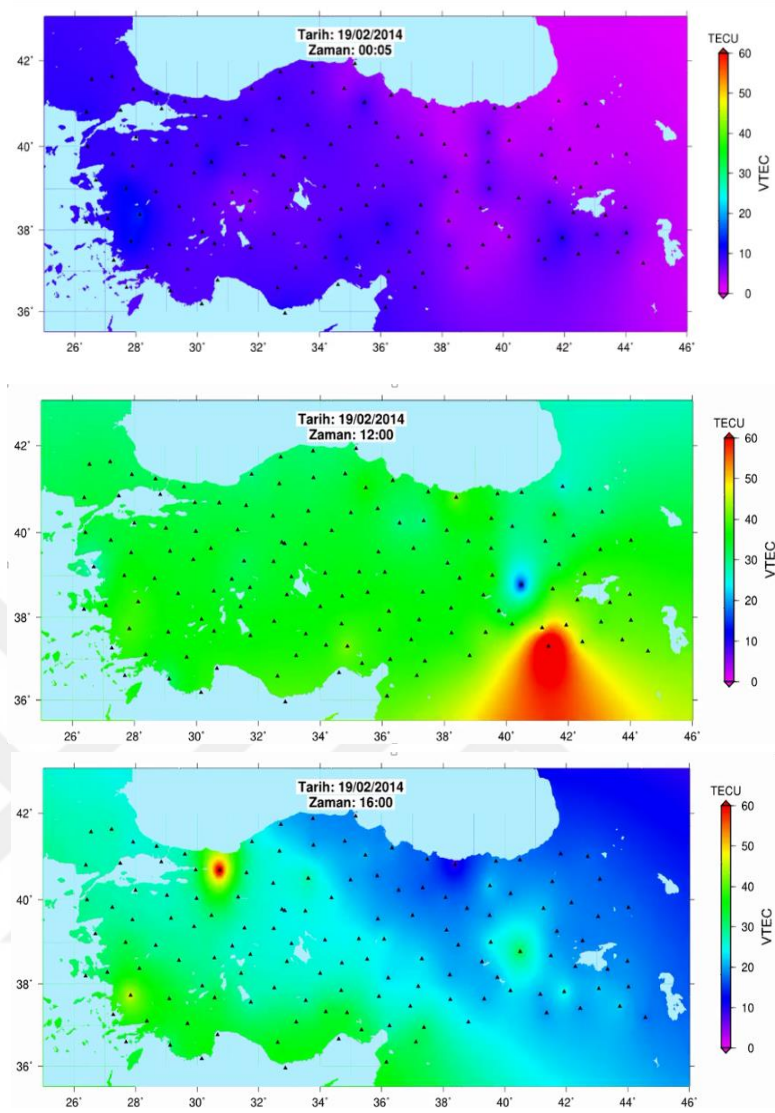
E katmanı, güneş açısına bağlı olarak iyonlaşma gösterir. Gündüz saatlerinde, E katmanı, HF dalgalarını 20 megahertze kadar 1200 mil mesafede kırılmalarını sağlar. Gece saatlerinde iyonlaşma önemli ölçüde azaltılır.

F katmanı, gün içi ve gün açısına bağlı olarak yapısı ve yoğunluğu değişir. Gece saatlerinde bir katman halinde bulunurken, gündüz saatlerinde iki katmana ayrılır.

F1 katmanı, güneş açısına bağlı olarak iyonlaşma yoğunluğu gösterir. Bu katmanın ana etkisi, F2 katmanına geçen HF dalgalarını emmektir.

F2 katmanı, uzun mesafeli HF iletişimi için en önemli katmandır. Bu katman çok değişken olup, yüksekliği ve yoğunluğu gün içi, mevsim ve güneş lekeleri aktivitesine bağlı olarak değişir.

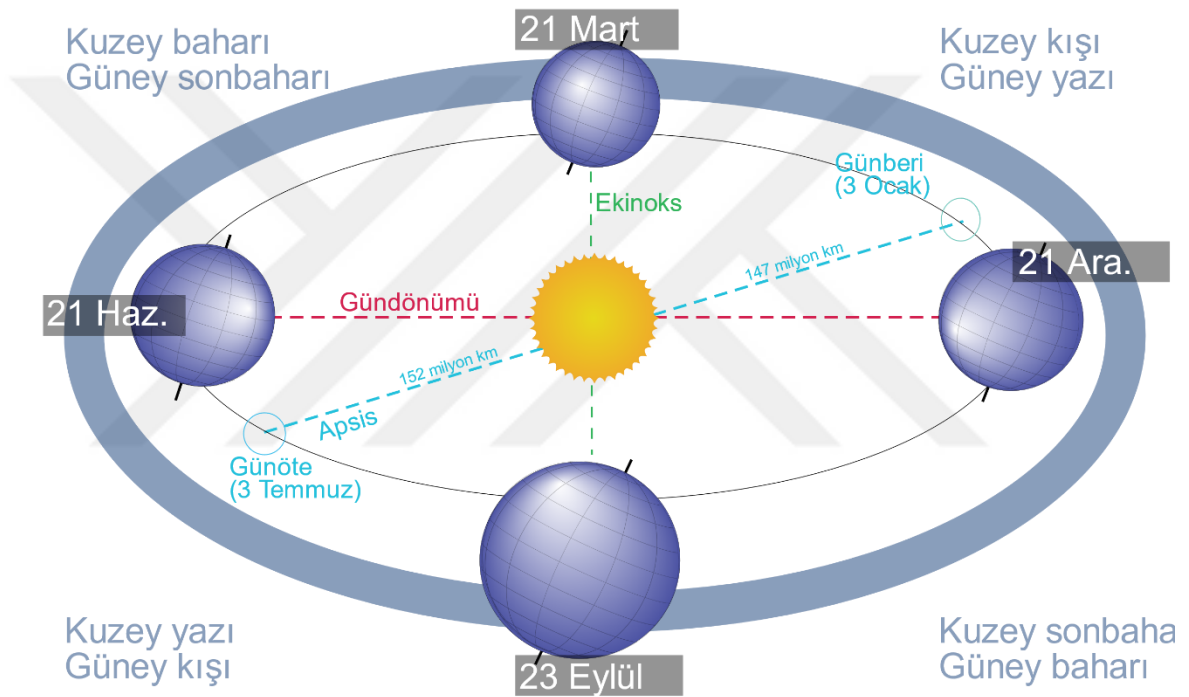
Örneğin 19.02.2014 tarihinde TUSAGA-Aktif istasyonlarında Gece-Gündüz TEİ içeriğinde meydana gelen değişimler hesaplanmış ve çizdirilmiştir (**Şekil 3.4**).



Şekil 3.4 19/02/2014 tarihi ait TEİ haritaları

Gece-gündüz döngüsündeki iyonosfer değişimleri, ses ve radyo dalgalarının yayılmasını ve uydu iletişimlerini etkileyebilir. Bu nedenle, iyonosferin gece-gündüz döngüsündeki değişimleri, ses ve radyo dalgalarının yayılmasını ve uydu iletişimlerini planlamak için dikkate alınmalıdır.

3.1.3 Mevsimler



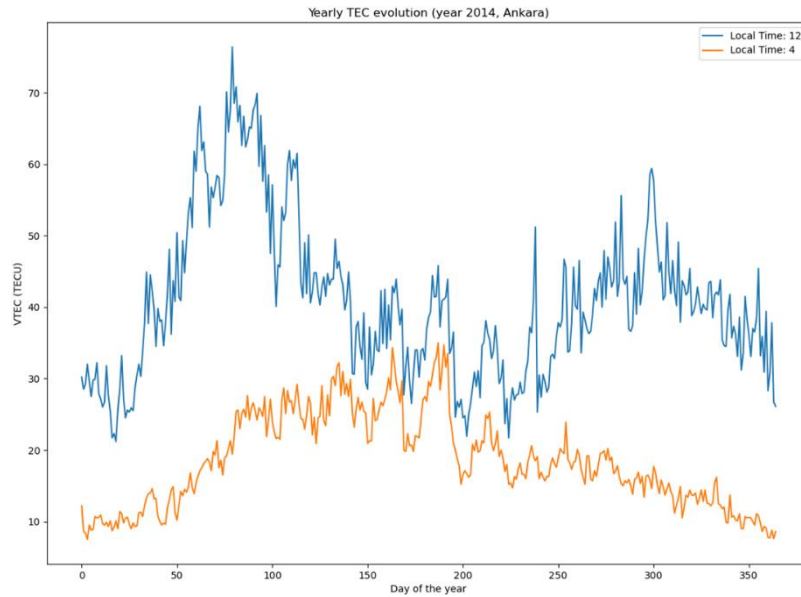
Şekil 3.5 Mevsimler döngüler (Jonobo 2009)

Mevsimler, Dünya'nın güneş etrafında dönmesinden kaynaklanır (Şekil 3.5).

Güneş'in göreceli konumu mevsimler arasında bir hemisferden diğerine hareket eder. İyonosfer, mevsimler arasında değişim gösterir. Mevsimler, güneş radyasyonunun yoğunluğu, atmosferik hava akımları ve jeomanyetik etkiler gibi faktörlerin değişmesine neden olur.

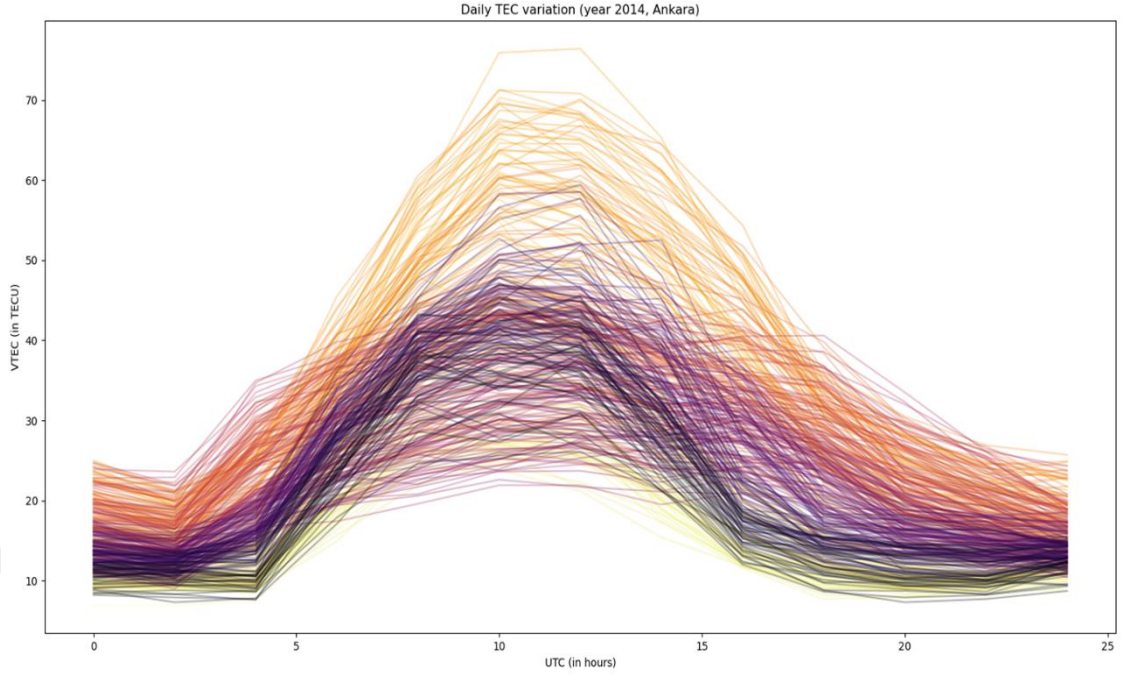
D, E ve F1 katmanlarının mevsimsel değişimleri, güneşin en yüksek açısına karşılık gelir; bu nedenle bu katmanların iyonlaşma yoğunluğu yaz aylarında en yüksektir. Ancak, F2 katmanı bu deseni izlememektedir; iyonlaşması kış aylarında en yüksek ve yaz aylarında en düşüktür. Bu beklenenden ters bir durumdur. Bu nedenle, F2 katmanı yayılması için çalışma frekansları kış aylarında yaz aylarından daha yüksektir.

Örneğin, yaz aylarında güneş radyasyonunun yoğunluğu daha fazladır bu sebepten ötürü iyonosferdeki iyon ve elektron sayısı daha fazladır. Bu nedenle, yaz aylarında iyonosfer daha yoğun olur. Kış aylarında ise, güneş radyasyonunun yoğunluğu daha azdır ve iyonosferdeki iyon ve elektron sayısı azalmıştır. Bu nedenle, kış aylarında iyonosfer daha az yoğun olur. **Şekil 3.6**'da görülebileceği gibi TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait yıl içerisindeki değişimin günlük olarak göre ele alındığında yüksek TEİ sahip günlerin yaz aylarına geldiği görebiliriz.



Şekil 3.6 2014 yılına günlük TEİ değerleri.

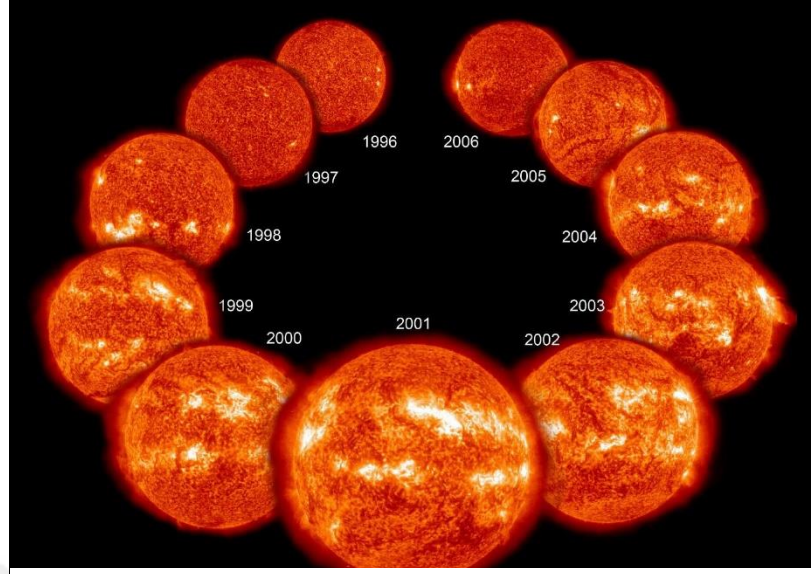
Ayrıca gün bazında TEİ değerlendirildiğinde **Şekil 3.7**'de görülebileceği gibi öğle saatlerinde TEİ en yüksek değerleri aldığı ve iyonosferin en aktif olduğu zaman dilimleri olduğunu varsayabiliriz.



Şekil 3.7 Yıl içerisindeki TEC değişimleri

3.1.4 Güneş lekeleri

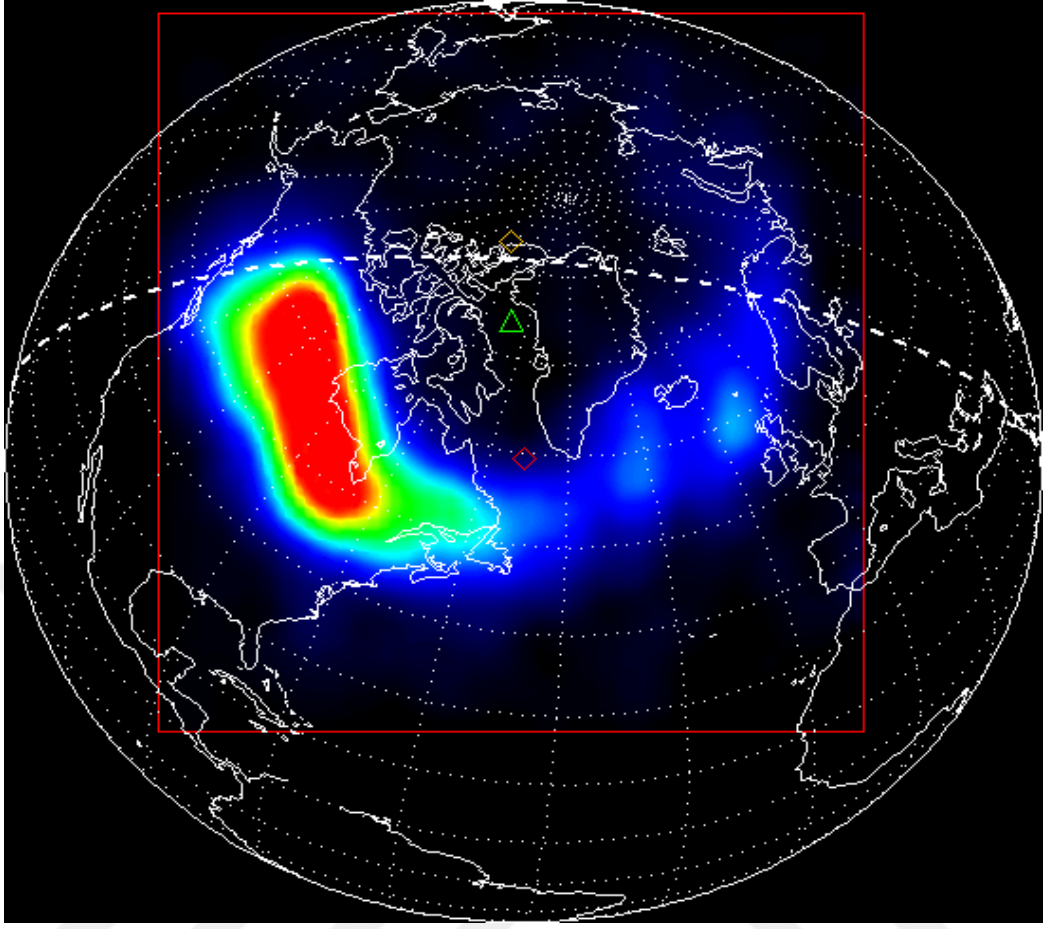
11 yıllık güneş döngüsü, güneşte oluşan aktivitelerin üzerinde değişimlere neden olur (Şekil 3.8). Bu aktiviteler, güneş lekeleri, güneş patlamaları ve güneş rüzgarları gibi olayları içerir. 11 yıllık güneş döngüsü, iyonosfer üzerinde belirgin etkilere neden olur. Güneş aktivitesi arttıkça, güneş radyasyonu ve güneş rüzgarları iyonosfere daha fazla enerji sağlar. Bu, iyonosferdeki iyon ve elektron yoğunluğunun artmasına neden olur ve iyonosfer daha yoğun hale gelir. Bu durum, uzun mesafeli radyo dalgalarının yayılmasını ve sinyal gücünü etkileyebilir.



Şekil 3.8 Güneş döngüsü (NASA)

3.1.5 Manyetik fırtına

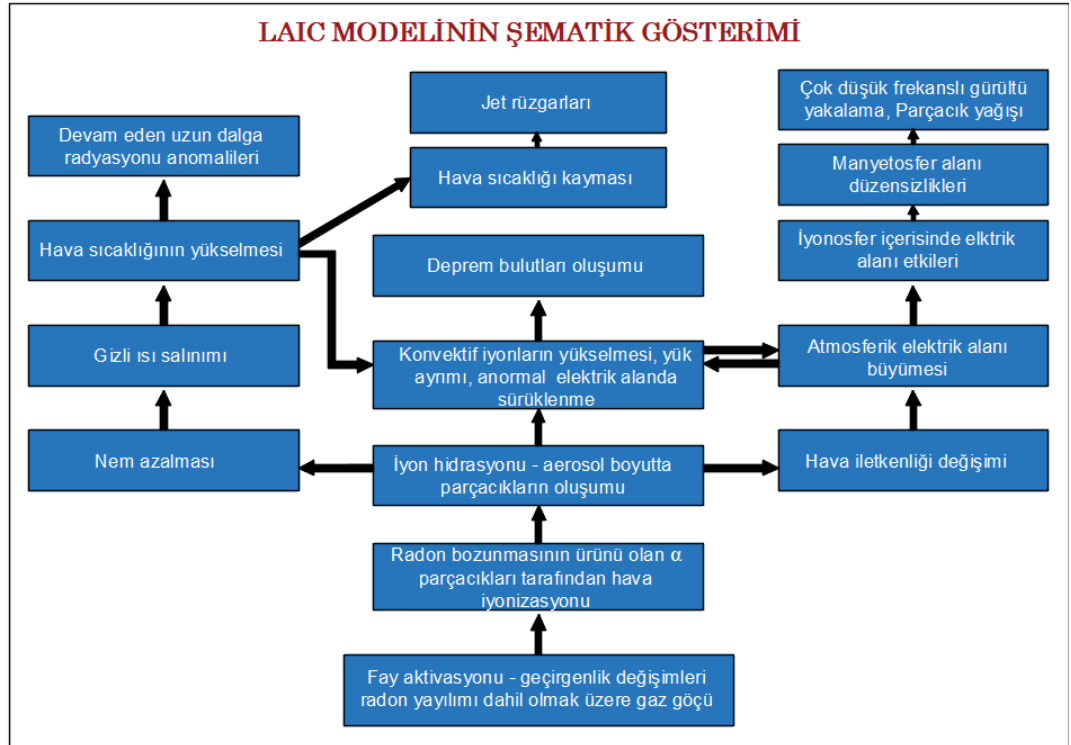
Jeomanyetik fırtınalar, güneşte meydana gelen patlamalar sonucu oluşan yüksek enerjili manyetik ve elektrik alanların Dünya'ya etkisidir. Bu etkiler, Dünya'nın jeomanyetik alanını değiştirerek, iyonosferdeki iyonlaşma düzeyini etkiler. Jeomanyetik fırtınalar, yaklaşık 0-100 km yüksekliklerde oluşur ve etkileri orta enlemler özellikle Avrupa üzerinde yoğunlaşır (Şekil 3.9). Bu etkiler, galaktik kozmik ışınlar, güneş parçacıkları, relativistik ve çok yüksek relativistik elektronlar ve IMF sektör sınırı geçişleri gibi etkileri de içerebilir. Jeomanyetik fırtınalar, yüksek enlemlerde alt iyonosferi ciddi şekilde etkiler ve orta enlemlerde de çok önemlidir. Jeomanyetik fırtınaların, iyonosferdeki iyon ve elektron yoğunluğunu arttırdığını ve daha yoğun hale geldiğini gösterir. Alt iyonosfer, alt termosfer ve mezosferde gözlenen etkiler ile troposferde gözlenen etkiler arasında iki farklı grup olduğu ve muhtemelen farklı mekanizmaları içerebileceği görülmektedir (Laštovička 1996). Bu, iyonosferdeki katmanların yapısını ve özelliklerini değiştirerek, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkiler. Özellikle, jeomanyetik fırtınalar sırasında, D katmanının absorpsiyonu artar ve E, F1 ve F2 katmanları için kritik frekanslar yükselir. Bu nedenle, uzun mesafeli iletişim için daha yüksek çalışma frekansları kullanılması gerekir.



Şekil 3.9 Jeomanyetik fırtınaya ait X ışını görüntüsü (NASA)

3.1.6 Deprem

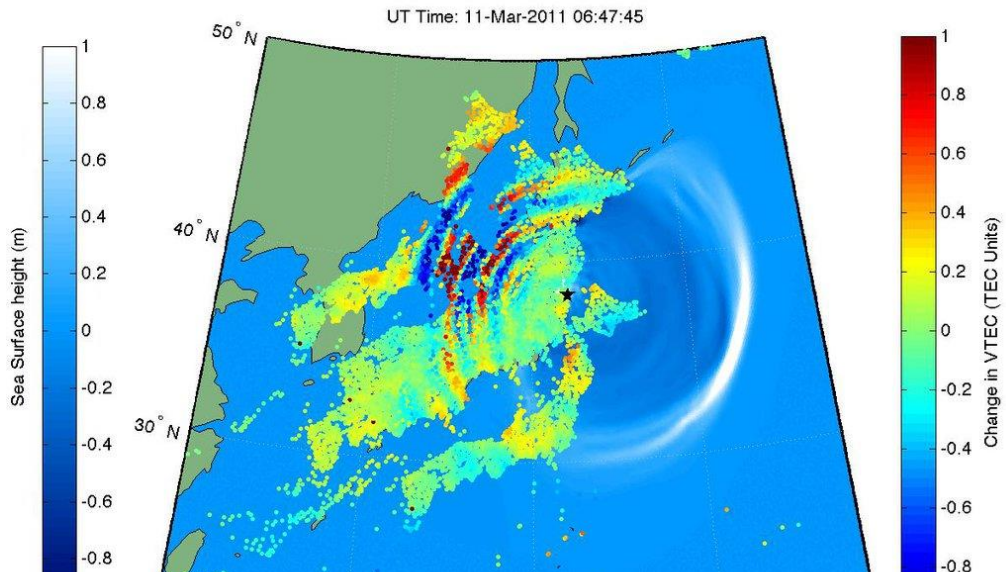
Deprem yer içerisinde biriken enerjinin boşalması sırasında meydana gelen sarsıntılardır. Yapılan incelemeler göstermiştir ki tektonik aktivite ve levha hareketleri depremlerin ana kaynağıdır (Pulinets vd. 2022). Şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalar göstermiştir ki depremler yalnızca yer yüzünü değil aynı zamanda atmosferi de etkilemektedir. 1965’den bu yana gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar özellikle büyük depremler gerçekleşmeden önce, gerçekleşme anında ve gerçekleştikten sonra iyonosfer katmanının TEİ’de farklılıklara sebep olmaktadır. Ancak deprem tek başına iyonosferde ve genel olarak atmosferde değişime sebep olmaz. Bu değişimi meydana getiren birden fazla fiziksel ve kimyasal süreç bulunmaktadır, bu süreçlerin birbiri ile olan etkileşimi Litosfer-Atmosfer-İyonosfer Bağlantısı (Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling) kısaca LAIC modeli olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 LAIC modeline ait şematik gösterim (Köz İ. 2022)

Levha sınırlarında meydana gelen gaz yoğunlaşması sebebiyle açığa çıkan çeşitli gazlar karbondioksit, helyum, hidrojen, metan ve diğerlerinin varlığı deprem öncesindeki birkaç hafta öncesinde artmaya başlar. Radon gazı bu bölgelerde iyonizasyona sebep olur ve bu iyonizasyon sonucu aktif tektonik faylar üzerinde hava sıcaklık artışı, yatay sıcaklık gradyanları ve dikey hava konveksiyonu oluşturur. Gerçekleşen bu olayların iyonosfer üzerindeki etkisi uydular aracılığı ile izlenebilir.

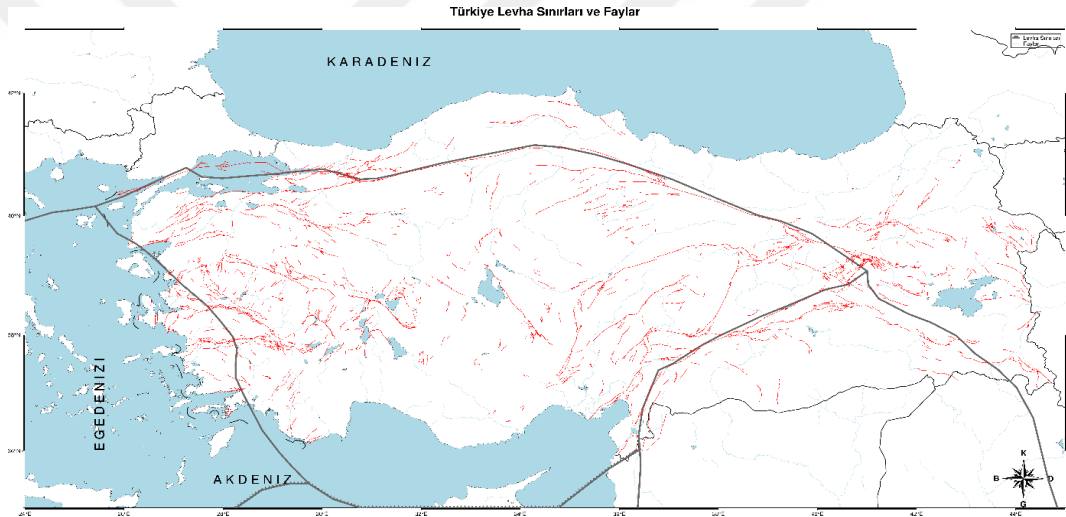
Örneğin NASA tarafından yapılan bir çalışma göstermiştir ki 2011 Tohoku depremi sonrası VTEC değerlerinde farklılıklar meydana gelmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Tohoku depremi sonrası TEİ'de meydana gelen değişimler (NASA)

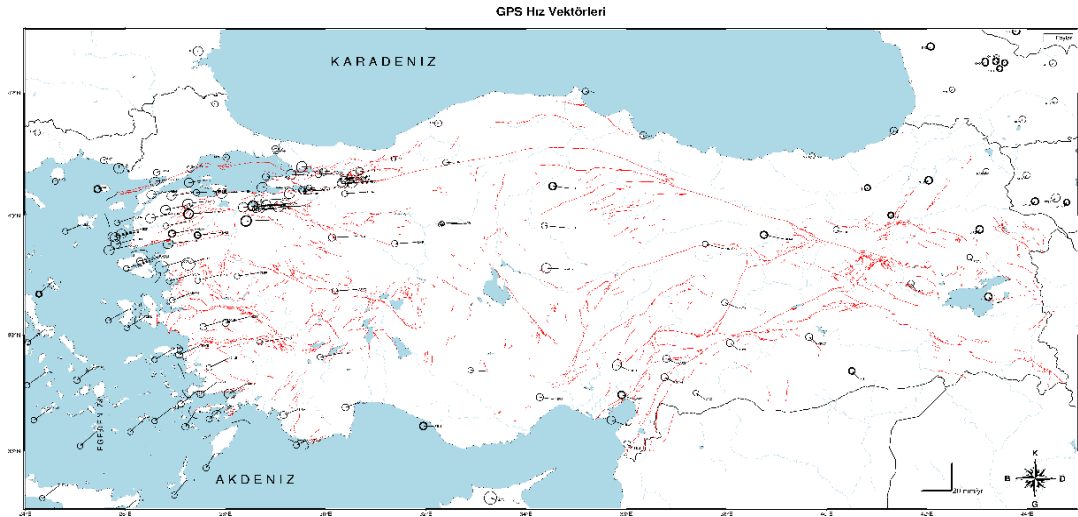
3.2 Türkiye'nin Depremselliği

Türkiye'nin depremselliğini incelenirken öncelikle Türkiye'nin jeolojisinden ve tektonik özelliklerine değinmemiz gerekmektedir. Türkiye Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer almaktadır, kuzeyde Avrupa-Asya ve güneyde Afrika-Arabistan Levhaları arasında kalmaktadır (**Şekil 3.12**). Bu plakalar arasındaki hareketler sonucunda Türkiye'de sıklıkla depremler meydana gelmektedir. Levhaların milyonlarca yıldır devam eden hareketleri sonucu Türkiye jeolojisi şekillenmiştir. Aynı zamanda bu jeolojik süreçler ve levha tektoniği günümüzde karşılaştığımız diri fay yapılarının, dolayısıyla depremselliğin kaynağıdır.



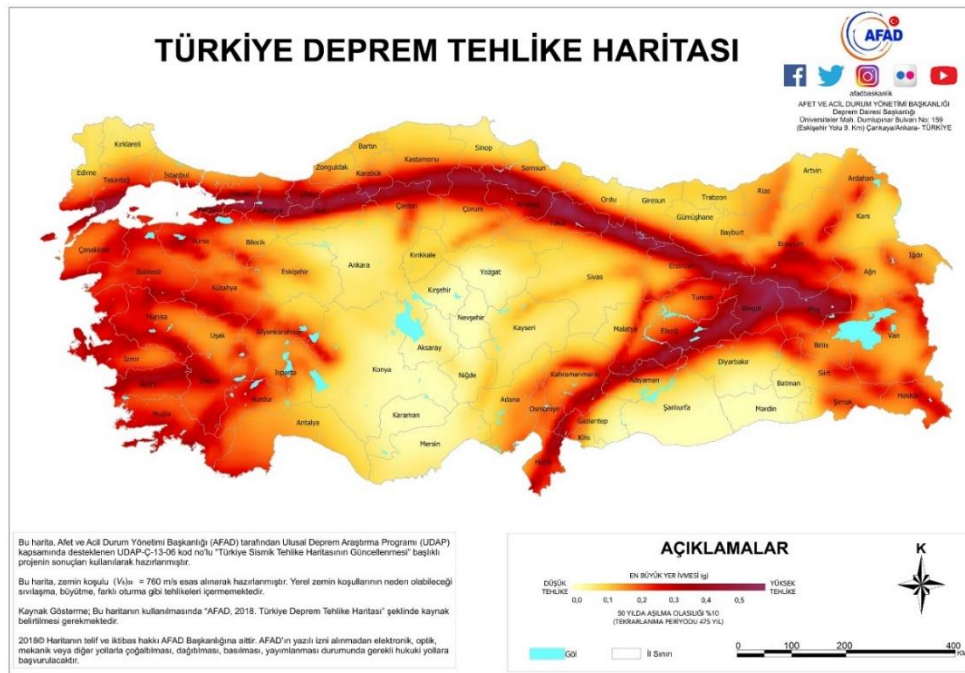
Şekil 3.12 Türkiye levha sınırları (Bird 2003) ve Faylar (MTA 2013) haritası

Arap ve Afrika Levhaları kuzeye doğru hareket ederken Anadolu Levhasını 2,5 cm/yıl hızla Ege'ye doğru hareket etmesine sebep olur. Gelişen uydu sistemleri sayesinde GPS yardımıyla levha hareketleri ölçülmektedir. McClusky vd. (2000), 189 bölgede 1988-1997 yılları arasında elde edilen GPS ölçümleri sonucunda Anadolu'nun yılda yaklaşık 20 mm hareket ettiğini bulmuşlardır. Bu hareketler çoğunlukla Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı üzerinde gerçekleşmektedir (**Şekil 3.13**).



Sekil 3.13 GPS Hız vektörleri haritası (McClusky vd. 2000)

Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu dışında, Marmara ve Ege bölgelerinde bulunan faylar sebebiyle bu bölgeler deprem riski en yüksek olan alanlardır. Bahsedilen bu bölgelerle beraber geriye kalan ve varlığı tespit edilmiş diri faylar ülkemizin yüzölçümünün yaklaşık % 92'sini kapsamaktadır. Deprem bölgelerinde yaşayan nüfus toplam nüfusun yaklaşık % 95'ine karşılık gelmektedir. AFAD tarafından 2019 yılında yürürlüğe giren yeni



Şekil 3.14 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2019)

Türkiye Deprem Tehlike Haritasında da görüldüğü gibi ülkemizin tamamı deprem riski altındadır (**Şekil 3.14**).

Depremden kaçamayız ancak sonuçlarını hafifletebiliriz, topluma deprem bilinci kazandırmak, güvenli yapılar ve uygun yer seçiminin gerçekleştirilmesi, erken uyarı sistemlerine yatırım, örnek olarak sayabiliriz. Aynı zamanda bu çalışmanın da konusuyla ilişkili olarak deprem öncülü olabilecek fiziksel ve kimyasal değişimlerin gözlemlenmesi bu konuya katkı sağlayabilir.



4. MATERYAL VE YÖNTEM

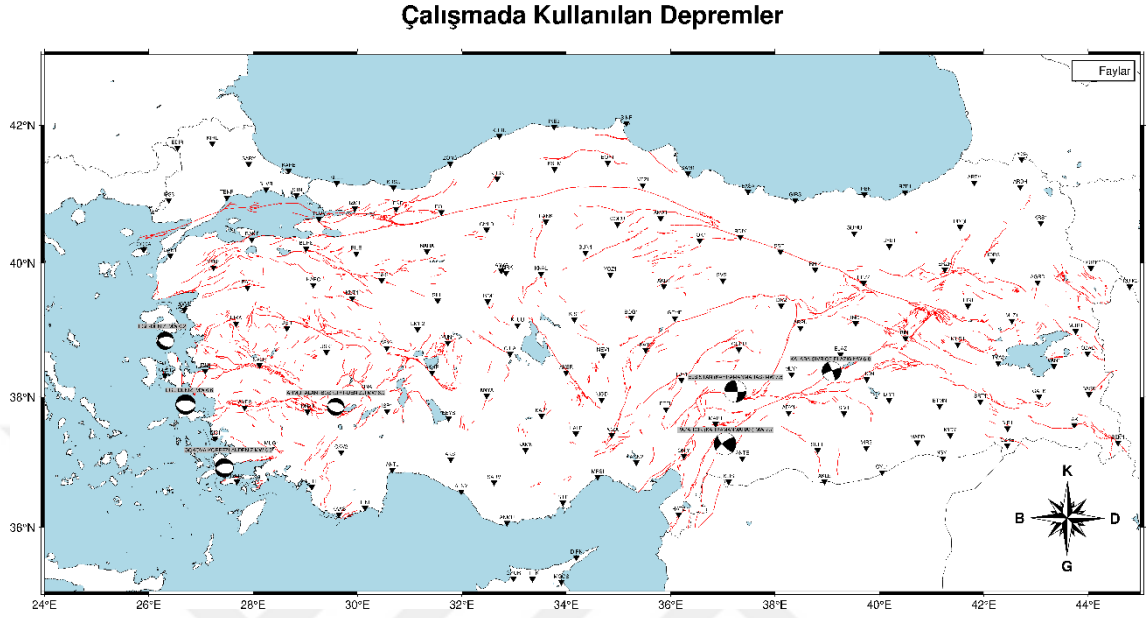
4.1 Materyal

Çalışma kapsamında 2017 – 2023 yılları arasında meydana gelen depremler içerisinde büyüklükleri $M > 6$ olan depremler seçilmiştir, depremler seçilirken veriye erişilebilirlik göz önünde bulundurulmuş olup, depreme ait veriler erişilemez durumda ise çalışma kapsamında kullanılmamıştır ve seçilen depremlere ait TEİ değerleri hesaplanırken kullanılan istasyonlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Çalışma kapsamında kullanılan depremlere ait bilgiler

Deprem Tarihi	Deprem Saati (UTC)	Enlem	Boylam	Derinlik	Magnitüd (Mw)	Deprem Lokasyonu	Kullanılan İstasyonlar
20.07.2017	22:31:12	36.974	27.523	7.80	7	Gökova Körfezi-Akdeniz	DATC, DIDI, MUG1
12.06.2017	12:28:37	38.851	26.256	6.96	6.2	Ege-Denizi	AYVL, IZMI, KIKA, SALH
08.08.2019	11:25:30	37.851	29.584	10.92	6.0	Armutalani-Bozkurt-Denizli	ANTL, DINA, DNZ1, MUG1
30.10.2020	11:51:24	37.888	26.777	16.54	6.6	Ege Denizi	DIDI, IZMI, MUG1, SALH
24.01.2020	17:55:11	38.359	39.063	8.06	6.8	Kalaba-Sivrice-Elâzığ	ERGN, SIV1, ARPK, ELAZ, ADY1
06.02.2023	01:17:32	37.288	37.043	8.6	7.7	Pazarcık-Kahramanmaraş	FEEK, TUFI, GURU, MLYI, ADYI, ONIY, ANTE, KLIS, MARİ
06.02.2023	01:28:16	37.304	36.920	8.6	7.7	Pazarcık-Kahramanmaraş	FEEK, TUFI, GURU, MLYI, ADYI, ONIY, ANTE, KLIS, MARİ
06.02.2023	10:24:47	38.089	37.239	7	7.6	Elbistan-Kahramanmaraş	FEEK, TUFI, GURU, MLYI, ADYI, ONIY, ANTE, KLIS, MARİ

Ayrıca çalışmada kullanılan depremlerin enlem ve boylam bilgisi ile beraber odak mekanizması çözümleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



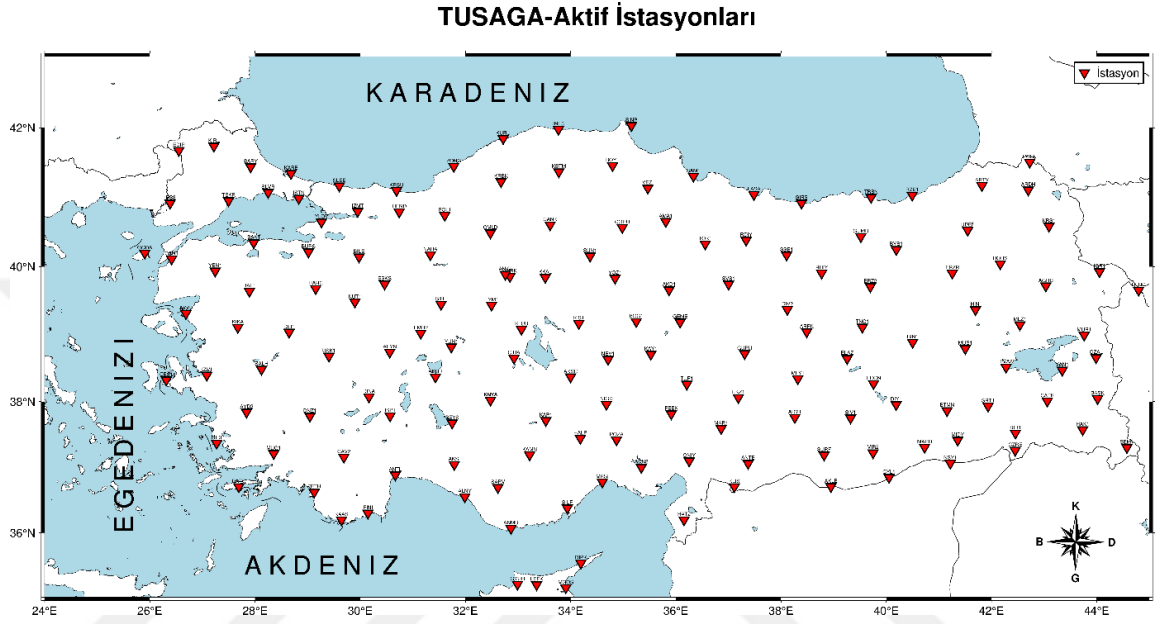
Şekil 4.1 Çalışma kapsamında kullanılan depremlerin lokasyonları

Kullanılan depremlerin odak mekanizması çözümlerine ait sayısal değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Depremlerin odak mekanizması çözümlerine ait sayısal değerler (AFAD)

Deprem Tarihi	Deprem Saati	Enlem	Boylam	Derinlik	Magnitüd	Fay Türü	Strike	Dip	Rake	Odak Mekanizması
20.07.2017	22:31:12	36.9740	27.5230	7.80	7	Ters	275	38	-80	
12.06.2017	12:28:37	38.8511	26.2565	6.96	6.2	Doğrultu Atımlı	114	43	-78	
08.08.2019	11:25:30	37.8510	29.5840	10.92	6.0	Ters	283	46	-91	
30.10.2020	11:51:24	37.8881	26.7770	16.54	6.6	Normal	95	43	-87	
24.01.2020	17:55:11	38.3593	39.0630	8.06	6.8	Doğrultu Atımlı	248	76	1	
06.02.2023	01:17:32	37.288	37.043	8.6	7.7	Doğrultu Atımlı	233	74	18	
06.02.2023	01:28:16	37.304	36.92	6.2	6.6	Doğrultu Atımlı	300	70	-128	
06.02.2023	10:24:47	38.089	37.239	7	7.6	Doğrultu Atımlı	358	73	174	

Çalışma kapsamında deprem-iyonosfer incelemelerinde kullanılması amacıyla hesaplanacak olan Toplam Elektron İçeriği (TEİ)/ Total Electron Count (TEC) değerleri, deprem odak merkezine en yakın istasyonlardan elde edilen ve 1 gün ve 15 günlük zaman periyotlarını kapsayacak şekilde Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) veri tabanından temin edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 TUSAGA-Aktif istasyon haritası

GNSS istasyonlarından gelen RINEX (Receiver INdependent EXchange) formatlı dosyalar, ayrıca her bir depreme ait SP3 (Standard Product 3), IONEX (IONosphere-map EXchange) ve Yörünge Bilgileri (Broadcast Ephemeris) verileri SOPAC/CSR (Scripps Orbit and Permanent Array Center / California Spatial Reference Center) elde edilmiştir. Verilerin elde edildiği adresler ve formatlar Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan verilerin kaynakları

GNSS Veri Formatı	Veri URL
TUSAGA İstasyon Verileri	https://www.tusaga-aktif.gov.tr/
CODE EPH Dosyaları	ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/
IGS SP3 Dosyaları	ftp://gssc.esa.int/gnss/products/
CODE DCB Dosyaları	ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/
IONEX Dosyaları	https://gdc.cddis.eosdis.nasa.gov/pub/gps/products/ionex/

IONOLAB-TEC/STEC yazılımı kullanılarak (Sezen ve diğerleri, 2013) seçilen depremlerin toplam elektron içeriği (TEC) ve eğik toplam elektron içeriği (STEC) değerleri başarıyla hesaplanmıştır. Bu yazılım, önceki bilimsel çalışmaların sonuçlarına dayanarak geliştirilmiş ve IONOLAB-BIAS yöntemi (Arıkan ve diğerleri, 2008) ile desteklenmiştir (Arıkan vd, 2003, 2004, 2007; Erol vd, 2002; Nayir vd, 2007; Sezen vd, 2009, 2012).

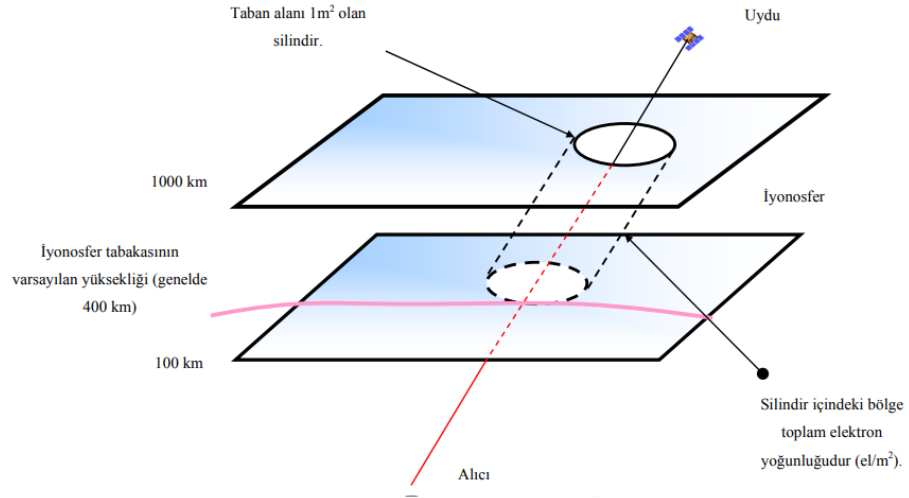
Verinin elde edilmesi ve hazırlanması sürecinde Python (Rossum vd. 1991) ve MATLAB (MathWorks Inc, 2021) kullanılmıştır. Hazırlık aşamasının ardından elde edilen veriler üzerinde analiz yapılmıştır.

Elde edilen sonuçların etkili bir şekilde görselleştirilmesi için Matplotlib (Hunter 2007) ve PyGMT (Uieda vd. 2022) kullanılmıştır. Bu araçlar, elde edilen TEC ve STEC değerlerini grafikler aracılığıyla anlamlı bir şekilde temsil etmek ve sonuçları daha anlaşılır hale getirmek için kullanılmıştır.

4.2 Yöntem

İyonosferdeki hareketin ölçümü Toplam Elektron İçerği (TEİ veya TEC) olarak adlandırılmaktadır ve TEİ 1 metre yarı çaplı silindir içerisinde bulunan serbest haldeki elektron sayısına karşılık gelmektedir (**Şekil 4.3**), silindir içerisinde kalan Toplam Elektron İçerği Birimi (Total Electron Count Unit) olarak adlandırılmaktadır ve denklemde (1) gösterildiği gibi ifade edilir.

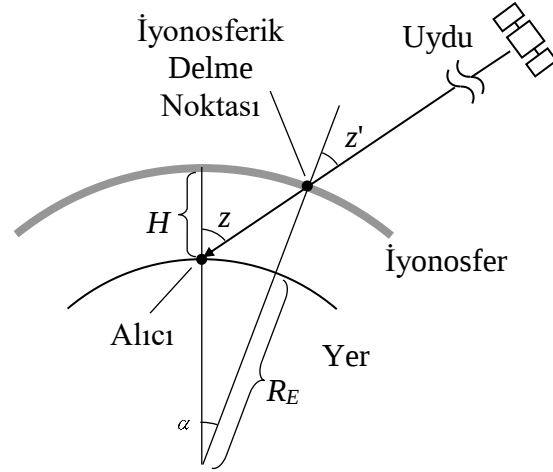
$$10^{16} \text{elektron}/m^2 = 1 \text{TECU} \quad (1)$$



Şekil 4.3 TEİ gözlemine ait grafik (Bülbül 2020)

Daha önce yapılan çalışmalar sonucu iyonosferin farklı frekanstaki dalgaları farklı tepki verdiği gözlemlenmiştir. İyonosferi delip geçebilen en düşük dalga frekansı kritik frekans ya da plazma frekansı olarak adlandırılır. İyonosfer yapısı gereği 30 MHz ve altındaki frekanslardaki dalgaları yansıtmaktadır. 50 MHz'in çok üstündeki dalgalar iyonosferden geçebilir fakat iyonosferde zayıflama ve gecikme etkisine uğrarlar.

