

TC İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CORS-TR VERİLERİYLE İYONOSFER MODELLERİNİN İNCELENMESİ

**Doktora Tezi
Sawsan BAŞPINAR**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Program: Geomatik**

Ocak 2012

TC İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CORS-TR VERİLERİYLE İYONOSFER MODELLERİNİN İNCELENMESİ

**Doktora Tezi
Sawsan BAŞPINAR
(0409140001)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:Aralık 2011
Tezin Savunulduğu Tarih:Ocak 2012**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kamil EREN
Jüri Üyeleri:Prof.Dr.Turgut UZEL
Prof.Dr.Çetin BOLCAL
Doç.Dr.Zehra CAN
Y.Doç.Dr.Gursel GÜZEL**

Ocak 2012

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması esnasında, bana her zaman destek olan, beni cesaretlendiren, benden yardımlarını esirgemeyen ve en önemlisi bana bilimsel çalışmayı öğreten, CORS-TR Projesi kapsamında destek vererek çalışmama değer kazandıran ve aynı zamanda ihtiyacım olan önemli kaynaklara ulaşmamı sağlayan Prof. Dr. Turgut UZEL ve Prof. Dr. Kamil EREN'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında bana destek olan,yol gösteren çok değerli hocam Prof. Dr. Taner BULAT'a bütün saygım ve sevgimle teşekkür ederim. Ayrıca manevi babalık desteğiyle her zaman yanımda olan Prof. Dr. Çetin BOLCAL'a, saygılarımla teşekkür ederim.

Bana her zaman her konu da destek olan değerli arkadaşlarım ve meslektaşlarım Yrd. Doç. Dr. Gürsel HACİBEKİROĞLU ve Dr. Ahmet Yücel ÜRÜŞAN 'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bana değerli zamanını ayıran Doç. Dr. Zehra CAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi yardımlarını hiçbir şart altında esirgemeyen, bu günlere gelmemi sağlayan SABUNCU ve BAŞPINAR Ailelerine çok teşekkür ederim.

Sevgili arkadaşlarıma ve öğrencilerime (Ahmet Burak HEKİM) bu tezi yazarken bana yardımcı olan herkese teşekkür ederim.

Sevsen BAŞPINAR

Not: *Bu tez çalışması, CORS-TR projesi kapsamında İstanbul Kültür Üniversitesi Geomatik Uygulama Araştırma Merkezi tarafından desteklenmiştir.*

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xii
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
GİRİŞ.....	1
1. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)	5
1.1 Genel Bilgiler.....	5
1.2 Küresel Konum Belirleme Sisteminin Bölümleri.....	6
1.3 GPS Koordinatları ve Zaman Aralığı.....	8
1.4 Küresel Konum Belirleme Sistemi ile İyonosferik Model Çalışmaları.....	9
1.5 GPS ve Sinyal Yapısı.....	10
2. GPS HATA KAYNAKLARI.....	14
2.1 Yörünge Hataları.....	14
2.2 Saat Hataları.....	14
2.3 Anten Faz Merkezi Değişimleri.....	15
2.4 Yansıma Hataları.....	15
2.5 Alıcı Gürültüsü.....	15
2.6 Troposfer Gecikme Hataları.....	15
2.7 İyonosfer Gecikme Hataları.....	16
3. CORS-TR.....	17
3.1 Sürekli İşleyen GNSS Referans İstasyonları Sistemi (CORS).....	17
3.2 CORS TR (TUSAGA Aktif) Projesi.....	18
4. ATMOSFER VE İYONOSFER.....	25
4.1 Troposfer.....	26
4.1.1 Genel Tanımlar.....	26
4.1.2 Troposferik Modeller.....	28
4.1.2.1 Hopfield Modeli.....	28
4.1.2.2 Saastamoinen Modeli.....	30
4.2 İyonosfer.....	31
4.2.1 İyonosferin Tarihçesi.....	32
4.2.2 İyonosferdeki Gecikmeler.....	33