Bu sebepten ötürü uydularda iki farklı kanalda iletişim sağlamaktadırlar. Bunlar sırasıyla L1 ($f_1 = 1575,42$ MHz) ve L2 ($f_2 = 1227,60$ MHz)dir. Serbest halede bulunan elektronlar bu dalgaları farklı oranlarda etkiler, uydularda kullanılan atomik saat sayesinde uydudan çıkan ve yeryüzündeki alıcıya ulaşan dalgalar üzerinde etkili olan sinyal gecikmesi hesaplanabilmektedir. Bu İyonosferik gecikme sahte mesafe (pseudorange) ve faz gecikmesinin geometriden arındırılmış kombinasyonu ile elde edilmektedir ve hesaplama yapılırken Tek Katman İyonosfer Modeli (Single Layer Ionosphere Model - SLIM) kullanılmaktadır (Şekil 4.4), model en etkili iyonlaşmanın ve dolayısıyla en fazla sayıda elektronun F2 tabakasının maksimum iyonlaşma yüksekliğinde yoğunlaştığı varsayımını yapar. Yükseklik yeryüzünden yaklaşık olarak 350 – 450 km aralığındadır.



Şekil 4.4 Tek Katman İyonosfer Modeli (Single Layer Ionosphere Model - SLIM)

Çift frekanslı GNSS ölçümleri yardımıyla L (faz) ve P (kod) değerleri kullanılarak TEİ aşağıdaki şekilde hesaplanır (Jin 2015).

$$L_{1,j}^i = \rho_{0,j}^i - d_{\text{ion},1,j}^i + d_{\text{trop},j}^i + c(\tau^i - \tau_j) + \lambda_1(b_1^i - b_{1,j}) + \lambda_1 N_{1,j}^i + \varepsilon_{L,1,j}^i \quad (2)$$

$$L_{2,j}^i = \rho_{0,j}^i - d_{\text{ion},2,j}^i + d_{\text{trop},j}^i + c(\tau^i - \tau_j) + \lambda_2(b_2^i - b_{2,j}) + \lambda_2 N_{2,j}^i + \varepsilon_{L,2,j}^i \quad (3)$$

$$P_{1,j}^i = \rho_{0,j}^i + d_{\text{ion},1,j}^i + d_{\text{trop},j}^i + c(\tau^i - \tau_j) + c(d_1^i - d_{1,j}) + \varepsilon_{P,1,j}^i \quad (4)$$

$$P_{2,j}^i = \rho_{0,j}^i + d_{\text{ion},2,j}^i + d_{\text{trop},j}^i + c(\tau^i - \tau_j) + c(d_2^i - d_{2,j}) + \varepsilon_{P,2,j}^i \quad (5)$$

Burada sırasıyla, L taşıyıcı faz ölçümü, P kod ölçümü, ρ GNSS uydusu ile alıcı arasındaki gerçek mesafe, d_{ion} iyonosferik gecikme, d_{trop} troposferik gecikme, c vakum ortamında ışık hızı, τ uydu ve alıcının saat hatası, b alıcı ve uydu faz donanım gecikmesi, d alıcı ve uydu kod donanım gecikmesi, N taşıyıcı fazın belirsizliği, ε GNSS ölçümlerinden kalan değerlerdir.

Slant Total Electron Content (STEC) iyonosferdeki elektron yoğunluğunun yörüngeden yörüngeye olan değişimini ölçen bir ölçümdür. STEC, GPS veya GLONASS gibi navigasyon sistemlerinde kullanılan sinyallerin iyonosfer tarafından yansıtılması sonucu oluşan gecikmelerin ölçümüne dayanır. STEC değerleri, iyonosferdeki elektron yoğunluğunun yüksekliğine ve yörüngenin açısına göre değişir. Yüksek STEC değerleri,

sinyallerin yörüngede daha az gecikmesine neden olur. Bu nedenle, STEC ölçümleri, iyonosferdeki elektron yoğunluğunun dağılımını analiz etmek ve navigasyon sistemlerinde oluşabilecek hata kaynaklarını takip etmek için kullanılır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned} STEC &= \frac{f_1^2 f_2^2}{40.28(f_1^2 - f_2^2)} (L_1 - L_2 + \lambda_1(N_1 + b_1) - \lambda_2(N_2 + b_2) + \varepsilon_L) \\ &= \frac{f_1^2 f_2^2}{40.28(f_2^2 - f_1^2)} (P_1 - P_2 - (d_1 - d_2) + \varepsilon_P) \end{aligned} \quad (6)$$

Burada f , taşıyıcı faz frekansı, uydu (i) ve alıcı (j) donanım faz (b) ve kod(d) frekanlar arası bayeslerdir (inter-frequency biases). Denklemden bulunan $d_1 = d_1^i - d_{1,j}$, $d_2 = d_2^i - d_{2,j}$, $b_1 = b_1^i - b_{1,j}$, $b_2 = b_2^i - b_{2,j}$ değerlerine karşılık gelmektedir.

L ve P taşıyıcı faz ve pseudorange (sahte uzunluk) gözlemleridir. λ , sinyal dalga boyudur. N , belirsizliktir.

Dikey Toplam Elektron İçeriği (VTEC), iyonosferdeki elektron yoğunluğunun yörüngede belirli bir noktaya olan değişimini ölçen bir ölçümdür.

VTEC değerleri çift frekanslı GNSS ölçümleri ile aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

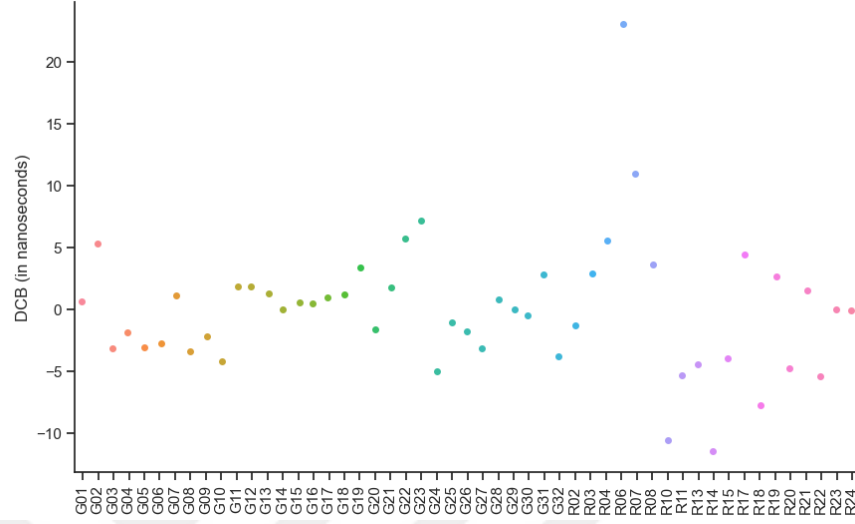
$$vTEC = STEC * \cos\left(\arcsin\left(\frac{R \sin z}{R+H}\right)\right) \quad (7)$$

R yerin yarıçapı (m) ve H ise iyonosferik kabuğun metre cinsinden yüksekliğidir. Hesaplamalarda yerin yarıçapı $R = 6378$ metre, iyonosferin en yoğun olduğu yükseklik değeri için ise $H = 300$ km kabul edilebilir.

TEİ hesaplamalarında göz önünde bulundurulması gereken hata kaynakları vardır.

Differential Code Biases (DCBs) GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcılarında iki farklı frekanslardaki veya aynı frekansdaki kod gözlemleri arasındaki sistematik hatalar veya sapmalardır (**Şekil 4.5**). DCB'ler, GNSS alıcılarının kod tabanlı pozisyonlandırılması, iyonosferdeki toplam elektron içeriği (TEC) çıkarılması ve diğer uygulamalar için gereklidir. DCB'lerin doğru bilinmesi, birçok navigasyon uygulaması

için önemlidir ancak aynı zamanda iyonosferik analiz ve zaman transferi gibi navigasyon dışı uygulamalar için de önemlidir.



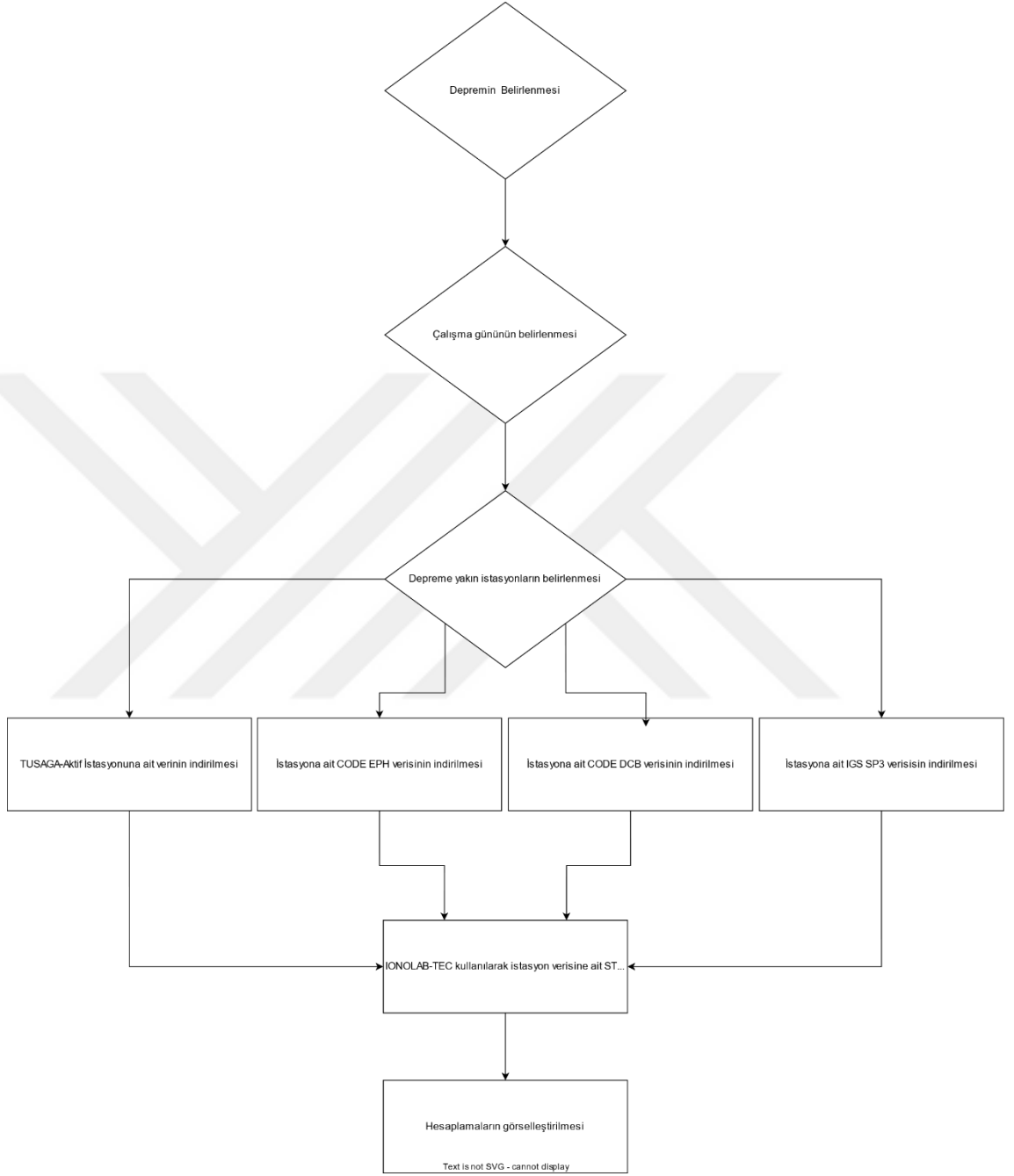
Şekil 4.5 Diferansiyel Kod Yanlılıkları (DCB)

Inter-frequency biases (IFB), farklı frekanslar arasındaki taşıyıcı faz ve pseudorange gözlemlerinde oluşabilecek sapmaları ifade eder. Bu sapmalar, alıcı veya sistem tarafından oluşabilir ve farklı frekanslar arasındaki gözlemler arasındaki farklılıkları açıklamak için kullanılır. Örneğin, GPS alıcısı L1 ve L2 frekanslarını kullanarak taşıyıcı faz ve pseudorange gözlemleri yapabilir. Ancak alıcının L1 ve L2 frekansları arasındaki sapmaları düzeltmek için inter-frequency biases değerleri kullanılır. Inter-frequency biases, navigasyon sistemlerinde oluşabilecek hata kaynaklarını azaltmak ve daha doğru TEC değerlerini elde etmek için kullanılabilir. Ayrıca, çift frekanslı GNSS ölçümlerinde kullanıldığında, inter-frequency biases değerleri ile daha doğru VTEC değerleri elde edilir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Depremlerin incelenmesi sürecinde kullanılan yöntemler, veri analizi teknikleri ve elde edilen sonuçlar, araştırma bulguları başlığı altında sistematik bir şekilde sunulacaktır. Bulguların açıklanması, her bir depremin özellikleri, olası nedenler ve bu nedenlerin ortaya çıkardığı etkiler üzerinde yoğunlaşacak, böylece elde edilen verilerin anlamının daha iyi anlaşılması sağlanacaktır.

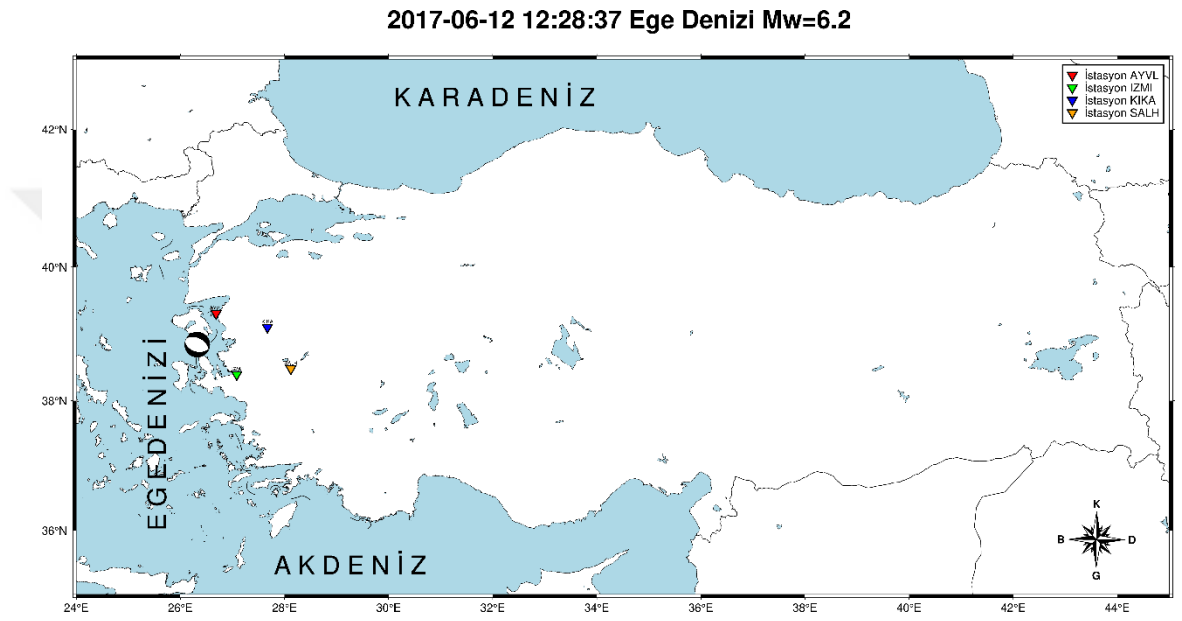
İlk olarak verilerin otomatik olarak elde edilmesi işlenmeye hazırlanması için başta Python olmak üzere javascript, batch ve bash betiklerinden yararlanılmıştır. TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait veriler ile beraber IONOLAB-TEC yazılımının ihtiyaç duyduğu CODE EPH, IGS SP3, CODE DCB ve IONEX dosyaları yayın bağlantılarına erişilerek gerek günlere ait veriler elde edilmiştir. Ardından hazırlanan veriler IONOLAB-TEC yazılımı ile kullanılmak üzere hazırlanmış ve program yardımıyla çalışma gününe ait STEC değerleri ve sonrasında VTEC değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler görselleştirilmek için PyGMT ve Matplotlib başta olmak üzere Python kütüphanelerinden yararlanılmıştır (**Şekil 5.1**).



Şekil 5.1 Veri işleme sürecine ait akış diyagramı

5.1 12.06.2017 Ege Denizi Depremi

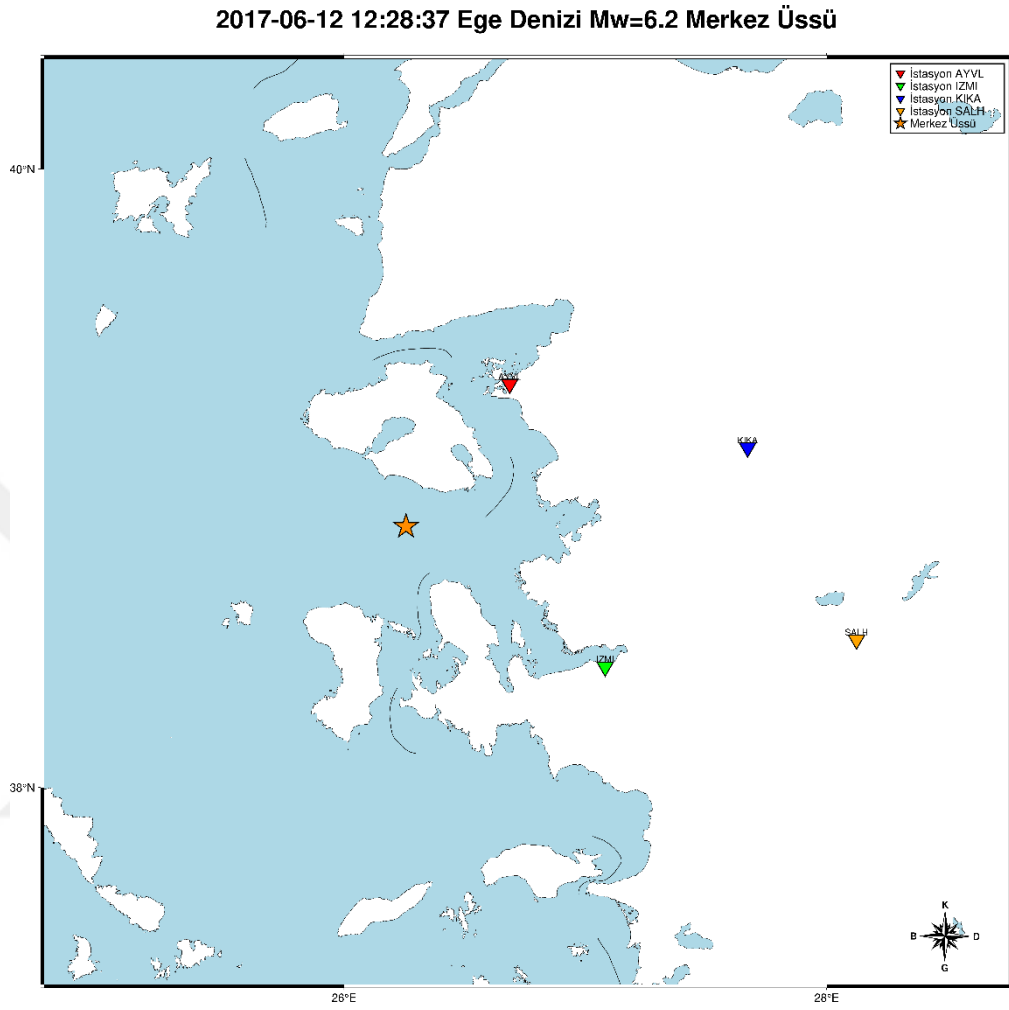
12 Haziran 2017 tarihinde yerel saat ile 01:31:37'da Denizli ilinin Çardak ilçesine bağlı Dutluca köyü civarında, büyüklüğü $M_w = 6.2$ ve derinliği 6.96 olan bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 5.2). Depremin şiddeti Kandilli Rasathanesi tarafından $I_0 = VI$ olarak açıklanmıştır.



Şekil 5.2 12.06.2017 Ege Denizi Depremi

Deprem hem Türkiye hem de Yunanistan'da can ve mal kaybına neden olmuştur.

Depreme ait TEİ değerlerinin hesabı için AYVL, IZMI, KİKA ve SALH istasyonları kullanılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 12.06.2017 Ege Denizi Depremi kullanılan istasyonlar haritası

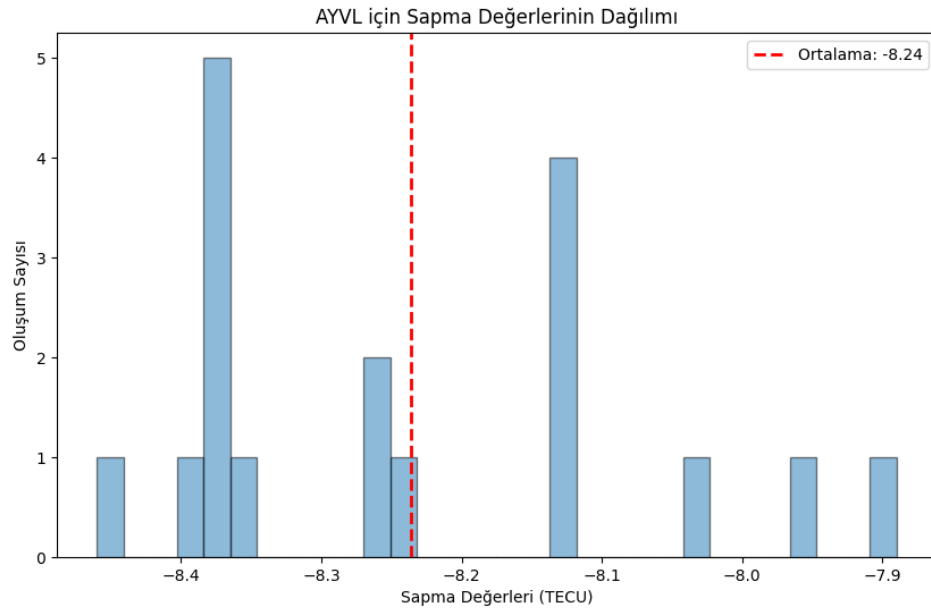
TUSAGA-Aktif 'den gelen veriler sonucu 1 gün ve 15 günlük hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar istasyonların IFB değerleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Çizelge 5.1-5.2).

Çizelge 5.1 12.06.2017 Ege Denizi Depremi IFB değerleri

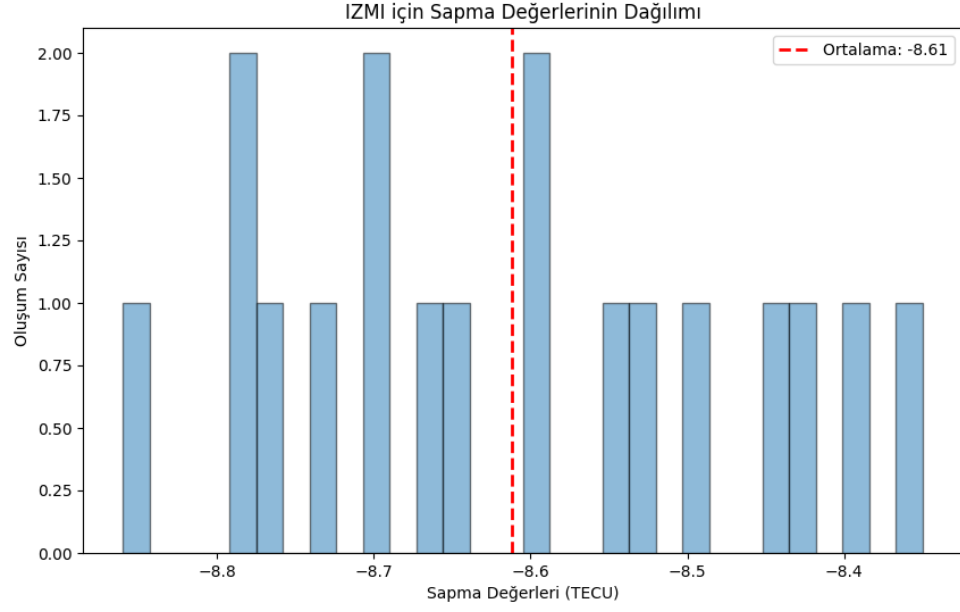
Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
12.06.2017	AYVL	149	29.05.2017	39,31	26,69	-8,13
12.06.2017	AYVL	150	30.05.2017	39,31	26,69	-8,37
12.06.2017	AYVL	151	31.05.2017	39,31	26,69	-8,12
12.06.2017	AYVL	152	01.06.2017	39,31	26,69	-8,38
12.06.2017	AYVL	153	02.06.2017	39,31	26,69	-8,13
12.06.2017	AYVL	154	03.06.2017	39,31	26,69	-8,13
12.06.2017	AYVL	155	04.06.2017	39,31	26,69	-7,96
12.06.2017	AYVL	156	05.06.2017	39,31	26,69	-8,37
12.06.2017	AYVL	157	06.06.2017	39,31	26,69	-8,36
12.06.2017	AYVL	158	07.06.2017	39,31	26,69	-8,24
12.06.2017	AYVL	159	08.06.2017	39,31	26,69	-8,27
12.06.2017	AYVL	160	09.06.2017	39,31	26,69	-8,4
12.06.2017	AYVL	161	10.06.2017	39,31	26,69	-7,89
12.06.2017	AYVL	162	11.06.2017	39,31	26,69	-8,37
12.06.2017	AYVL	163	12.06.2017	39,31	26,69	-8,37
12.06.2017	AYVL	164	13.06.2017	39,31	26,69	-8,46
12.06.2017	AYVL	165	14.06.2017	39,31	26,69	-8,26
12.06.2017	AYVL	166	15.06.2017	39,31	26,69	-8,04
12.06.2017	IZMI	149	29.05.2017	38,39	27,08	-8,59
12.06.2017	IZMI	150	30.05.2017	38,39	27,08	-8,76
12.06.2017	IZMI	151	31.05.2017	38,39	27,08	-8,53
12.06.2017	IZMI	152	01.06.2017	38,39	27,08	-8,73
12.06.2017	IZMI	153	02.06.2017	38,39	27,08	-8,44
12.06.2017	IZMI	154	03.06.2017	38,39	27,08	-8,43
12.06.2017	IZMI	155	04.06.2017	38,39	27,08	-8,55
12.06.2017	IZMI	156	05.06.2017	38,39	27,08	-8,6
12.06.2017	IZMI	157	06.06.2017	38,39	27,08	-8,7
12.06.2017	IZMI	158	07.06.2017	38,39	27,08	-8,5
12.06.2017	IZMI	159	08.06.2017	38,39	27,08	-8,67
12.06.2017	IZMI	160	09.06.2017	38,39	27,08	-8,86
12.06.2017	IZMI	161	10.06.2017	38,39	27,08	-8,4
12.06.2017	IZMI	162	11.06.2017	38,39	27,08	-8,7
12.06.2017	IZMI	163	12.06.2017	38,39	27,08	-8,78
12.06.2017	IZMI	164	13.06.2017	38,39	27,08	-8,79
12.06.2017	IZMI	165	14.06.2017	38,39	27,08	-8,64
12.06.2017	IZMI	166	15.06.2017	38,39	27,08	-8,35
12.06.2017	KIKA	149	29.05.2017	39,11	27,67	-6,93
12.06.2017	KIKA	150	30.05.2017	39,11	27,67	-6,98
12.06.2017	KIKA	151	31.05.2017	39,11	27,67	-6,8
12.06.2017	KIKA	152	01.06.2017	39,11	27,67	-7,02
12.06.2017	KIKA	153	02.06.2017	39,11	27,67	-6,76
12.06.2017	KIKA	154	03.06.2017	39,11	27,67	-6,78
12.06.2017	KIKA	155	04.06.2017	39,11	27,67	-6,63
12.06.2017	KIKA	156	05.06.2017	39,11	27,67	-6,92
12.06.2017	KIKA	157	06.06.2017	39,11	27,67	-6,93
12.06.2017	KIKA	158	07.06.2017	39,11	27,67	-6,82
12.06.2017	KIKA	159	08.06.2017	39,11	27,67	-6,94
12.06.2017	KIKA	160	09.06.2017	39,11	27,67	-7,23
12.06.2017	KIKA	161	10.06.2017	39,11	27,67	-6,55
12.06.2017	KIKA	162	11.06.2017	39,11	27,67	-7,01
12.06.2017	KIKA	163	12.06.2017	39,11	27,67	-6,98

Çizelge 5.2 12.06.2017 Ege Denizi Depremi IFB değerleri

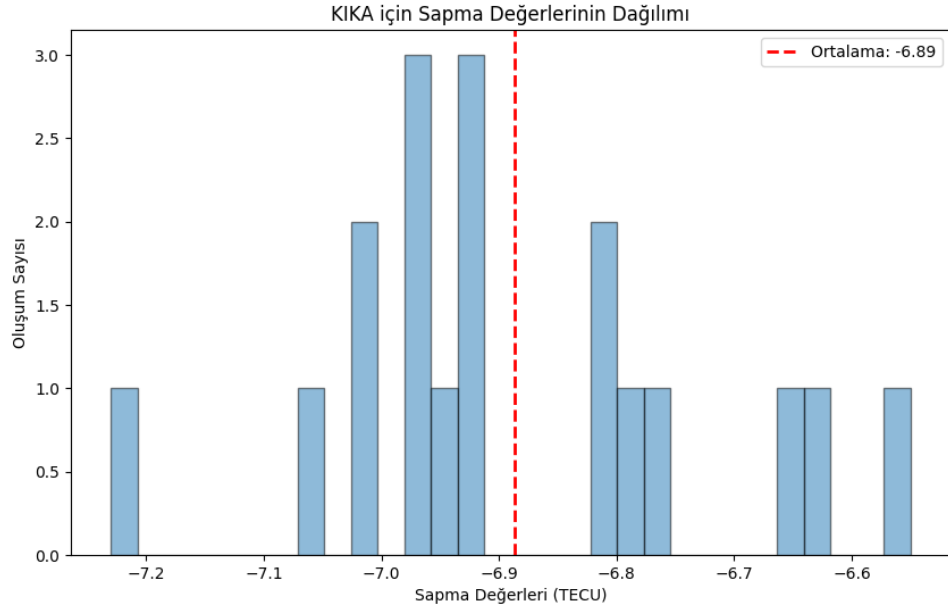
Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
12.06.2017	KIKA	164	13.06.2017	39,11	27,67	-7,05
12.06.2017	KIKA	165	14.06.2017	39,11	27,67	-6,98
12.06.2017	KIKA	166	15.06.2017	39,11	27,67	-6,65
12.06.2017	SALH	149	29.05.2017	38,48	28,12	-6,07
12.06.2017	SALH	150	30.05.2017	38,48	28,12	-6,35
12.06.2017	SALH	151	31.05.2017	38,48	28,12	-6,02
12.06.2017	SALH	152	01.06.2017	38,48	28,12	-6,23
12.06.2017	SALH	153	02.06.2017	38,48	28,12	-5,97
12.06.2017	SALH	154	03.06.2017	38,48	28,12	-5,93
12.06.2017	SALH	155	04.06.2017	38,48	28,12	-5,81
12.06.2017	SALH	156	05.06.2017	38,48	28,12	-6,17
12.06.2017	SALH	157	06.06.2017	38,48	28,12	-6,11
12.06.2017	SALH	158	07.06.2017	38,48	28,12	-5,94
12.06.2017	SALH	159	08.06.2017	38,48	28,12	-6,15
12.06.2017	SALH	160	09.06.2017	38,48	28,12	-6,42
12.06.2017	SALH	161	10.06.2017	38,48	28,12	-5,92
12.06.2017	SALH	162	11.06.2017	38,48	28,12	-6,19
12.06.2017	SALH	163	12.06.2017	38,48	28,12	-6,23
12.06.2017	SALH	164	13.06.2017	38,48	28,12	-6,48
12.06.2017	SALH	165	14.06.2017	38,48	28,12	-6,24
12.06.2017	SALH	166	15.06.2017	38,48	28,12	-5,94



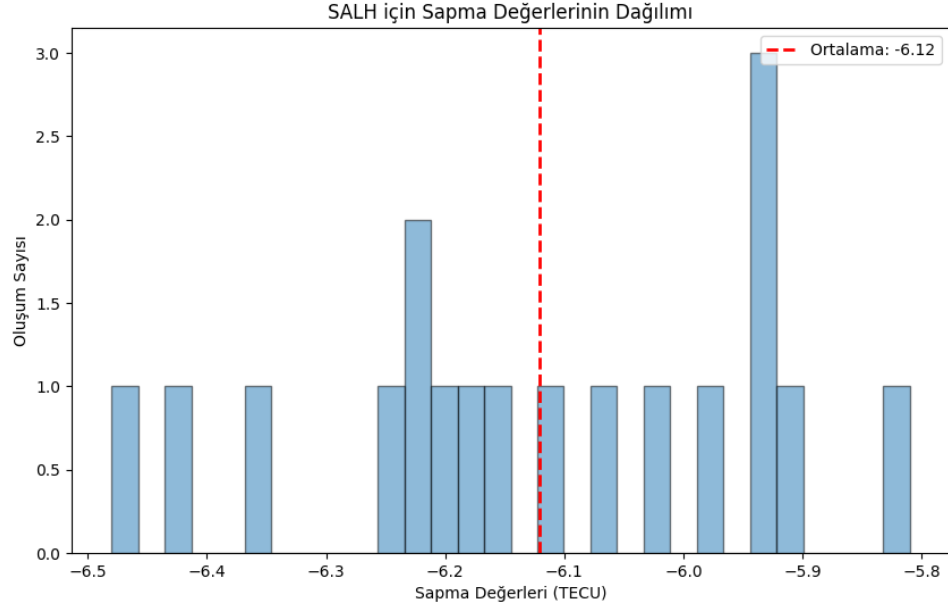
Şekil 5.4 AYVL istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram



Şekil 5.5 İZMİ istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

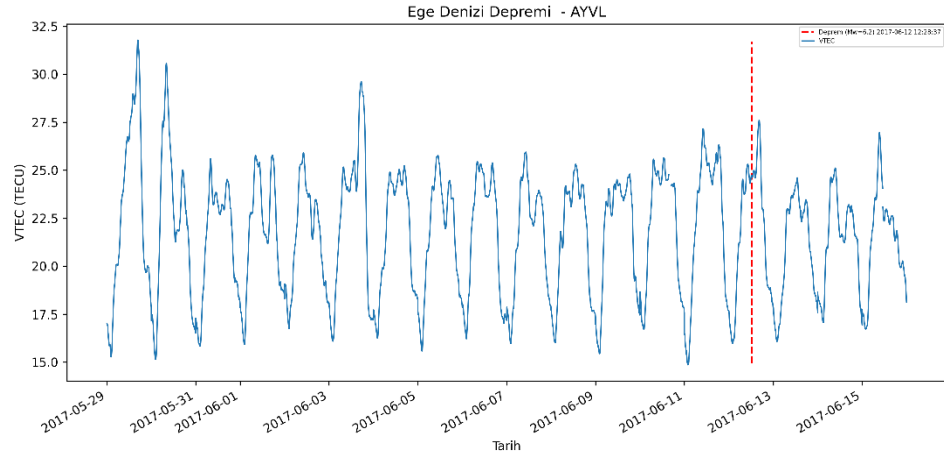


Şekil 5.6 KİKA istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

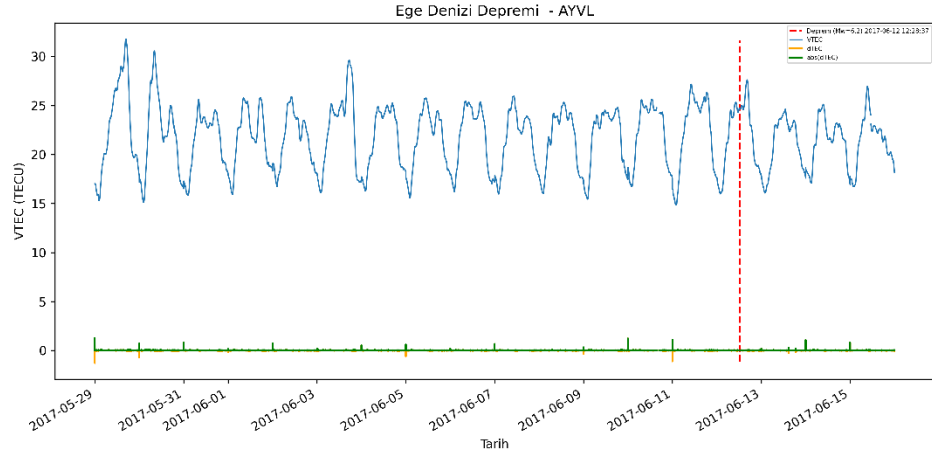


Şekil 5.7 SALH istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

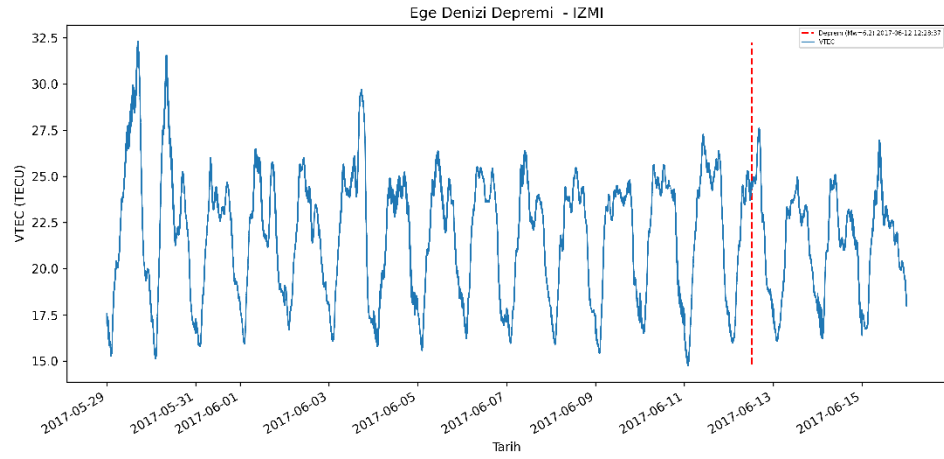
Deprem öncesi ve sonrası kapsayacak şekilde elde edilen 15 günlük veriler elde edilmiş ve 15 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.8-5.15).



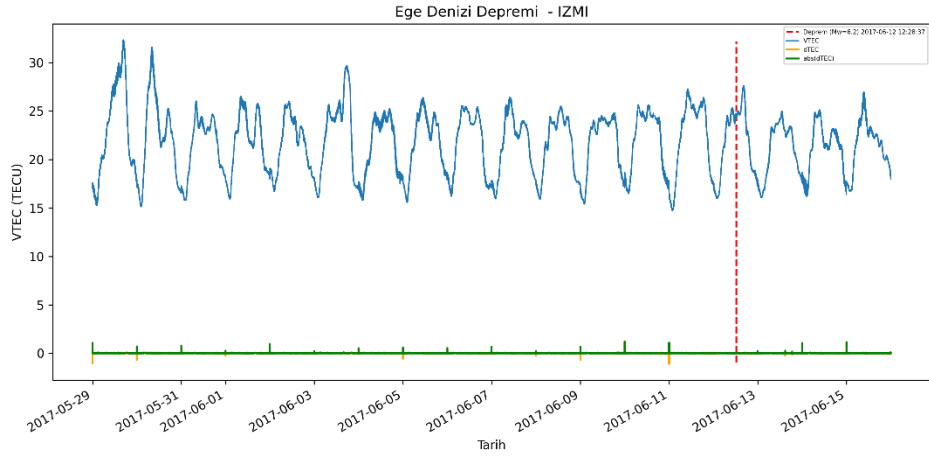
Şekil 5.8 AYVL istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



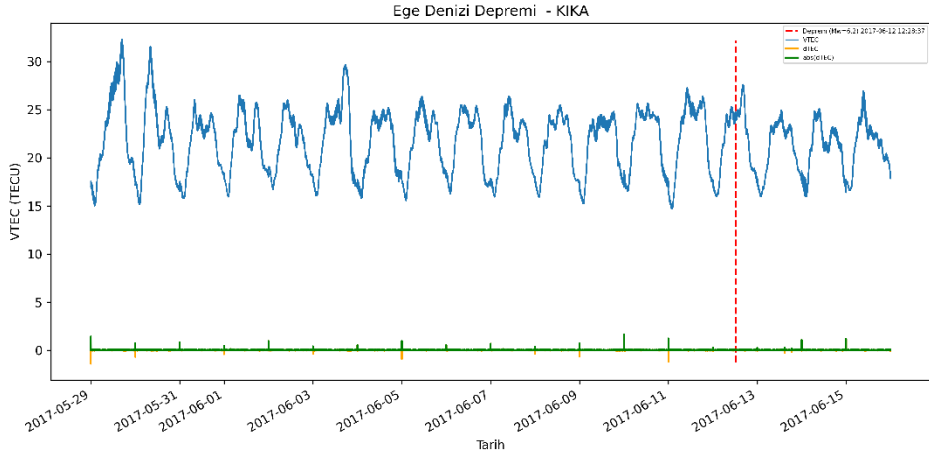
Şekil 5.9 AYVL istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



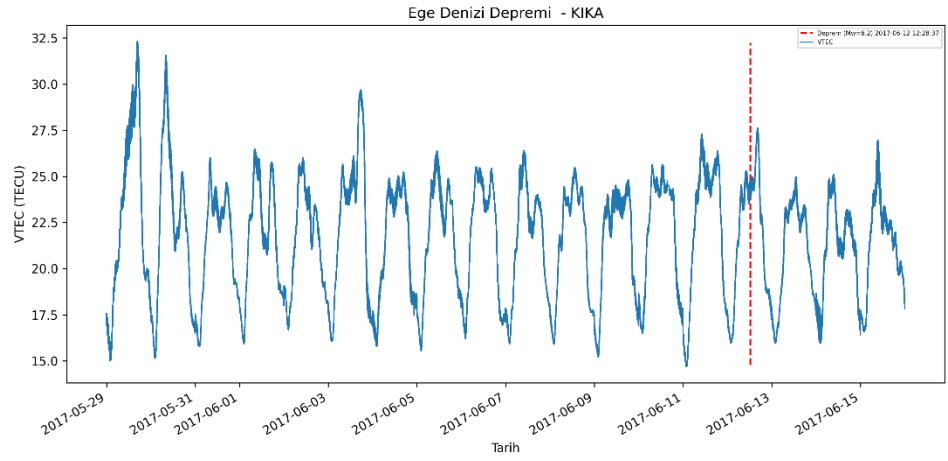
Şekil 5.10 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



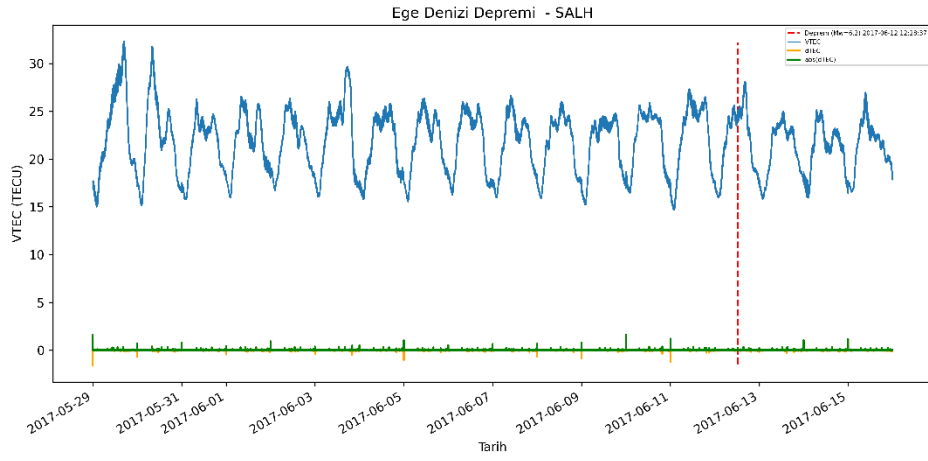
Şekil 5.11 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



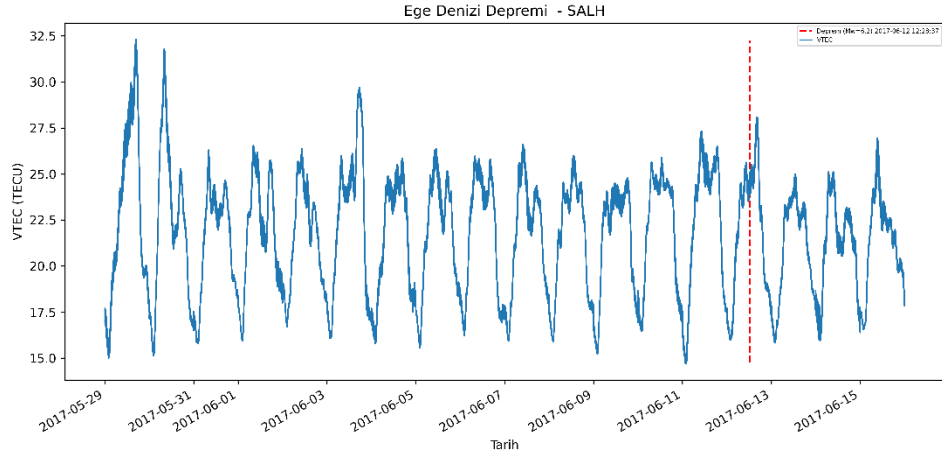
Şekil 5.12 KİKA istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



Şekil 5.14 KİKA istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



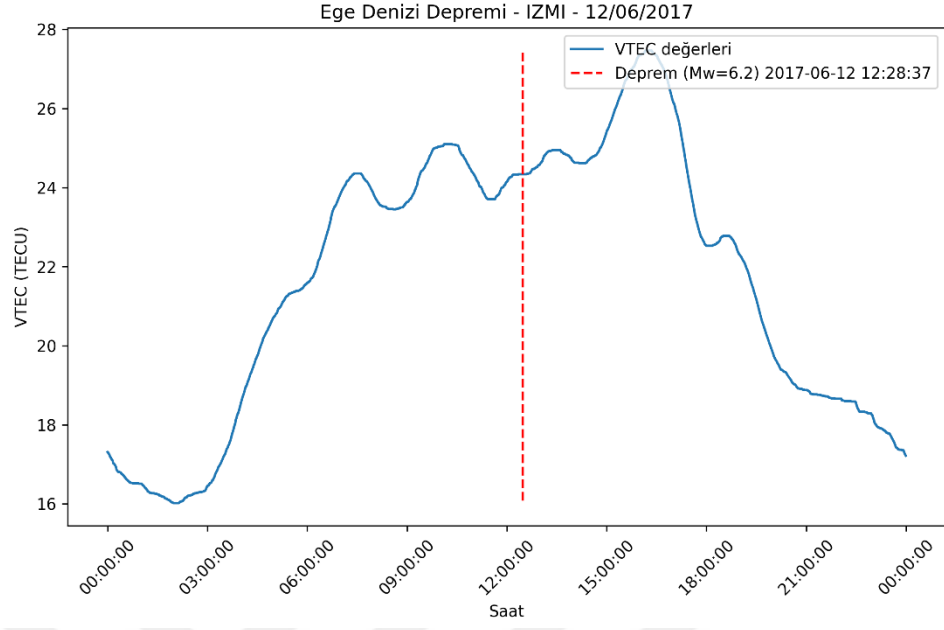
Şekil 5.13 SALH istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



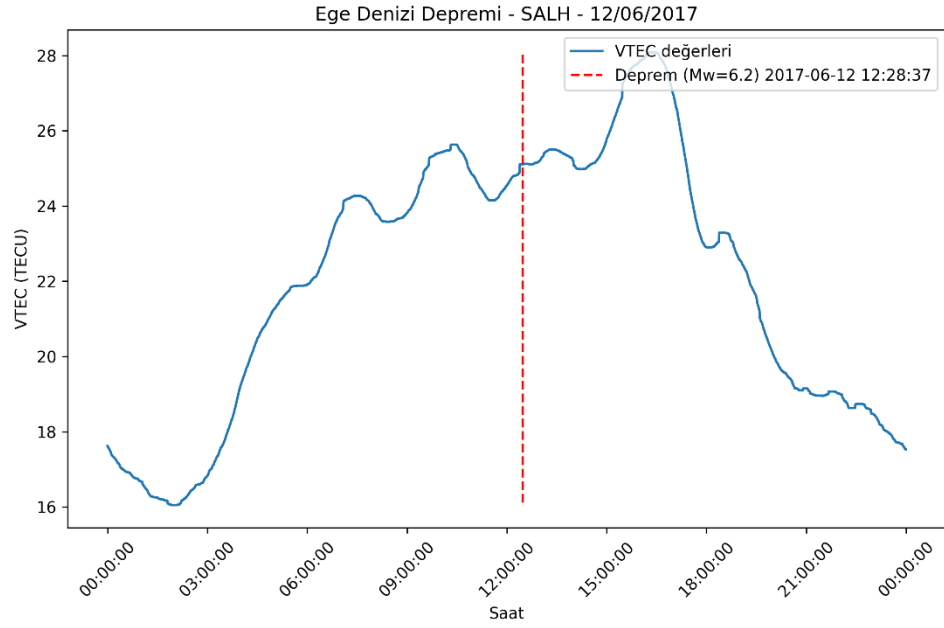
Şekil 5.15 SALH istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri

Hesaplanan 15 günlük veriler sonucu KİKA, SALH, AYVL, İZMİ istasyonlarına ait veriler incelendiğinde 15 günlük süreç boyunca TEİ değerleri normal olarak değerlendirilebilecek şekilde gözlenmiştir.