4.2.3 Gazların İyonizasyonu.....	36
4.2.3.1 Fotoiyonizasyon.....	38
4.2.3.2 Champan Tabakası.....	39
4.2.4 İyonosferin Yapısı.....	40
4.2.4.1 İyonosfer Tabakaları.....	40
4.2.5 Enlemlere Göre İyonosfer Bölgeleri.....	42
4.2.5.1 Ekvator Bölgesi.....	42
4.2.5.2 Orta Enlem Bölgesi.....	43
4.2.5.3 Kutup ve Auroral Bölgesi.....	43
4.2.6 Güneş Aktivitesi.....	44
4.2.6.1 Güneşin Aktivite Katsayısı (R).....	44
4.2.7 İstanbul İyonosfer İstasyonu Ölçümleri.....	47
4.2.8 İyonosfer Tabakalarında Meydana Gelen Düzensiz Değişimler	51
4.2.9 İyonosfer Tabakasında Düzensiz Değişimler ile Bağlantılı Ölçütler.....	54
4.2.10 İyonosfer Modelleri.....	60
4.2.10.1 IRI Modeli.....	61
4.2.10.1.1 Booker Profile Fonksiyonu.....	64
4.2.10.1.2 Rawer Tabaka Fonksiyonu.....	65
4.2.10.1.3 Gündüz-Gece Geçiş Fonksiyonu.....	65
4.2.10.2 IRI Elektron Yoğunluğu Dağılımı.....	67
4.2.10.2.1 Üst Kenar ($h_mF_2-1000\text{km}$).....	68
4.2.10.2.2 F2-Tepe Yoğunluğu ($N_mF_2f_0F_2$)....	68
4.2.10.2.3 F2 Tepe Yoğunluğu ($N_mF_2, M(3000)F_2$).....	69
4.2.10.2.4 Tepe Üstü Elektron Yoğunluğu Profili.....	70
4.2.10.3 Altkenar (hmF_1-hmF_2).....	73
4.2.10.4 F1-Katman (hmF_1-HZ).....	74
4.2.10.5 Orta Bölge (HZ-hvr).....	75
4.2.10.6 E-Pik ve Vadi ($h_{VT}-hmE$).....	76
4.2.10.7 D Bölgesi ve E'nin Altı.....	77

4.2.10.8 Orta İyonosfer İçin LAY Fonksiyonları (hmE-hmF2).....	79
4.2.10.9 İyonosferik Elektron Yapısı.....	80
4.2.10.10 Plazma Sıcaklığı.....	80
4.2.10.10.1 Elektron Sıcaklığı.....	81
4.2.10.10.2 İyon Sıcaklığı.....	84
4.2.10.11 İyon Oluşumu.....	85
4.2.10.12 IRI Programı ile Elektron Yoğunluğunun ve TEC Değişiminin Hesabı.....	89
5. DIŞ ODAKLI ETKİLER VE HAREKETLER.....	94
5.1 İstanbul 1-15 Ocak 2009.....	96
5.2 Bolu 1-15 Ocak 2009.....	98
5.3 Bilecik 1-15 Ocak 2009.....	99
5.4 Bursa 1-15 Ocak 2009.....	100
5.5 İzmit 1-15 Ocak 2009.....	101
5.6 Tekirdağ 1-15 Ocak 2009.....	102
5.7 Şile 1-15 Ocak 2009.....	104
5.8 Genel Değerlendirmeler.....	105
5.9 Arz Dışı Odaklı Etkiler.....	105
5.9.1 X-ışınları.....	105
5.9.2 Proton (+) ve Elektron (-) Akıları ile Hp ve Kp Katsayıları....	106
5.10 ΔN ve ΔE Farklarının İncelenmesi.....	108
5.11 Uzun Süreli Kayıtlar.....	109
5.11.1 İzmit İstasyonu.....	109
5.11.2 Bilecik İstasyonu.....	111
5.11.3 İzmit-Bilecik İstasyonları.....	112
6. CORS-TR İLE TOPLAM ELEKTRON MİKTARI (TEC) HESAPLARI.....	114
6.1 İyonosfer Ortamında Elektromanyetik Dalga Yayılımı.....	114
6.2 TEC'in Hesaplanması.....	120
6.3 1-15 Ocak 2009 Peryodundaki TEC Hesapları.....	125
6.4 İzmit İstasyonu İçin Mart-Nisan-Mayıs-Haziran 2010 TEC Hesapları..	128
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	131
KAYNAKLAR.....	135
EKLER.....	143