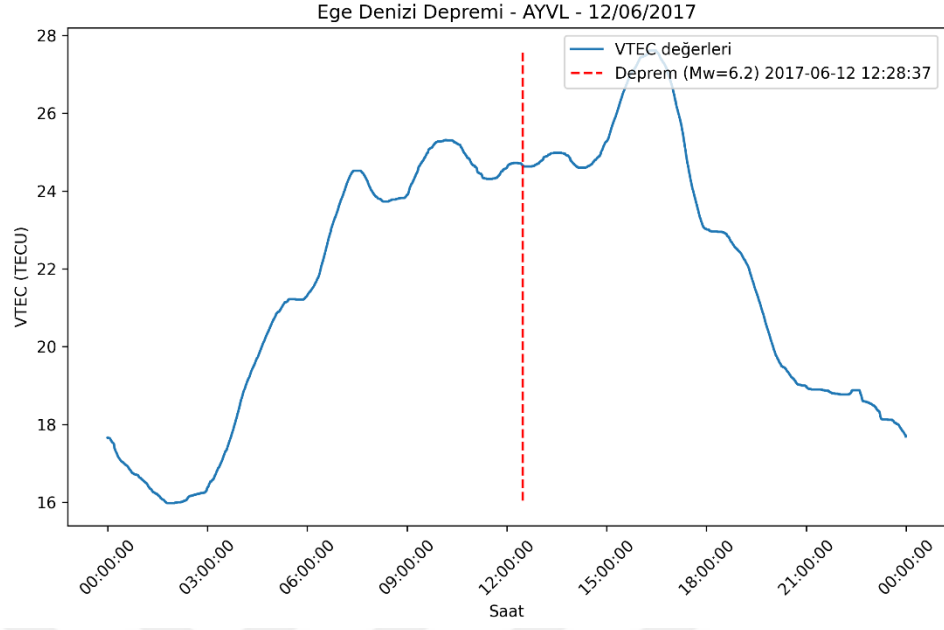
15 günlük verilerden sonra, deprem gününe ait 1 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.16-5.22).



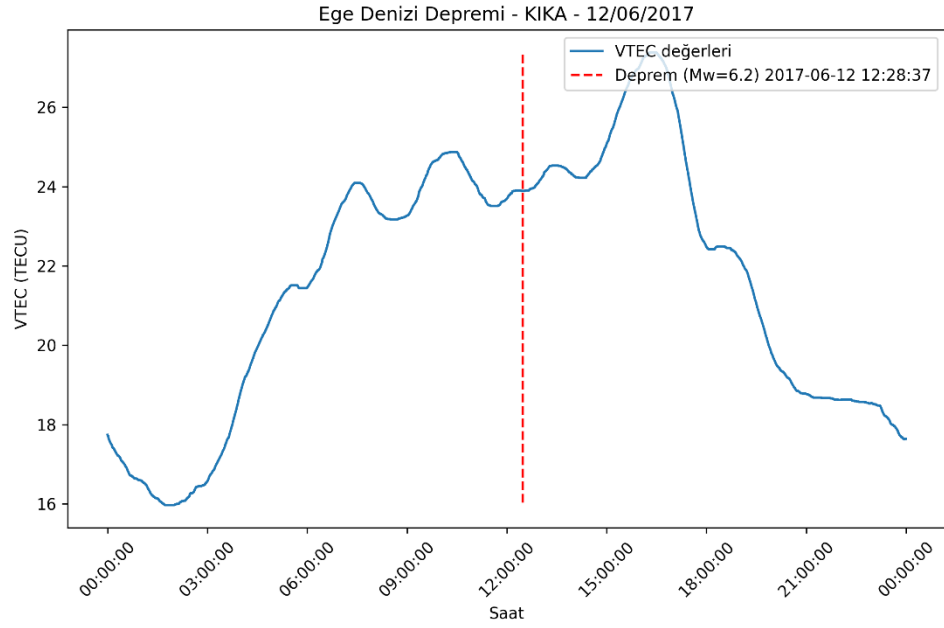
Şekil 5.16 IZMI istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



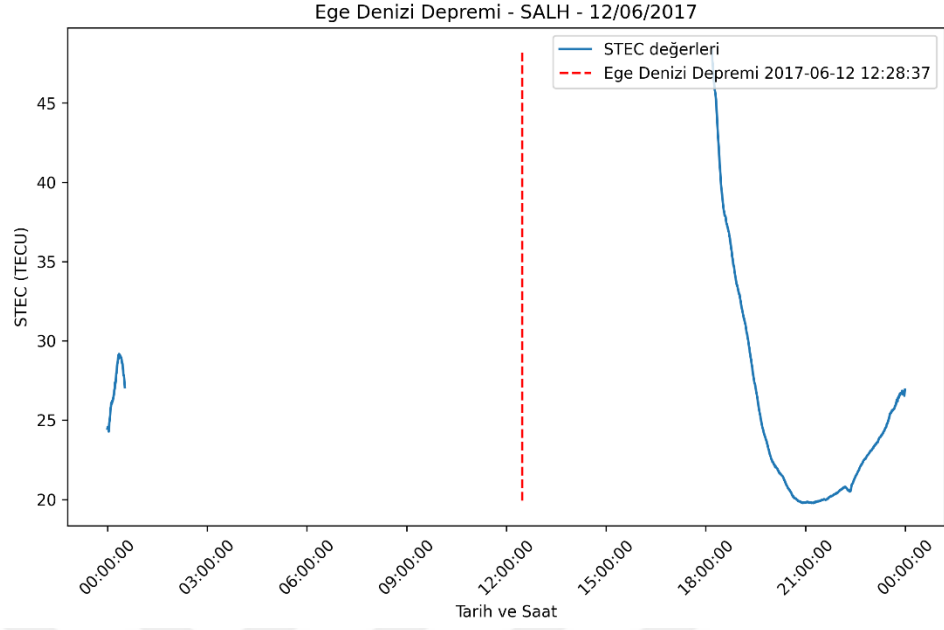
Şekil 5.17 SALH istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



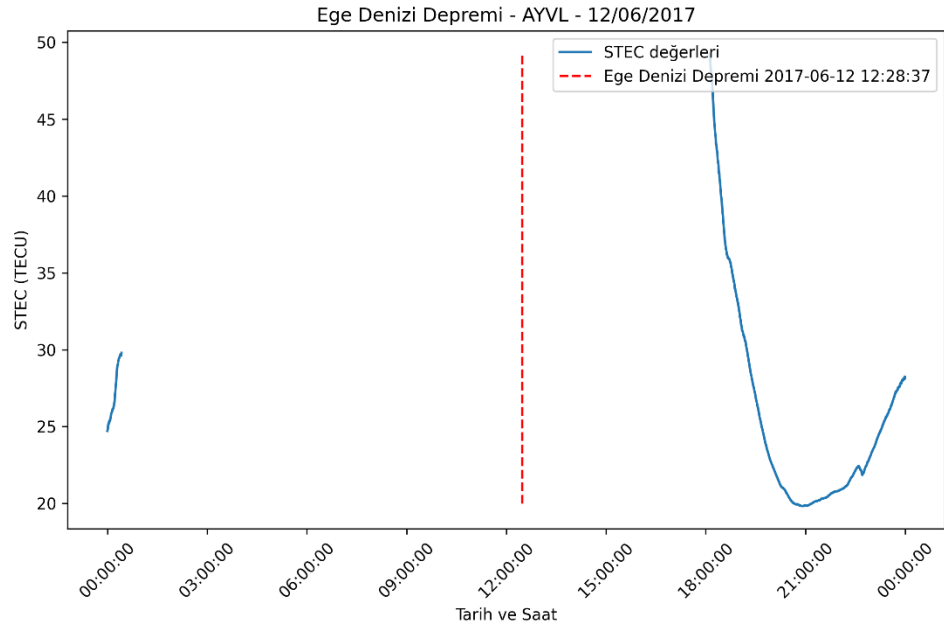
Şekil 5.18 AYVL istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



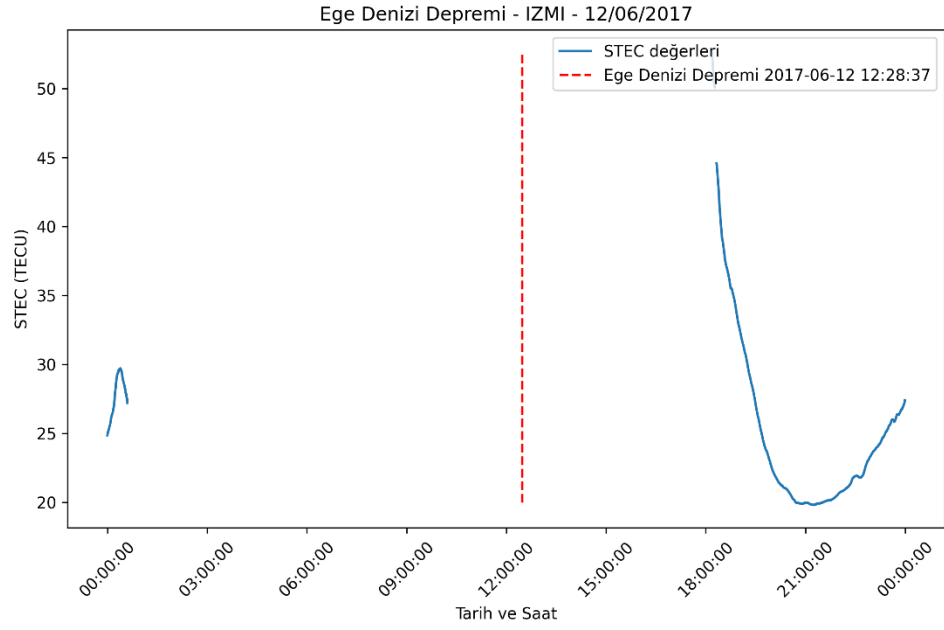
Şekil 5.19 KİKA istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



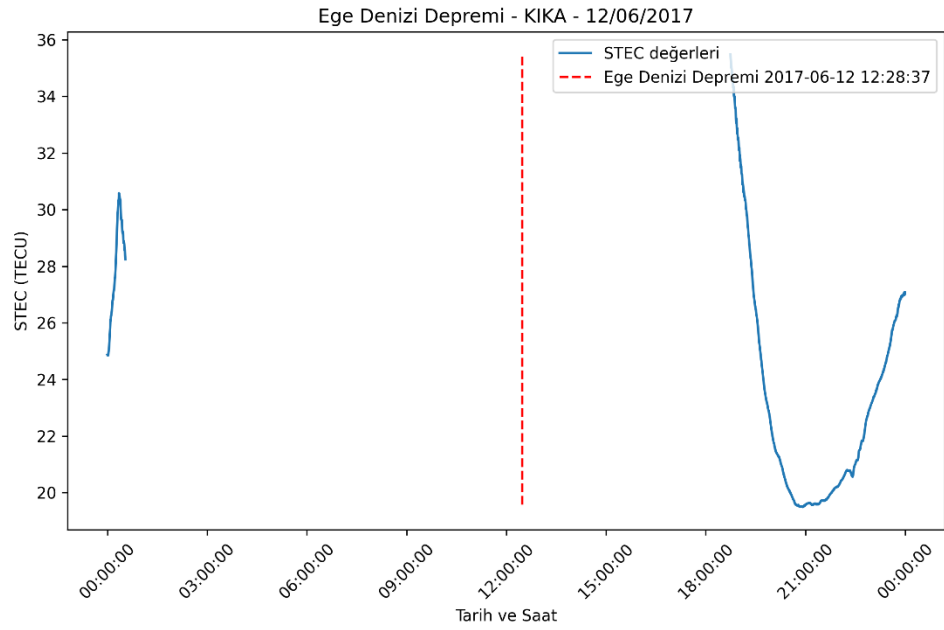
Şekil 5.20 SALH istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri



Şekil 5.21 AYVL istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri



Şekil 5.23 IZMI istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri

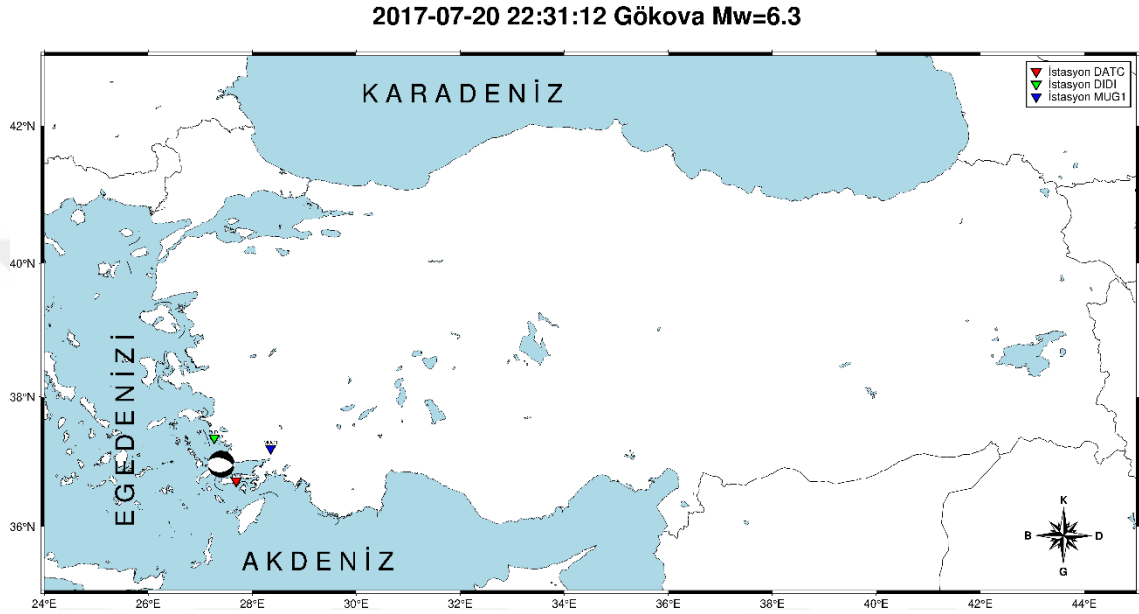


Şekil 5.22 KİKA istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri

Deprem gününe ait farklı istasyonlardaki veriler incelendiğinde istasyonlarda günlük değişme olağan değişim dışında gözlem yapılmamıştır.

5.2 21.07.2017 Gökova Depremi

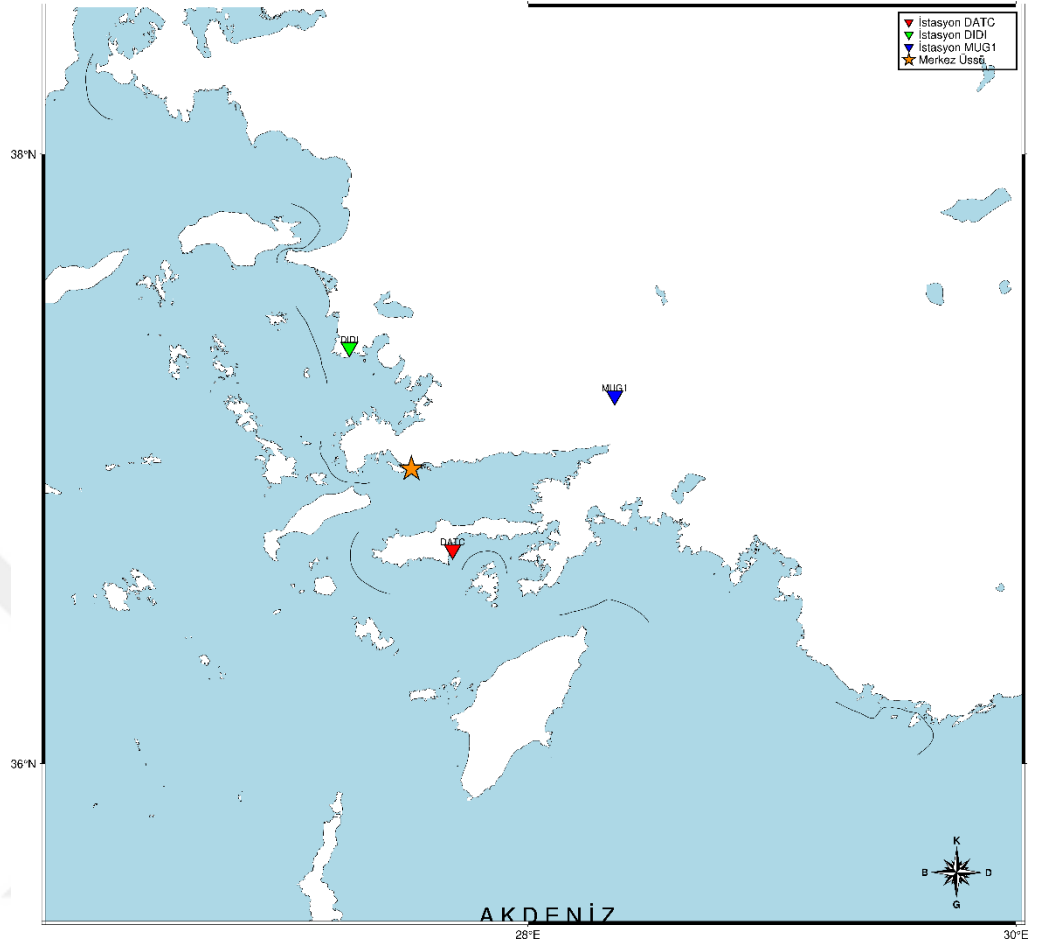
21 Temmuz 2017 tarihinde yerel saat ile 01:31:12'de Gökova Körfezi- Akdeniz'de, büyüklüğü $M_w = 6.3$ ve derinliği 7.80 olan bir deprem meydana gelmiştir (**Şekil 5.24**). Depremi şiddeti Kandilli Rasathanesi tarafından $I_0 = VII$ olarak açıklanmıştır.



Şekil 5.24 21.07.2017 Gökova Depremi

Deprem için yapılacak hesaplamalarda kullanılmak üzere odak merkezi çevresinde bulunan üç istasyon seçilmiştir. Seçilen bu istasyonlar sırasıyla DATC, DIDI ve MUG1 istasyonlarıdır (**Şekil 5.24 – 5.25**).

2017-07-20 22:31:12 Gökova Mw=6.3 Merkez Üssü



Şekil 5.25 21.07.2017 Gökova Depremi için kullanılan istasyonların haritası

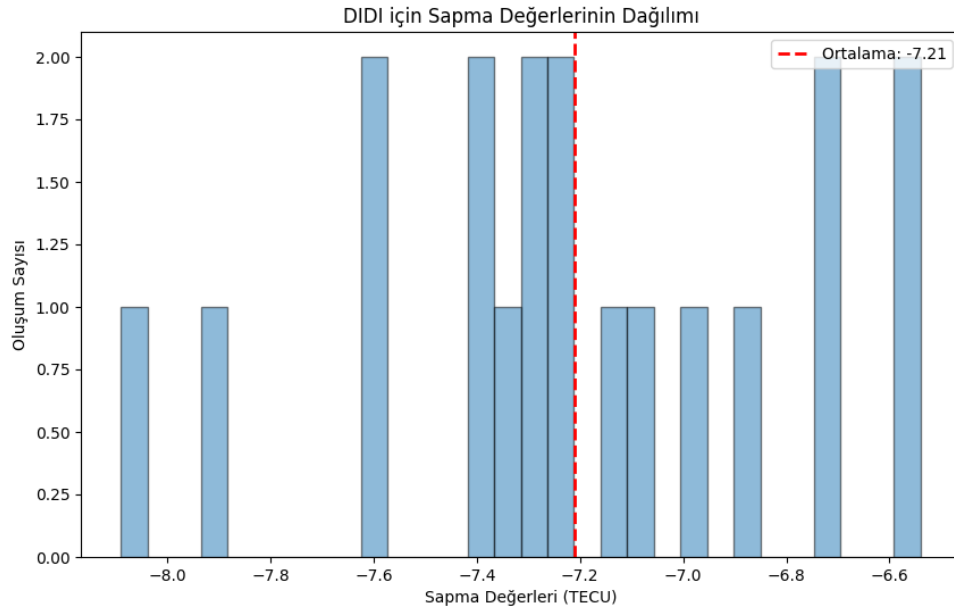
TUSAGA-Aktif 'den gelen veriler sonucu 1 gün ve 15 günlük hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar istasyonların IFB değerleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Çizelge 5.3-5.4).

Çizelge 5.3 21.07.2017 Gökova Depremi IFB değerleri

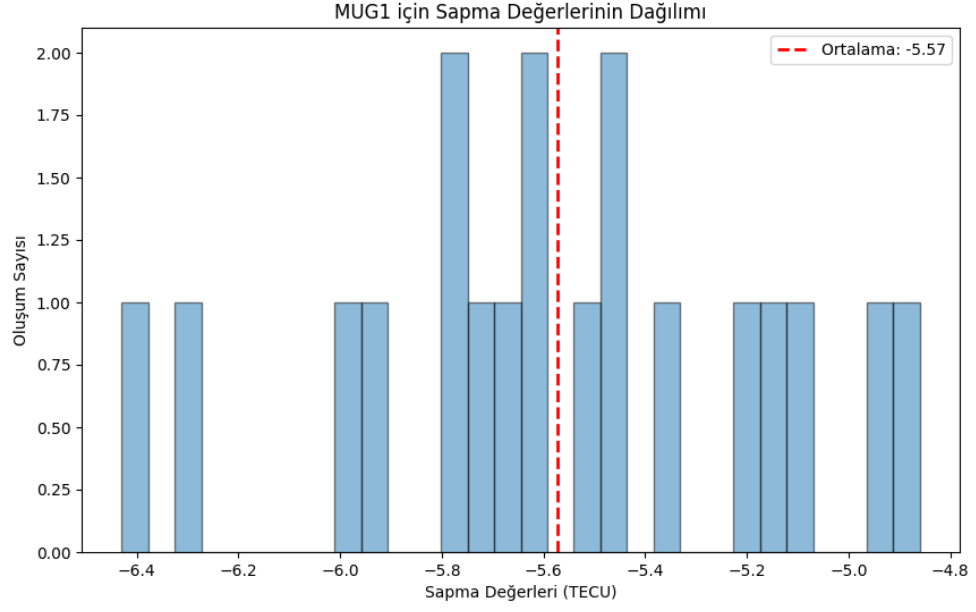
Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
20.07.2017	DATC	186	05.07.2017	36,71	27,69	-4,01
20.07.2017	DATC	187	06.07.2017	36,71	27,69	-4,69
20.07.2017	DATC	188	07.07.2017	36,71	27,69	-4,5
20.07.2017	DATC	189	08.07.2017	36,71	27,69	-4,4
20.07.2017	DATC	190	09.07.2017	36,71	27,69	-5,51
20.07.2017	DATC	191	10.07.2017	36,71	27,69	-5,06
20.07.2017	DATC	192	11.07.2017	36,71	27,69	-4,76
20.07.2017	DATC	193	12.07.2017	36,71	27,69	-4,4
20.07.2017	DATC	194	13.07.2017	36,71	27,69	-4,44
20.07.2017	DATC	195	14.07.2017	36,71	27,69	-5
20.07.2017	DATC	196	15.07.2017	36,71	27,69	-4,82
20.07.2017	DATC	197	16.07.2017	36,71	27,69	-5,58
20.07.2017	DATC	198	17.07.2017	36,71	27,69	-3,96
20.07.2017	DATC	199	18.07.2017	36,71	27,69	-4,46
20.07.2017	DATC	200	19.07.2017	36,71	27,69	-4,24
20.07.2017	DATC	201	20.07.2017	36,71	27,69	-4,19
20.07.2017	DATC	202	21.07.2017	36,71	27,69	-4,84
20.07.2017	DATC	203	22.07.2017	36,71	27,69	-4,95
20.07.2017	DATC	204	23.07.2017	36,71	27,69	-4,94
20.07.2017	DIDI	186	05.07.2017	37,37	27,27	-6,74
20.07.2017	DIDI	187	06.07.2017	37,37	27,27	-7,34
20.07.2017	DIDI	188	07.07.2017	37,37	27,27	-7,24
20.07.2017	DIDI	189	08.07.2017	37,37	27,27	-7,09
20.07.2017	DIDI	190	09.07.2017	37,37	27,27	-8,09
20.07.2017	DIDI	191	10.07.2017	37,37	27,27	-7,6
20.07.2017	DIDI	192	11.07.2017	37,37	27,27	-7,28
20.07.2017	DIDI	193	12.07.2017	37,37	27,27	-7
20.07.2017	DIDI	194	13.07.2017	37,37	27,27	-7,12
20.07.2017	DIDI	195	14.07.2017	37,37	27,27	-7,58
20.07.2017	DIDI	196	15.07.2017	37,37	27,27	-7,22
20.07.2017	DIDI	197	16.07.2017	37,37	27,27	-7,89
20.07.2017	DIDI	198	17.07.2017	37,37	27,27	-6,54
20.07.2017	DIDI	199	18.07.2017	37,37	27,27	-6,87
20.07.2017	DIDI	200	19.07.2017	37,37	27,27	-6,57
20.07.2017	DIDI	201	20.07.2017	37,37	27,27	-6,73
20.07.2017	DIDI	202	21.07.2017	37,37	27,27	-7,28
20.07.2017	DIDI	203	22.07.2017	37,37	27,27	-7,41
20.07.2017	DIDI	204	23.07.2017	37,37	27,27	-7,39
20.07.2017	MUG1	186	05.07.2017	37,21	28,36	-5,07
20.07.2017	MUG1	187	06.07.2017	37,21	28,36	-5,68
20.07.2017	MUG1	188	07.07.2017	37,21	28,36	-5,5
20.07.2017	MUG1	189	08.07.2017	37,21	28,36	-5,47
20.07.2017	MUG1	190	09.07.2017	37,21	28,36	-6,43
20.07.2017	MUG1	191	10.07.2017	37,21	28,36	-5,91
20.07.2017	MUG1	192	11.07.2017	37,21	28,36	-5,61
20.07.2017	MUG1	193	12.07.2017	37,21	28,36	-5,36
20.07.2017	MUG1	194	13.07.2017	37,21	28,36	-5,44
20.07.2017	MUG1	195	14.07.2017	37,21	28,36	-5,98
20.07.2017	MUG1	196	15.07.2017	37,21	28,36	-5,63
20.07.2017	MUG1	197	16.07.2017	37,21	28,36	-6,29

Çizelge 5.4 21.07.2017 Gökova Depremi IFB değerleri

Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
20.07.2017	MUG1	198	17.07.2017	37,21	28,36	-4,86
20.07.2017	MUG1	199	18.07.2017	37,21	28,36	-5,22
20.07.2017	MUG1	200	19.07.2017	37,21	28,36	-4,94
20.07.2017	MUG1	201	20.07.2017	37,21	28,36	-5,15
20.07.2017	MUG1	202	21.07.2017	37,21	28,36	-5,72
20.07.2017	MUG1	203	22.07.2017	37,21	28,36	-5,8
20.07.2017	MUG1	204	23.07.2017	37,21	28,36	-5,8

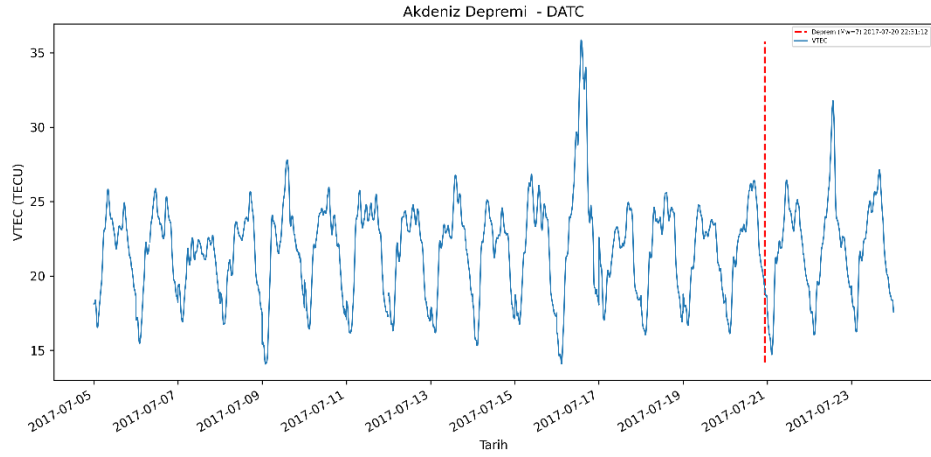


Şekil 5.26 DIDI istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

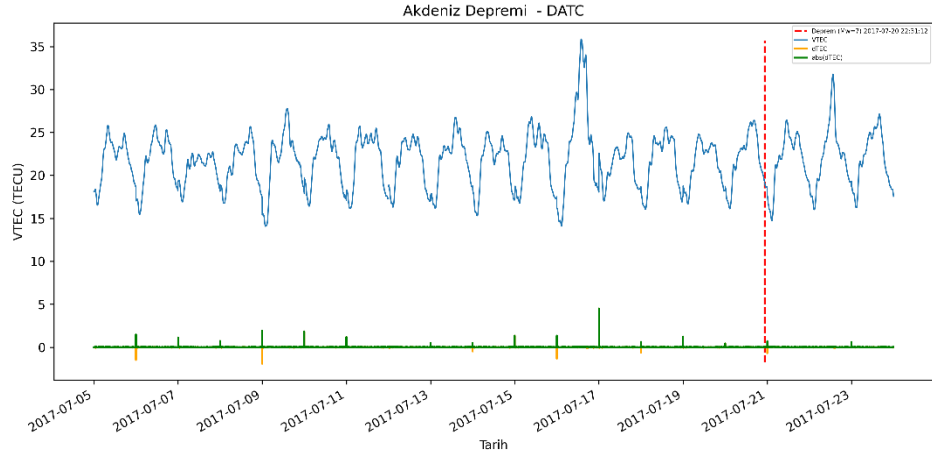


Şekil 5.27 MUG1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

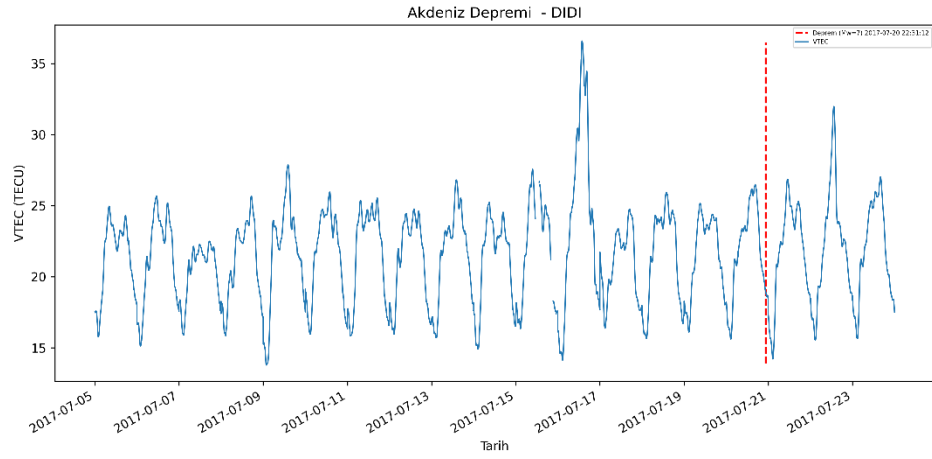
Deprem öncesi ve sonrasını kapsayacak şekilde elde edilen 15 günlük veriler elde edilmiş ve 15 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.28-5.32).



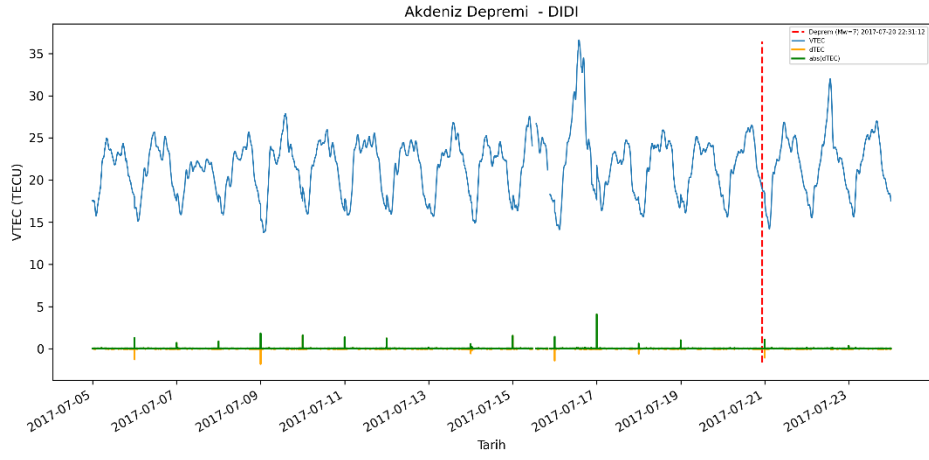
Şekil 5.28 DATC istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



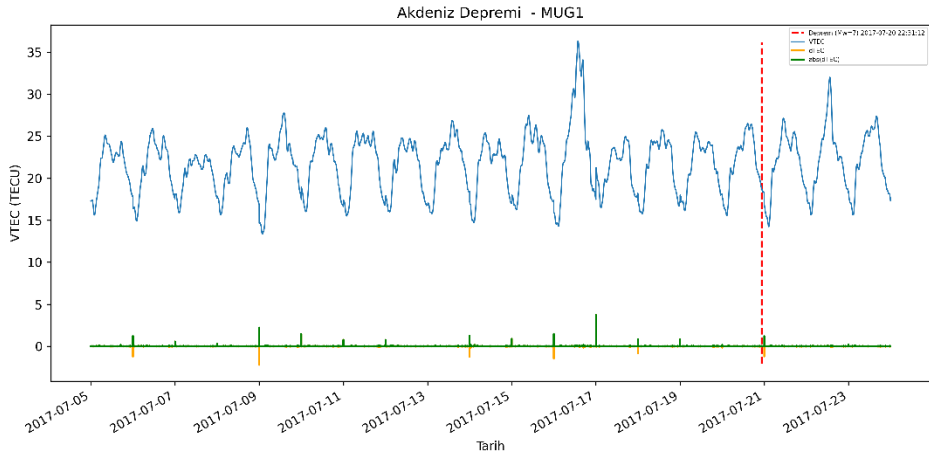
Şekil 5.30 DATC istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



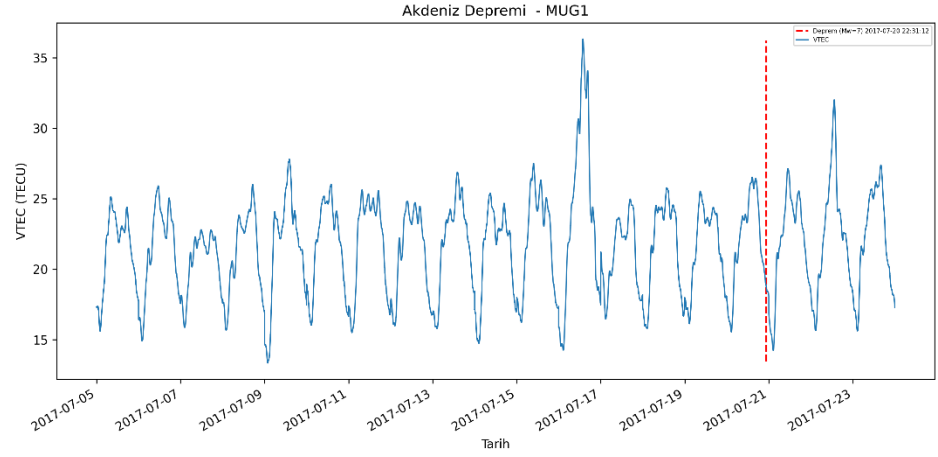
Şekil 5.29 DIDI istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



Şekil 5.31 DIDI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



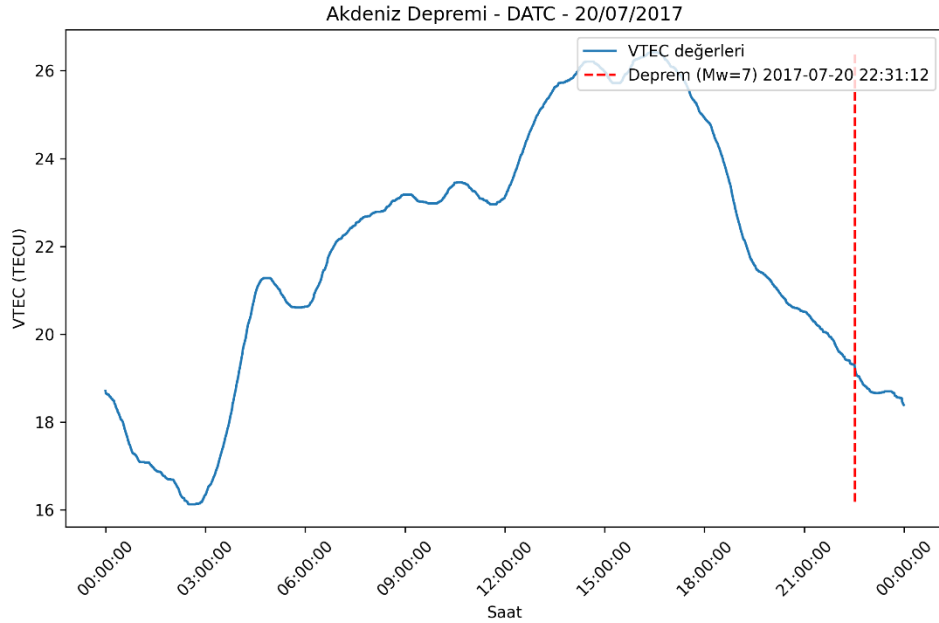
Şekil 5.32 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



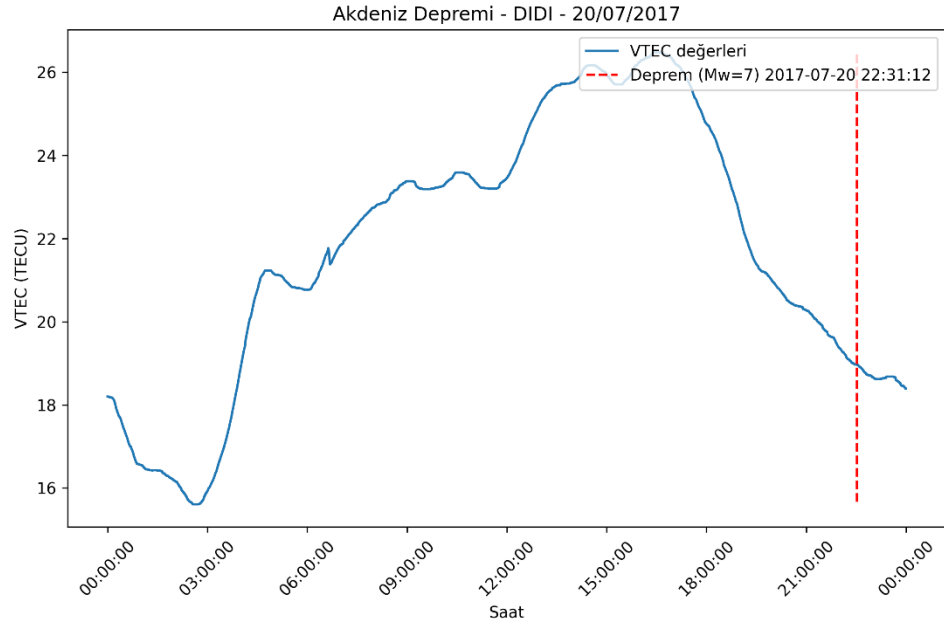
Şekil 5.33 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri

Hesaplamalar sonucu depremden dört gün önce ani bir yükseliş olmakla birlikte bu yükseliş doğrudan gerçekleşen deprem ile ilişkilendirilememiştir.

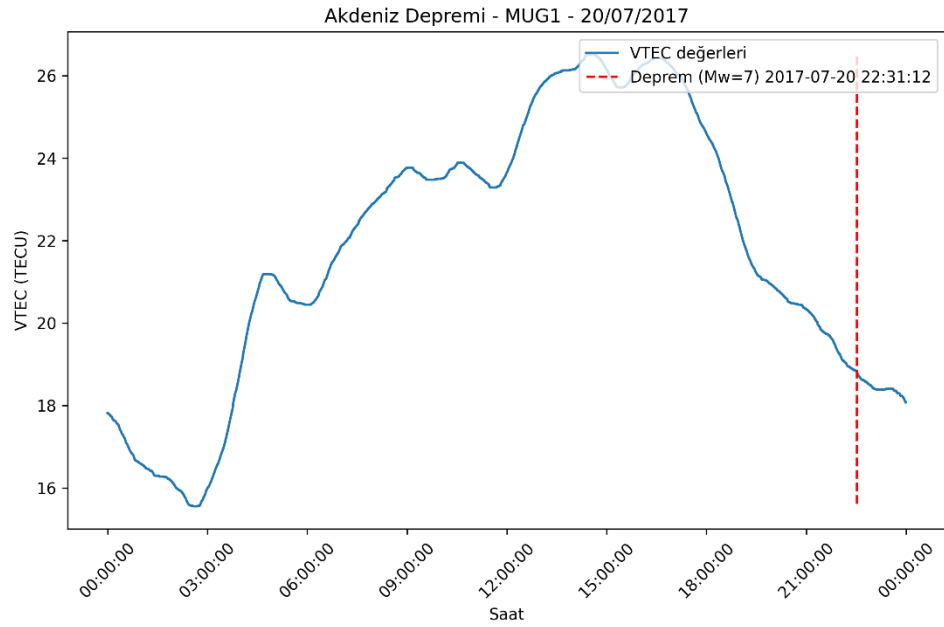
15 günlük verilerden sonra, deprem gününe ait 1 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.34-5.36).



Şekil 5.34 DATC istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri

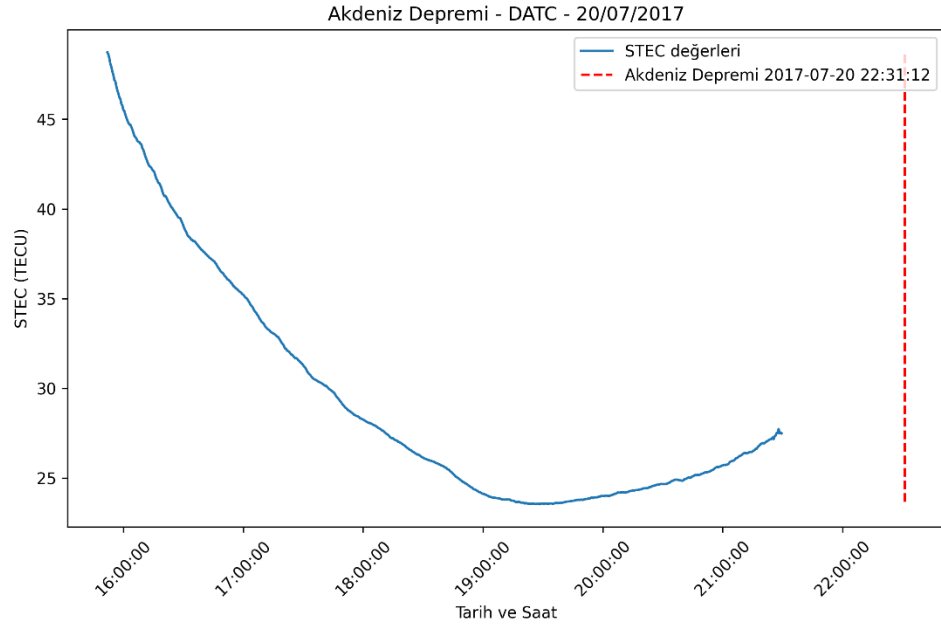


Şekil 5.35 DIDI istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri

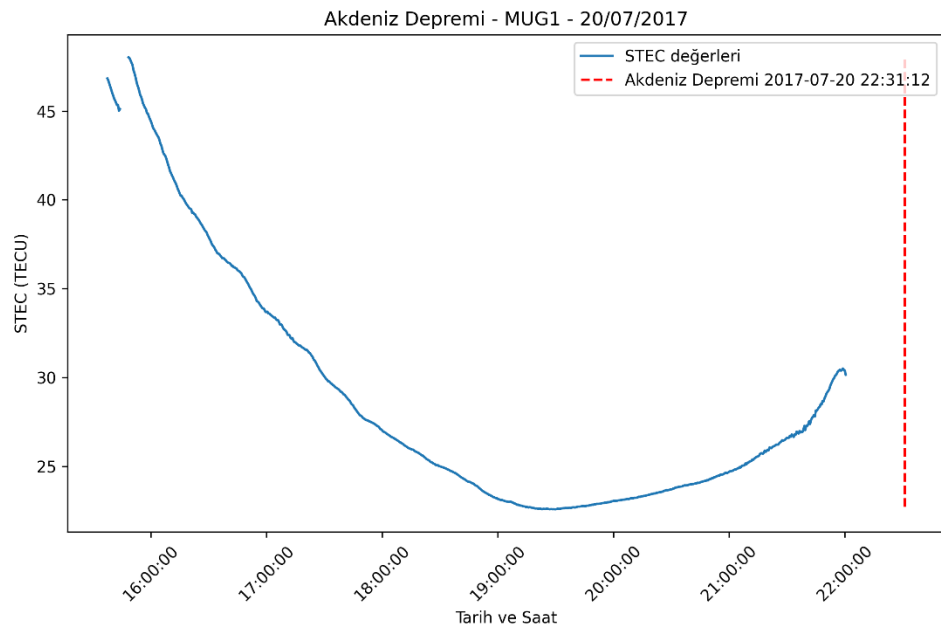


Şekil 5.36 MUG1 istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri

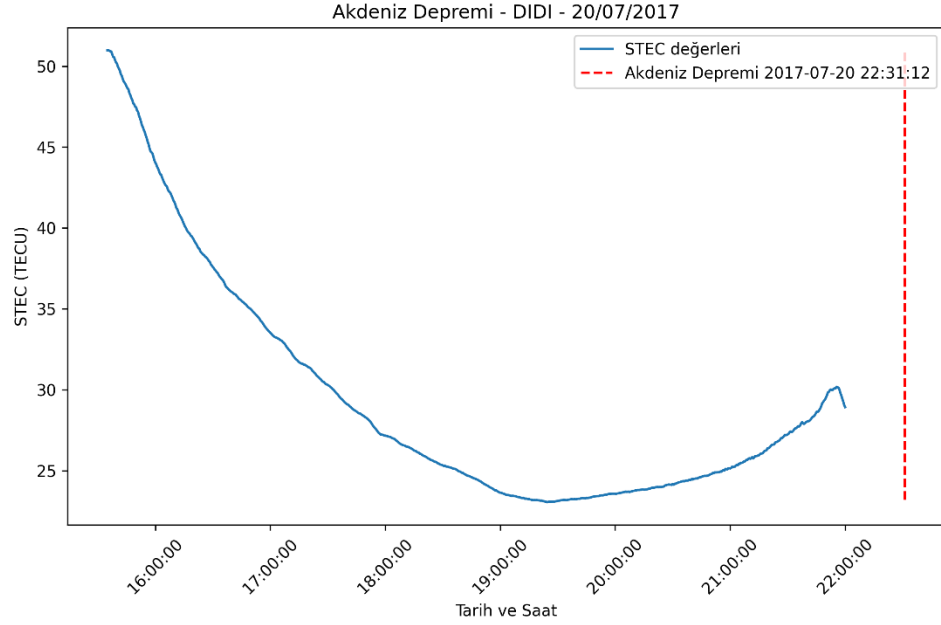
Depreme ait STEC hesaplanmıştır (Şekil 5.37-5.39).