EK-1 Matlab’de TEC’i Hesaplamak İçin Kullanılan Tek Tabaka Modeli.....	144
EK-2 Mart-Nisan-Mayıs-Haziran 2010 Tarihlerine X-Ray Kayıtları.....	146
EK-3 Mart-Nisan-Mayıs-Haziran 2010 Tarihlerine Elektron Akısı, Proton Akısı, Kp, Hp Kayıtları.....	188
EK-4 Yer Değişiminin Hesaplanmasında Kullanılan Gamit Programına Ait q file İçin Bir Örnek	230
EK-5 Irı Programı İle Tec Değişim Hesabı (Cort-Tr İstasyonları İçin Bazı Örnekler)	246
ÖZGEÇMİŞ.....	257

KISALTIMA LİSTESİ

- GPS: Global Positioning System (Küresel Konum Belirme Sistemi)
- DoD: United States Department of Defense (Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı)
- OCS: Oklahoma Climatological Survey (Oklahoma Meteoroloji Daire Müdürlüğü)
- GPST: Global Positioning System Time (Küresel Konum Belirleme Sistem Zamanı)
- UTC: Coordinated Universal Time (Eşgüdümlü Evrensel Zaman)
- Emd Elektromagnetic wave (Elektromanyetik Dalga)
- TEC: Total Electron Content (Toplam Elektron Miktarı)
- IGS: International GPS Service for Geodynamics (Jeodinamik için Uluslararası GPS Servisi)
- IPY: First International Polar Year (Uluslararası Birinci Kutup Yılı)
- WDC: World Data Center (Dünya Veri Merkezi)
- TID: Travel Ionospheric Disturbance (Gezici İyonosferik Bozucu Etki)
- Dst: Daylight Savings Time
- Kp: The Estimated Planetary Index (Jeomanyetik Fırtına İndisi)
- Ae: Geomagnetic Auroral Electrojet (Geomagnetic Auroral Electrojet)
- Te: Effects of Temperature on Electron (Elektron Üzerindeki Sıcaklık Etkisi)
- CNRC : National Research Council Canada (Kanada Milli Araştırma Birliği)
- PIM Model: The Parameterized Ionospheric Model (Parametrelili İyonosfer Modeli)
- Faim Model: The Fully Analytical Ionospheric Model (Tam Analitik İyonosfer Modeli)
- URSI: International Union of Radio Science (Uluslararası Radyo Bilimi Birliği)
- CORS: Continuously Operating Reference Stations (Sürekli Gözlem Yapabilen Referans İstasyonları)
- CORS-TR: Continuously Operating Reference Stations-Turkey (Sürekli Gözlem Yapabilen Referans İstasyonları-Türkiye Ağı)
- COSPAR: Committee On Space Research (Uzay Araştırma Komitesi)
- IRI: International Reference Ionosphere (Uluslararası İyonosfer Referans Modeli)
- CCIR: International Radio Consultative Committee (Uluslararası Radyo Danışma Kurulu)
- MUF : Maximum Usable Frequencies (Kullanılabilir En Yüksek Frekanslar)
- RTK: Real Time Kinematic (Gerçek Zamanlı Kinematik)

ITRFyy (Uluslararası Yersel Jeodezik Referans Sistemi)