Şekil 5.37 DATC istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri



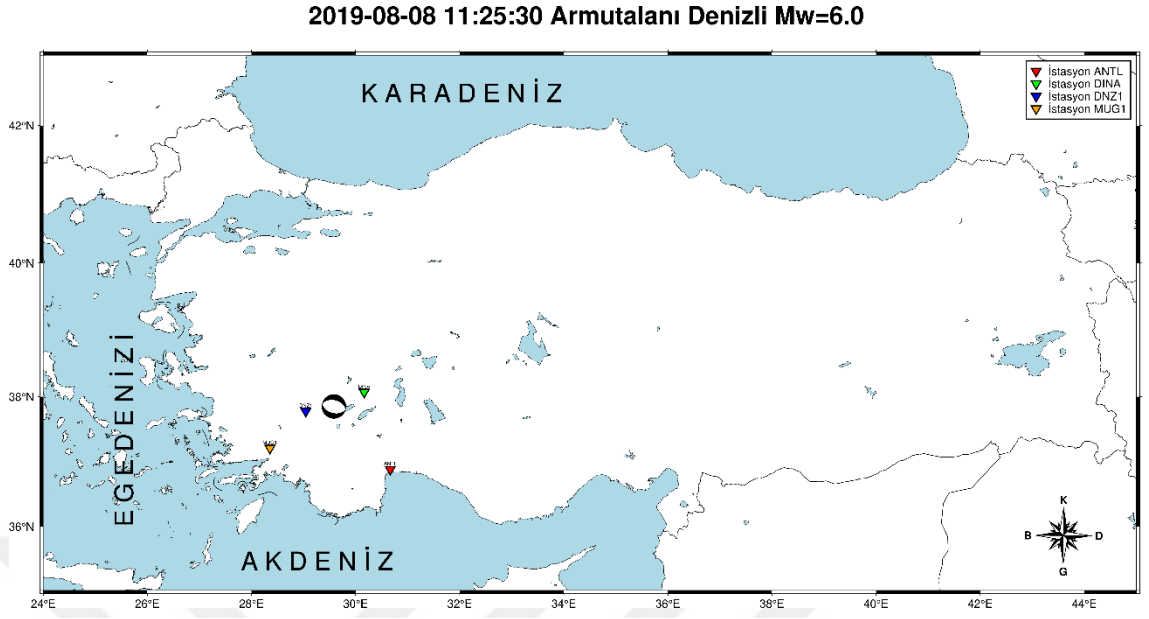
Şekil 5.38 MUG1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri



Şekil 5.39 DIDI istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri

5.3 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi

8 Ağustos 2019 tarihinde yerel saat ile 14:25:30'da Denizli ilinin Çardak ilçesine bağlı Dutluca köyü civarında, büyüklüğü $M_w = 6.0$ ve derinliği 10.92 olan bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 5.40). Depremin şiddeti Kandilli Rasathanesi tarafından $I_0 = VI$ olarak açıklanmıştır.

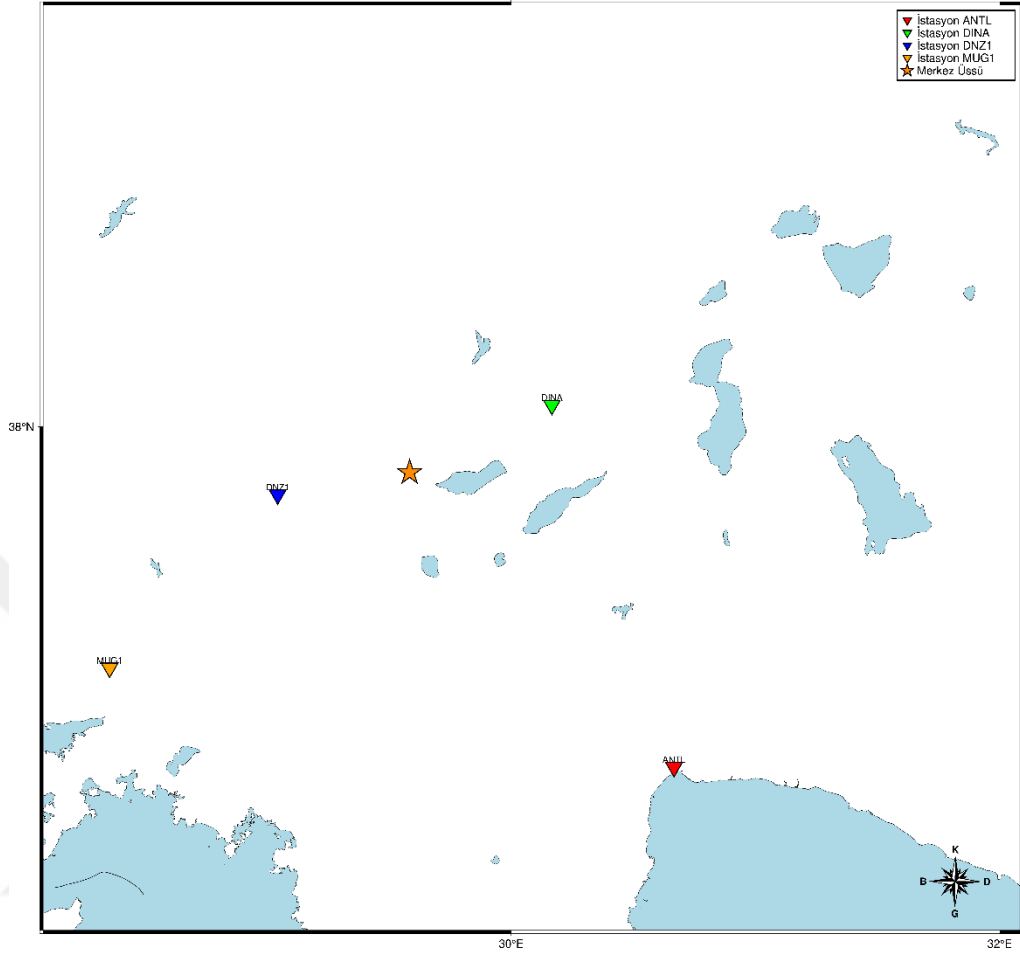


Şekil 5.40 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi

08.08.2019 -18.01.2019 tarihleri arasında 529 adet artçı deprem kaydedilmiştir (AFAD). Deprem sonucu 42 kişi hayatını kaybetmiş, 1032 kişi yaralanmıştır. Deprem can ve mal kaybına neden olmuştur.

Depreme ait TEİ değerlerinin hesabı için ANTALYA, DİNA, DNZ ve MUGLA istasyonları kullanılmıştır (Şekil 5.41).

2019-08-08 11:25:30 Armutalanı Denizli Mw=6.0 Merkez Üssü



Şekil 5.41 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi için kullanılan istasyonlar haritası

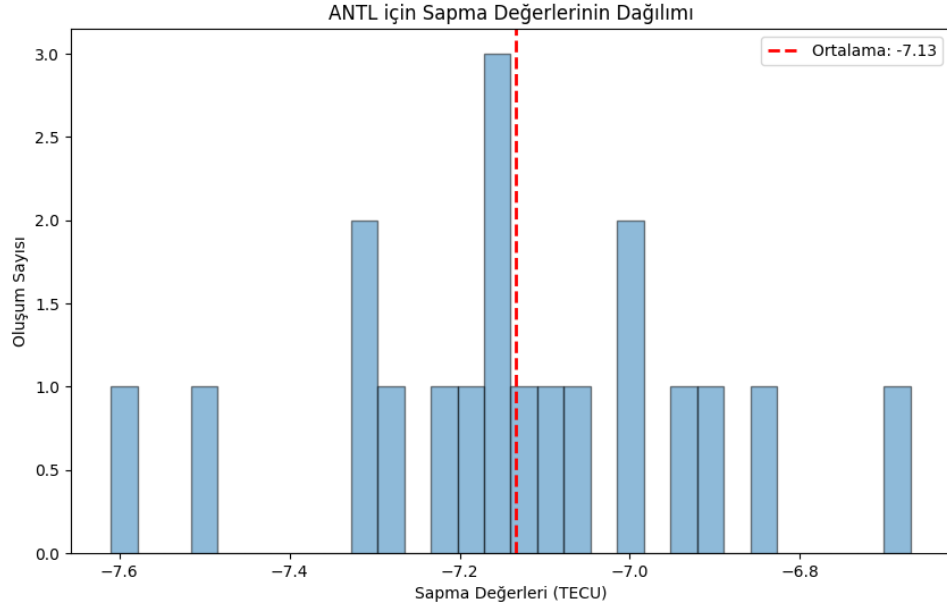
TUSAGA-Aktif 'den gelen veriler sonucu 1 gün ve 15 günlük hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar istasyonların IFB (Şekil 5.42-5.44) değerleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Çizelge 5.5- 5.6).

Çizelge 5.5 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi IFB değerleri

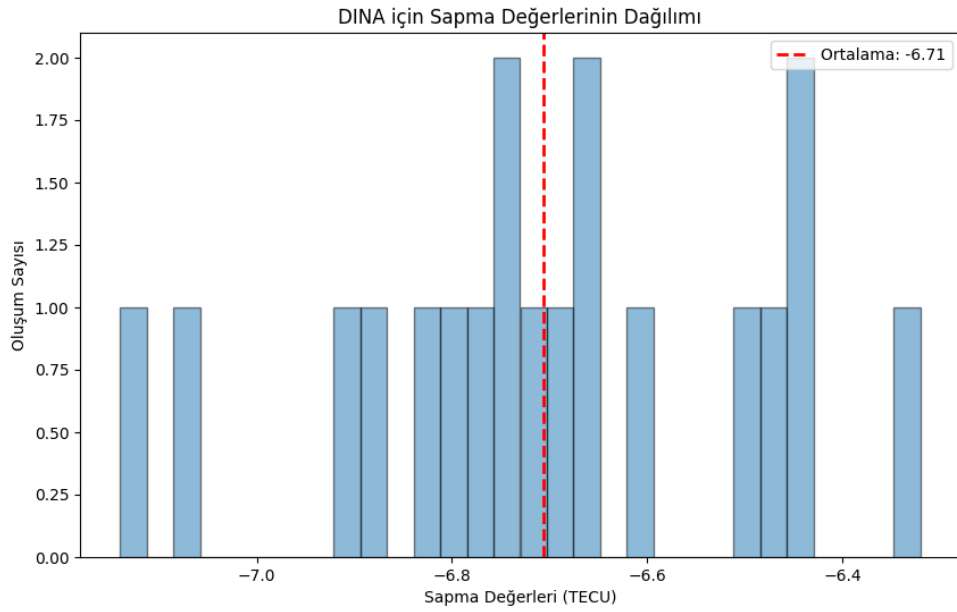
Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
08.08.2019	ANTL	205	24.07.2019	36,89	30,67	-7,29
08.08.2019	ANTL	206	25.07.2019	36,89	30,67	-7,21
08.08.2019	ANTL	207	26.07.2019	36,89	30,67	-7,15
08.08.2019	ANTL	208	27.07.2019	36,89	30,67	-7,16
08.08.2019	ANTL	209	28.07.2019	36,89	30,67	-7,2
08.08.2019	ANTL	210	29.07.2019	36,89	30,67	-7,49
08.08.2019	ANTL	211	30.07.2019	36,89	30,67	-7,32
08.08.2019	ANTL	212	31.07.2019	36,89	30,67	-6,91
08.08.2019	ANTL	213	01.08.2019	36,89	30,67	-7,61
08.08.2019	ANTL	214	02.08.2019	36,89	30,67	-7,17
08.08.2019	ANTL	215	03.08.2019	36,89	30,67	-7,11
08.08.2019	ANTL	216	04.08.2019	36,89	30,67	-7,1
08.08.2019	ANTL	217	05.08.2019	36,89	30,67	-7,01
08.08.2019	ANTL	218	06.08.2019	36,89	30,67	-7,3
08.08.2019	ANTL	219	07.08.2019	36,89	30,67	-6,67
08.08.2019	ANTL	220	08.08.2019	36,89	30,67	-6,84
08.08.2019	ANTL	221	09.08.2019	36,89	30,67	-7,06
08.08.2019	ANTL	222	10.08.2019	36,89	30,67	-6,94
08.08.2019	ANTL	223	11.08.2019	36,89	30,67	-7,01
08.08.2019	DINA	205	24.07.2019	38,07	30,17	-6,83
08.08.2019	DINA	206	25.07.2019	38,07	30,17	-6,77
08.08.2019	DINA	207	26.07.2019	38,07	30,17	-6,75
08.08.2019	DINA	208	27.07.2019	38,07	30,17	-6,74
08.08.2019	DINA	209	28.07.2019	38,07	30,17	-6,79
08.08.2019	DINA	210	29.07.2019	38,07	30,17	-7,08
08.08.2019	DINA	211	30.07.2019	38,07	30,17	-6,92
08.08.2019	DINA	212	31.07.2019	38,07	30,17	-6,47
08.08.2019	DINA	213	01.08.2019	38,07	30,17	-7,14
08.08.2019	DINA	214	02.08.2019	38,07	30,17	-6,71
08.08.2019	DINA	215	03.08.2019	38,07	30,17	-6,68
08.08.2019	DINA	216	04.08.2019	38,07	30,17	-6,65
08.08.2019	DINA	217	05.08.2019	38,07	30,17	-6,45
08.08.2019	DINA	218	06.08.2019	38,07	30,17	-6,89
08.08.2019	DINA	219	07.08.2019	38,07	30,17	-6,32
08.08.2019	DINA	220	08.08.2019	38,07	30,17	-6,45
08.08.2019	DINA	221	09.08.2019	38,07	30,17	-6,65
08.08.2019	DINA	222	10.08.2019	38,07	30,17	-6,51
08.08.2019	DINA	223	11.08.2019	38,07	30,17	-6,61
08.08.2019	DNZ1	205	24.07.2019	37,78	29,04	-6,07
08.08.2019	DNZ1	206	25.07.2019	37,78	29,04	-6,06
08.08.2019	DNZ1	207	26.07.2019	37,78	29,04	-6,03
08.08.2019	DNZ1	208	27.07.2019	37,78	29,04	-6,02
08.08.2019	DNZ1	209	28.07.2019	37,78	29,04	-5,99
08.08.2019	DNZ1	210	29.07.2019	37,78	29,04	-6,33
08.08.2019	DNZ1	211	30.07.2019	37,78	29,04	-6,16
08.08.2019	DNZ1	212	31.07.2019	37,78	29,04	-5,77
08.08.2019	DNZ1	213	01.08.2019	37,78	29,04	-6,48
08.08.2019	DNZ1	214	02.08.2019	37,78	29,04	-6,03
08.08.2019	DNZ1	215	03.08.2019	37,78	29,04	-6,03
08.08.2019	DNZ1	216	04.08.2019	37,78	29,04	-6,03
08.08.2019	DNZ1	217	05.08.2019	37,78	29,04	-5,77

Çizelge 5.6 08.08.2019 Denizli Armutalanı Depremi IFB değerleri

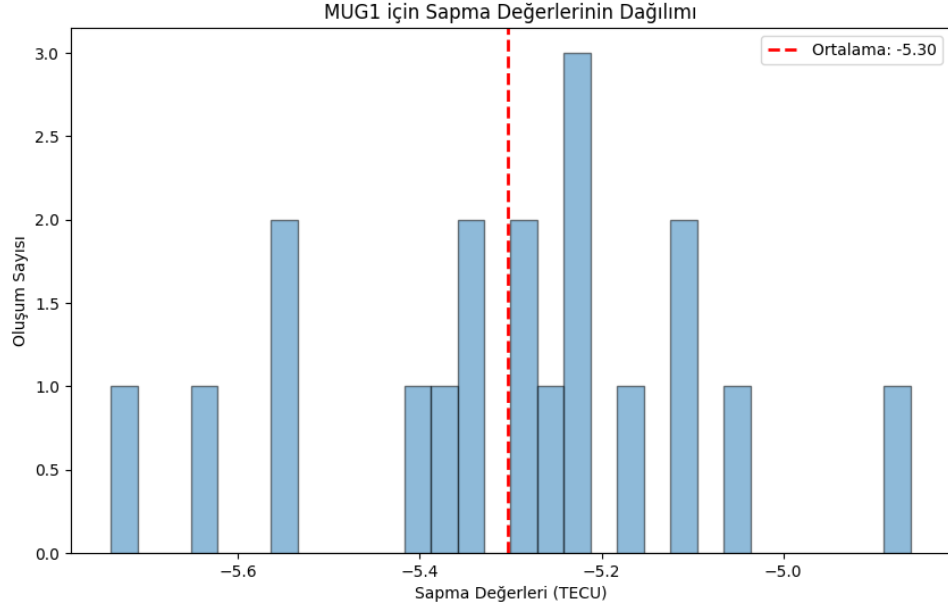
Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
08.08.2019	DNZ1	218	06.08.2019	37,78	29,04	-6,11
08.08.2019	DNZ1	219	07.08.2019	37,78	29,04	-5,58
08.08.2019	DNZ1	220	08.08.2019	37,78	29,04	-5,75
08.08.2019	DNZ1	221	09.08.2019	37,78	29,04	-6,01
08.08.2019	DNZ1	222	10.08.2019	37,78	29,04	-5,95
08.08.2019	DNZ1	223	11.08.2019	37,78	29,04	-5,99
08.08.2019	MUG1	205	24.07.2019	37,21	28,36	-5,39
08.08.2019	MUG1	206	25.07.2019	37,21	28,36	-5,33
08.08.2019	MUG1	207	26.07.2019	37,21	28,36	-5,34
08.08.2019	MUG1	208	27.07.2019	37,21	28,36	-5,26
08.08.2019	MUG1	209	28.07.2019	37,21	28,36	-5,37
08.08.2019	MUG1	210	29.07.2019	37,21	28,36	-5,65
08.08.2019	MUG1	211	30.07.2019	37,21	28,36	-5,56
08.08.2019	MUG1	212	31.07.2019	37,21	28,36	-5,04
08.08.2019	MUG1	213	01.08.2019	37,21	28,36	-5,74
08.08.2019	MUG1	214	02.08.2019	37,21	28,36	-5,3
08.08.2019	MUG1	215	03.08.2019	37,21	28,36	-5,24
08.08.2019	MUG1	216	04.08.2019	37,21	28,36	-5,22
08.08.2019	MUG1	217	05.08.2019	37,21	28,36	-5,12
08.08.2019	MUG1	218	06.08.2019	37,21	28,36	-5,55
08.08.2019	MUG1	219	07.08.2019	37,21	28,36	-4,86
08.08.2019	MUG1	220	08.08.2019	37,21	28,36	-5,12
08.08.2019	MUG1	221	09.08.2019	37,21	28,36	-5,28
08.08.2019	MUG1	222	10.08.2019	37,21	28,36	-5,18
08.08.2019	MUG1	223	11.08.2019	37,21	28,36	-5,22
08.08.2019	MUG1	220	08.08.2019	37,21	28,36	-5,12
08.08.2019	MUG1	221	09.08.2019	37,21	28,36	-5,28
08.08.2019	MUG1	222	10.08.2019	37,21	28,36	-5,18
08.08.2019	MUG1	223	11.08.2019	37,21	28,36	-5,22



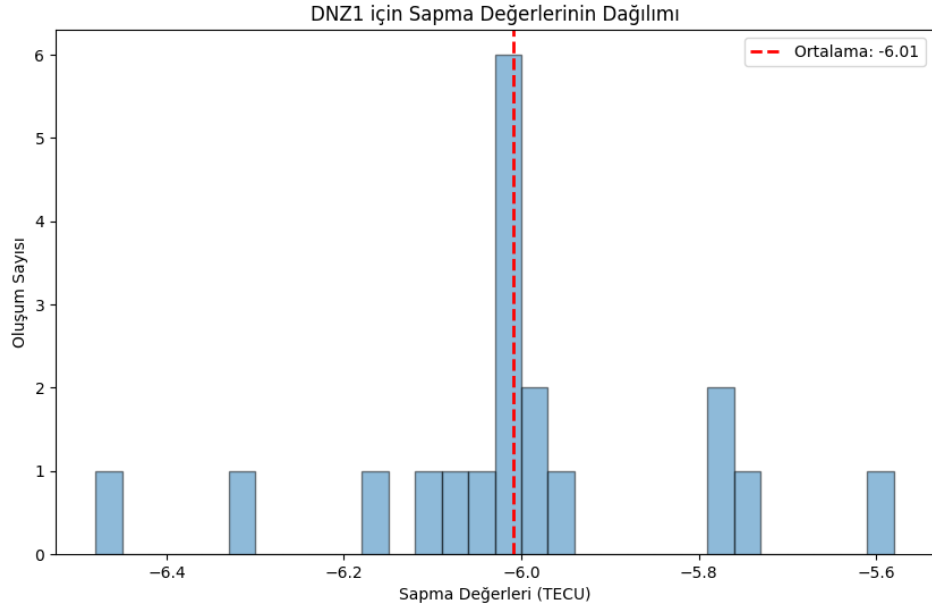
Şekil 5.42 ANTL istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram



Şekil 5.43 DINA istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

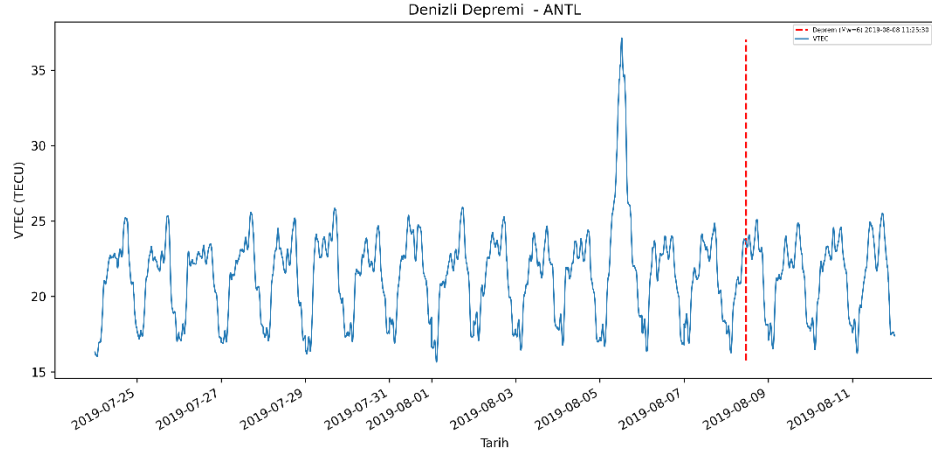


Şekil 5.45 MUG1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

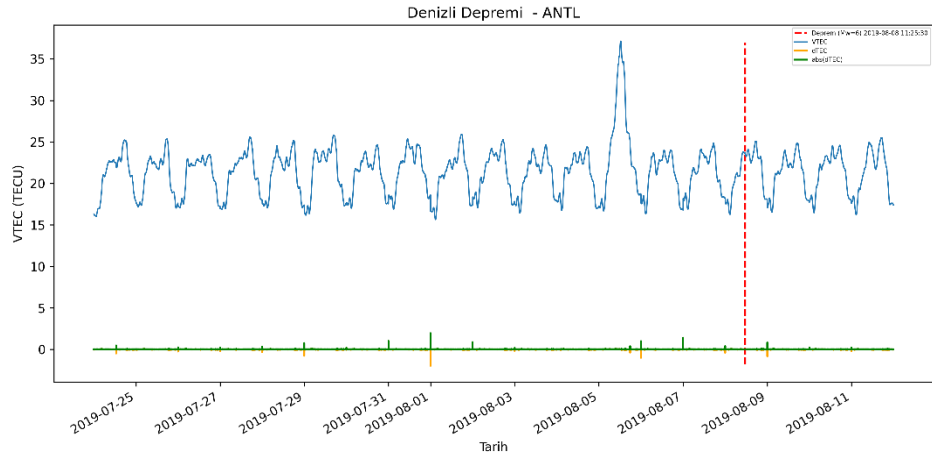


Şekil 5.44 DNZ1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

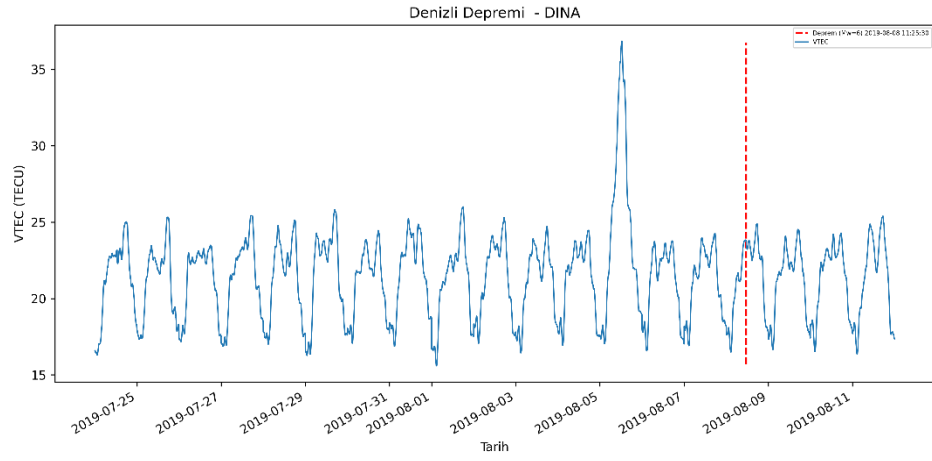
Deprem öncesi ve sonrası kapsayacak şekilde elde edilen 15 günlük veriler elde edilmiş ve 15 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.46-5.53).



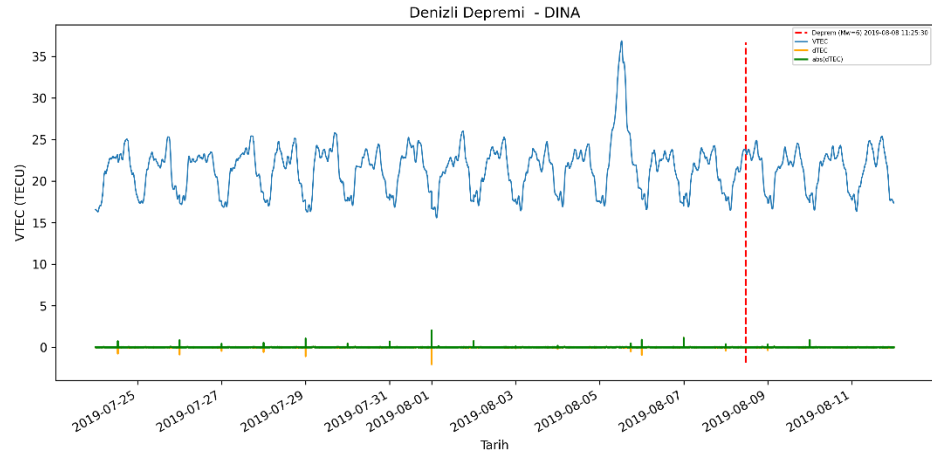
Şekil 5.46 ANTL istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



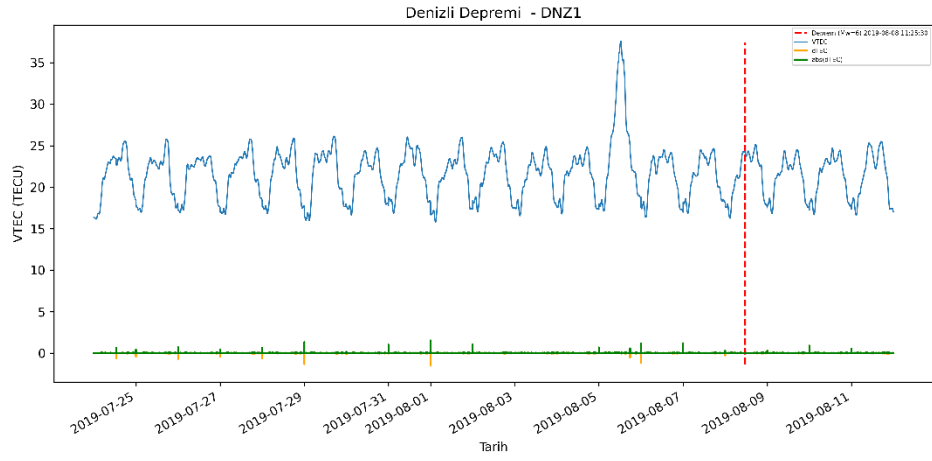
Şekil 5.47 ANTL istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



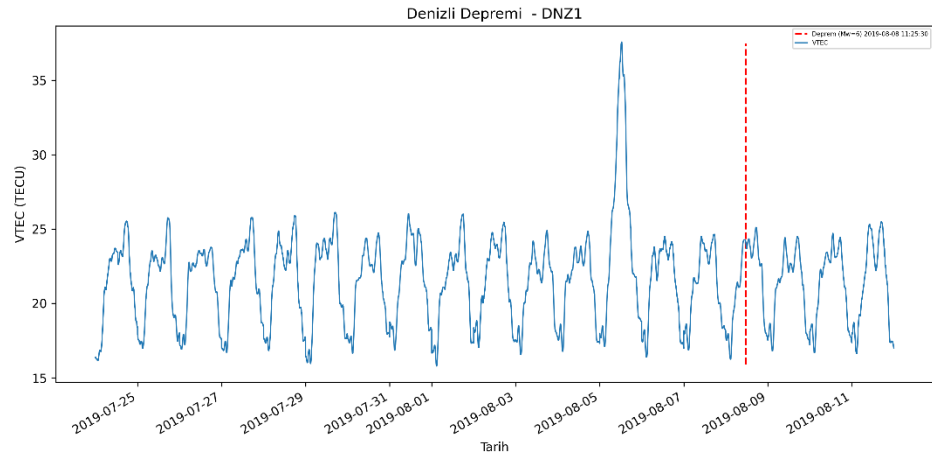
Şekil 5.49 DINA istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



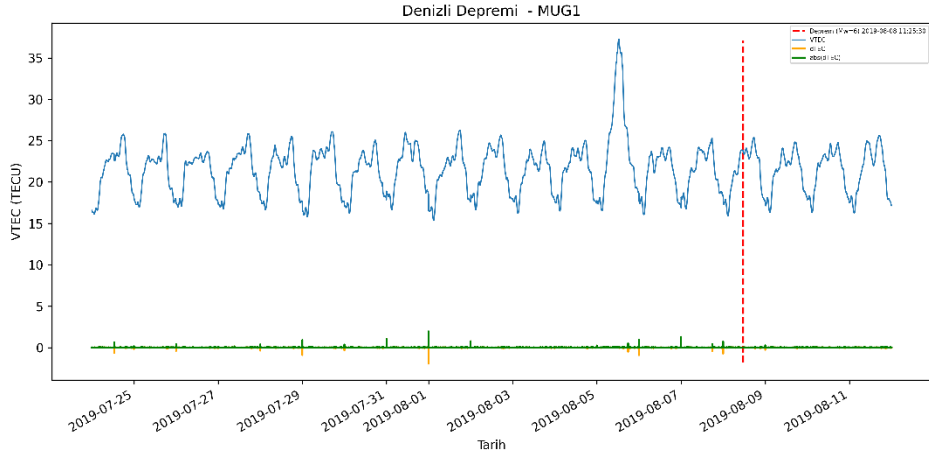
Şekil 5.48 DINA istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



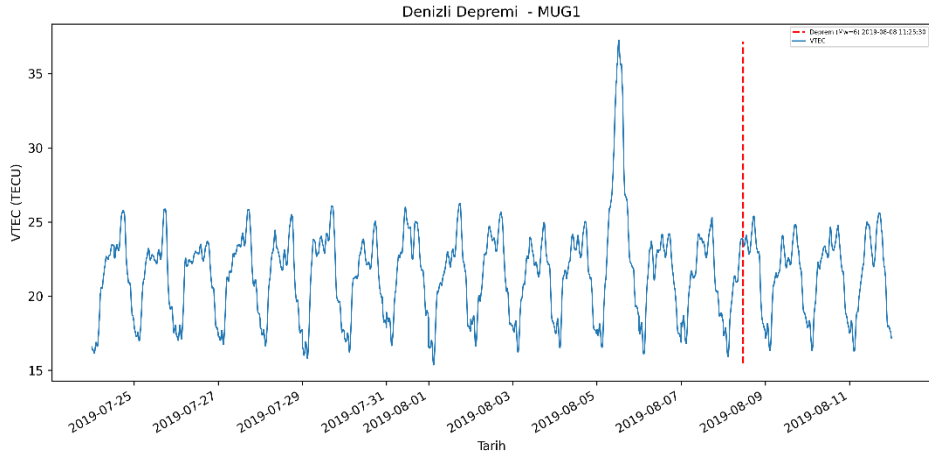
Şekil 5.51 DNZ1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



Şekil 5.50 DNZ1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



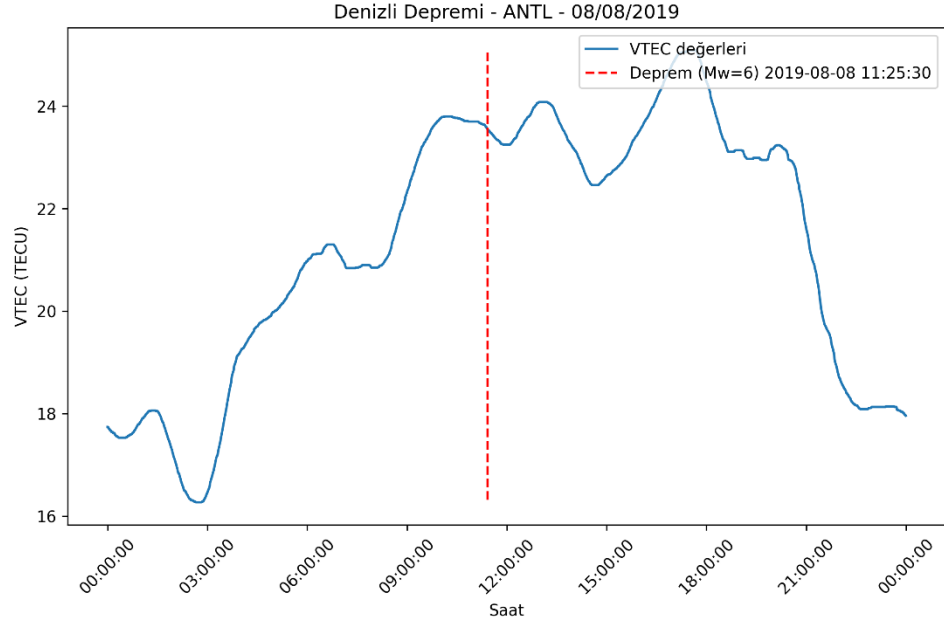
Şekil 5.53 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



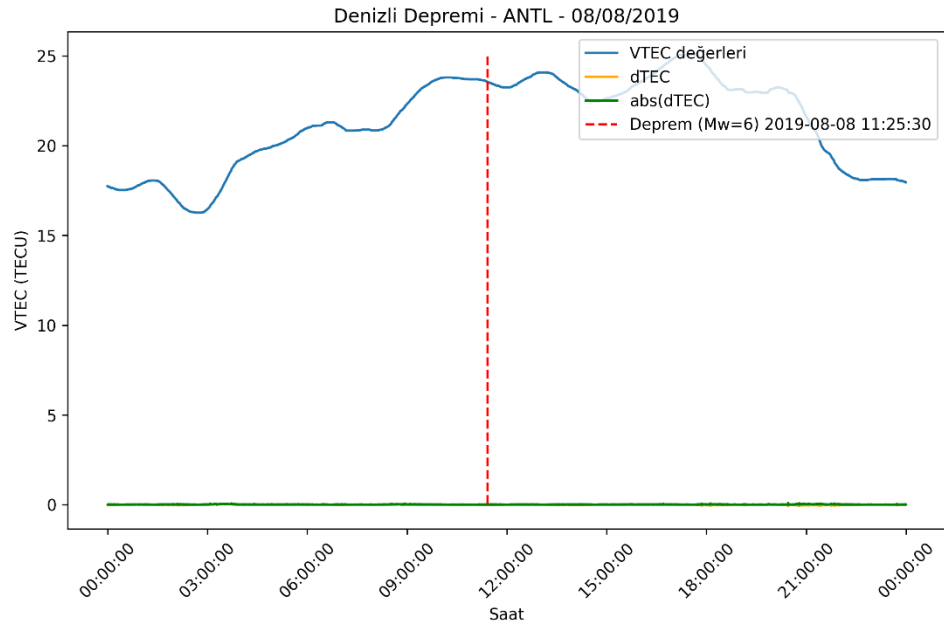
Şekil 5.52 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri

İncelenen 15 günlük veriler içerisinde depremden önceki üçünde günde çok ani bir yükseliş görülmekle birlikte bu yükselişin depremle olabilecek potansiyel bir ilişkisi gözlenmemiştir.

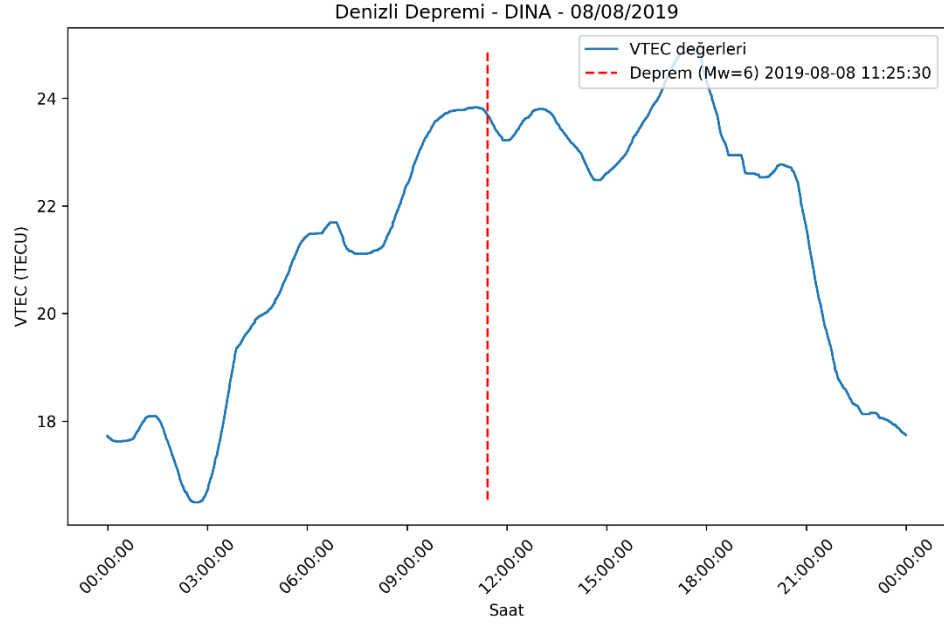
15 günlük verilerden sonra, deprem gününe ait 1 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.54-5.61).



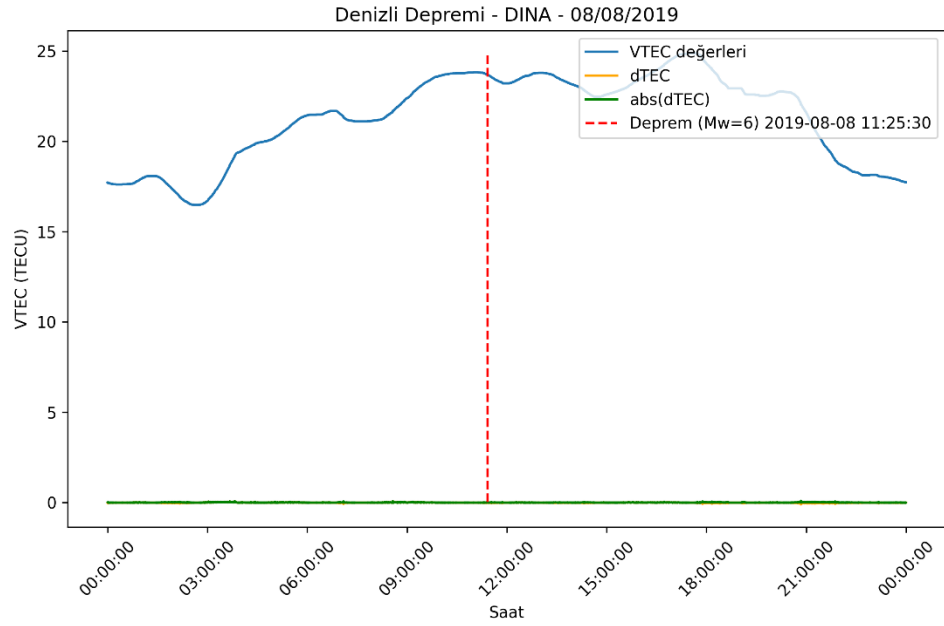
Şekil 5.54 ANTL istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



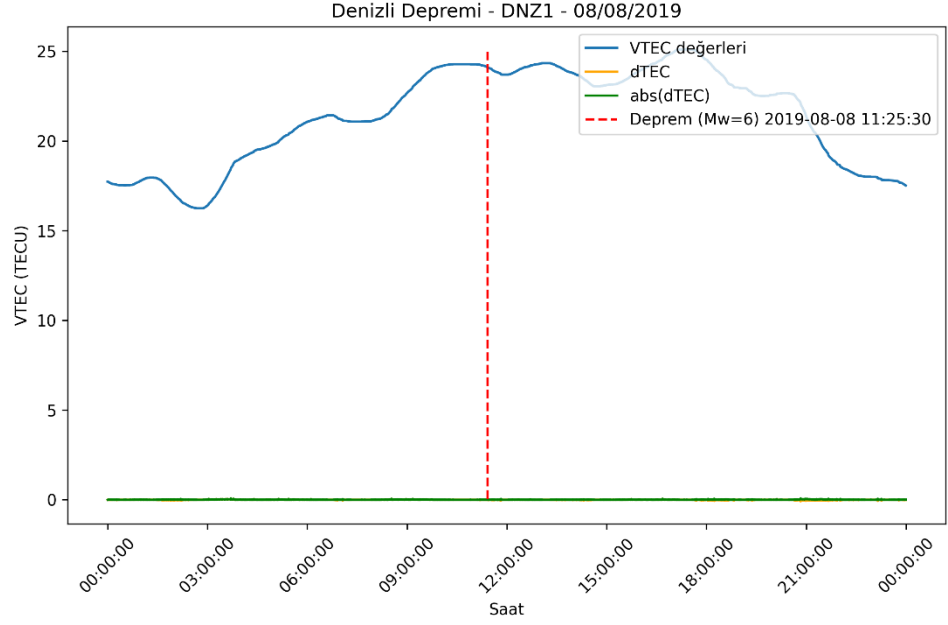
Şekil 5.55 ANTL istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



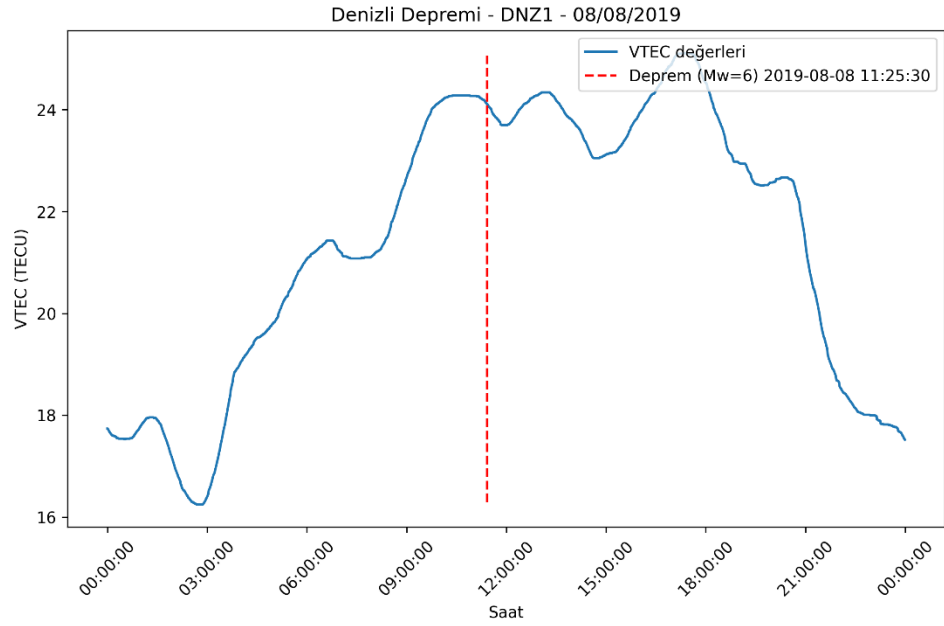
Şekil 5.56 DINA istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



Şekil 5.57 DINA istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri

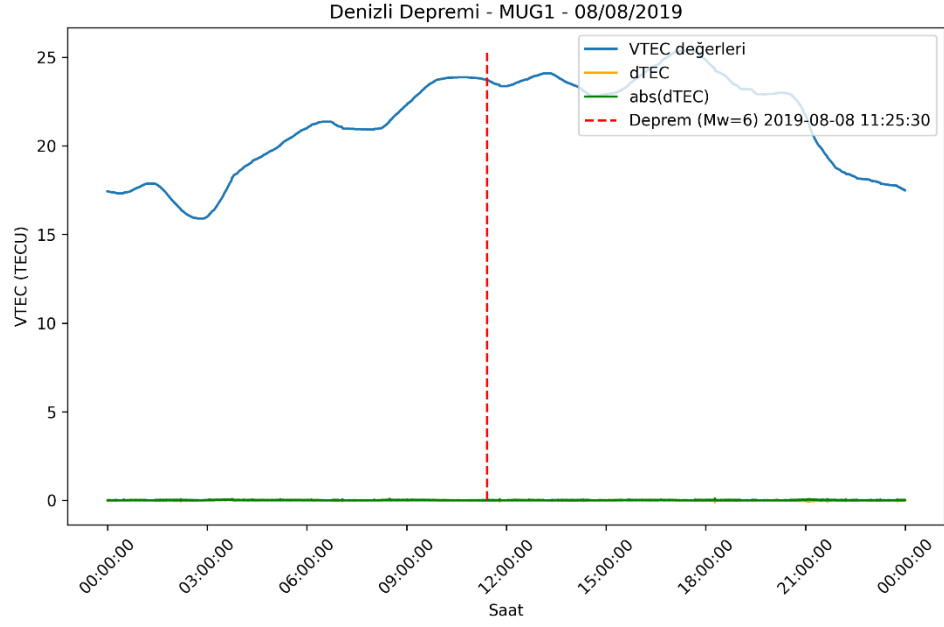


Şekil 5.59 DNZ1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri

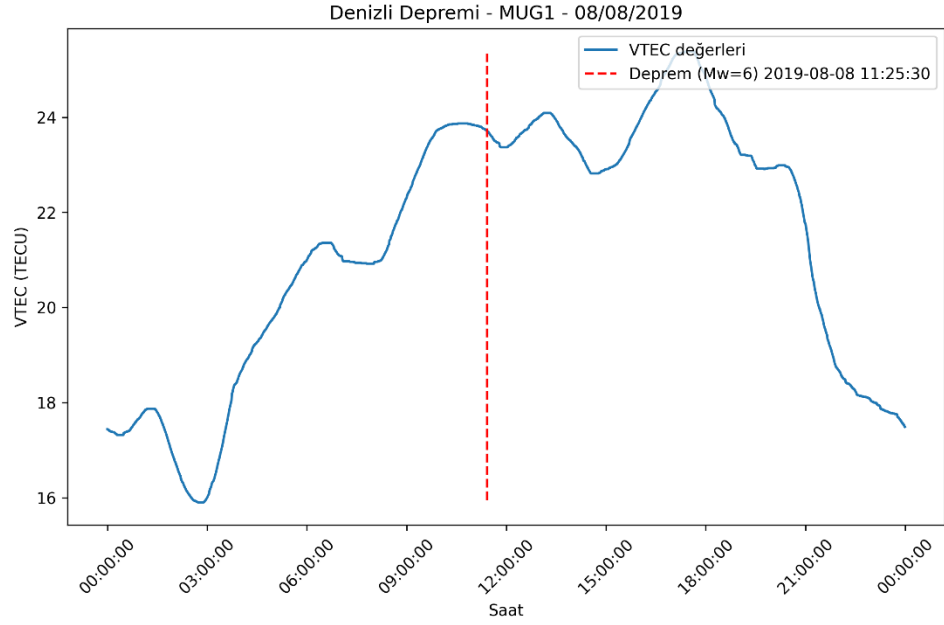


Şekil 5.58 DNZ1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan VTEC değerleri

Günlük değişimler göz önünde bulundurulduğunda olağan dış bir değişim gözlenmemiştir.