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

KBS : Kent Bilgi Sistemi

DGPS : Differential GPS (Difransiyel GPS)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. GPS / GNSS bölümleri (Misra ve Enge, 2006).....	7
Şekil 2. GPS hata kaynakları (Misra ve Enge, 2006)	14
Şekil 3. Diferansiyel GPS ile CORS'un kıyaslamalı kapsama alanları.....	18
Şekil 4. CORS- TR referans istasyonlarının dağılımı.....	20
Şekil 5. Kontrol merkezi, referans istasyonları ve kullanıcılar.....	21
Şekil 6. CORS servisleri işlem akışı.....	22
Şekil 7. CORS-TR Sistemi konfigürasyonu.....	24
Şekil 8. Atmosfer bölümleri (Memarzadeh, 2009)	26
Şekil 9. Troposfer ve diğer atmosfer tabakaları (Witchayangkoon, 2000).....	27
Şekil 10. Hopfield modeli.....	29
Şekil 11. İyonosfer tabakaları.....	31
Şekil 12. TECU ve frekans fonksiyonu olarak GPS İyonosfer hataları(Witchayangkoon, 2000).....	34
Şekil 13. Yüklü parçacıkların iyonosfer içinde yüksekliğe bağlı olarak dağılımı.....	38
Şekil 14. İyonosfer tabakaları (Wild,1994).....	40
Şekil 15. İyonosfer bölgeleri (Gizawy, 2003).....	42
Şekil 16. İstanbul'da yapılan ölçümlerde güneş aktiviteleri ile f0F2 (Nf2=1.24.1010.(f0F2)2 e /m3) arasındaki korelasyon (Bulat T., 1976).....	45
Şekil 17. 2000 Yılına İlişkin Güneş Leke Sayıları.....	45
Şekil 18. Güneş patlamasının etkileri (Arslan, N., 2004).....	46
Şekil 19. Gündüz İyonosfer (Bulat T., 1976).....	48
Şekil 20. Gece İyonosfer (Bulat T.,1976)	48
Şekil 21. E2, F1, F2 ve TID iyonogramı (Bulat T.,1976).....	49
Şekil 22. 2 Haziran 1994 (Saat 07:30)'da Diji-Sondayla kaydedilen ionogramlar...50	
Şekil 23. 2 Haziran 1994 (Saat 09:00)'da Diji-Sondayla kaydedilen ionogramlar...50	
Şekil 24. 2 Haziran 1994 (Saat 10:00)'da Diji-Sondayla kaydedilen ionogramlar...51	
Şekil 25. İstanbul'da kaydedilen İyogramlarda gözlenen kısa süreli ve uzun süreli değerler (1965-1984 İ.Ü.F.F.....	53
Şekil 26. Kp indeksinin 3' er saatlik zaman aralıklarındaki değişimi (noaa.gov).....	56
Şekil 27. Manyetosfer tabakası ve Güneş'in etkisiyle oluşan akımlar.....	57
Şekil 28. Kasım 2002 tarihine ait örnek: bir Dst indeksi değişim grafiği.....	58
Şekil 29. Ne ve Te değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri.....	59

Şekil 30. Epstein Fonksiyonları.....	63
Şekil 31. Gündüz ve Gece Geçiş Fonksiyonları.....	66
Şekil 32. IRI Elektron yoğunluğunun yükseliğe bağlı olarak dağılımı Üstkenar profil için Epstein parametreleri.....	67
Şekil 33. Altkenar fonksiyonu.....	73
Şekil 34. Elektron Sıcaklık Değişimleri.....	82
Şekil 35. 5 Nisan 2010 tarihindeki TEC değişimi.....	89
Şekil 36. 15 Nisan 2010 tarihindeki TEC değişimi.....	90
Şekil 37. 23 Nisan 2010 tarihindeki TEC değişimi.....	90
Şekil 38. 5 Nisan 2010 tarihindeki elektron yoğunluğu değişimi.....	90
Şekil 39. 15 Nisan 2010 tarihindeki elektron yoğunluğu değişimi.....	91
Şekil 40. 23 Nisan 2010 tarihindeki elektron yoğunluğu değişimi.....	92
Şekil 41. 5 Nisan 2010 tarihinde elektron yoğunluğunun yüksekliğe göre değişimi.....	92
Şekil 42. 15 Nisan 2010 tarihinde elektron yoğunluğunun yüksekliğe göre değişimi.....	92
Şekil 43. 23 Nisan 2010 tarihinde elektron yoğunluğunun yüksekliğe göre değişimi.....	93
Şekil 44. İncelemesi yapılan CORS-TR yer istasyonlarının konumları.....	94
Şekil 45. İstanbul istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)	97
Şekil 46. İstanbul istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)	97
Şekil 47. İstanbul istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)	97
Şekil 48. Bolu istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)	98
Şekil 49. Bolu istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)	98
Şekil 50. Bolu istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)	98
Şekil 51. Bilecik istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)	99
Şekil 52. Bilecik istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)	99
Şekil 53. Bilecik istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)	100
Şekil 54. Bursa istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)	100
Şekil 55. Bursa istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)	101
Şekil 56. Bursa istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)	101
Şekil 57. İzmit istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)	101
Şekil 58. İzmit istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)	102
Şekil 59. İzmit istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)	102