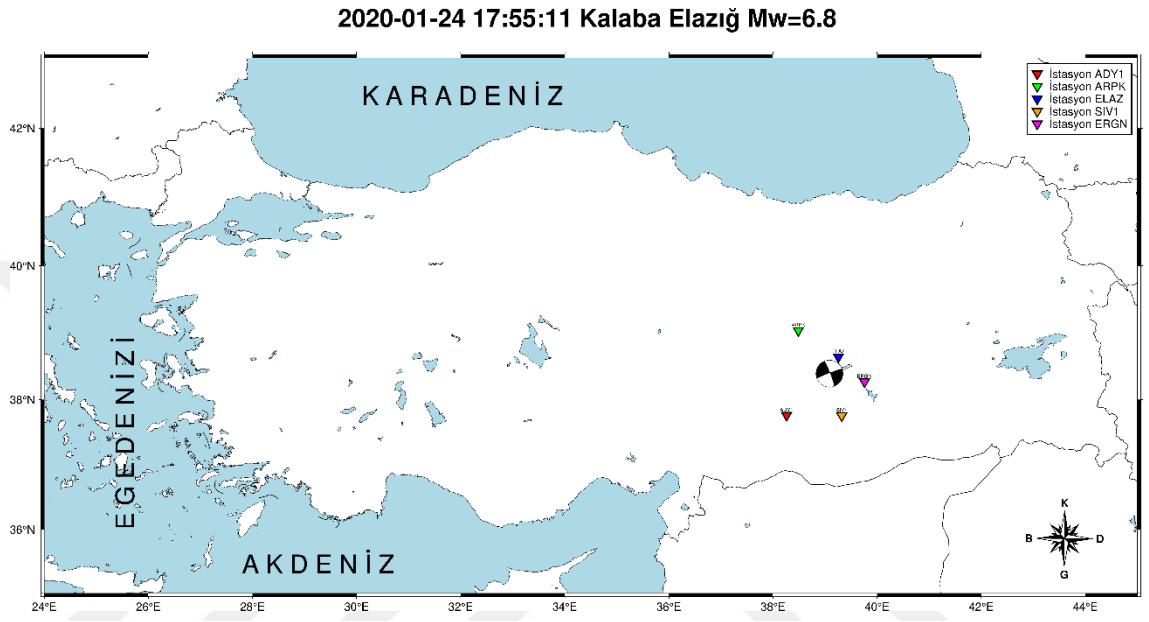
Şekil 5.60 MUG1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri



Şekil 5.61 MUG1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan VTEC değerleri

5.4 24.01.2020 Elazığ -Kalaba Depremi

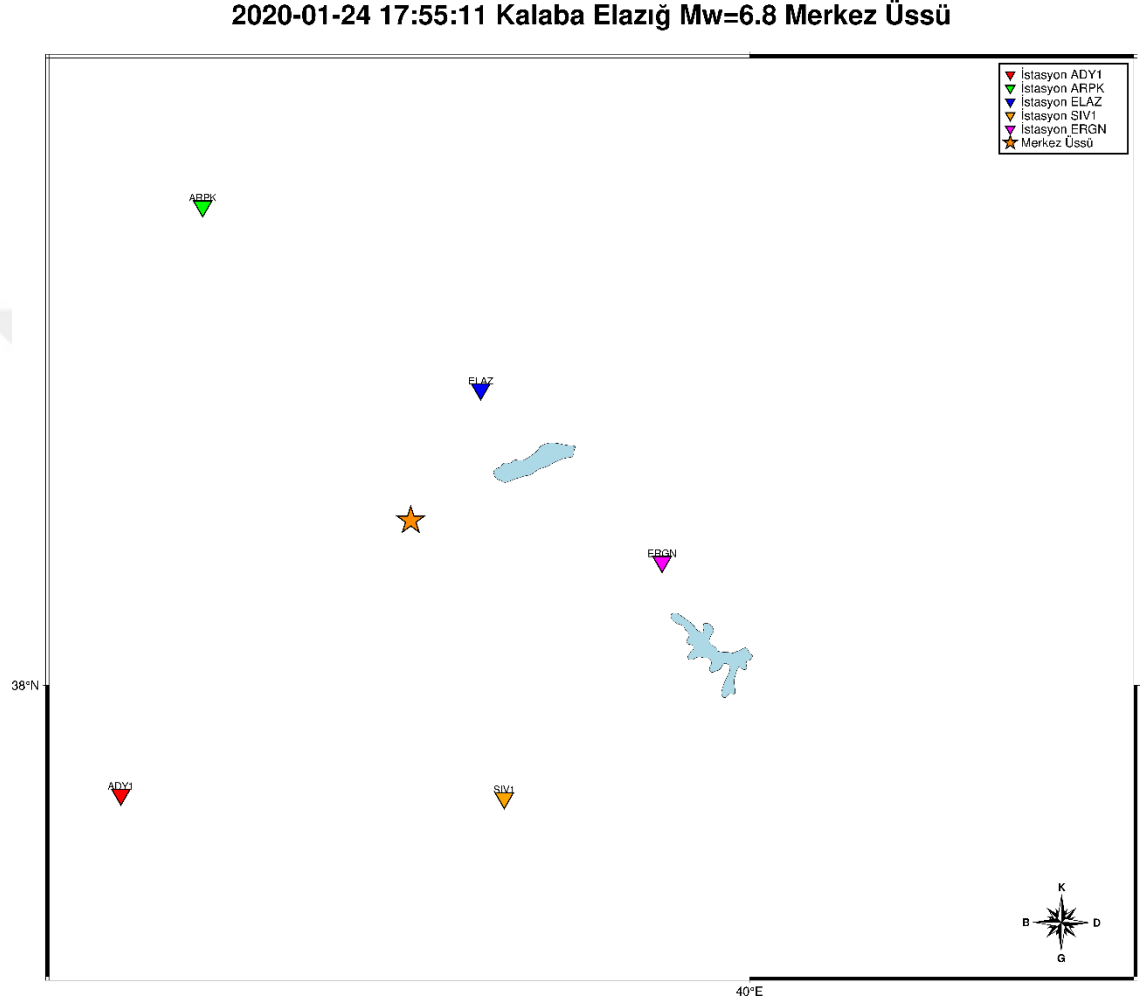
24 Ocak 2020 tarihinde yerel saat ile 20:55:11’de Elazığ ilinin Sivrice ilçesi Çevrimtaş köyü civarında, büyüklüğü $M_w = 6.8$ ve derinliği 8.06 olan bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 5.62). Depremin şiddeti AFAD tarafından $I_0 = IX$ olarak açıklanmıştır.



Şekil 5.62 24.01.2020 Elazığ -Kalaba Depremi

24.01.2020-24.02.2020 tarihleri arasında 3080 adet artçı deprem kaydedilmiştir (AFAD).

Depreme ait TEİ değerlerinin hesabı için ERGN, ELAZ ve ADY1 istasyonları kullanılmıştır. ARPK, SIV1 istasyonlarına ait veriler olmadığı için bu istasyonlar sonrasında çıkarılmıştır (Şekil 5.63).

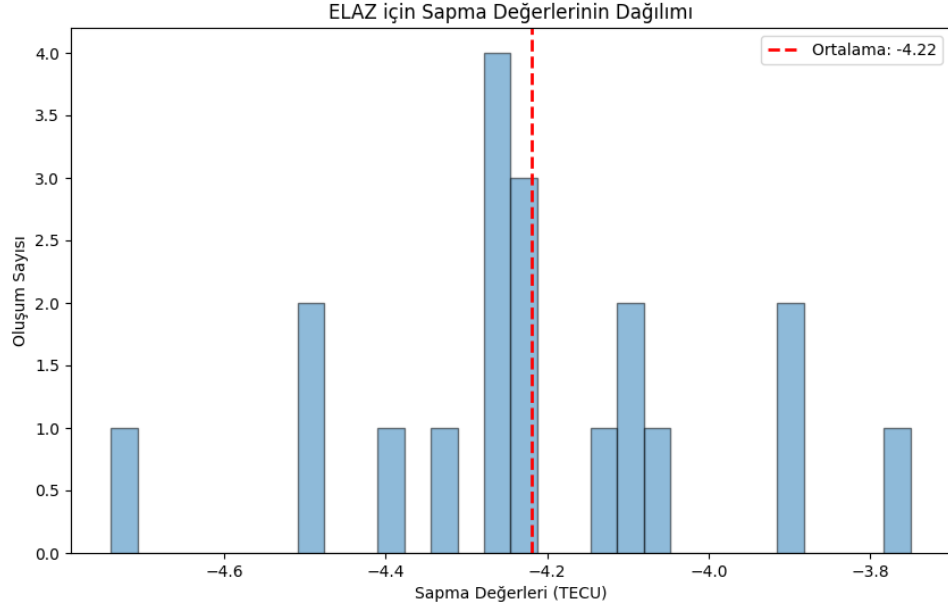


Şekil 5.63 24.01.2020 Elazığ -Kalaba Depremi kullanılan istasyonlar haritası

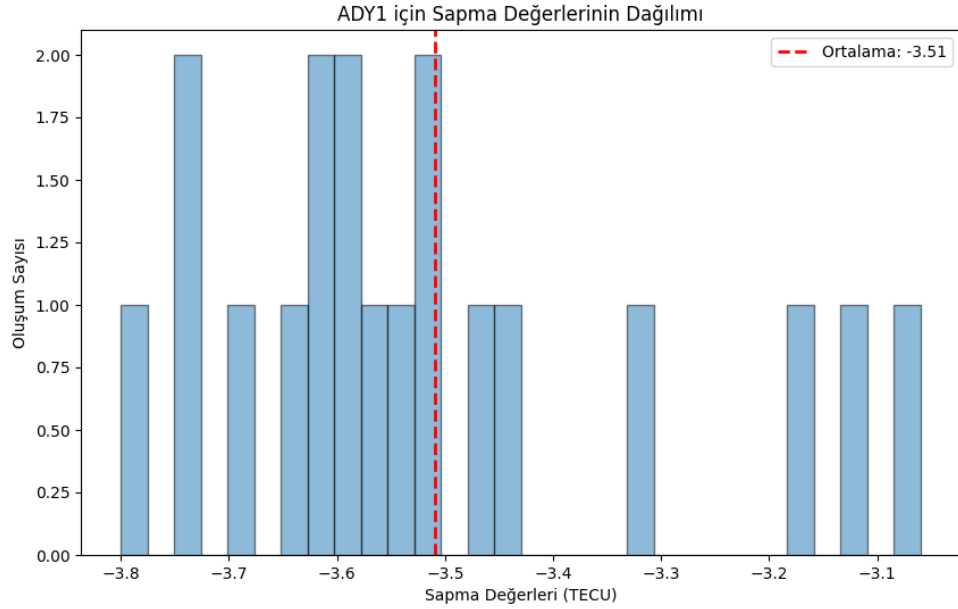
TUSAGA-Aktif 'den gelen veriler sonucu 1 gün ve 15 günlük hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar istasyonların IFB değerleri (Şekil 5.64-5.66) göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7 24.01.2020 Elazığ - Kalaba Depremi IFB değerleri

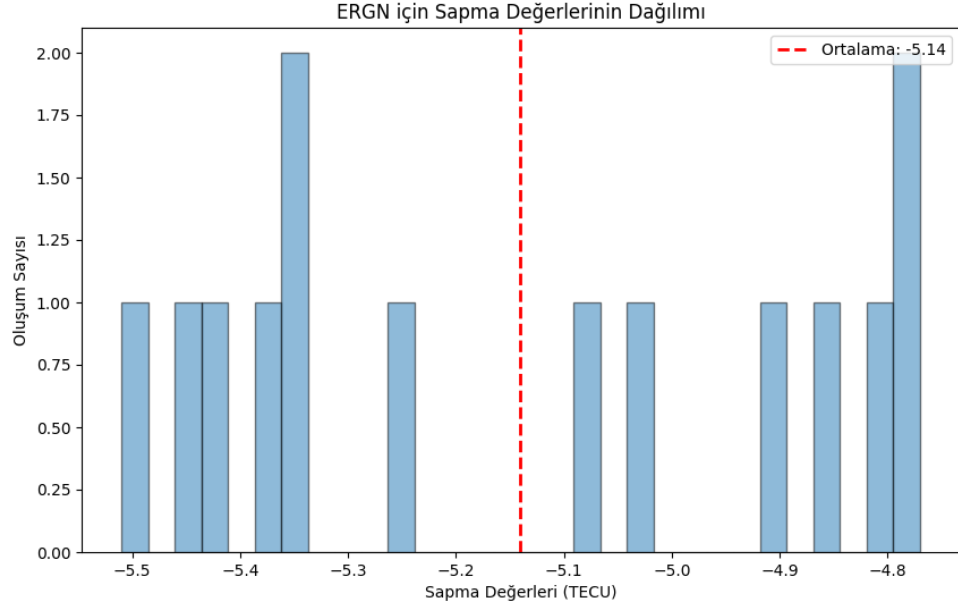
Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
24.01.2020	ADY1	9	09.01.2020	37,76	38,26	-3,59
24.01.2020	ADY1	10	10.01.2020	37,76	38,26	-3,33
24.01.2020	ADY1	11	11.01.2020	37,76	38,26	-3,17
24.01.2020	ADY1	12	12.01.2020	37,76	38,26	-3,11
24.01.2020	ADY1	13	13.01.2020	37,76	38,26	-3,06
24.01.2020	ADY1	14	14.01.2020	37,76	38,26	-3,52
24.01.2020	ADY1	15	15.01.2020	37,76	38,26	-3,73
24.01.2020	ADY1	16	16.01.2020	37,76	38,26	-3,43
24.01.2020	ADY1	17	17.01.2020	37,76	38,26	-3,52
24.01.2020	ADY1	18	18.01.2020	37,76	38,26	-3,56
24.01.2020	ADY1	19	19.01.2020	37,76	38,26	-3,62
24.01.2020	ADY1	20	20.01.2020	37,76	38,26	-3,53
24.01.2020	ADY1	21	21.01.2020	37,76	38,26	-3,63
24.01.2020	ADY1	22	22.01.2020	37,76	38,26	-3,58
24.01.2020	ADY1	23	23.01.2020	37,76	38,26	-3,47
24.01.2020	ADY1	24	24.01.2020	37,76	38,26	-3,69
24.01.2020	ADY1	25	25.01.2020	37,76	38,26	-3,8
24.01.2020	ADY1	26	26.01.2020	37,76	38,26	-3,73
24.01.2020	ADY1	27	27.01.2020	37,76	38,26	-3,61
24.01.2020	ELAZ	9	09.01.2020	38,64	39,26	-4,14
24.01.2020	ELAZ	10	10.01.2020	38,64	39,26	-4,07
24.01.2020	ELAZ	11	11.01.2020	38,64	39,26	-3,9
24.01.2020	ELAZ	12	12.01.2020	38,64	39,26	-3,9
24.01.2020	ELAZ	13	13.01.2020	38,64	39,26	-3,75
24.01.2020	ELAZ	14	14.01.2020	38,64	39,26	-4,5
24.01.2020	ELAZ	15	15.01.2020	38,64	39,26	-4,74
24.01.2020	ELAZ	16	16.01.2020	38,64	39,26	-4,39
24.01.2020	ELAZ	17	17.01.2020	38,64	39,26	-4,5
24.01.2020	ELAZ	18	18.01.2020	38,64	39,26	-4,25
24.01.2020	ELAZ	19	19.01.2020	38,64	39,26	-4,27
24.01.2020	ELAZ	20	20.01.2020	38,64	39,26	-4,23
24.01.2020	ELAZ	21	21.01.2020	38,64	39,26	-4,23
24.01.2020	ELAZ	22	22.01.2020	38,64	39,26	-4,24
24.01.2020	ELAZ	23	23.01.2020	38,64	39,26	-4,26
24.01.2020	ELAZ	24	24.01.2020	38,64	39,26	-4,11
24.01.2020	ELAZ	25	25.01.2020	38,64	39,26	-4,26
24.01.2020	ELAZ	26	26.01.2020	38,64	39,26	-4,32
24.01.2020	ELAZ	27	27.01.2020	38,64	39,26	-4,11
24.01.2020	ERGN	9	09.01.2020	38,27	39,76	-4,91
24.01.2020	ERGN	10	10.01.2020	38,27	39,76	-4,77
24.01.2020	ERGN	11	11.01.2020	38,27	39,76	-4,8
24.01.2020	ERGN	12	12.01.2020	38,27	39,76	-4,86
24.01.2020	ERGN	13	13.01.2020	38,27	39,76	-4,79
24.01.2020	ERGN	14	14.01.2020	38,27	39,76	-5,35
24.01.2020	ERGN	17	17.01.2020	38,27	39,76	-5,38
24.01.2020	ERGN	18	18.01.2020	38,27	39,76	-5,34
24.01.2020	ERGN	19	19.01.2020	38,27	39,76	-5,51
24.01.2020	ERGN	20	20.01.2020	38,27	39,76	-5,45
24.01.2020	ERGN	21	21.01.2020	38,27	39,76	-5,42
24.01.2020	ERGN	22	22.01.2020	38,27	39,76	-5,26
24.01.2020	ERGN	23	23.01.2020	38,27	39,76	-5,04
24.01.2020	ERGN	24	24.01.2020	38,27	39,76	33,19



Şekil 5.64 ELAZ istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

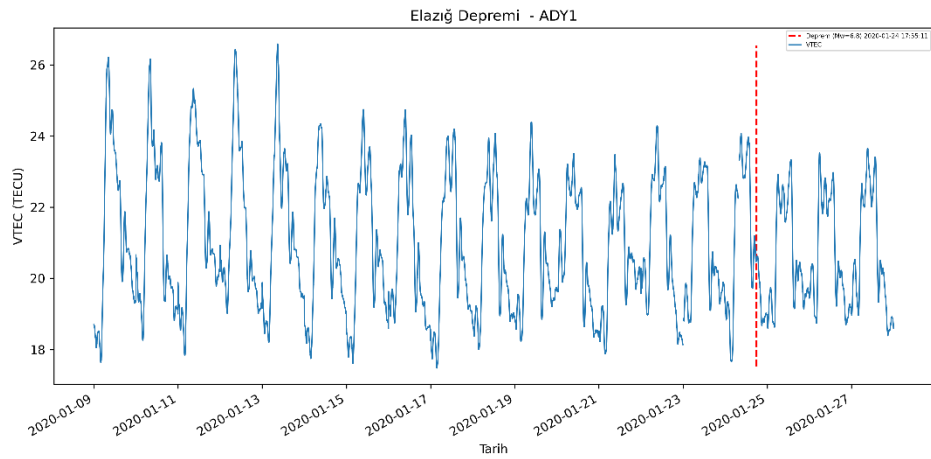


Şekil 5.65 ADY1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

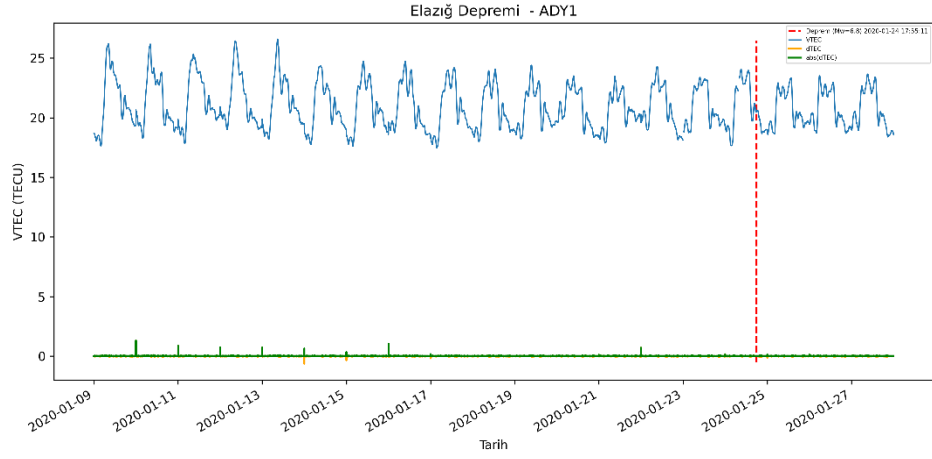


Şekil 5.66 ERGN istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

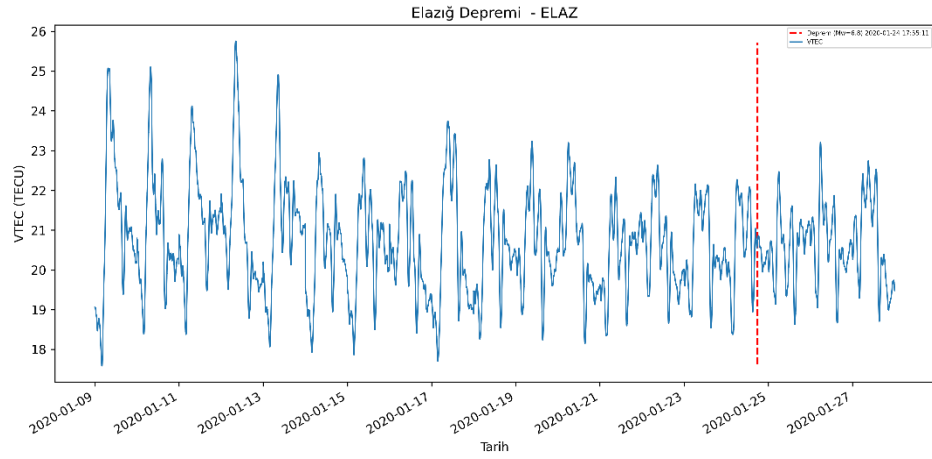
Deprem öncesi ve sonrası kapsayacak şekilde elde edilen 15 günlük veriler elde edilmiş ve 15 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.67-5.72).



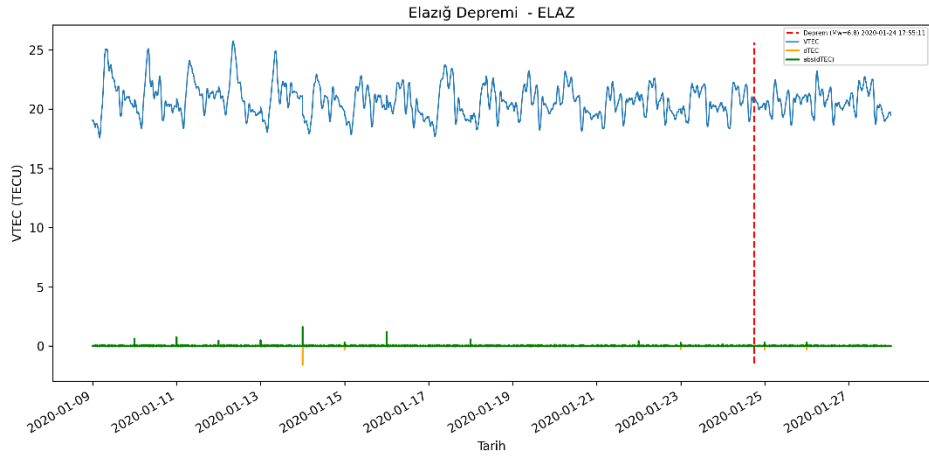
Şekil 5.67 ADY1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



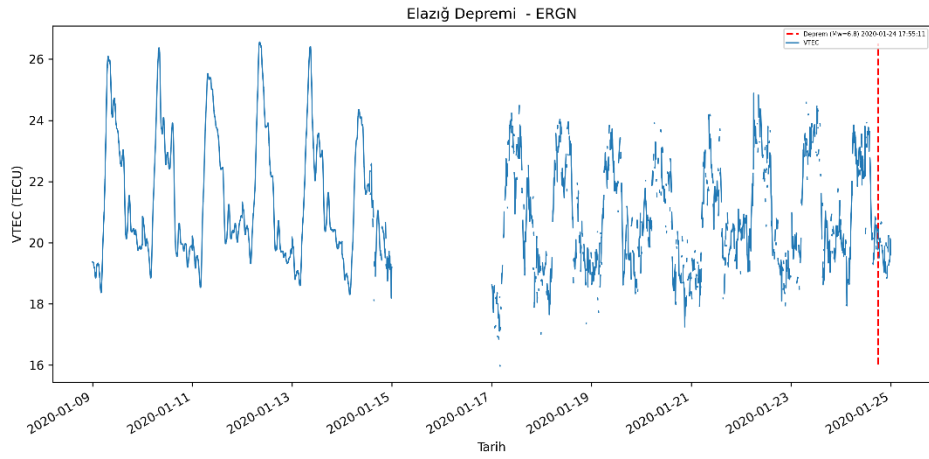
Şekil 5.69 ADY1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



Şekil 5.68 ELAZ istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri

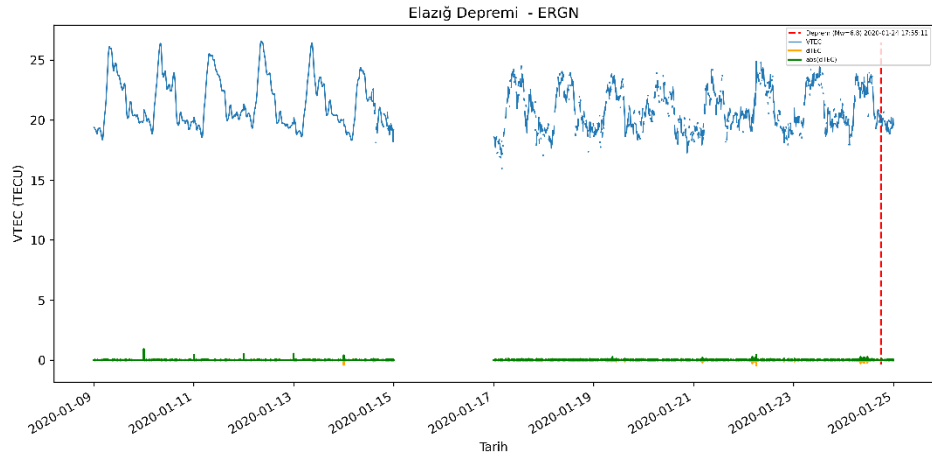


Şekil 5.71 ELAZ istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



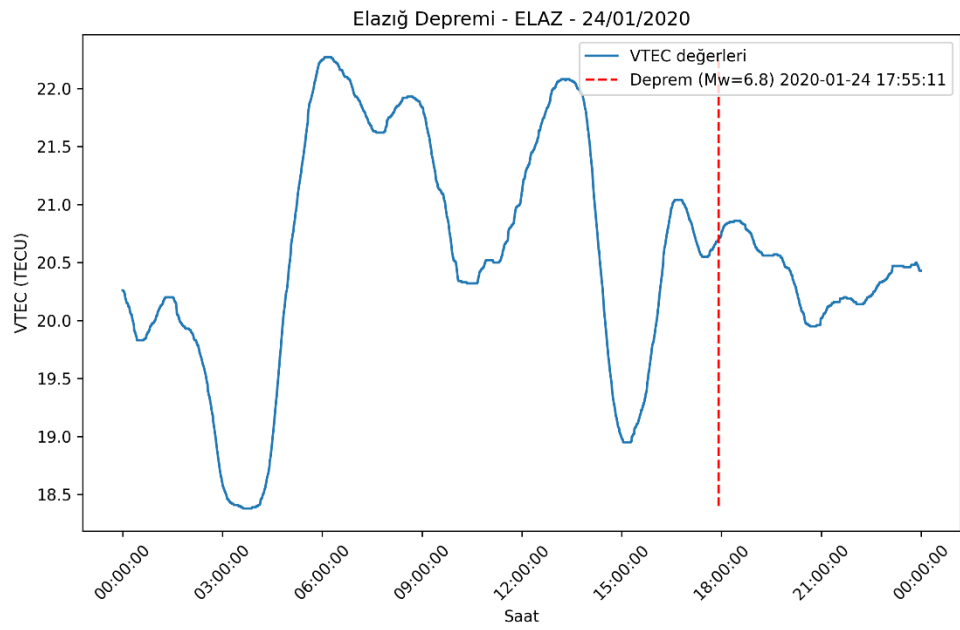
Şekil 5.70 ERGN istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri

Elde edilen şekiller incelendiğinde (Şekil 5.66-5.70) bazı günler için ani yükselişler gözlemlenmekle beraber bu değişimler deprem ile ilişkilendirilememiştir.

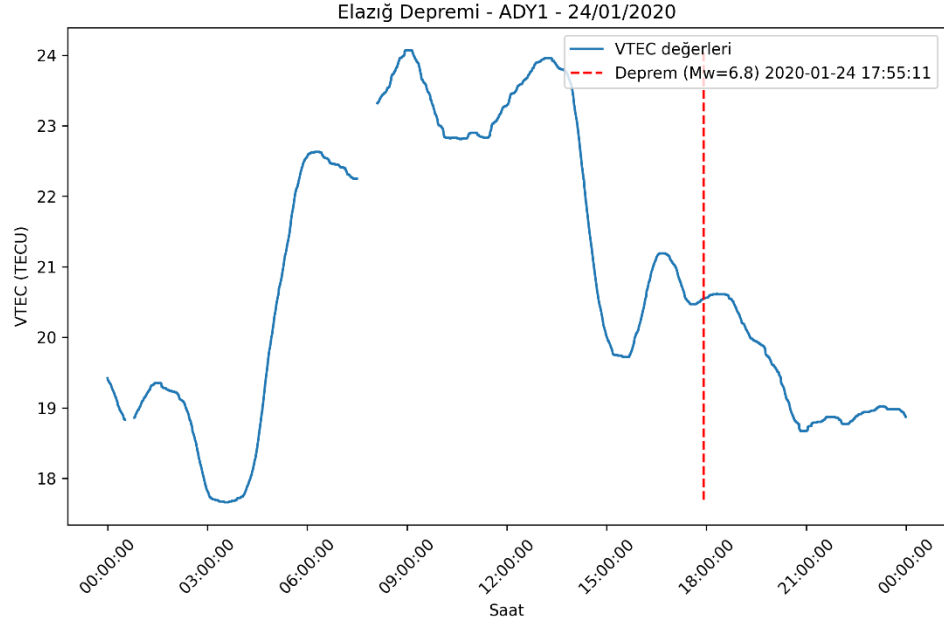


Şekil 5.73 ERGN istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri

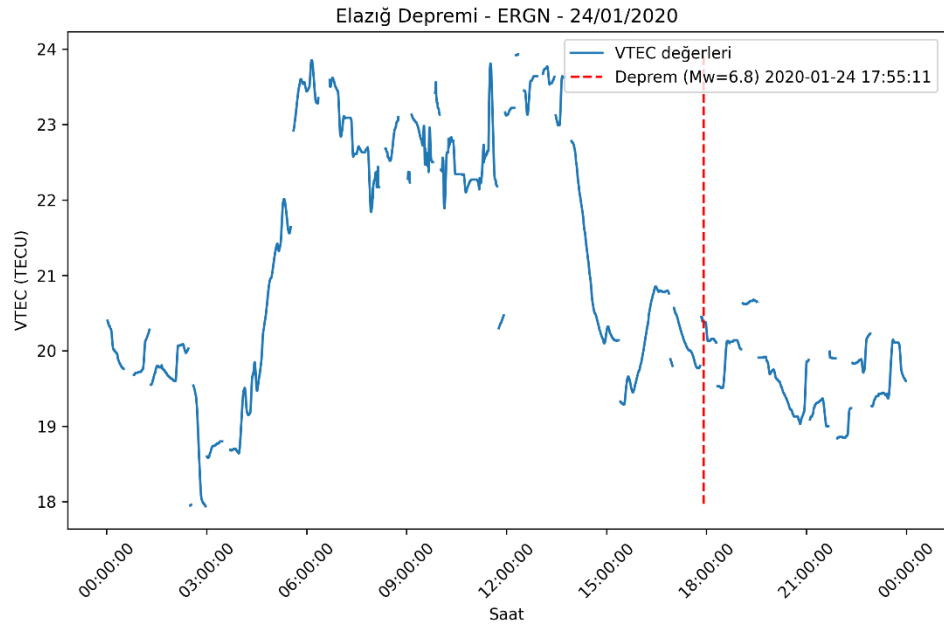
15 günlük verilerden sonra, deprem gününe ait 1 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.73-5.78).



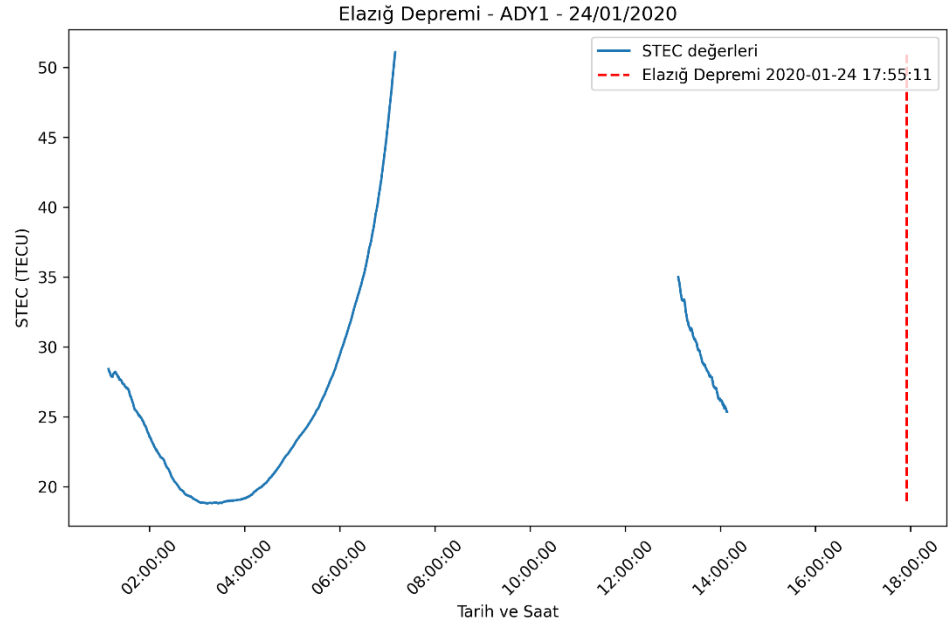
Şekil 5.72 ELAZ istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



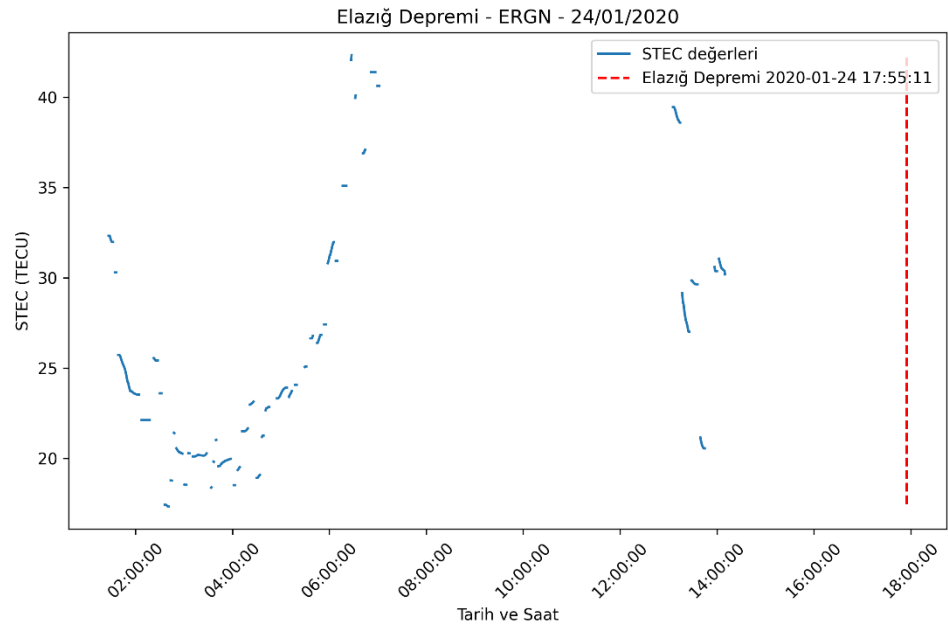
Şekil 5.75 ADY1 istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



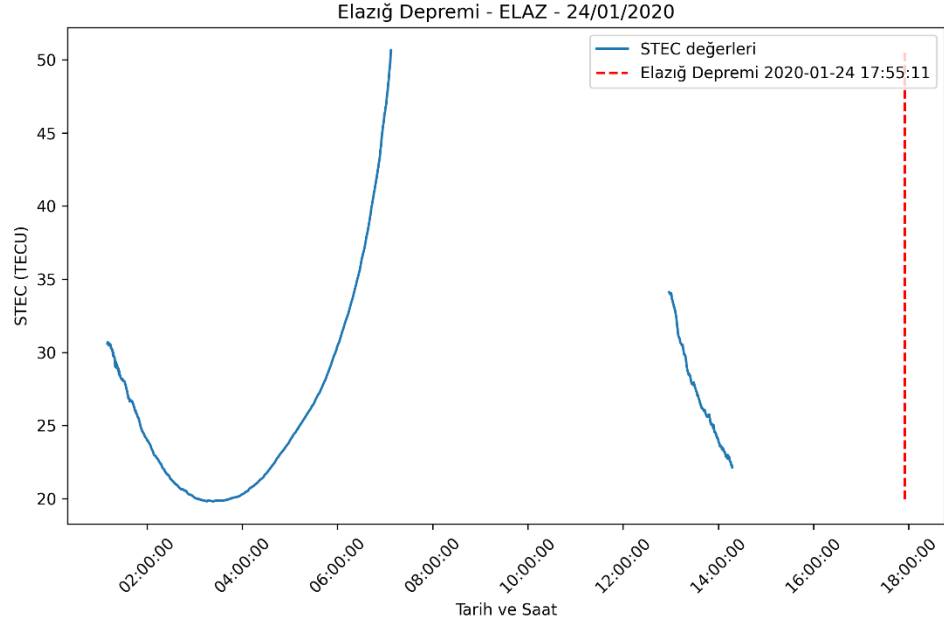
Şekil 5.74 ERGN istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



Şekil 5.76 ADY1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri



Şekil 5.77 ERGN istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri

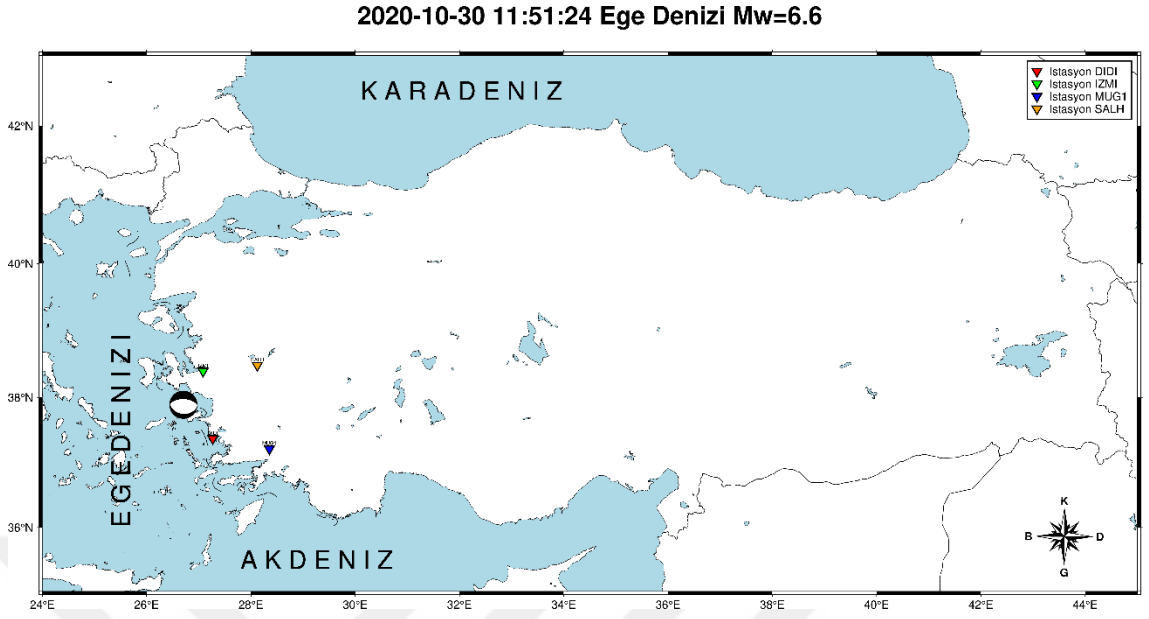


Şekil 5.78 ELAZ istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri

Günlük veriler ışığında bazı günlerde kopmalar gözlenmiş olup bu kopuklukların sebebinin deprem dışı süreçler olduğu düşünülmektedir.

5.5 30.10.2020 Ege Denizi Depremi

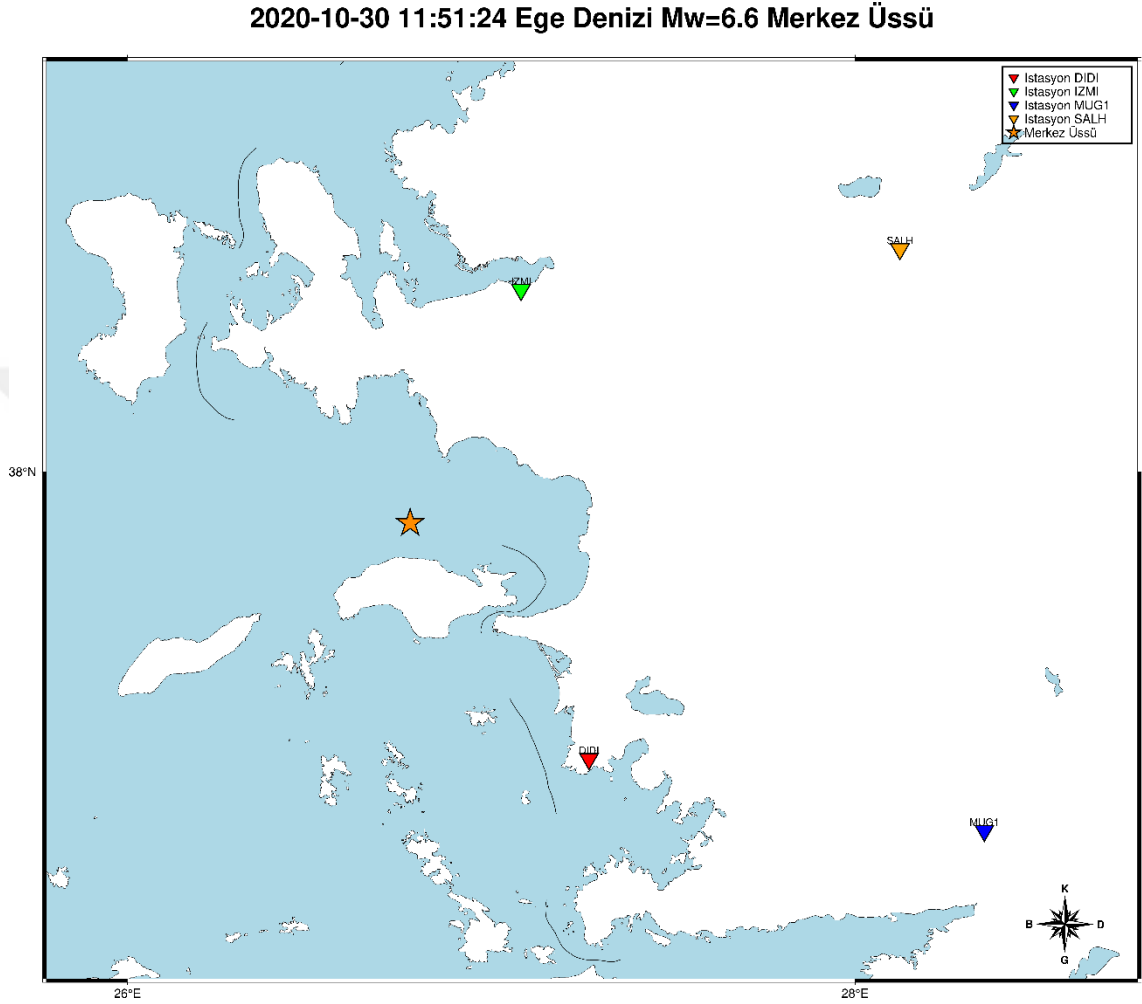
30 Ekim 2020 tarihinde yerel saat ile 14:51:24'de Ege Denizin de Sisam Adası'nın açıklarında, Seferhisar ilçesine 22 km uzaklıkta, büyüklüğü $M_w = 6.6$ ve derinliği 16.54 olan bir deprem meydana gelmiştir (**Şekil 5.80**). Depremin şiddeti Kandilli Rasathanesi tarafından $I_0 = VII$ olarak açıklanmıştır.



Şekil 5.79 30.10.2020 Ege Denizi Depremi

30.10.2020-31.12.2020 tarihleri arasında 5799 adet artçı deprem kaydedilmiştir (AFAD). Deprem sonrası tsunami meydana gelmiştir. Bu deprem 2020 yılında gerçekleşmiş olan en ölümcül depremdir.

Depreme ait TEİ değerlerinin hesabı için DIDI, IZMI, MUG1 ve SALH istasyonları kullanılmıştır (Şekil 5.80).



Şekil 5.80 30.10.2020 Ege Denizi depremi kullanılan istasyonlar haritası

1

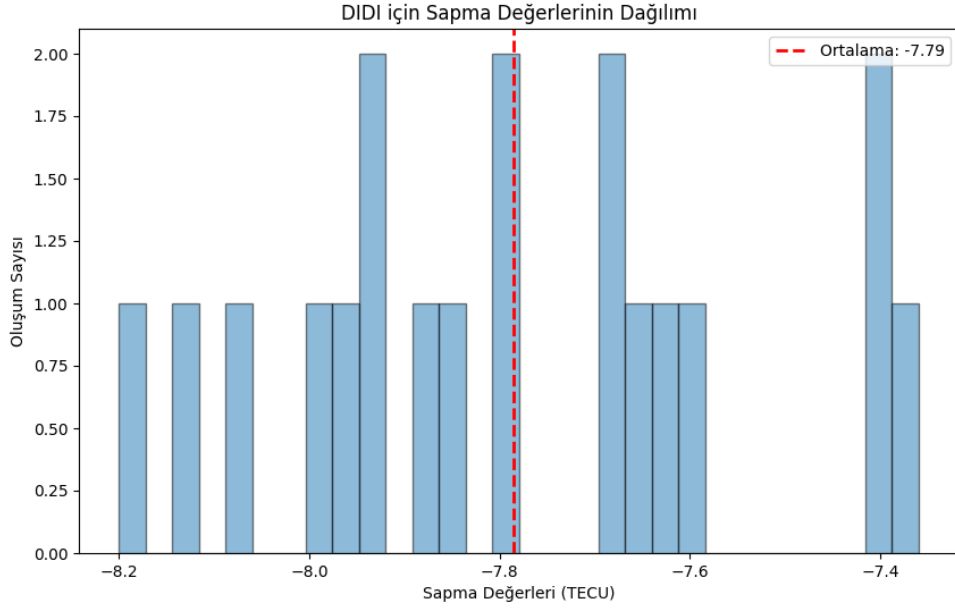
TUSAGA-Aktif 'den gelen veriler sonucu 1 gün ve 15 günlük hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar istasyonların IFB değerleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Çizelge 5.8-5.9). İstasyonların IFB değerleri Şekil 5.81-5.84'de grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 5.8 30.10.2020 Ege Denizi depremi IFB değerleri

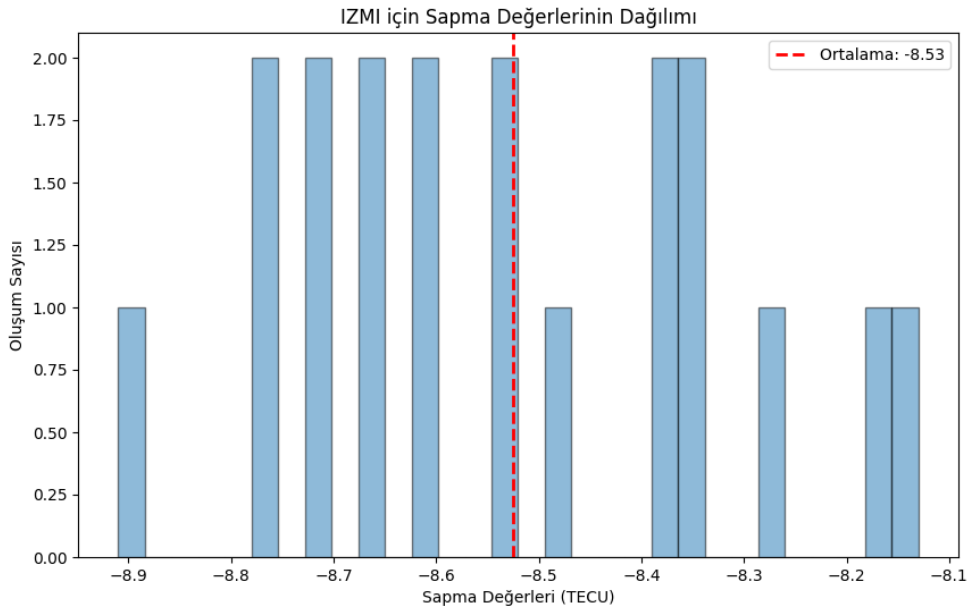
Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
30.10.2020	DIDI	289	15.10.2020	37,37	27,27	-7,86
30.10.2020	DIDI	290	16.10.2020	37,37	27,27	-7,79
30.10.2020	DIDI	291	17.10.2020	37,37	27,27	-7,93
30.10.2020	DIDI	292	18.10.2020	37,37	27,27	-7,66
30.10.2020	DIDI	293	19.10.2020	37,37	27,27	-7,93
30.10.2020	DIDI	294	20.10.2020	37,37	27,27	-7,68
30.10.2020	DIDI	295	21.10.2020	37,37	27,27	-7,99
30.10.2020	DIDI	296	22.10.2020	37,37	27,27	-8,13
30.10.2020	DIDI	297	23.10.2020	37,37	27,27	-7,63
30.10.2020	DIDI	298	24.10.2020	37,37	27,27	-7,41
30.10.2020	DIDI	299	25.10.2020	37,37	27,27	-8,2
30.10.2020	DIDI	300	26.10.2020	37,37	27,27	-8,06
30.10.2020	DIDI	301	27.10.2020	37,37	27,27	-7,6
30.10.2020	DIDI	302	28.10.2020	37,37	27,27	-7,96
30.10.2020	DIDI	303	29.10.2020	37,37	27,27	-7,4
30.10.2020	DIDI	304	30.10.2020	37,37	27,27	-7,36
30.10.2020	DIDI	305	31.10.2020	37,37	27,27	-7,87
30.10.2020	DIDI	306	01.11.2020	37,37	27,27	-7,67
30.10.2020	DIDI	307	02.11.2020	37,37	27,27	-7,79
30.10.2020	IZMI	289	15.10.2020	38,39	27,08	-8,53
30.10.2020	IZMI	290	16.10.2020	38,39	27,08	-8,48
30.10.2020	IZMI	291	17.10.2020	38,39	27,08	-8,53
30.10.2020	IZMI	292	18.10.2020	38,39	27,08	-8,34
30.10.2020	IZMI	293	19.10.2020	38,39	27,08	-8,67
30.10.2020	IZMI	294	20.10.2020	38,39	27,08	-8,39
30.10.2020	IZMI	295	21.10.2020	38,39	27,08	-8,71
30.10.2020	IZMI	296	22.10.2020	38,39	27,08	-8,76
30.10.2020	IZMI	297	23.10.2020	38,39	27,08	-8,38
30.10.2020	IZMI	298	24.10.2020	38,39	27,08	-8,17
30.10.2020	IZMI	299	25.10.2020	38,39	27,08	-8,91
30.10.2020	IZMI	300	26.10.2020	38,39	27,08	-8,71
30.10.2020	IZMI	301	27.10.2020	38,39	27,08	-8,36
30.10.2020	IZMI	302	28.10.2020	38,39	27,08	-8,76
30.10.2020	IZMI	303	29.10.2020	38,39	27,08	-8,27
30.10.2020	IZMI	304	30.10.2020	38,39	27,08	-8,13
30.10.2020	IZMI	305	31.10.2020	38,39	27,08	-8,67
30.10.2020	IZMI	306	01.11.2020	38,39	27,08	-8,61
30.10.2020	IZMI	307	02.11.2020	38,39	27,08	-8,6
30.10.2020	MUG1	289	15.10.2020	37,21	28,36	-5,96
30.10.2020	MUG1	290	16.10.2020	37,21	28,36	-5,94
30.10.2020	MUG1	291	17.10.2020	37,21	28,36	-6,02
30.10.2020	MUG1	292	18.10.2020	37,21	28,36	-5,78
30.10.2020	MUG1	293	19.10.2020	37,21	28,36	-6,09
30.10.2020	MUG1	294	20.10.2020	37,21	28,36	-5,84
30.10.2020	MUG1	295	21.10.2020	37,21	28,36	-6,11
30.10.2020	MUG1	296	22.10.2020	37,21	28,36	-6,3
30.10.2020	MUG1	297	23.10.2020	37,21	28,36	-5,75
30.10.2020	MUG1	298	24.10.2020	37,21	28,36	-5,54
30.10.2020	MUG1	299	25.10.2020	37,21	28,36	-6,28
30.10.2020	MUG1	300	26.10.2020	37,21	28,36	-6,2
30.10.2020	MUG1	301	27.10.2020	37,21	28,36	-5,67
30.10.2020	MUG1	302	28.10.2020	37,21	28,36	-6,18

Çizelge 5.9 30.10.2020 Ege Denizi depremi IFB değerleri

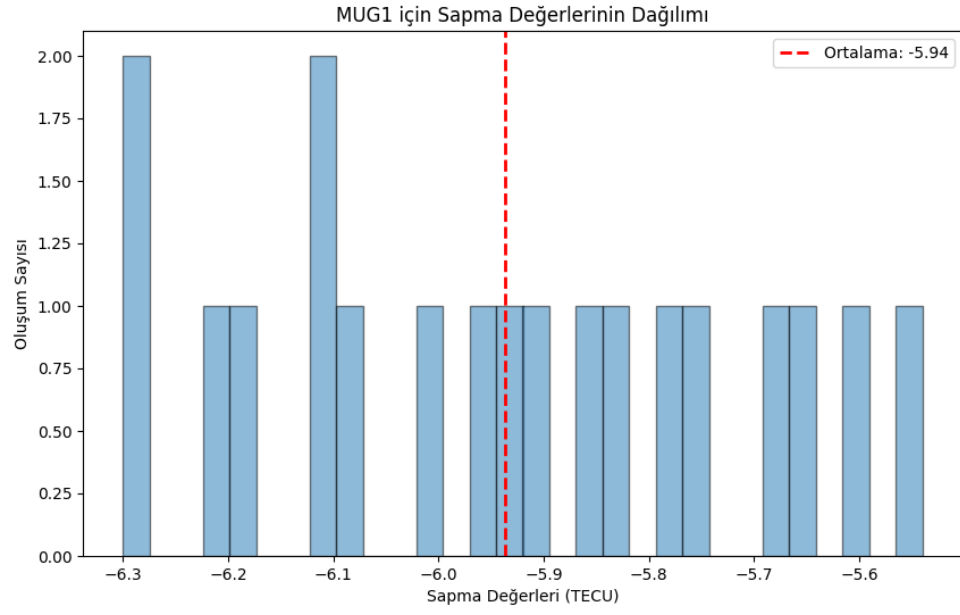
Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
30.10.2020	MUG1	302	28.10.2020	37,21	28,36	-6,18
30.10.2020	MUG1	303	29.10.2020	37,21	28,36	-5,66
30.10.2020	MUG1	304	30.10.2020	37,21	28,36	-5,6
30.10.2020	MUG1	305	31.10.2020	37,21	28,36	-6,1
30.10.2020	MUG1	306	01.11.2020	37,21	28,36	-5,86
30.10.2020	MUG1	307	02.11.2020	37,21	28,36	-5,91
30.10.2020	SALH	289	15.10.2020	38,48	28,12	-6,15
30.10.2020	SALH	290	16.10.2020	38,48	28,12	-6,11
30.10.2020	SALH	291	17.10.2020	38,48	28,12	-6,31
30.10.2020	SALH	292	18.10.2020	38,48	28,12	-6,22
30.10.2020	SALH	293	19.10.2020	38,48	28,12	-6,43
30.10.2020	SALH	294	20.10.2020	38,48	28,12	-6,21
30.10.2020	SALH	295	21.10.2020	38,48	28,12	-6,5
30.10.2020	SALH	296	22.10.2020	38,48	28,12	-6,58
30.10.2020	SALH	297	23.10.2020	38,48	28,12	-6,19
30.10.2020	SALH	298	24.10.2020	38,48	28,12	-6,08
30.10.2020	SALH	299	25.10.2020	38,48	28,12	-6,58
30.10.2020	SALH	300	26.10.2020	38,48	28,12	-6,37
30.10.2020	SALH	301	27.10.2020	38,48	28,12	-6,12
30.10.2020	SALH	302	28.10.2020	38,48	28,12	-6,56
30.10.2020	SALH	303	29.10.2020	38,48	28,12	-6,06
30.10.2020	SALH	304	30.10.2020	38,48	28,12	-5,94
30.10.2020	SALH	305	31.10.2020	38,48	28,12	-6,34
30.10.2020	SALH	306	01.11.2020	38,48	28,12	-6,18
30.10.2020	SALH	307	02.11.2020	38,48	28,12	-6,14



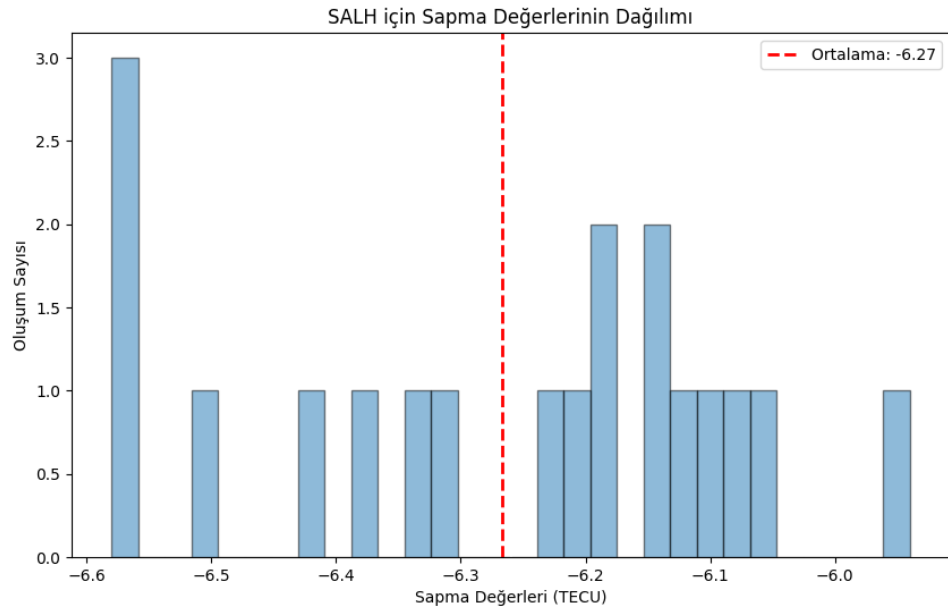
Şekil 5.81 DIDI istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram



Şekil 5.82 IZMI istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

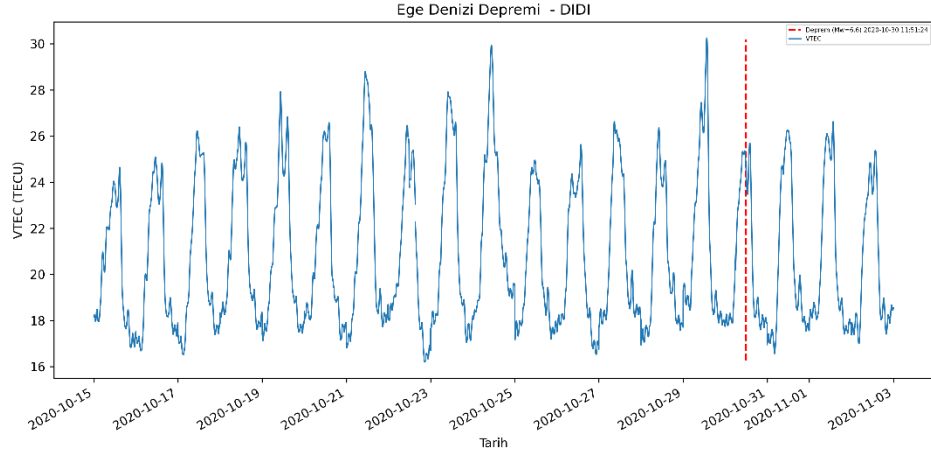


Şekil 5.803 MUG1 istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

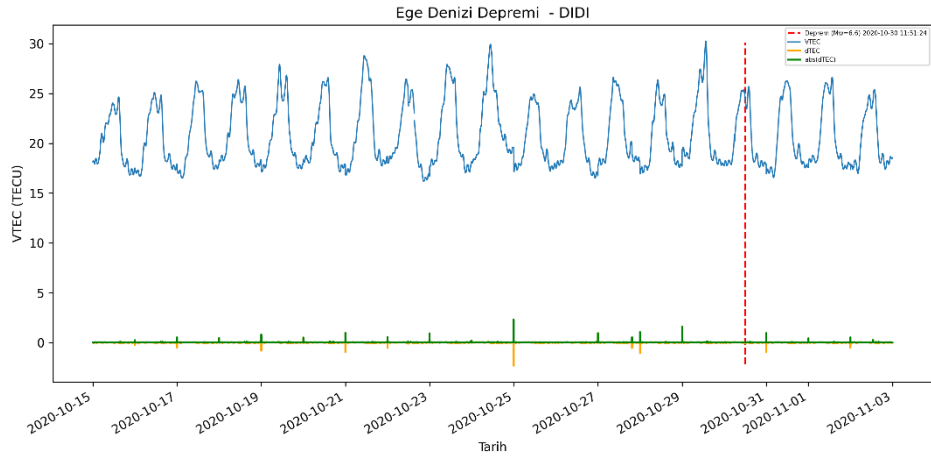


Şekil 5.814 SALH istasyonu için IFB değer dağılımına ait histogram

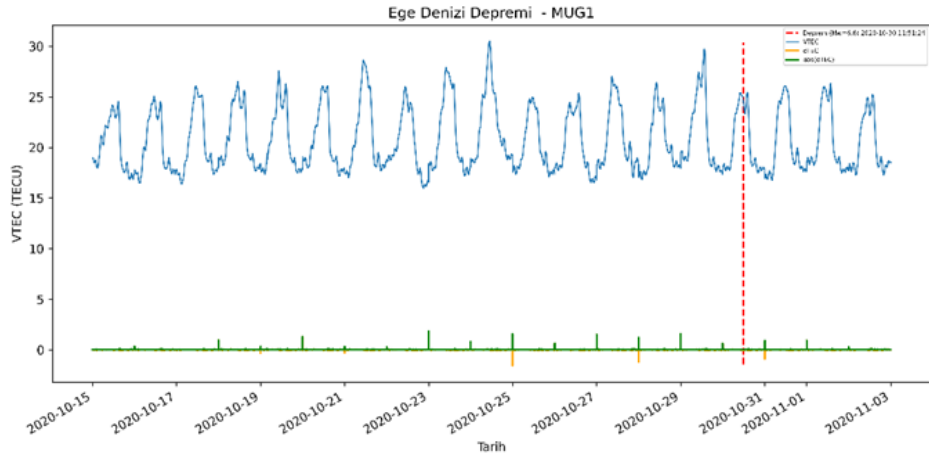
Deprem öncesi ve sonrasını kapsayacak şekilde elde edilen 15 günlük veriler elde edilmiş ve 15 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.85-5.94).



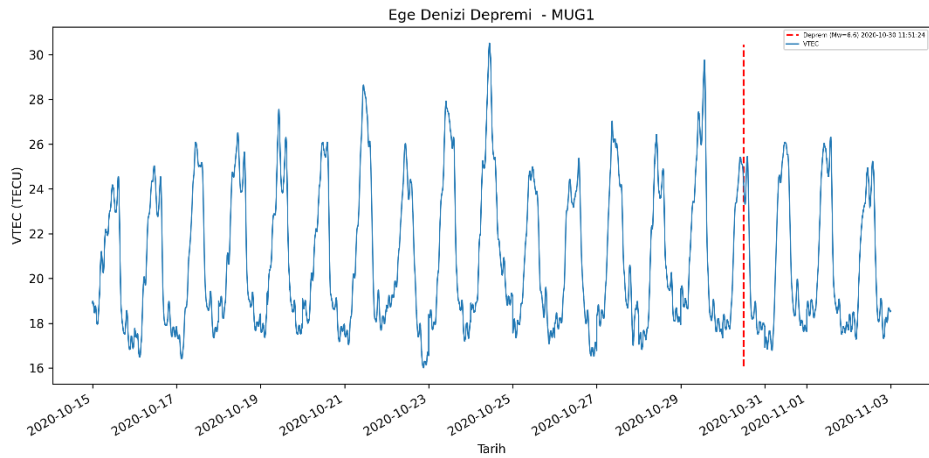
Şekil 5.825 DIDI istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



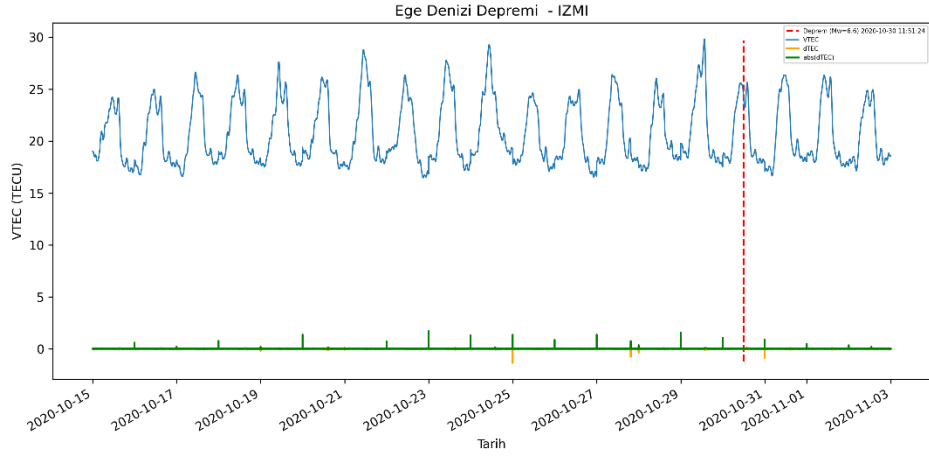
Şekil 5.836 DIDI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



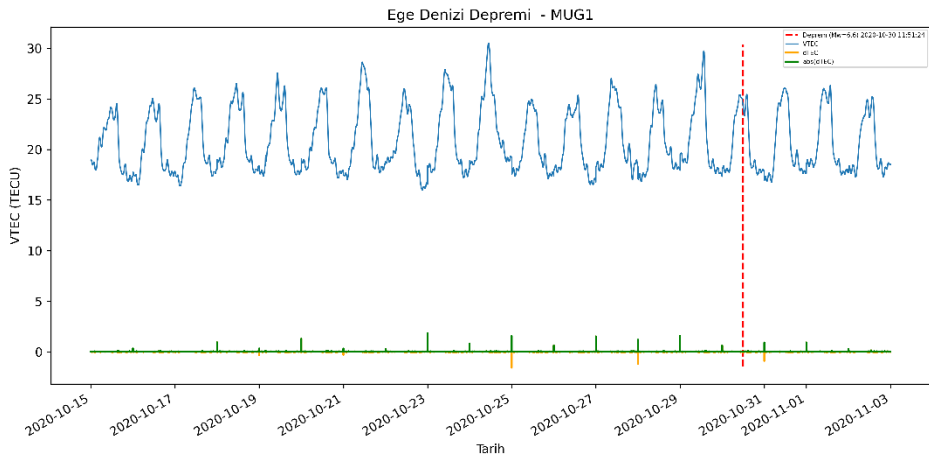
Şekil 5.87 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



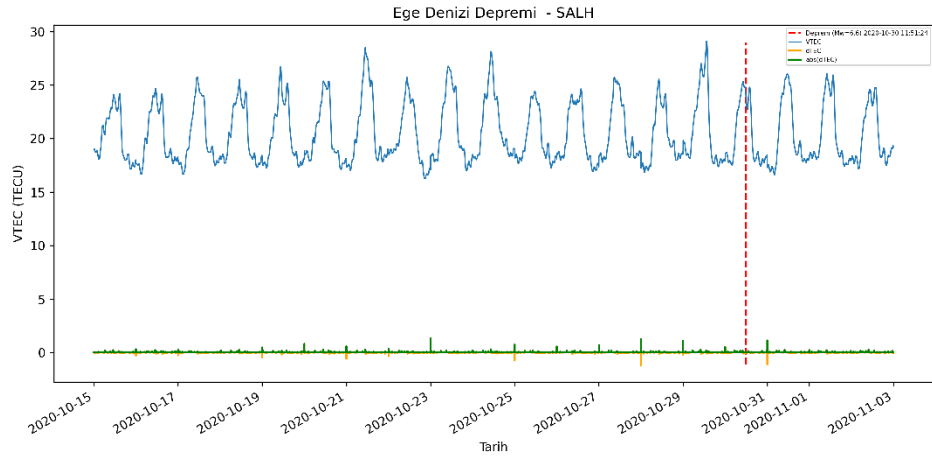
Şekil 5.88 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



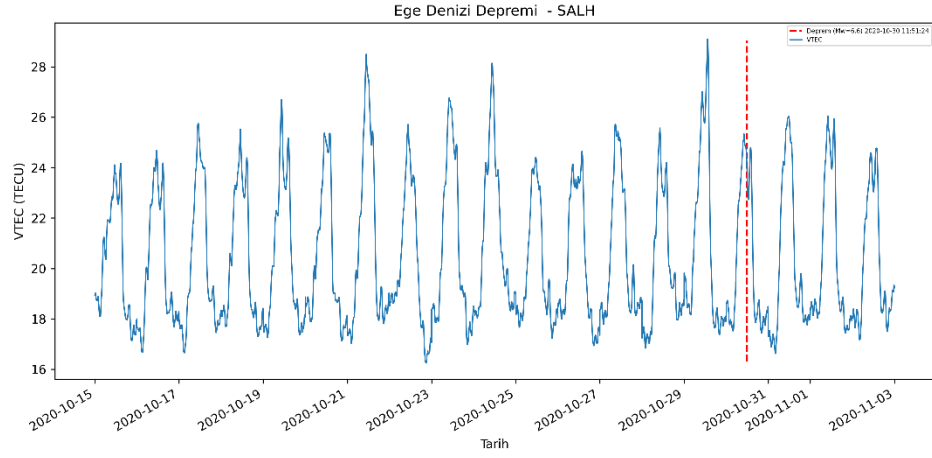
Şekil 5.89 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



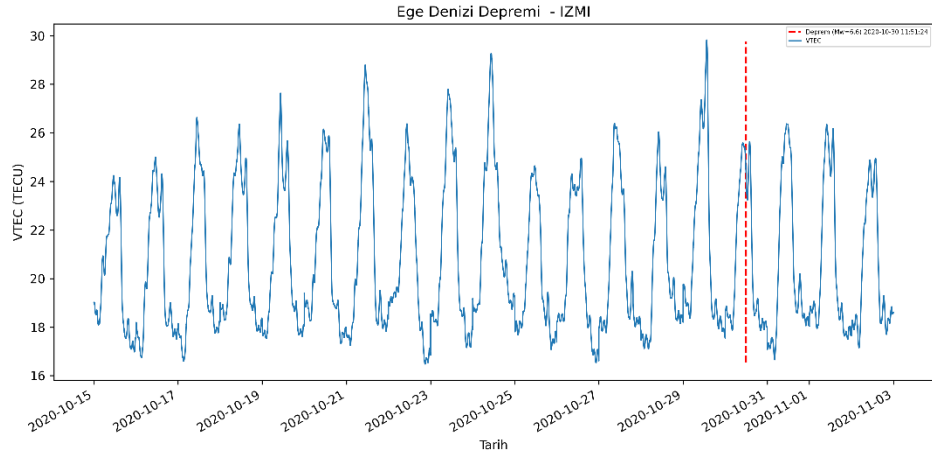
Şekil 5.90 MUG1 istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



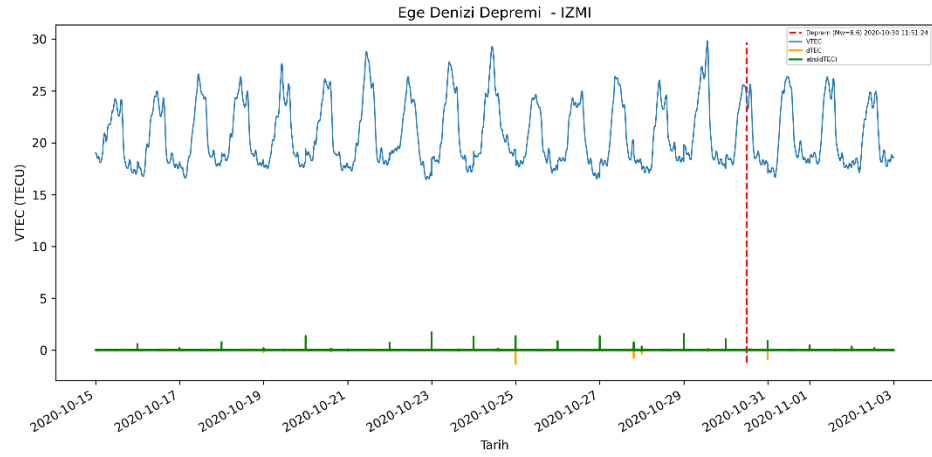
Şekil 5.91 SALH istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri



Şekil 5.92 SALH istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



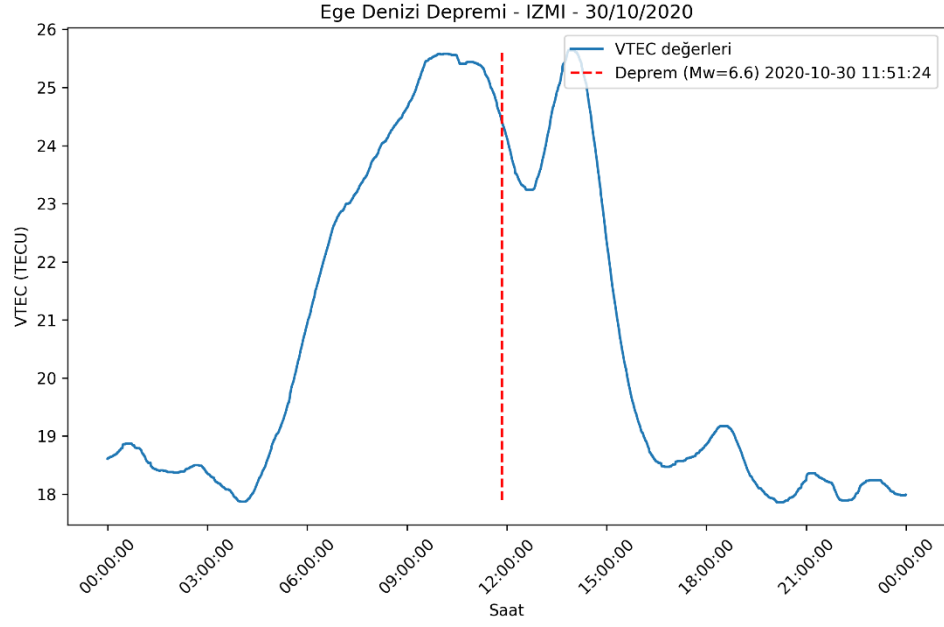
Şekil 5.93 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC değerleri



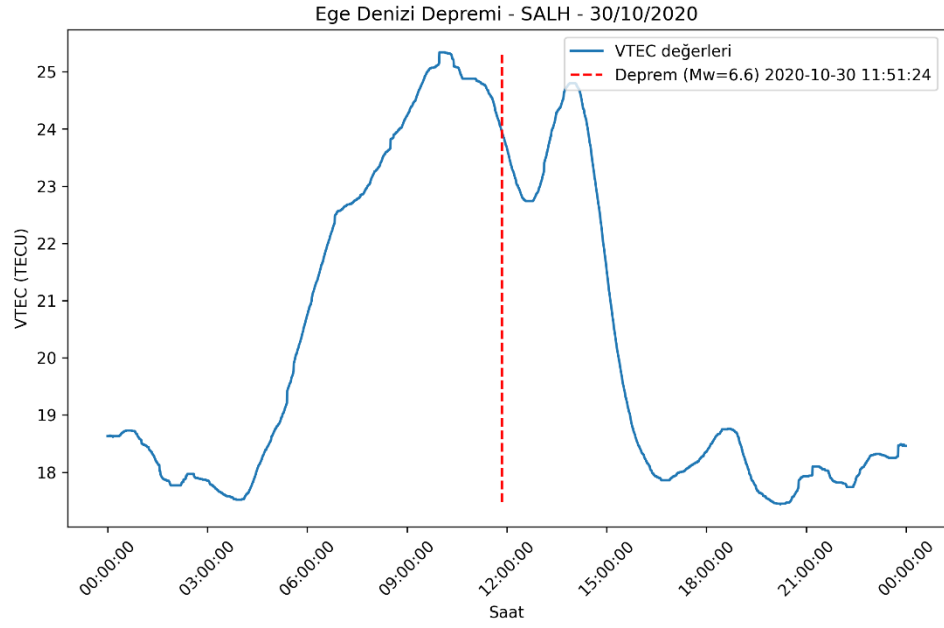
Şekil 5.94 IZMI istasyonuna ait 15 günlük VTEC ve dTEC değerleri

Depreme ait veriler incelendiğinde normalin dışında anomali olarak değerlendirilebilecek bir değişim görülmemiştir.

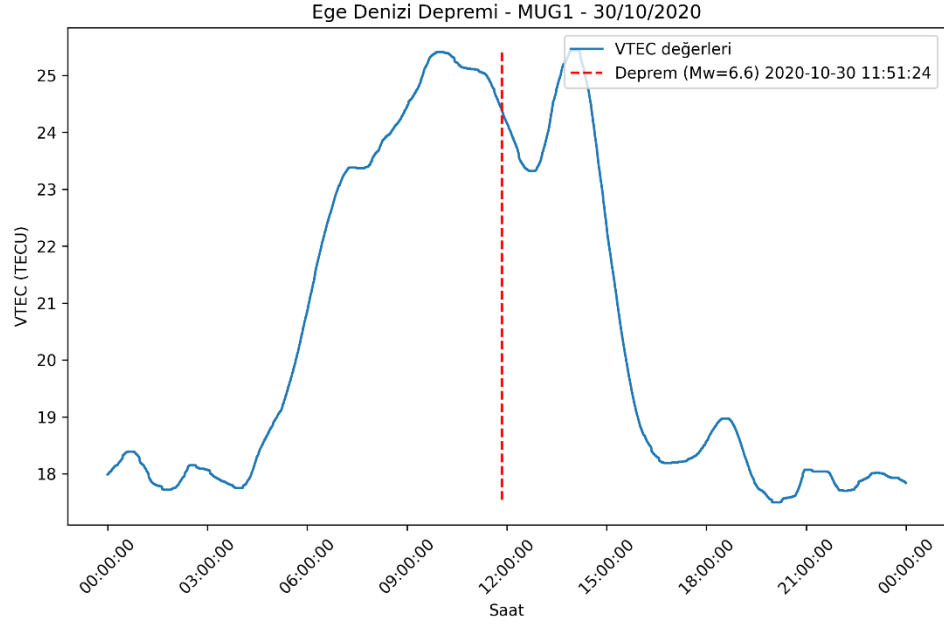
15 günlük verilerden sonra, deprem gününe ait 1 günlük TEİ değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.95-5.100).



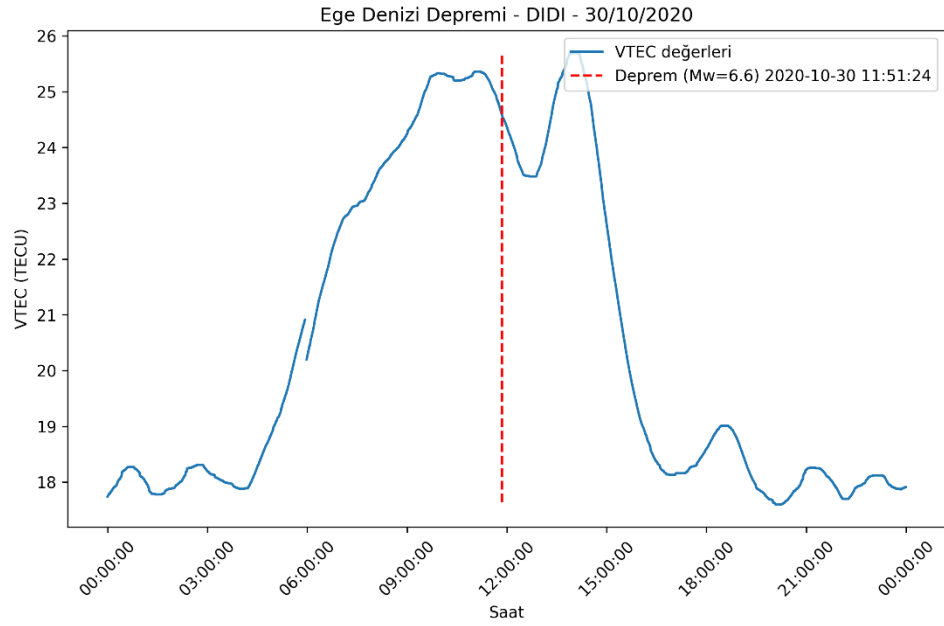
Şekil 5.95 IZMI istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



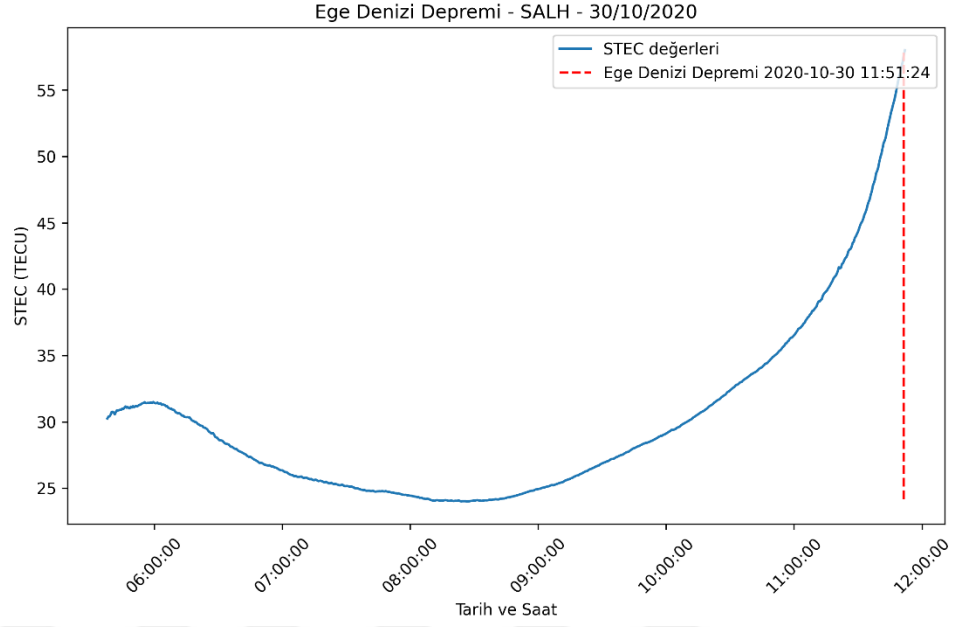
Şekil 5.96 SALH istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



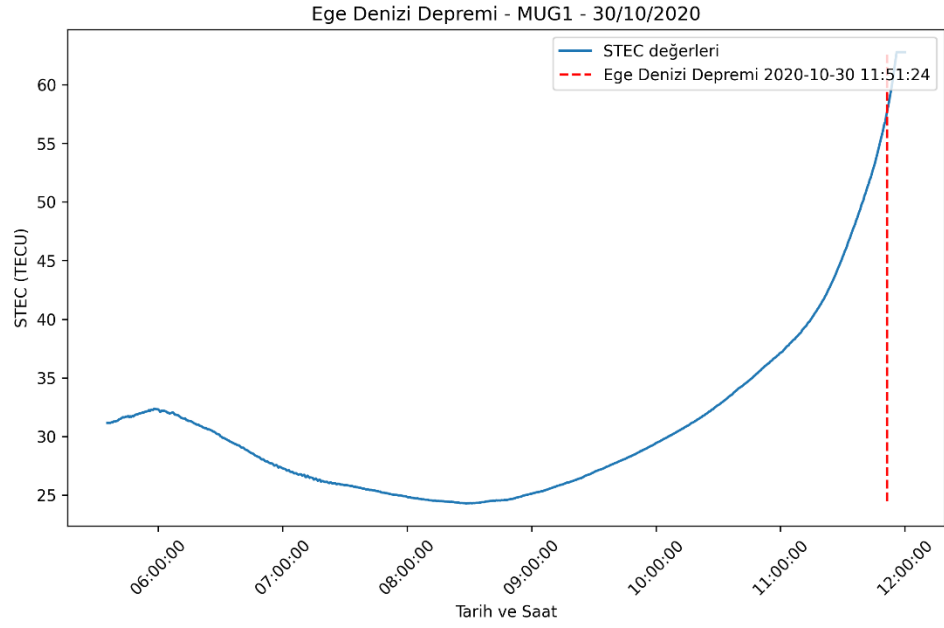
Şekil 5.97 MUG1 istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



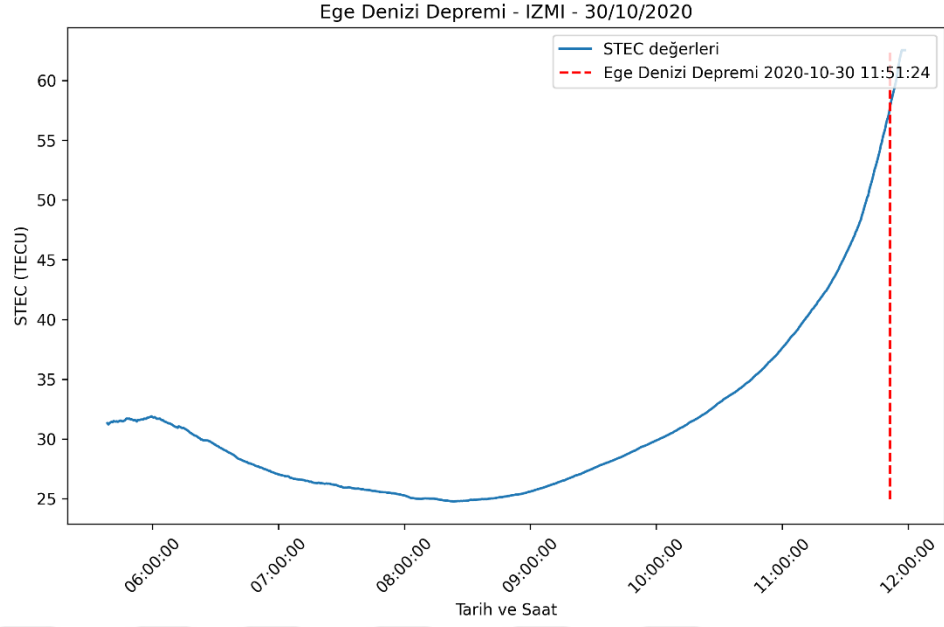
Şekil 5.848 DIDI istasyonuna ait 1 günlük VTEC değerleri



Şekil 5.859 SALH istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri



Şekil 5.100 MUG1 istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri

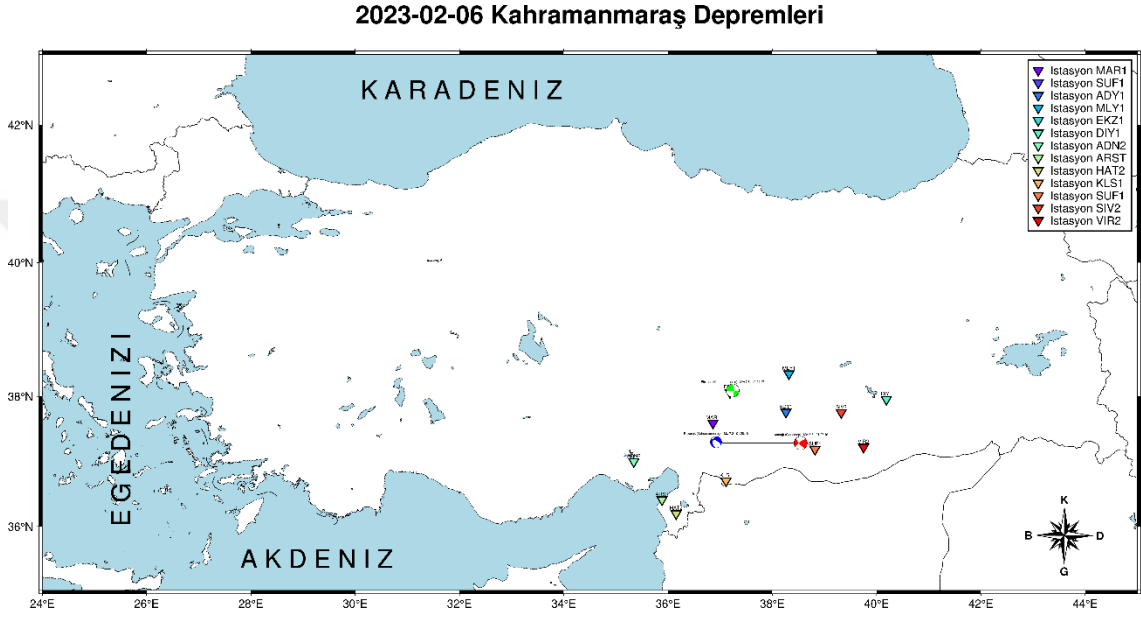


Şekil 5.101 IZMI istasyonuna ait deprem gününü kapsayan STEC değerleri

Günlük veriler incelendiğinde deprem sonrası meydana gelen bir düşüş gözlenmekle birlikte bu değişim doğrudan deprem ile ilişkilendirilememiştir.

5.6 02.06.2023 Maraş Depremleri

06 Şubat 2023 tarihinde yerel saat ile 04:28 ve 13:24' de Kahramanmaraş'ta (Şekil 5.102) büyüklüğü $M_w=7.2$ ve $M_w=7.6$ olan iki deprem meydana gelmiştir ayrıca bölgede $M_w=6.6$ bir depremde meydana gelmiştir.

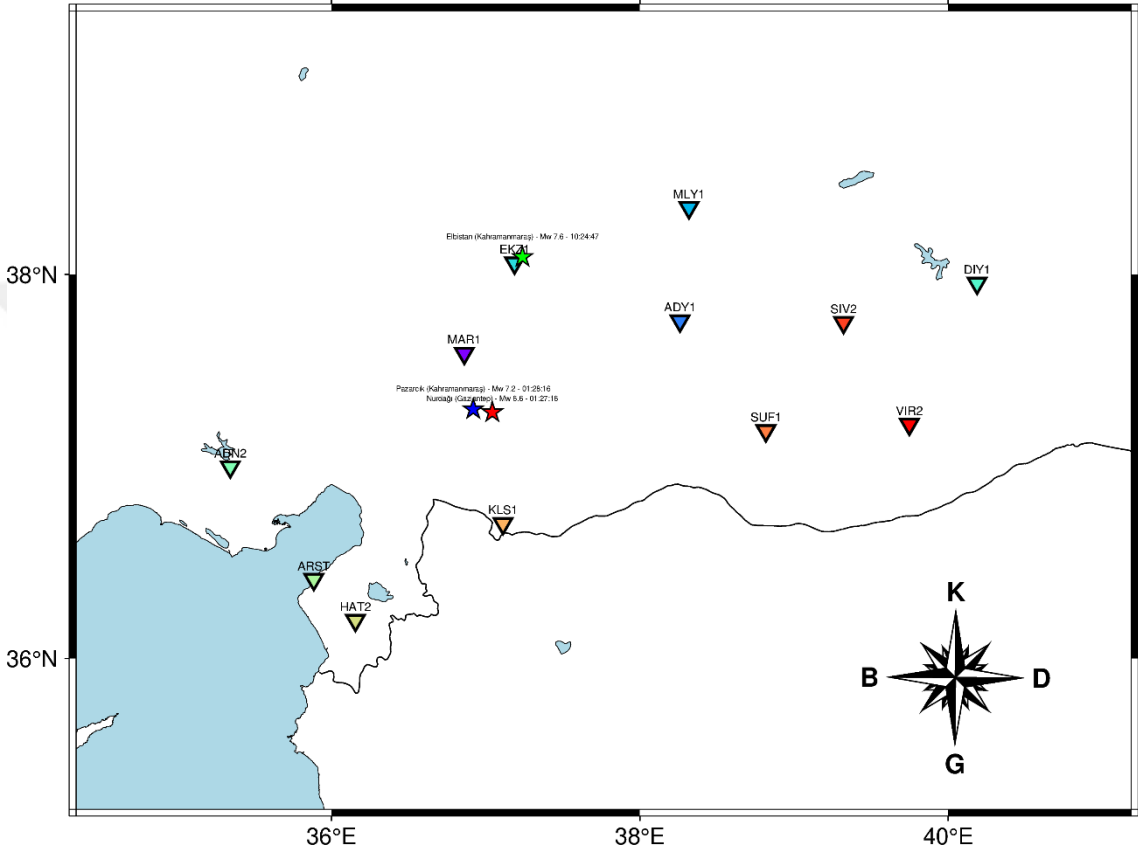


Şekil 5.87 06.02.2023 Maraş Depremleri için kullanılan istasyonlar

Depremler şimdiye kadar Türkiye’de meydana gelmiş en büyük depremler arasında yer almakla beraber birden çok ili etkilediği için çok fazla can kaybına sebep olmuştur. Depremler sonucunda Türkiye’de resmî rakamlara göre en az 50 bin 783, Suriye’de ise en az 8 bin 476 kişi hayatını kaybetti ve toplam 122 binden fazla kişi yaralandı. Depremlerin ardından 40 binden fazla artçı sarsıntı gerçekleşti. Depremler, yaklaşık 350.000 km² alanda hasara yol açtı ve 14 milyon kişiyi etkiledi. Türkiye’de birçok tarihi yapı da dahil 35 binden fazla bina yıkıldı ve 300 bine yakın bina ağır hasar aldı.

Depremlere ait TEİ değerlerinin hesabı için MAR1, SUF1, ADY1, MLY1, EKZ1, SIV1, DIY1, ADN2, ARST, HAT2, KLS1, SUF1, SIV2 ve VIR2 istasyonları seçilmiş olup yalnızca uygun veriye sahip istasyonlar kullanılmıştır (Şekil 5.103).

2023-02-06 Kahramanmaraş Depremleri



Şekil 5.88 06.02.2023 Maraş Depremlerinin merkez üsleri

TUSAGA-Aktif 'den gelen veriler sonucu 1 gün ve 15 günlük hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar istasyonların IFB değerleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Çizelge 5.10-5.15).

Çizelge 5.10 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri

Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
06.02.2023	ADN2	23	23.01.2023	36,98	35,32	-12,1
06.02.2023	ADN2	24	24.01.2023	36,98	35,32	-12,28
06.02.2023	ADN2	25	25.01.2023	36,98	35,32	-12,44
06.02.2023	ADN2	26	26.01.2023	36,98	35,32	-12,01
06.02.2023	ADN2	27	27.01.2023	36,98	35,32	-12,3
06.02.2023	ADN2	28	28.01.2023	36,98	35,32	-12,37
06.02.2023	ADN2	29	29.01.2023	36,98	35,32	-11,99
06.02.2023	ADN2	30	30.01.2023	36,98	35,32	-12,37
06.02.2023	ADN2	31	31.01.2023	36,98	35,32	-12,33
06.02.2023	ADN2	32	01.02.2023	36,98	35,32	-12,24
06.02.2023	ADN2	33	02.02.2023	36,98	35,32	-12,39
06.02.2023	ADN2	34	03.02.2023	36,98	35,32	-12,08
06.02.2023	ADN2	35	04.02.2023	36,98	35,32	-12,09
06.02.2023	ADN2	36	05.02.2023	36,98	35,32	-12,04
06.02.2023	ADN2	37	06.02.2023	36,98	35,32	-11,9
06.02.2023	ADN2	38	07.02.2023	36,98	35,32	-11,74
06.02.2023	ADN2	39	08.02.2023	36,98	35,32	-11,77
06.02.2023	ADY1	23	23.01.2023	37,76	38,26	-9,63
06.02.2023	ADY1	24	24.01.2023	37,76	38,26	-9,81
06.02.2023	ADY1	25	25.01.2023	37,76	38,26	-10
06.02.2023	ADY1	26	26.01.2023	37,76	38,26	-9,38
06.02.2023	ADY1	27	27.01.2023	37,76	38,26	-9,85
06.02.2023	ADY1	28	28.01.2023	37,76	38,26	-9,98
06.02.2023	ADY1	29	29.01.2023	37,76	38,26	-9,62
06.02.2023	ADY1	30	30.01.2023	37,76	38,26	-10,05
06.02.2023	ADY1	31	31.01.2023	37,76	38,26	-9,95
06.02.2023	ADY1	32	01.02.2023	37,76	38,26	-9,76
06.02.2023	ADY1	33	02.02.2023	37,76	38,26	-9,94
06.02.2023	ADY1	34	03.02.2023	37,76	38,26	-9,73
06.02.2023	ADY1	35	04.02.2023	37,76	38,26	-9,88

Çizelge 5.11 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri

Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
06.02.2023	ADY1	36	05/02/2023	37,76	38,26	-9,81
06.02.2023	ADY1	37	06/02/2023	37,76	38,26	-10,81
06.02.2023	ARST	23	23/01/2023	36,42	35,89	-0,34
06.02.2023	ARST	24	24/01/2023	36,42	35,89	-0,52
06.02.2023	ARST	25	25/01/2023	36,42	35,89	-0,71
06.02.2023	ARST	26	26/01/2023	36,42	35,89	-0,52
06.02.2023	ARST	27	27/01/2023	36,42	35,89	-0,53
06.02.2023	ARST	28	28/01/2023	36,42	35,89	-0,47
06.02.2023	ARST	29	29/01/2023	36,42	35,89	-0,53
06.02.2023	ARST	30	30/01/2023	36,42	35,89	-0,93
06.02.2023	ARST	31	31/01/2023	36,42	35,89	-0,83
06.02.2023	ARST	32	01/02/2023	36,42	35,89	-0,63
06.02.2023	ARST	33	02/02/2023	36,42	35,89	-0,97
06.02.2023	ARST	34	03/02/2023	36,42	35,89	-0,5
06.02.2023	ARST	35	04/02/2023	36,42	35,89	-0,36
06.02.2023	ARST	36	05/02/2023	36,42	35,89	-0,25
06.02.2023	ARST	39	08/02/2023	36,42	35,89	-0,27
06.02.2023	DIY1	23	23/01/2023	37,95	40,19	-15,05
06.02.2023	DIY1	24	24/01/2023	37,95	40,19	-15,63
06.02.2023	DIY1	25	25/01/2023	37,95	40,19	-11,94
06.02.2023	DIY1	26	26/01/2023	37,95	40,19	-15,43
06.02.2023	DIY1	27	27/01/2023	37,95	40,19	-15,83
06.02.2023	DIY1	28	28/01/2023	37,95	40,19	-7,33
06.02.2023	DIY1	33	02/02/2023	37,95	40,19	0
06.02.2023	DIY1	34	03/02/2023	37,95	40,19	-7,2
06.02.2023	DIY1	37	06/02/2023	37,95	40,19	-14,42
06.02.2023	DIY1	38	07/02/2023	37,95	40,19	-14,12
06.02.2023	DIY1	39	08/02/2023	37,95	40,19	-13,79

Çizelge 5.12 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri

Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
06.02.2023	EKZ1	25	25/01/2023	38,06	37,19	-13,66
06.02.2023	EKZ1	26	26/01/2023	38,06	37,19	-13,16
06.02.2023	EKZ1	27	27/01/2023	38,06	37,19	-13,57
06.02.2023	EKZ1	28	28/01/2023	38,06	37,19	-13,6
06.02.2023	EKZ1	29	29/01/2023	38,06	37,19	-13,31
06.02.2023	EKZ1	30	30/01/2023	38,06	37,19	-13,8
06.02.2023	EKZ1	31	31/01/2023	38,06	37,19	-13,59
06.02.2023	EKZ1	32	01/02/2023	38,06	37,19	-13,49
06.02.2023	EKZ1	33	02/02/2023	38,06	37,19	-13,74
06.02.2023	EKZ1	34	03/02/2023	38,06	37,19	-13,28
06.02.2023	EKZ1	35	04/02/2023	38,06	37,19	-13,27
06.02.2023	EKZ1	36	05/02/2023	38,06	37,19	-13,22
06.02.2023	EKZ1	37	06/02/2023	38,06	37,19	-13,01
06.02.2023	EKZ1	38	07/02/2023	38,06	37,19	-13,38
06.02.2023	EKZ1	39	08/02/2023	38,06	37,19	-12,76
06.02.2023	HAT2	23	23/01/2023	36,2	36,14	-10,67
06.02.2023	HAT2	24	24/01/2023	36,2	36,14	-10,79
06.02.2023	HAT2	25	25/01/2023	36,2	36,14	-11
06.02.2023	HAT2	26	26/01/2023	36,2	36,14	-10,47
06.02.2023	HAT2	27	27/01/2023	36,2	36,14	-10,75
06.02.2023	HAT2	28	28/01/2023	36,2	36,14	-10,94
06.02.2023	HAT2	29	29/01/2023	36,2	36,14	-10,5
06.02.2023	HAT2	30	30/01/2023	36,2	36,14	-10,91
06.02.2023	HAT2	31	31/01/2023	36,2	36,14	-10,84
06.02.2023	HAT2	32	01/02/2023	36,2	36,14	-10,83
06.02.2023	HAT2	33	02/02/2023	36,2	36,14	-10,86
06.02.2023	HAT2	34	03/02/2023	36,2	36,14	-10,6
06.02.2023	HAT2	35	04/02/2023	36,2	36,14	-10,62
06.02.2023	HAT2	36	05/02/2023	36,2	36,14	-10,46
06.02.2023	HAT2	37	06/02/2023	36,2	36,14	-11,38

Çizelge 5.13 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri

Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
06.02.2023	KLS1	23	23/01/2023	36,71	37,12	-9,02
06.02.2023	KLS1	24	24/01/2023	36,71	37,12	-9,17
06.02.2023	KLS1	25	25/01/2023	36,71	37,12	-9,38
06.02.2023	KLS1	26	26/01/2023	36,71	37,12	-8,86
06.02.2023	KLS1	27	27/01/2023	36,71	37,12	-9,14
06.02.2023	KLS1	28	28/01/2023	36,71	37,12	-9,26
06.02.2023	KLS1	29	29/01/2023	36,71	37,12	-8,9
06.02.2023	KLS1	30	30/01/2023	36,71	37,12	-9,26
06.02.2023	KLS1	31	31/01/2023	36,71	37,12	-9,21
06.02.2023	KLS1	32	01/02/2023	36,71	37,12	-9,05
06.02.2023	KLS1	33	02/02/2023	36,71	37,12	-9,12
06.02.2023	KLS1	34	03/02/2023	36,71	37,12	-8,97
06.02.2023	KLS1	35	04/02/2023	36,71	37,12	-9,53
06.02.2023	KLS1	36	05/02/2023	36,71	37,12	-9,24
06.02.2023	KLS1	37	06/02/2023	36,71	37,12	-8,65
06.02.2023	KLS1	38	07/02/2023	36,71	37,12	-8,58
06.02.2023	KLS1	39	08/02/2023	36,71	37,12	-8,6
06.02.2023	MAR1	23	23/01/2023	37,59	36,86	-8,44
06.02.2023	MAR1	24	24/01/2023	37,59	36,86	-8,63
06.02.2023	MAR1	25	25/01/2023	37,59	36,86	-8,84
06.02.2023	MAR1	26	26/01/2023	37,59	36,86	-8,25
06.02.2023	MAR1	27	27/01/2023	37,59	36,86	-8,67
06.02.2023	MAR1	28	28/01/2023	37,59	36,86	-8,54
06.02.2023	MAR1	29	29/01/2023	37,59	36,86	-8,12
06.02.2023	MAR1	30	30/01/2023	37,59	36,86	-8,57
06.02.2023	MAR1	31	31/01/2023	37,59	36,86	-8,49
06.02.2023	MAR1	32	01/02/2023	37,59	36,86	-8,39
06.02.2023	MAR1	33	02/02/2023	37,59	36,86	-8,52
06.02.2023	MAR1	34	03/02/2023	37,59	36,86	-8,37
06.02.2023	MAR1	35	04/02/2023	37,59	36,86	-8,43

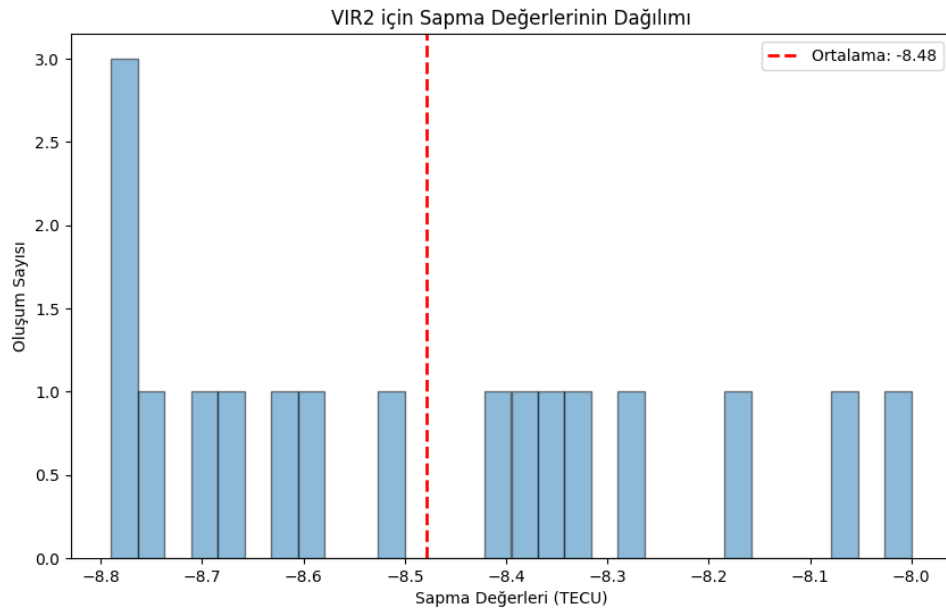
Çizelge 5.14 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri

Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
06.02.2023	MAR1	36	05/02/2023	37,59	36,86	-10,23
06.02.2023	MAR1	37	06/02/2023	37,59	36,86	-9,71
06.02.2023	MLY1	23	23/01/2023	38,34	38,32	-10,84
06.02.2023	MLY1	24	24/01/2023	38,34	38,32	-11
06.02.2023	MLY1	25	25/01/2023	38,34	38,32	-11,17
06.02.2023	MLY1	26	26/01/2023	38,34	38,32	-10,58
06.02.2023	MLY1	27	27/01/2023	38,34	38,32	-11,06
06.02.2023	MLY1	28	28/01/2023	38,34	38,32	-11,19
06.02.2023	MLY1	29	29/01/2023	38,34	38,32	-10,79
06.02.2023	MLY1	30	30/01/2023	38,34	38,32	-11,22
06.02.2023	MLY1	31	31/01/2023	38,34	38,32	-11,06
06.02.2023	MLY1	32	01/02/2023	38,34	38,32	-11,12
06.02.2023	MLY1	33	02/02/2023	38,34	38,32	-12,31
06.02.2023	MLY1	34	03/02/2023	38,34	38,32	-11,38
06.02.2023	MLY1	35	04/02/2023	38,34	38,32	-11,13
06.02.2023	MLY1	36	05/02/2023	38,34	38,32	-10,98
06.02.2023	MLY1	37	06/02/2023	38,34	38,32	-10,49
06.02.2023	VIR2	23	23/01/2023	37,23	39,75	-8,38
06.02.2023	VIR2	24	24/01/2023	37,23	39,75	-8,51
06.02.2023	VIR2	25	25/01/2023	37,23	39,75	-8,78
06.02.2023	VIR2	26	26/01/2023	37,23	39,75	-8,06
06.02.2023	VIR2	27	27/01/2023	37,23	39,75	-8,58
06.02.2023	VIR2	28	28/01/2023	37,23	39,75	-8,61
06.02.2023	VIR2	29	29/01/2023	37,23	39,75	-8,33
06.02.2023	VIR2	30	30/01/2023	37,23	39,75	-8,79
06.02.2023	VIR2	31	31/01/2023	37,23	39,75	-8,66
06.02.2023	VIR2	32	01/02/2023	37,23	39,75	-8,74
06.02.2023	VIR2	33	02/02/2023	37,23	39,75	-8,7
06.02.2023	VIR2	34	03/02/2023	37,23	39,75	-8,42
06.02.2023	VIR2	35	04/02/2023	37,23	39,75	-8,77

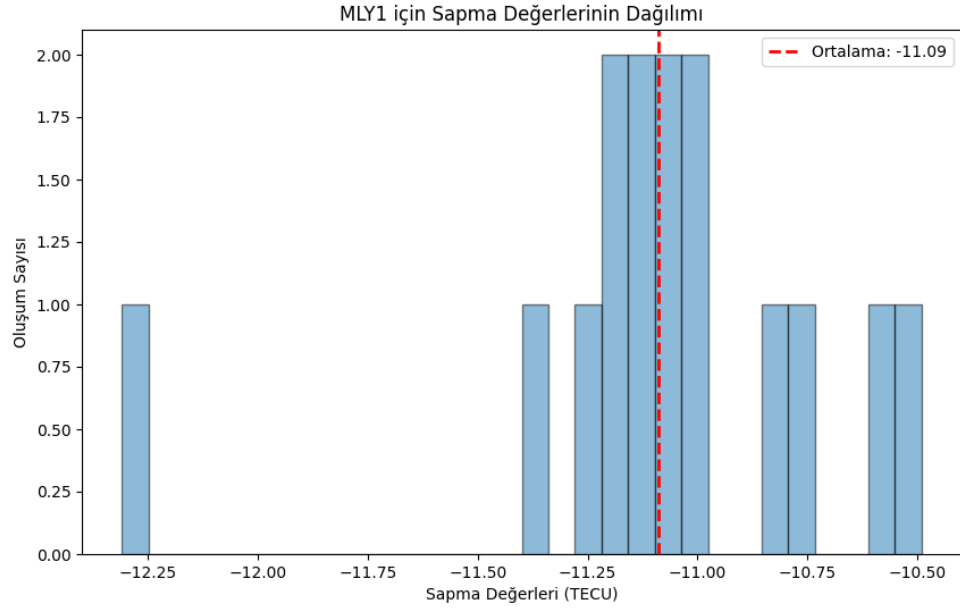
Çizelge 5.15 02.06.2023 Maraş depremlerine ait istasyonların IFB değerleri

Deprem Tarihi	İstasyon Adı	Yılın Günü	Tarih	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	IFB Değeri
06.02.2023	VIR2	36	05/02/2023	37,23	39,75	-8,27
06.02.2023	VIR2	37	06/02/2023	37,23	39,75	-8,36
06.02.2023	VIR2	38	07/02/2023	37,23	39,75	-8,17
06.02.2023	VIR2	39	08/02/2023	37,23	39,75	-8

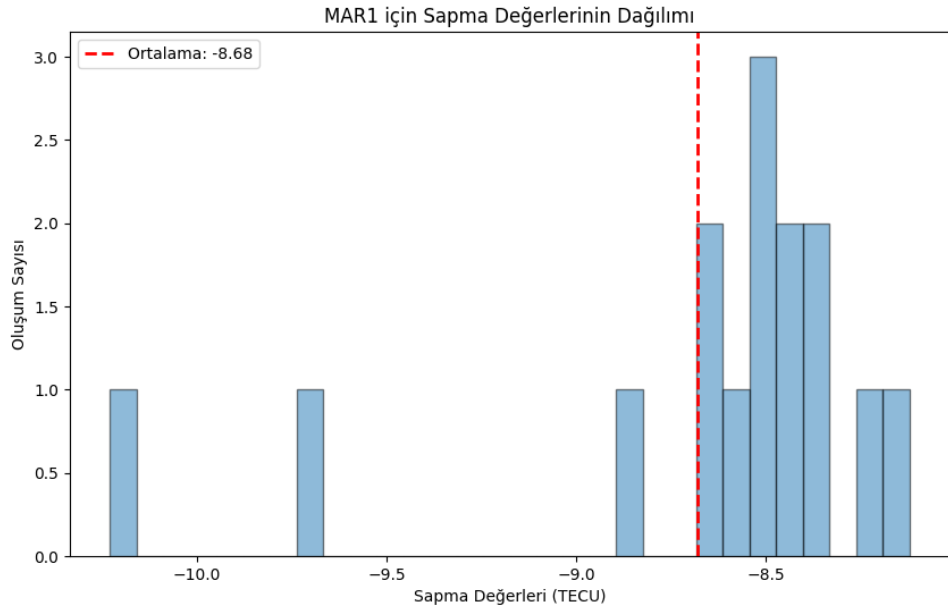
Hesaplanan IFB değerleri ortalamaları ile beraber grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 5.104-5.113). Ardında istasyonlara ait 15 günlük VTEC değerleri çizdirilmiştir (Şekil 5.114-5.117).



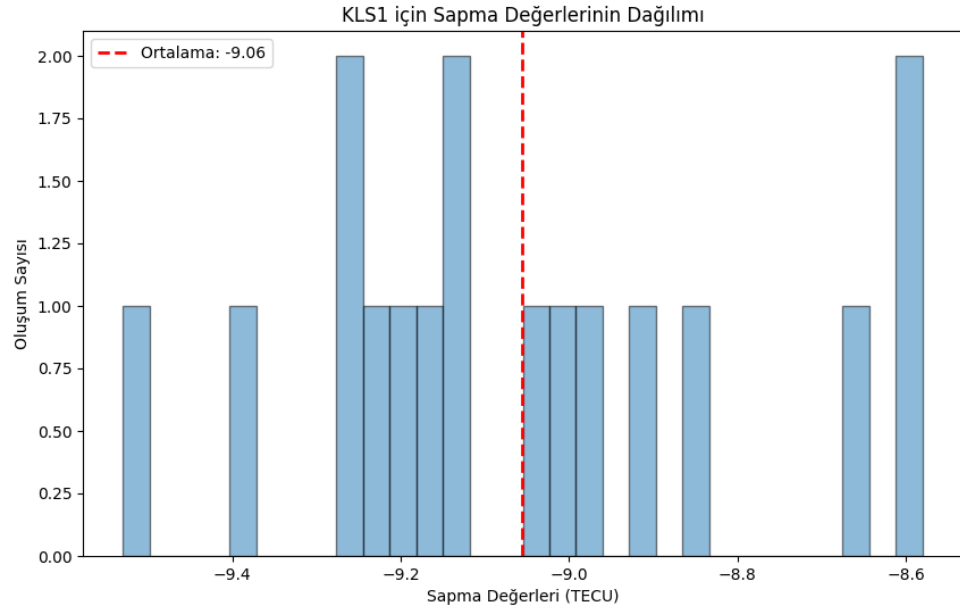
Şekil 5.89 VIR2 istasyonu için sapma değerleri



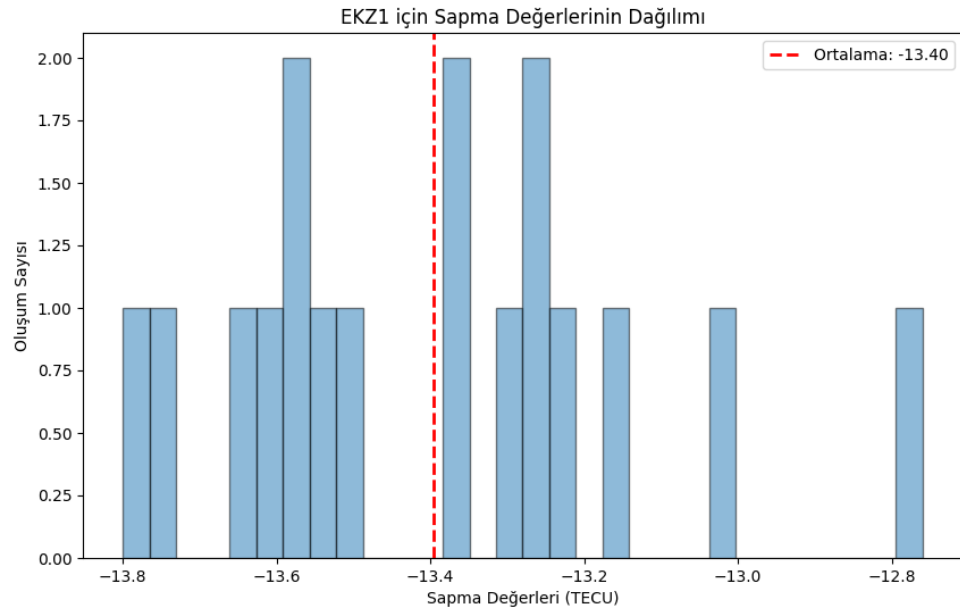
Şekil 5.90 MLY1 istasyonu için sapma değerleri



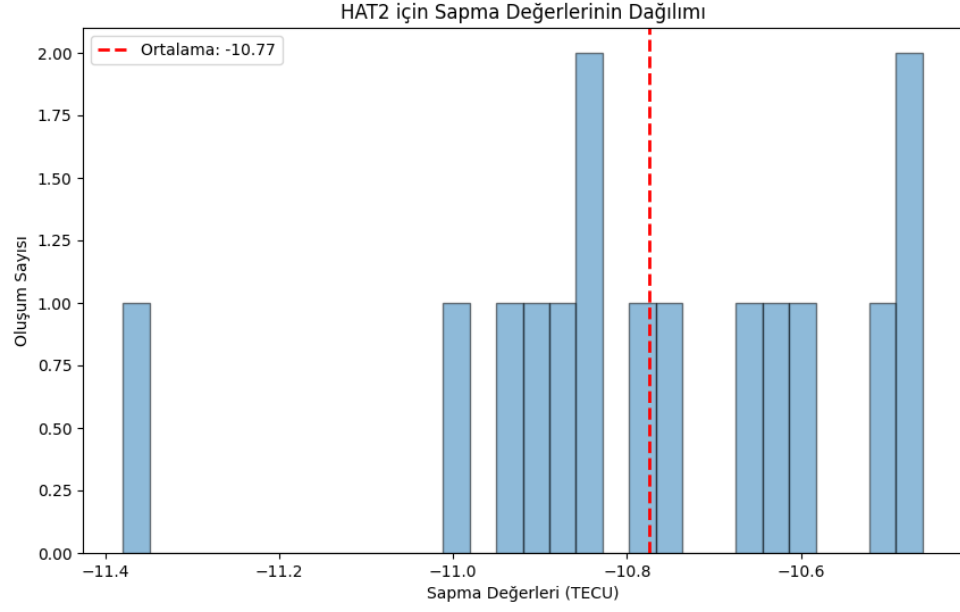
Şekil 5.91 MAR1 istasyonu için sapma değerleri



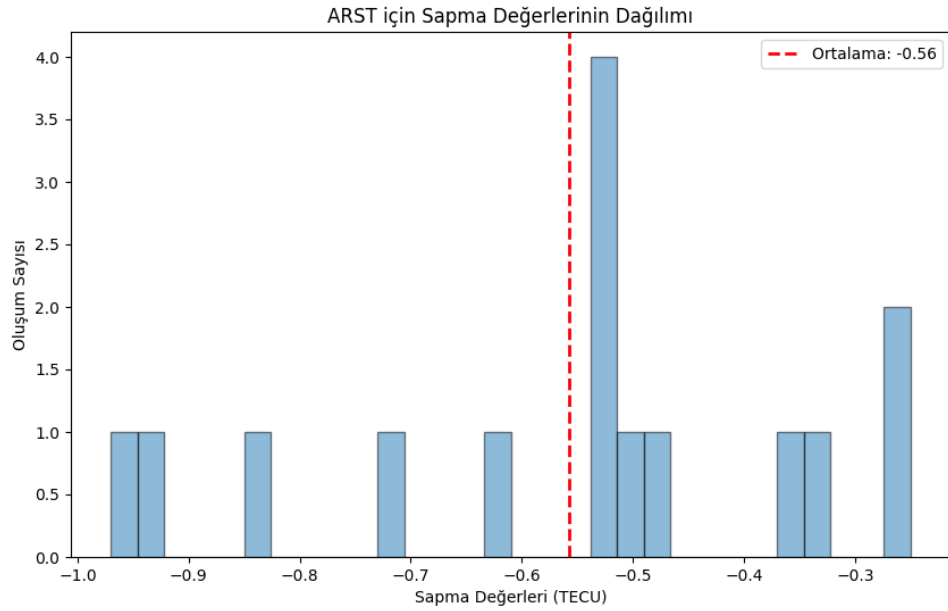
Şekil 5.93 KLS1 istasyonu için sapma değerleri



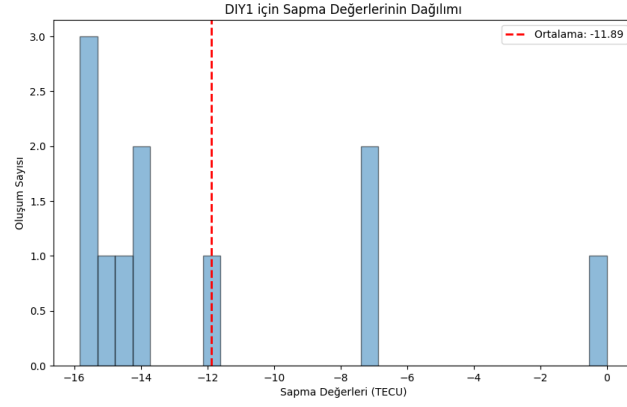
Şekil 5.92 EKZ1 istasyonu için sapma değerleri



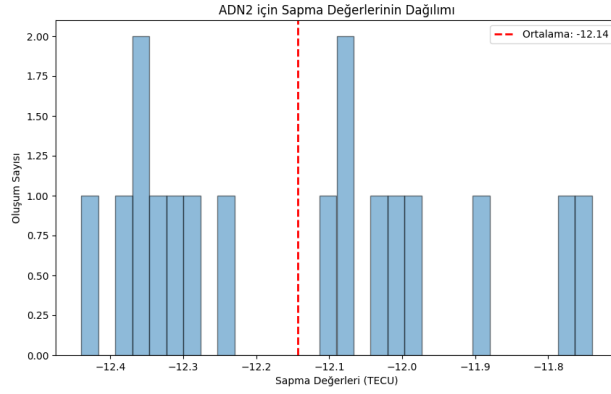
Şekil 5.94 HAT2 istasyonu için sapma değerleri



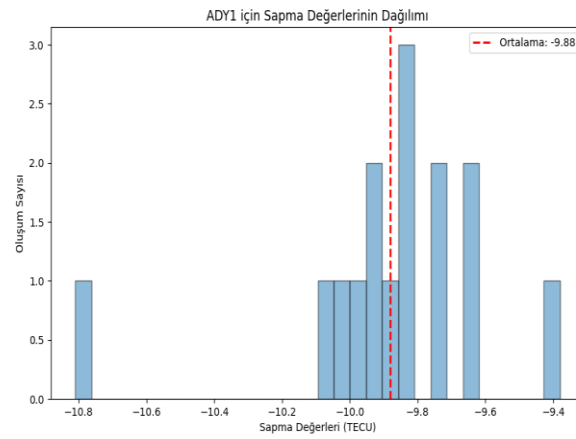
Şekil 5.95 ARTS istasyonu için sapma değerleri



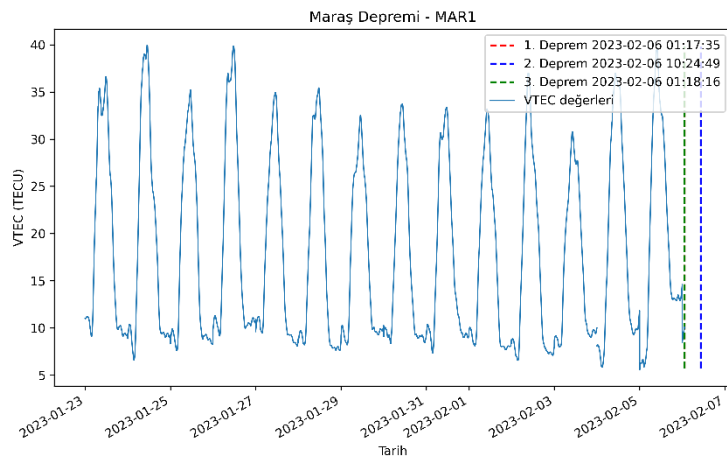
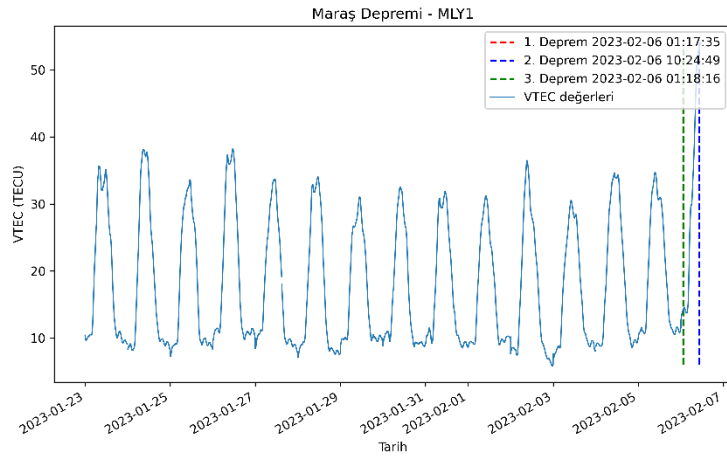
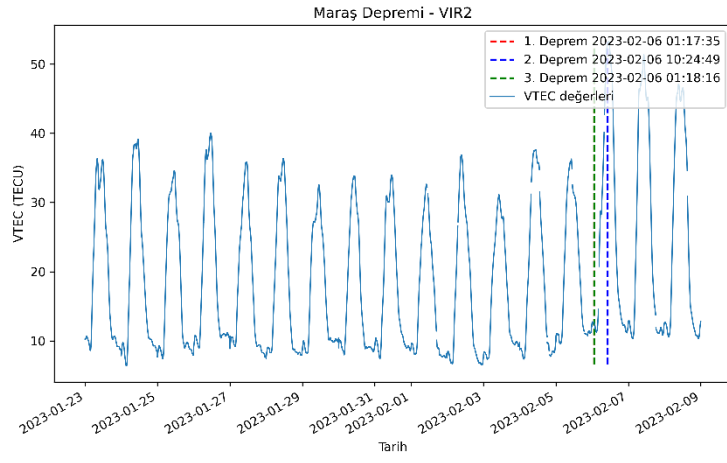
Şekil 5.98 DIY1 istasyonu için sapma değerleri



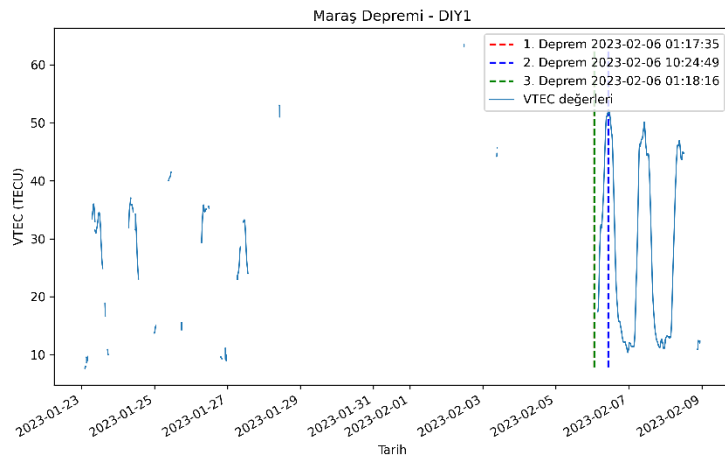
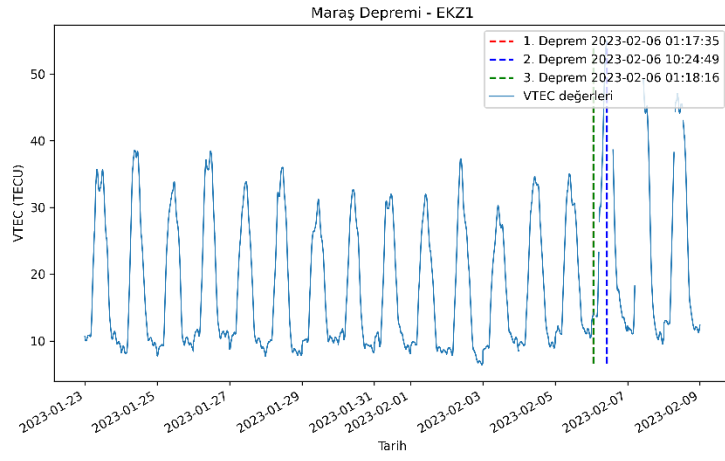
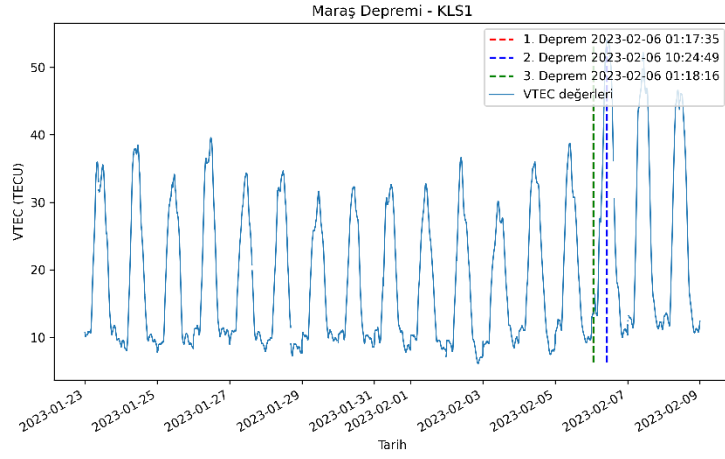
Şekil 5.98 ADN2 istasyonu için sapma değerleri



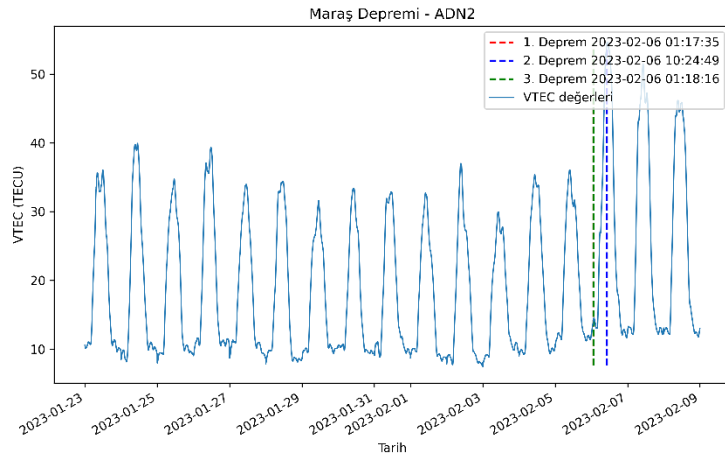
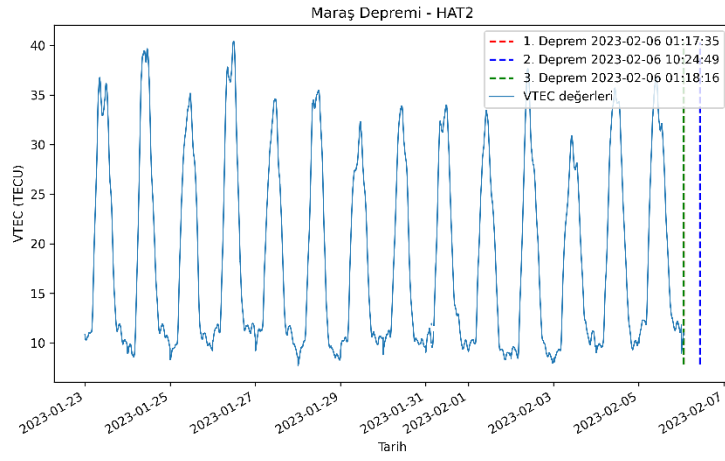
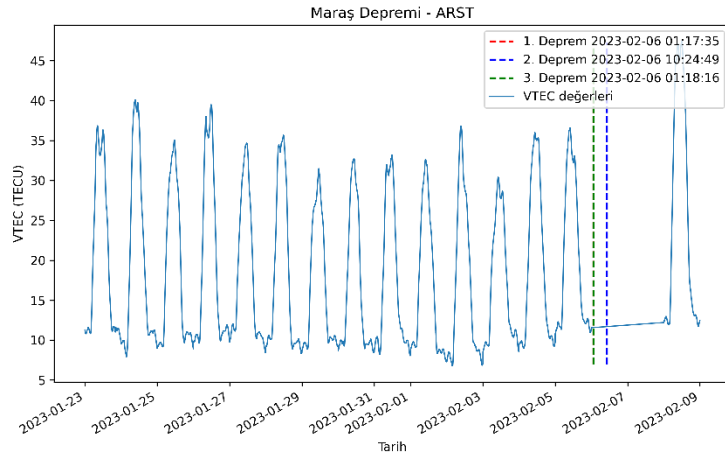
Şekil 5.98 ADY1 istasyonu için sapma değerleri



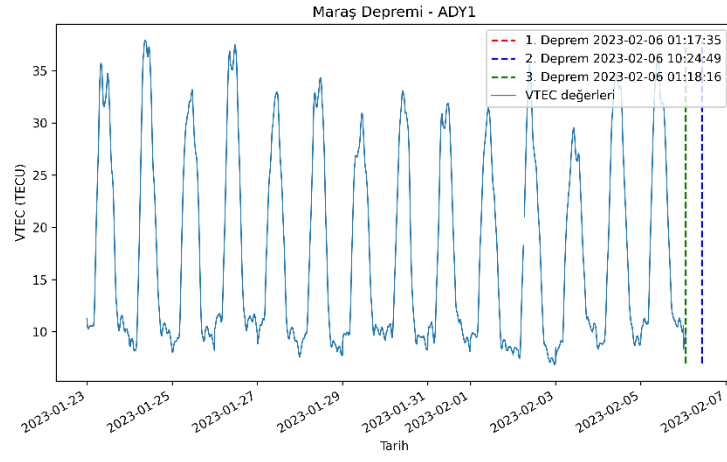
Şekil 5.99 VIR 2, MLY1, MAR1 istasyonlarına ait VTEC değerleri



Şekil 5.100 KLS1, EKZ1, DIY1 istasyonlarına ait VTEC değerleri

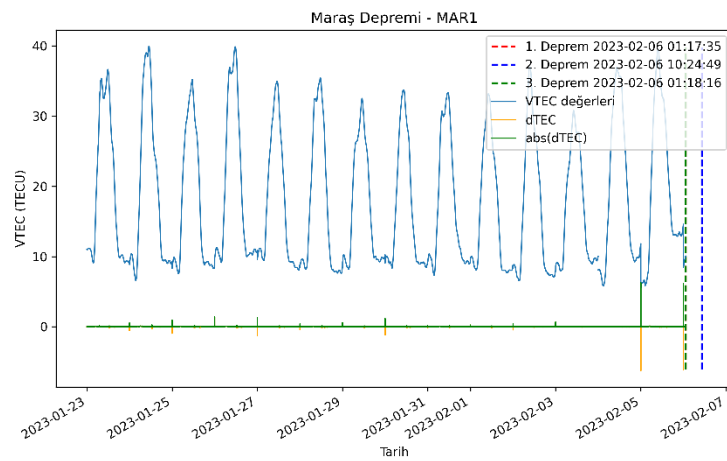
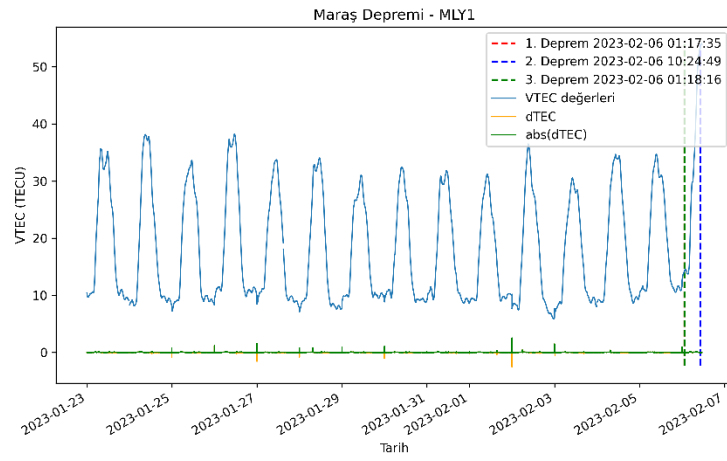
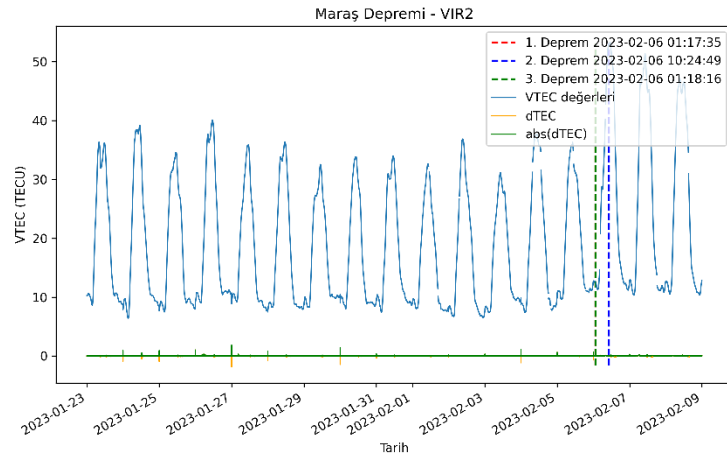


Şekil 5.101 ARST, HAT2, ADN2 istasyonlarına ait VTEC değerleri

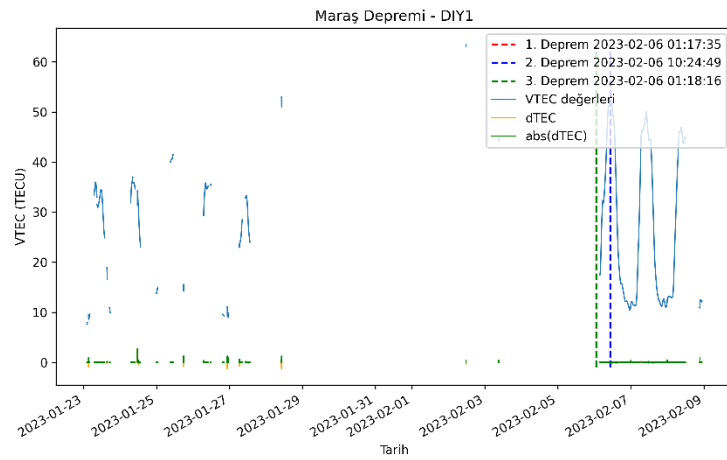
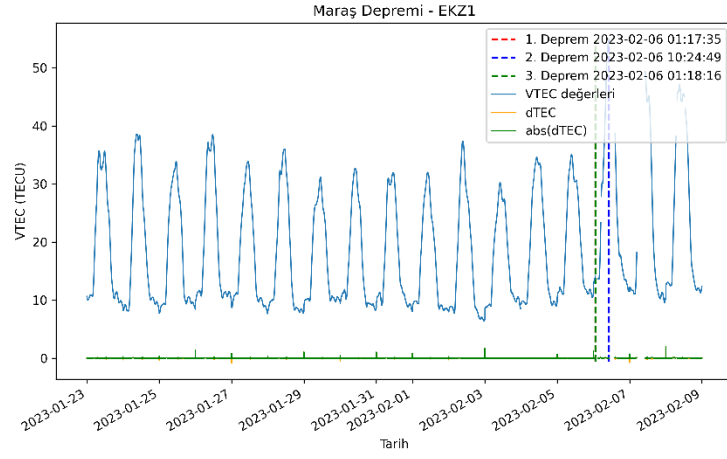
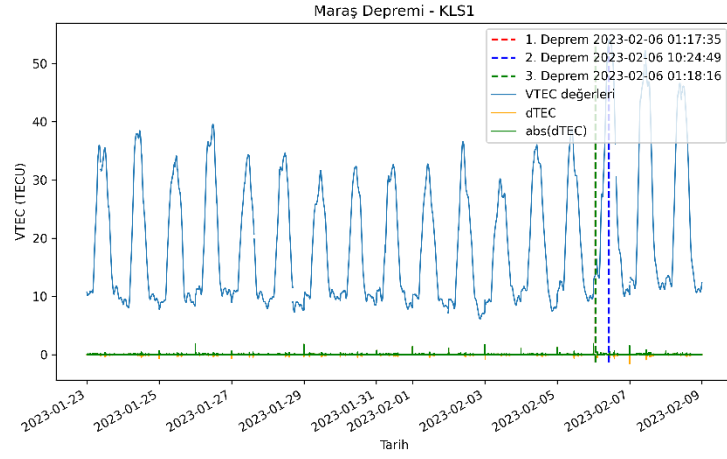


Şekil 5.102 ADY1 istasyonuna ait VTEC değerleri

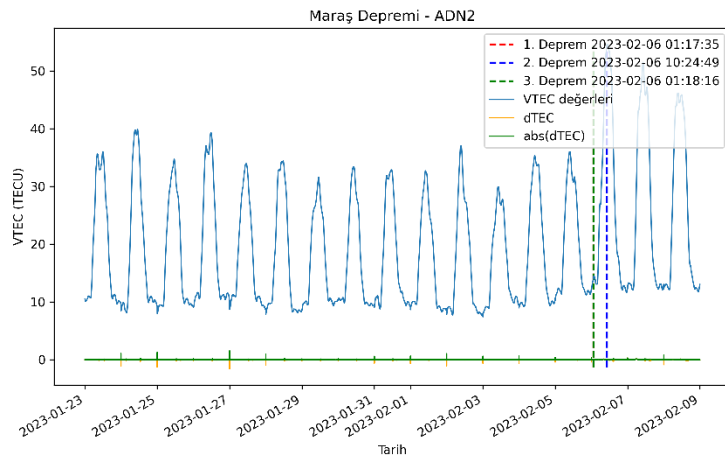
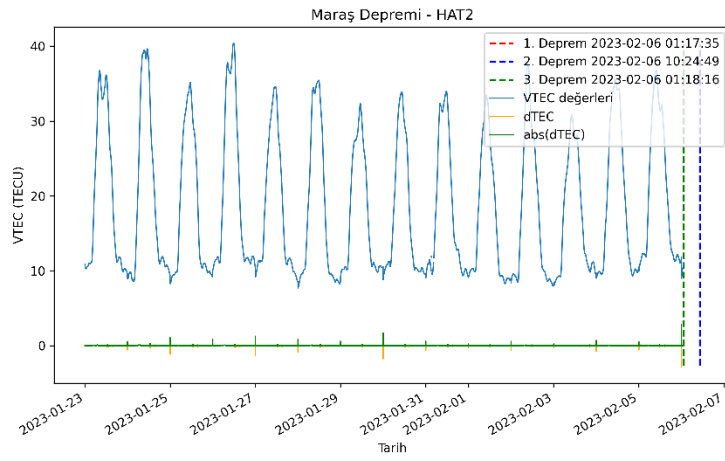
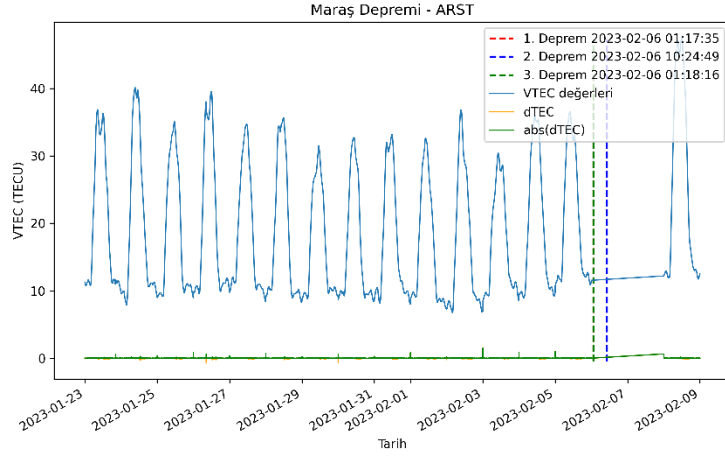
İstasyonlara ait 15 günlük TEC değerleri ile birlikte farklar ve farkların mutlak değeri çizdirilmiştir (Şekil 5.118-5.121).



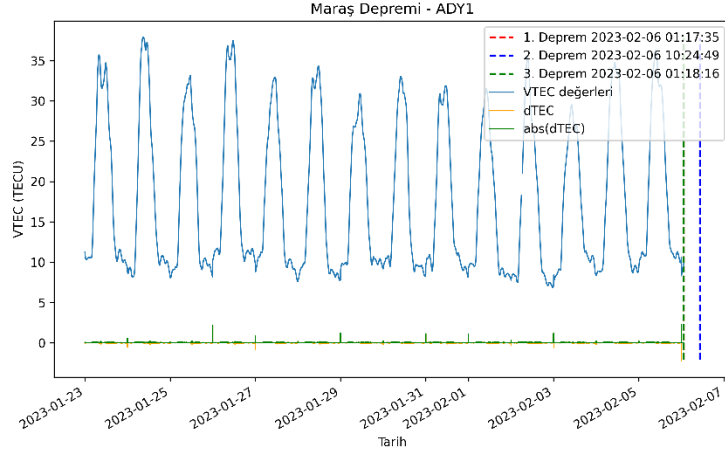
Şekil 5.103 VIR 2, MLY1, MAR1 istasyonlarına ait VTEC değerleri



Şekil 5.104 KLS1, EKZ1, DIY1 istasyonlarına ait VTEC değerleri

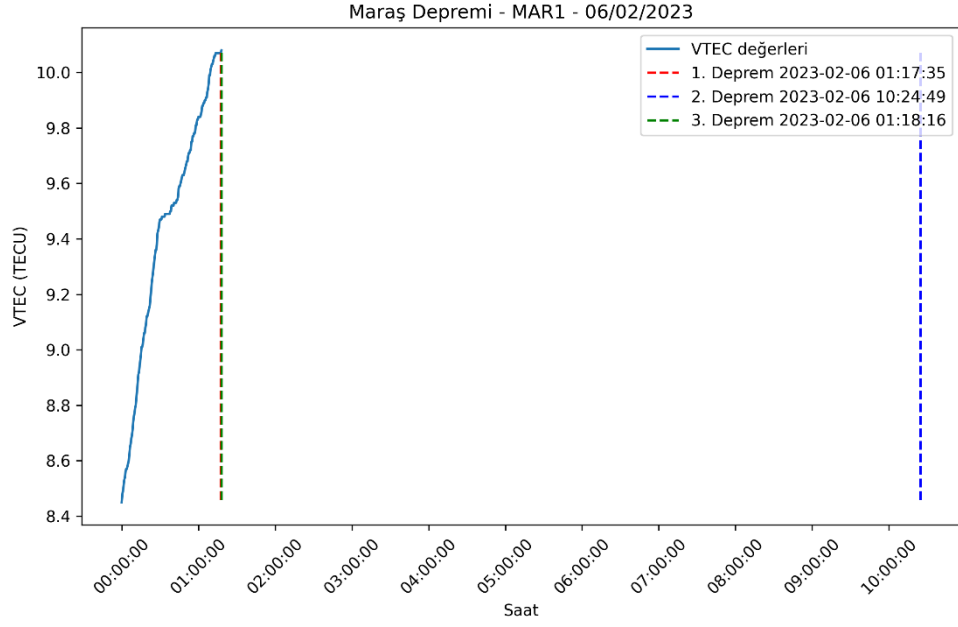


Şekil 5.105 ARST, HAT2, ADN2 istasyonlarına ait VTEC değerleri

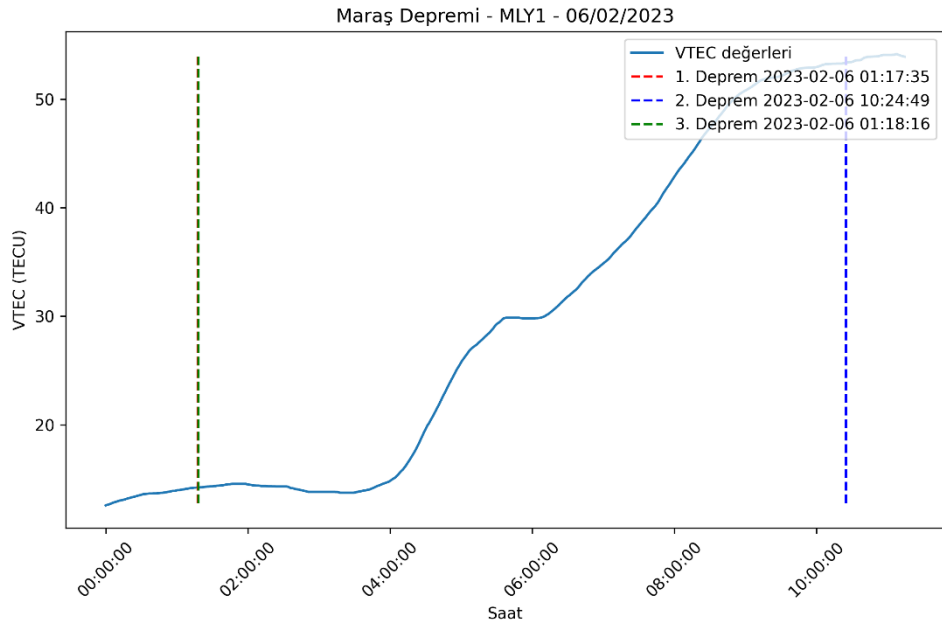


Şekil 5.106 ADY1 istasyonuna ait VTEC değerleri

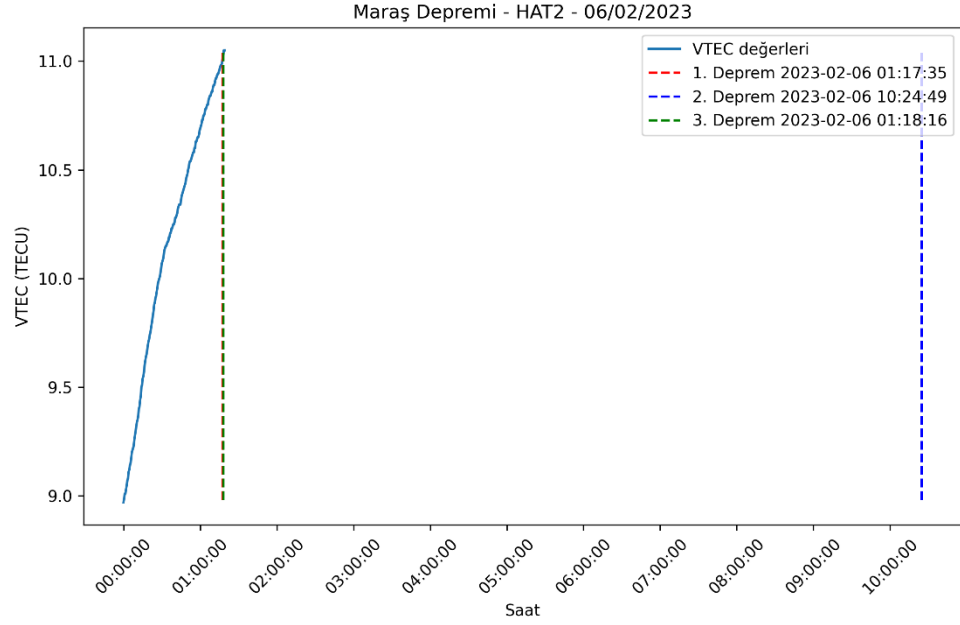
Maraş depremlerine ait 15 günlük veriler incelendiğinde bazı istasyonlarda deprem öncesi ve sonrası veri kopmaları dışında bir anomali gözlenmemiştir. Ardından istasyonlara ait 1 günlük TEC değerleri hesaplanmış ve çizdirilmiştir (Şekil 5.122-5.139).



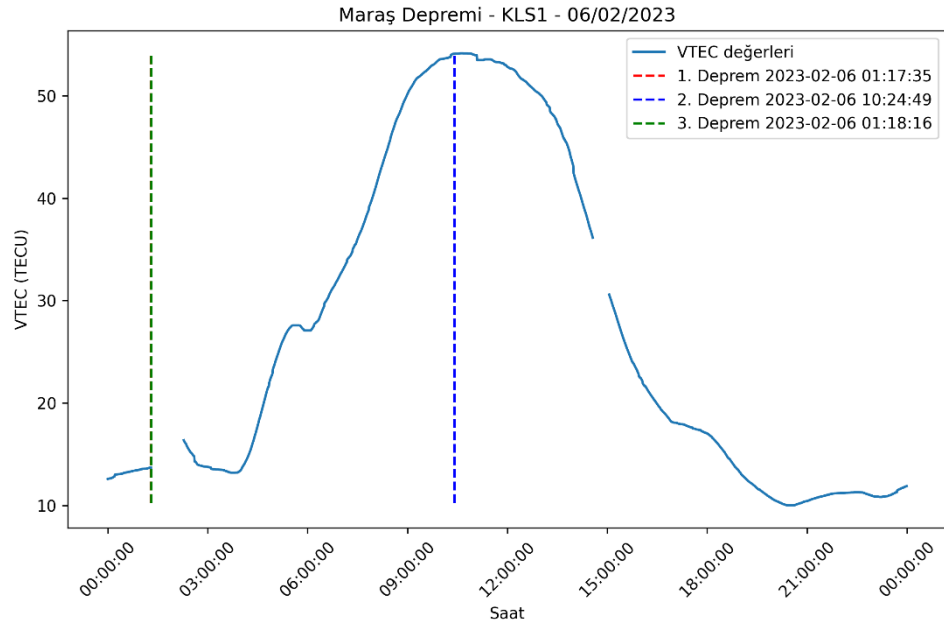
Şekil 5.107 MAR1 istasyonuna ait VTEC değerleri



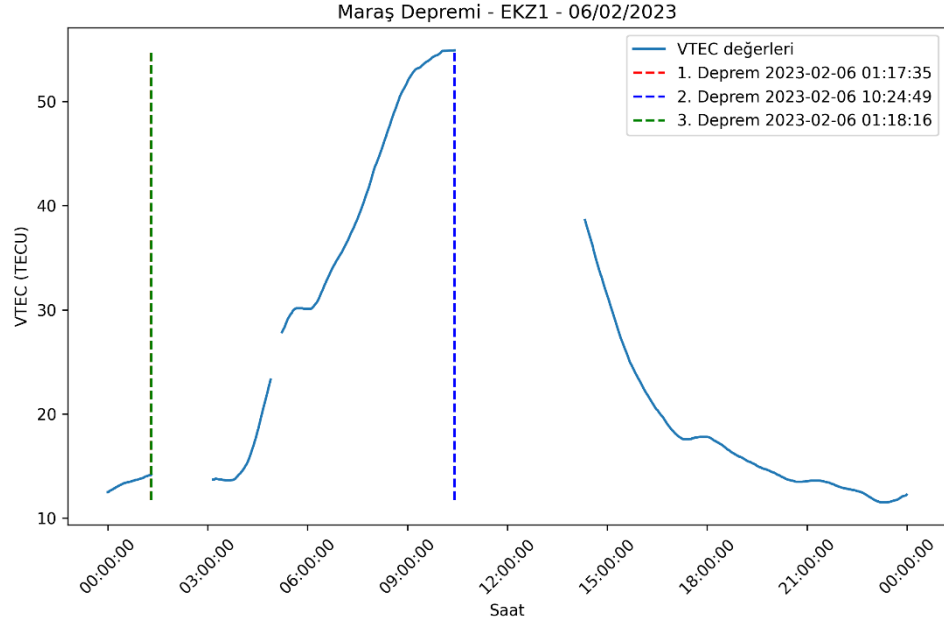
Şekil 5.108 MLY1 istasyonuna ait VTEC değerleri



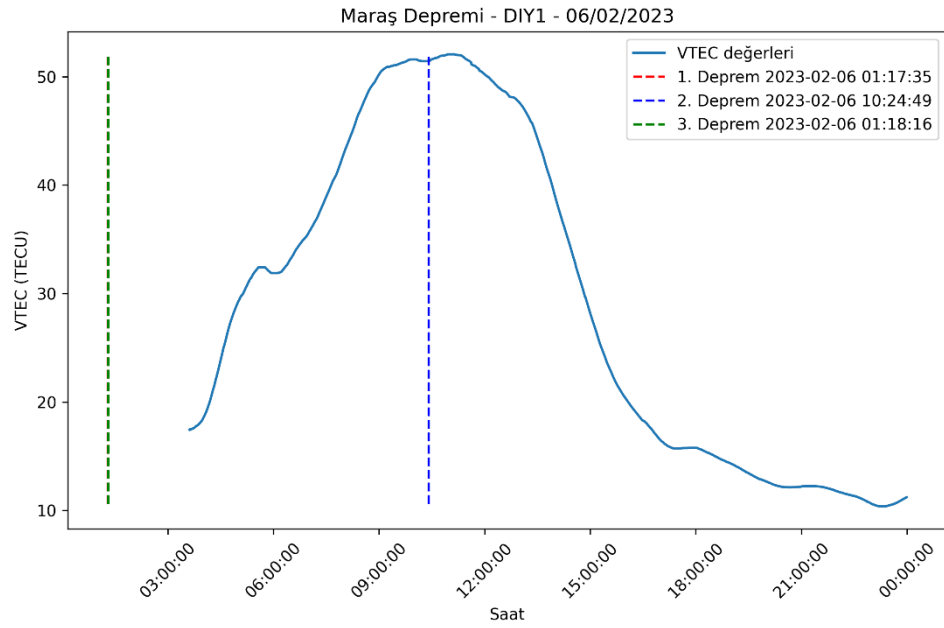
Şekil 5.109 HAT2 istasyonuna ait VTEC değerleri



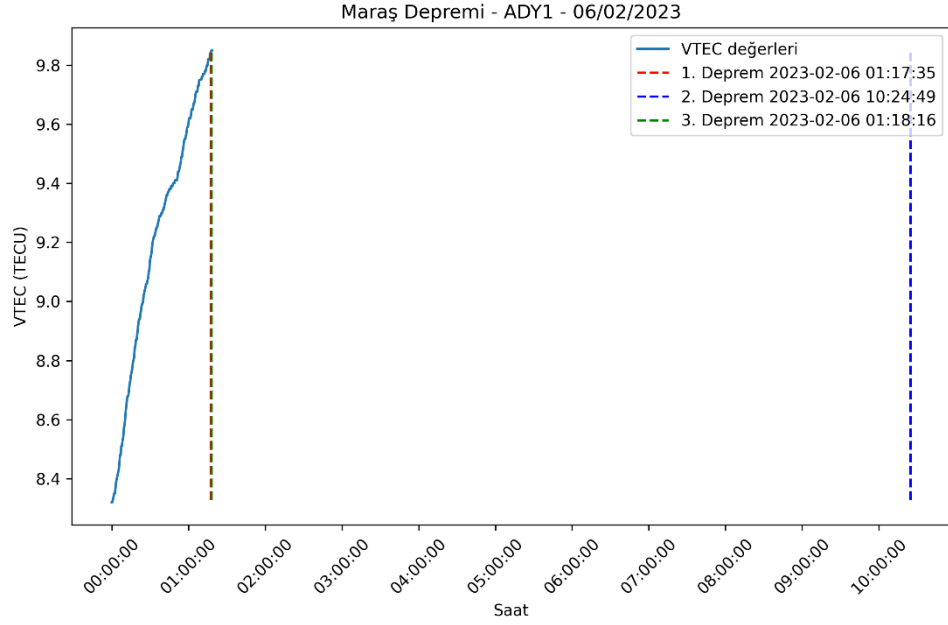
Şekil 5.110 KLS1 istasyonuna ait VTEC değerleri



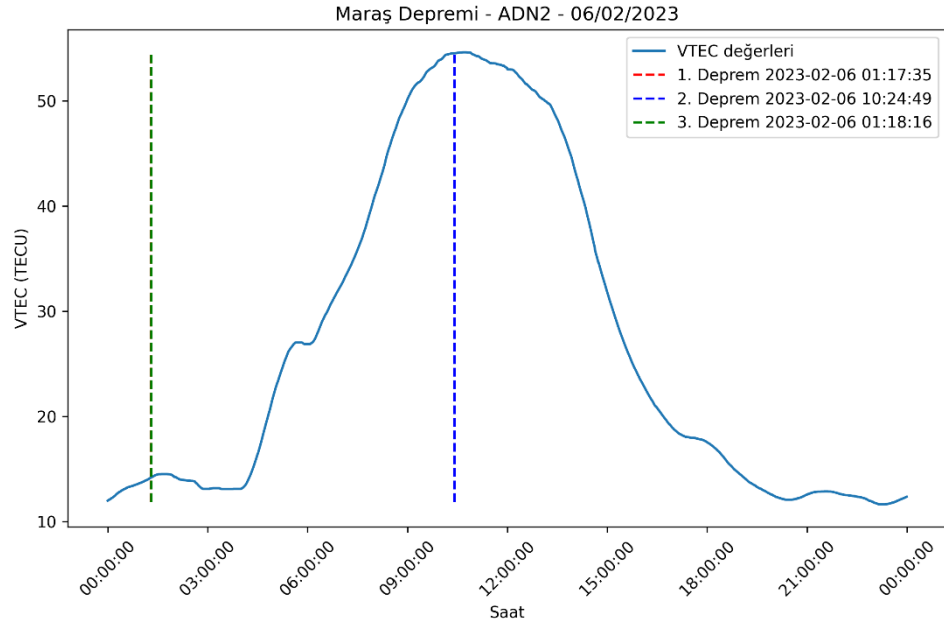
Şekil 5.111 EKZ1 istasyonuna ait VTEC değerleri



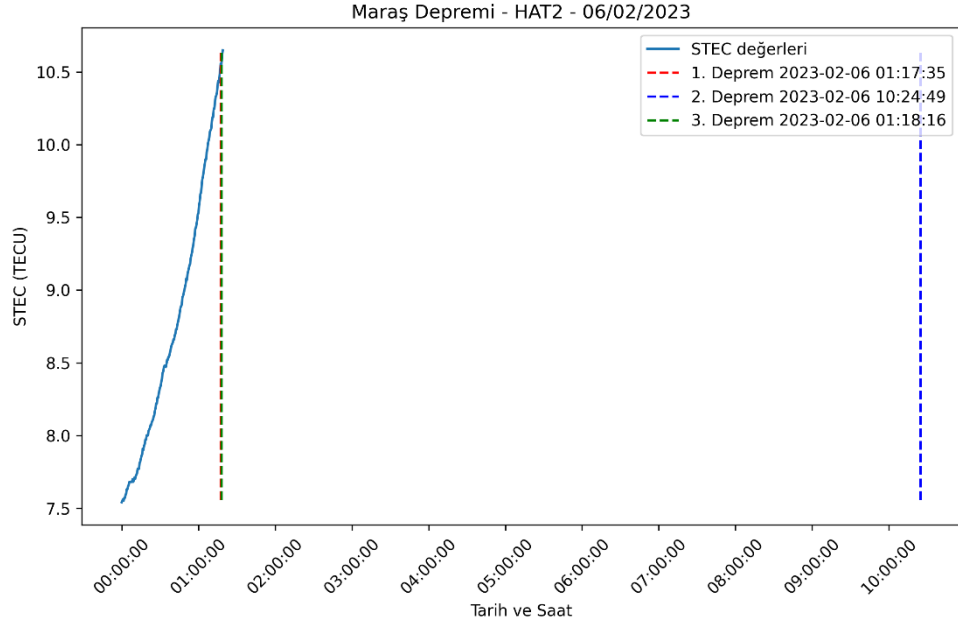
Şekil 5.112 DIY1 istasyonuna ait VTEC değerleri



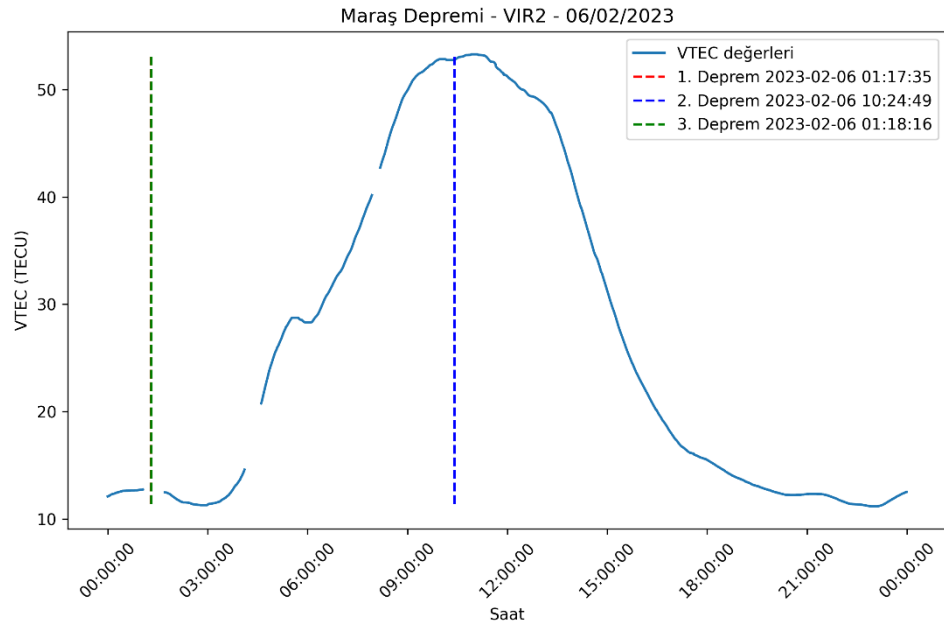
Şekil 5.113 ADY1 istasyonuna ait VTEC değerleri



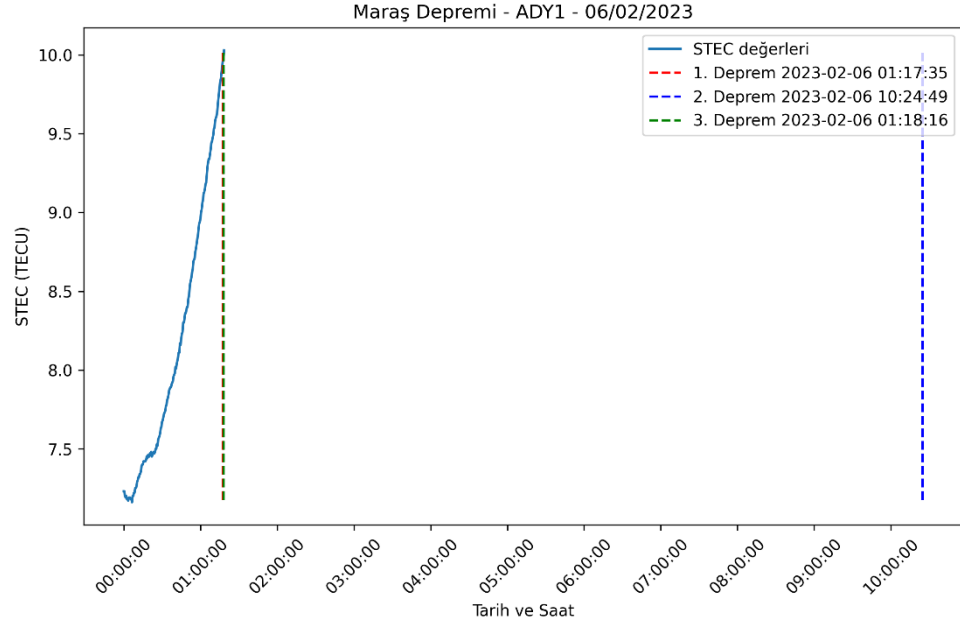
Şekil 5.114 ADN2 istasyonuna ait VTEC değerleri



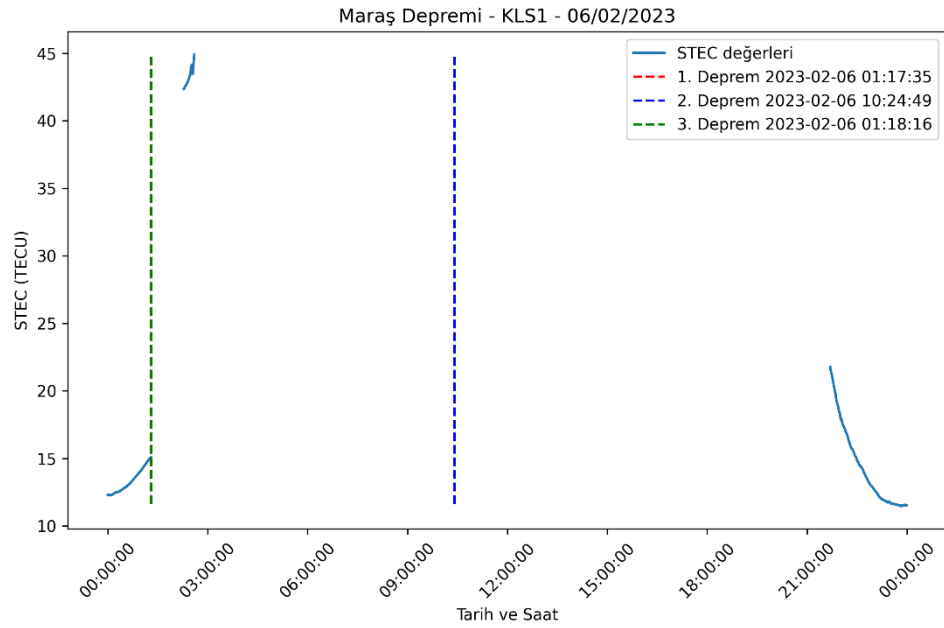
Şekil 5.115 HAT2 istasyonuna ait STEC değerleri



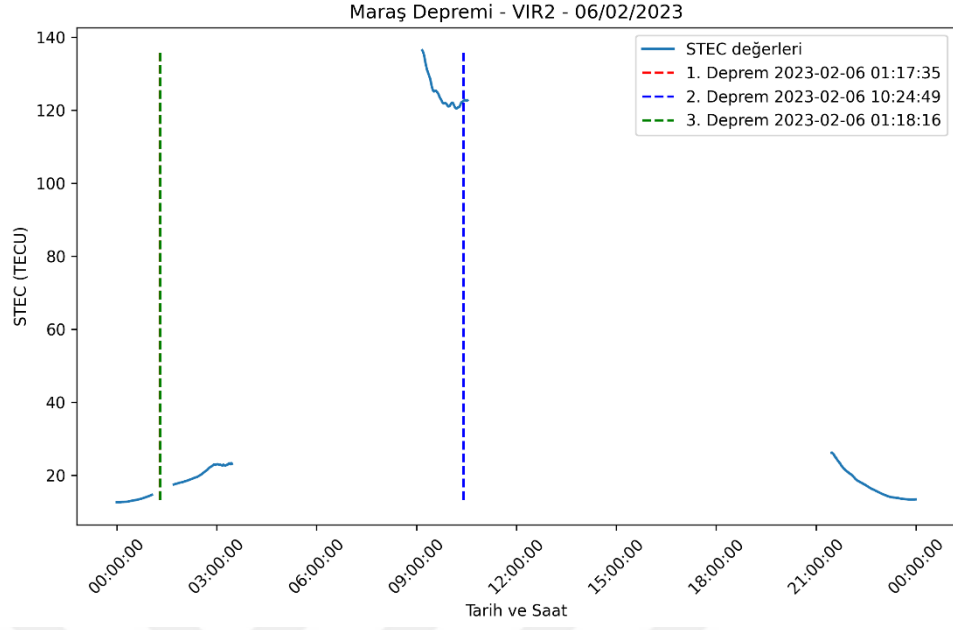
Şekil 5.116 VIR2 istasyonuna ait VTEC değerleri



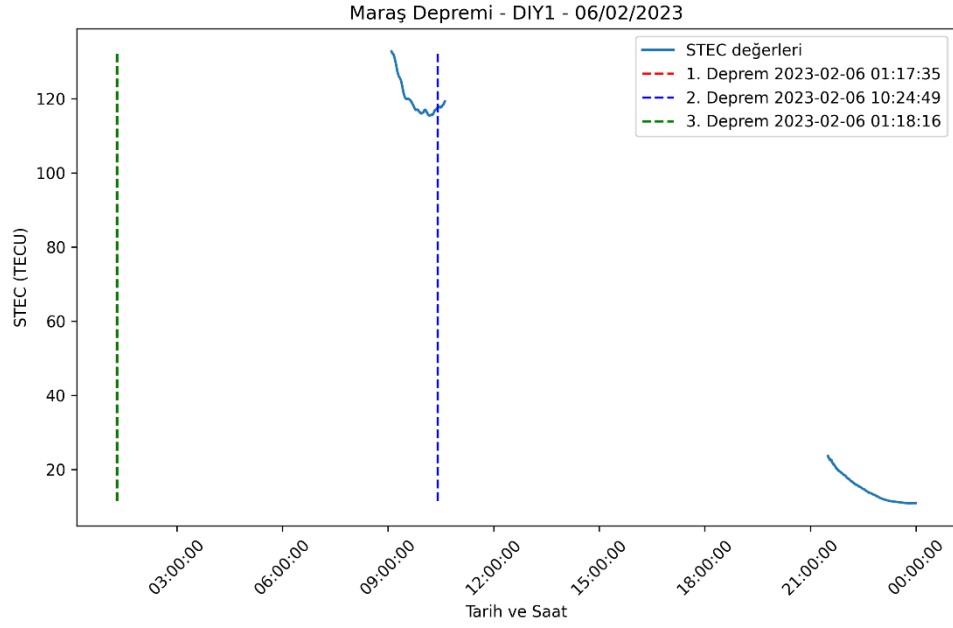
Şekil 5.117 ADY1 istasyonuna ait STEC değerleri



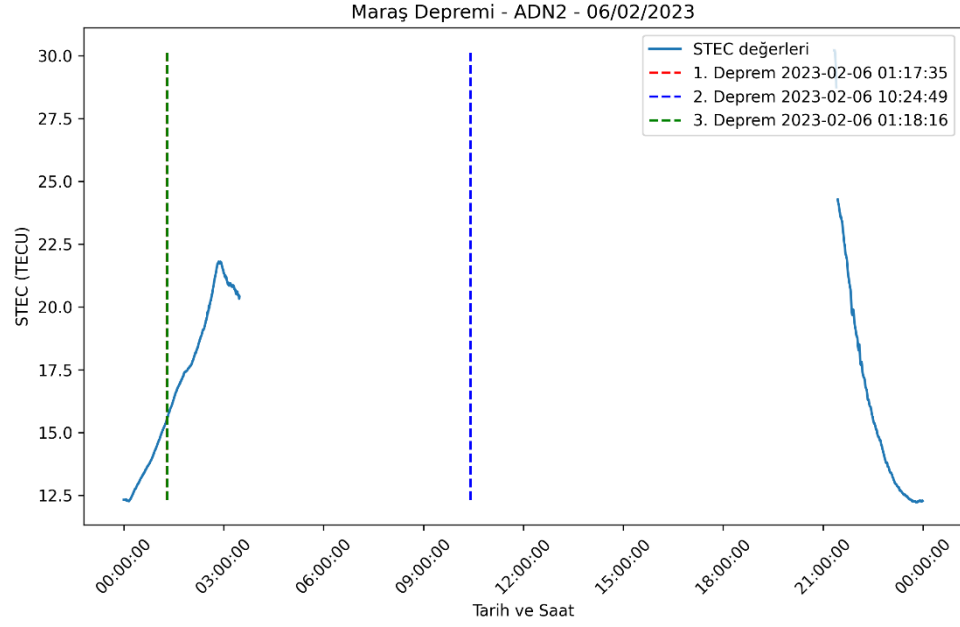
Şekil 5.118 KLS1 istasyonuna ait STEC değerleri



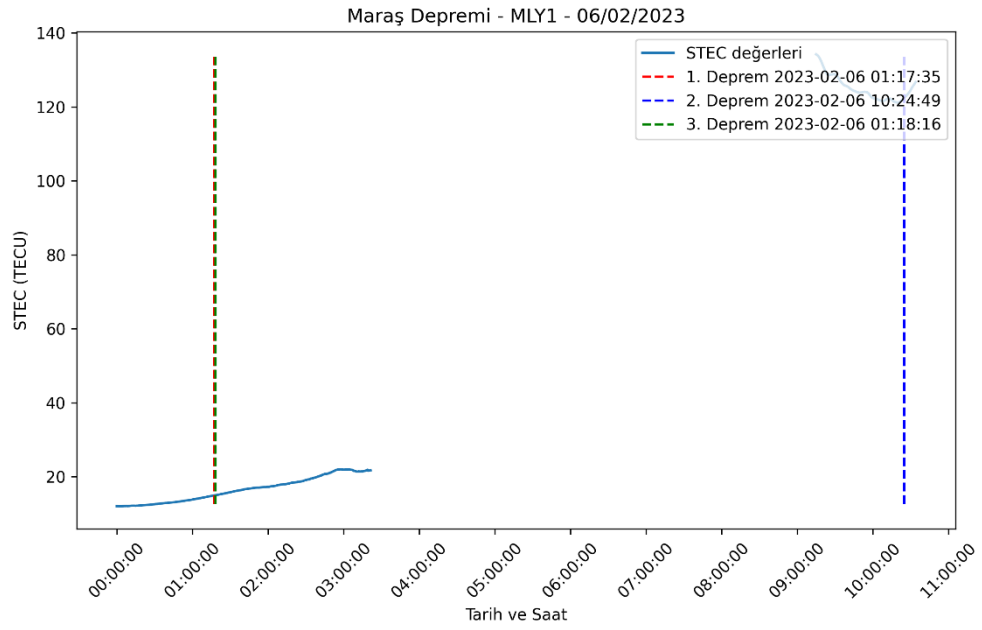
Şekil 5.119 VIR2 istasyonuna ait STEC değerleri



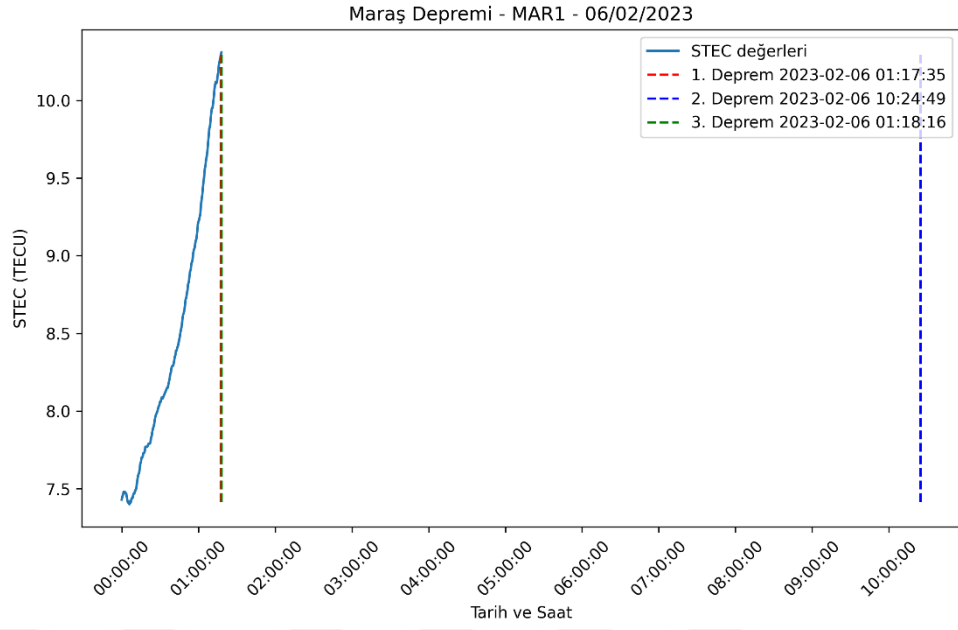
Şekil 5.120 DIY1 istasyonuna ait STEC değerleri



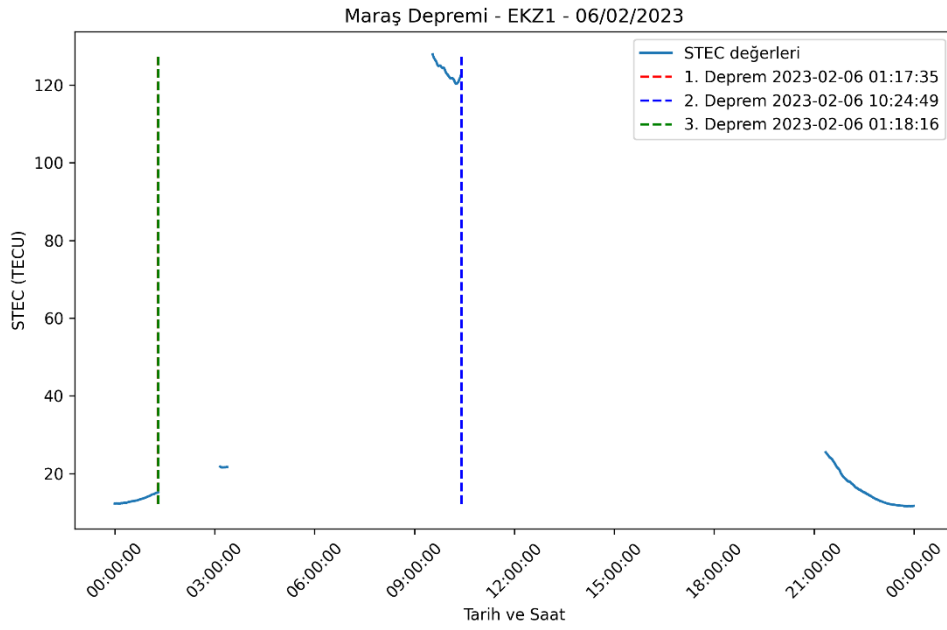
Şekil 5.121 ADN2 istasyonuna ait STEC değerleri



Şekil 5.122 MLY1 istasyonuna ait STEC değerleri



Şekil 5.124 MAR1 istasyonuna ait STEC değerleri



Şekil 5.123 EKZ1 istasyonuna ait STEC değerleri

Günlük değerler incelendiğinde özellikle deprem odağına yakın istasyonlarda veri kaydının durduğu bunun sebebinin bölgede meydana gelen yıkım sebebiyle istasyonların zarar görmüş olabileceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Deprem öncesi fenomenlerin çok disiplinli bir ağ içinde diğer izleme teknikleriyle birlikte ve yeterince uzun bir süre boyunca izlenmesi, potansiyel olarak güvenilir deprem öncesi kabuk deformasyonu göstergeleri elde etmeyi mümkün kılar. Bu bağlamda, mevcut bilgimiz son yirmi beş yüzyılda, ilk bilimsel gözlemden başlayarak gelişmiştir. Bu bilgi birikimi sonucu mevcut konumumuz geleceğe yönelik deprem araştırmalarında umut vadetmektedir.

Çalışmanın ortaya koyduğu bulgulara göre, deprem süreci gözlemlenebilir bir fiziksel fenomendir ve deprem öncesinde yer kabuğunda stres birikimi sonucunda ortaya çıkan çeşitli belirtileri içeren çok disiplinli bir yaklaşım, deprem tahminine yönelik güçlü bir potansiyele işaret etmektedir. Bu yaklaşım, deprem öncesindeki belirtilerin depremin yerini, büyüklüğünü ve zamanlamasını ortaya çıkarabilecek termal kızılötesi, seismo-iyonosferik , uydu ve yer tabanlı gözlemlerin entegrasyonunu içermektedir.

Bu çok disiplinli yaklaşım, sismotektonik süreçlerin açık bir dengesiz sistem olarak işlediği ve tüm jeosferin etkileşimde olduğu bir çerçeveyi öne sürmektedir. LAIC'nin fiziksel modeli, kısa vadeli öncü olguların oluşum süreçleri hakkında kapsamlı bir resim sunmakta ve tanımlanmalarının temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışma, iyonosferdeki değişimlerin, özellikle $M_w > 6$ büyüklüğündeki depremler sırasında kısa dönemli olarak nasıl evrildiğini incelemeyi amaçlamaktadır. Tez kapsamında, 2017-2023 yılları arasında meydana gelen büyük depremler incelenmiş, depremler sırasında iyonosferdeki toplam elektron içeriği değişimleri ele alınmıştır.

Özellikle, IONOLAB-TEC/STEC yazılımı, seçilen depremlere ait TEC ve STEC değerlerini hesaplamak için kullanılarak, uzay hava durumu verileriyle birleştirilmiş bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmanın metodolojisi, GNSS gözlemlerinden elektron içeriğinin elde edilmesi üzerine odaklanmıştır. Ancak, bu yöntemin bazı hata kaynakları içerdiği unutulmamalıdır. Diferansiyel kod yanlışlıkları, frekanslar arası yanlışlıklar ve uydu-alıcı saat hataları gibi faktörler, elde edilen verilerin doğruluğunu etkileyebilir.

Çalışmanın temel bulguları, depremlerin hemen ardından iyonosferde belirgin bir şekilde ani yükseliş ve alçalışların gözlemlendiğini göstermektedir. Ancak, bu değişimlerin her istasyonda aynı şekilde olmadığı ve farklı depremlerle ilişkili farklı gözlemler olduğu belirlenmiştir. Bu durum, deprem öncesi anomali belirtilerinin genel bir modelleme zorluğunu vurgulamaktadır.

Ayrıca, gün içindeki toplam elektron içeriğindeki dalgalanmaların, depremle ilişkilenebilecek ani iniş ve çıkışların üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, deprem öncesi süreçlerin dinamik doğasını anlamak ve bu süreçleri belirlemek için daha fazla araştırma ve modelleme gerektiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, iyonosferdeki değişimlerin seçilen depremlerle kesin bir ilişkisi kurulamamıştır. Çeşitli bilimsel çalışmalar devam etmekle birlikte, iyonosferdeki bu değişimlerin tam olarak neyi gösterdiği ve deprem öncesi bir belirteç olup olmadığı konusunda kesin bir sonuca varılamamıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma, iyonosferdeki değişimlerin deprem öncesi belirteçler olarak kullanılmasının potansiyelini vurgulamakla birlikte, bu alanda daha fazla araştırma ve daha kapsamlı modellerin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Depremlerin önceden tahmin edilmesi konusundaki çabalar, çok disiplinli bir yaklaşıma ve uzun vadeli, sürekli izleme sistemlerine ihtiyaç duymaktadır.

KAYNAKLAR

- Afraimovich, E. L., et al. 2010. "TEC response to the 2008 Wenchuan Earthquake in comparison with other strong earthquakes." *International Journal of Remote Sensing* 31(13): 3601-3613.
- Afraimovich, E. L., et al. 2011. "First evidence of anisotropy of GPS phase slips caused by the mid-latitude field-aligned ionospheric irregularities." *Advances in Space Research* 47(10): 1674-1680.
- Astafyeva, E., et al. 2011. "First ionospheric images of the seismic fault slip on the example of the Tohoku-oki earthquake." *Geophysical Research Letters* 38(22): 104-110.
- Aktuğ, B. 2002. Kinematik objelerin GPS ile izlenmesi: Sayısal harita destekli bir navigasyon sistemi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Aktuğ, B. 2005. Uyarlamalı filtrelerle gerçek zamanlı navigasyon. *HKM Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi*, (92), 29-37.
- Aktuğ, B. 2006. Jeodezik ölçüler ile deprem kaynak parametrelerinin belirlenmesi. Yayınlanmamış doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Aktuğ, B. 2016. Global konumlama sistemi ders notları. Ankara: Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Aktuğ, B., Kaypak, B., & Çelik, R. 2009. Source parameters for the Mw=6.6, 03 February 2002, Çay Earthquake (Turkey) and aftershocks from GPS, southwestern Turkey. *Journal of Seismology*, 445-446.94
- Aktuğ, B., Kaypak, B., & Çelik, R. N. 2010. Source parameters of 03 February 2002 Çay earthquake Mw 6.6 and aftershocks from GPS data, southwestern Turkey. *Journal of Seismology*, (14), 445-456.
- Aktuğ, B., Özener, H., Turgut, B., Dıǧru, A., & Georgiev, I. 2014. Preliminary results of 24 May 2014 Gökçeada earthquake, Ms6.5 as captured by continuous GPS stations. *WEGENER 2014: Measuring and Modelling our Dynamic Planet*. 1-4 Eylül 2014 University of Leeds, UK.
- Aktuğ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., & Gürdal, M. 2013. Deformation of central anatolia: GPS implications. *Journal of Geodynamics*, 67, 78-96.
- Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., Sabuncu A., Yılmaz, O., Havazlı, E., 2015., Doğu Anadolu Fay Sistemi Kayma Hızları ve Deprem

Potansiyelinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi, 15. Harita Bilimsel Teknik Kurultayı, 25-28 Mart 2015, Ankara

Anonymous.2022. Web Sitesi: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/cool-earthquake-facts>. Erişim Tarihi: 05.08.2022.

Bilitza, D. 2001. "International Reference Ionosphere 2000." Radio Science 36(2): 261-275.

Bilitza, D., et al. 2022. "The International Reference Ionosphere Model: A Review and Description of an Ionospheric Benchmark." Reviews of Geophysics 60(4).

Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027.

Bülbül, S. (2020). "TUSAGA-Aktif Noktaları Kullanılarak Bölgesel TEC Değerinin Belirlenmesi." Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering 20(2): 250-266.

Calais, Eric & Minster, Bernard. 1995. GPS detection of ionospheric perturbations following the January 17, 1994, Northridge Earthquake. Geophysical Research Letters.

Davies, K., and Baker, D. M. 1965, Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964, J. Geophys. Res., 70(9), 2251–2253.

Dautermann, T., et al. 2009. "Lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling after the 2003 explosive eruption of the Soufriere Hills Volcano, Montserrat." Geophysical Journal International 179(3): 1537-1546.

Ducic, V., Artru, J., and Lognonné, P. 2003, Ionospheric remote sensing of the Denali Earthquake Rayleigh surface waves, Geophys. Res. Lett., 30, 1951.

Eyidoğan, Haluk. 2011. Türkiye'nin Diri Fay Yapısı ve Depremsellik Özellikleri. 11. Guo, Q., et al. 2019. "Dynamical processes in the ionosphere following the moderate earthquake in Japan on 7 July 2018." Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 186: 88-103.

Heki, Kosuke & Ping, Jinsong. 2005. Directivity and Apparent Velocity of the Coseismic ionospheric Disturbances Observed with a Dense GPS Array. Earth and Planetary Science Letters. 236.

Heki, K., Otsuka, Y., Choosakul, N., Hemmakorn, N., Komolmis, T., and Maruyama, T. 2006, Detection of ruptures of Andaman fault segments in the 2004 great Sumatra earthquake with coseismic ionospheric disturbances, J. Geophys. Res., 111, B09313.

- İnyurt, S. , Mekik, Ç. & Yıldırım, Ö. 2020. Deprem Kaynaklı Olabilecek İyonosferik Değişimlerin Belirlenmesi üzerine yeni bir yaklaşım geliştirilmesi . Geomatik , 5 (2) , 127-133.
- J. D. Hunter,2007. "Matplotlib: A 2D Graphics Environment", Computing in Science & Engineering, vol. 9, no. 3, pp. 90-95.
- Jin, S., et al. 2010. "Co-seismic ionospheric and deformation signals on the 2008 magnitude 8.0 Wenchuan Earthquake from GPS observations." International Journal of Remote Sensing 31(13): 3535-3543.
- Jin, S., et al. 2014. "Pattern and evolution of seismo-ionospheric disturbances following the 2011 Tohoku earthquakes from GPS observations." Journal of Geophysical Research: Space Physics 119(9): 7914-7927.
- Leonard, R. S., and Barnes, R. A. 1965, Observation of ionospheric disturbances following the Alaska earthquake, *J. Geophys. Res.*, 70(5), 1250– 1253.
- Liu, J. Y., Chuo, Y. J., Shan, S. J., Tsai, Y. B., Chen, Y. I., Pulinets, S. A., and Yu, S. B 2004.: Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements, *Ann. Geophys.*, 22, 1585–1593.
- Liu, J. Y., Chen, Y. I., Chuo, Y. J., and Chen, C. S. 2006, A statistical investigation of preearthquake ionospheric anomaly, *J. Geophys. Res.*, 111, A05304.
- Liu, J.-Y., et al. 2011. "Ionospheric disturbances triggered by the 11 March 2011 M9 Tohoku earthquake." *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 116(A6): 319-324.
- Liu, L., Wan, W., Chen, Y. et al.,2011, Solar activity effects of the ionosphere: A brief review *Chin. Sci. Bull.* 56, 1202–1211.
- Laštovička, J. 1996. Effects of geomagnetic storms in the lower ionosphere, middle atmosphere and troposphere. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 58(7),831-843.
- MATLAB. 2021. 9.10.0.1613233 (R2021a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- McClusky, S., et al. 2000, Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *J. Geophys. Res.*, 105(B3), 5695– 5719.
- Millward, G. H., Rishbeth, H., Fuller-Rowell, T. J., Aylward, A. D., Quegan, S., and Moffett, R. J. 1996, Ionospheric F 2 layer seasonal and semiannual variations, *J. Geophys. Res.*, 101(A3), 5149– 5156.
- Occhipinti, G., Lognonné, P., Kherani, E. A., and Hébert, H. (2006), Three-dimensional waveform modeling of ionospheric signature induced by the 2004 Sumatra tsunami, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L20104.

- Occhipinti, G., et al. 2011. "Three-dimensional numerical modeling of tsunami-related internal gravity waves in the Hawaiian atmosphere." *Earth, Planets and Space* 63(7): 847-851.
- Occhipinti, G., et al. 2013. "From Sumatra 2004 to Tohoku-Oki 2011: The systematic GPS detection of the ionospheric signature induced by tsunamigenic earthquakes." *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 118(6): 3626-3636.
- Özçağlar A., 2016, Bölge Kavramı ve Sistematiği Ders Notları, 54, Ankara.
- Rolland, L. M., et al. 2011. "Ionospheric gravity waves detected offshore Hawaii after tsunamis." *Geophysical Research Letters* 37(17), 847-851.
- Rolland, L. M., et al. 2011. "The resonant response of the ionosphere imaged after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake." *Earth, Planets and Space* 63(7): 853-857.
- Row, R. V. 1966, Evidence of long-period acoustic-gravity waves launched into the F region by the Alaskan earthquake of March 28, 1964, *J. Geophys. Res.*, 71(1), 343– 345.
- Row, R. V. 1967, Acoustic-gravity waves in the upper atmosphere due to a nuclear detonation and an earthquake, *J. Geophys. Res.*, 72(5), 1599– 1610.
- Schaer, S., Gurtner, W. and Feltens, J 1998 IONEX: The IONosphere map Exchange Format Version 1. Proceedings of the IGS AC Workshop, Darmstadt, 9-11 February 1998, 233-247.
- Tsugawa, T., et al. 2011. "Ionospheric disturbances detected by GPS total electron content observation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake." *Earth, Planets and Space* 63(7): 875-879.
- Uieda, L., Tian, D., Leong, W. J., Jones, M., Schlitzer, W., Grund, M., ... Wessel, P. (2022). *PyGMT: A Python interface for the Generic Mapping Tools* (Version 0.8.0).
- van Rossum, G, & de Boer, J. 1991. Interactively testing remote servers using the Python programming language. *CWI Quarterly*, 4(4), 283–304.
- Yizengaw, E., Zesta, E., Moldwin, M. B., Damtie, B., Mebrahtu, A., Valladares, C. E., and Pfaff, R. F. 2012, Longitudinal differences of ionospheric vertical density distribution and equatorial electrodynamics, *J. Geophys. Res.*, 117, A07312