Şekil 60. Tekirdağ istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)	103
Şekil 61. Tekirdağ istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)	103
Şekil 62. Tekirdağ istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)	103
Şekil 63. Şile istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)	104
Şekil 64. Şile istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)	104
Şekil 65. Şile istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)	104
Şekil 66. X-ışınları kayıtları (1-15 Ocak 2009)	107
Şekil 67. Elektron akısı, Proton Akısı, Hp, Kp Kayıtları (1-15 Ocak 2009).....	107
Şekil 68. CORS-TR İstasyonlarının Hız Haritası (Eren K., vd., 2011)	109
Şekil 69. İzmit istasyonu için uzun süreli ΔN kayıtları.....	110
Şekil 70. İzmit istasyonu için uzun süreli ΔE kayıtları.....	110
Şekil 71. Bilecik istasyonu için uzun süreli ΔN kayıtları.....	111
Şekil 72. Bilecik istasyonu için uzun süreli ΔE kayıtları.....	112
Şekil 73. Bilecik- İzmit istasyonu için uzun süreli ΔN kayıtları.....	113
Şekil 74. Bilecik-İzmit istasyonu için uzun süreli ΔE kayıtları.....	113
Şekil 75. 1 m ² kesitli alana sahip bir silindir boyunca TEC miktarı (Davies, 1965)	120
Şekil 76. Uydudan Gelen Sinyalin Katettiği Yol.....	121
Şekil 77. Chapman tabakası.....	123
Şekil 78. Dilimlere ayrılmış iyonosferde elektromanyetik dalga'nin kırılması.....	124
Şekil 79. İstanbul istasyonuna ait TECU değerleri (1-14 Ocak 2009).....	126
Şekil 80. Şile istasyonuna ait TECU değerleri (1-13 Ocak 2009).....	126
Şekil 81. Tekirdağ istasyonuna ait TECU değerleri (1-15 Ocak 2009).....	127
Şekil 82. Bilecik istasyonuna ait TECU değerleri (1-14 Ocak 2009).....	127
Şekil 83. Bolu istasyonuna ait TECU değerleri (1-13 Ocak 2009).....	127
Şekil 84. Bursa istasyonuna ait TECU değerleri (1-14 Ocak 2009).....	128
Şekil 85. İzmit istasyonuna ait TECU değerleri (1-31 Mart 2009)	128
Şekil 86. İzmit istasyonuna ait TECU değerleri (1-24 Nisan 2009)	129
Şekil 87. İzmit istasyonuna ait TECU değerleri (1-31 Mayıs 2009)	129
Şekil 88. İzmit istasyonuna ait TECU değerleri (1-24 Haziran 2009)	129
Şekil 89. 2-24 Nisan 2010 tarihlerine ait Kp değerleri (yüksek) ve 15-18 Mayıs 2010 tarihlerine ait Kp değerleri (sakin)	130
Şekil 90. 2-24 Nisan 2010 tarihlerine ait X-ray değerleri (yüksek) ve 15-18 Mayıs 2010 tarihlerine aşt X-ray değerleri (sakin)	130

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Uydu sinyalleri özellikleri (Hoffmann-Wellenhoff., 2001)	11
Tablo 2. GNSS konum hataları.....	17
Tablo 3. Kp ve auroraların görüldüğü enlem arasındaki ilişki.....	55
Tablo 4. Kp indisi ve Dst indisinin karşılaştırılması.....	58
Tablo 5. Üstkenar Profil İçin Epstein Parametleri.....	71
Tablo 6. Bent Fonksiyon Değerleri ile IRI Fonksiyon Değerlerinin Karşılaştırılması.....	72
Tablo 7. E-pik Kritik Frekansın Parametreleri.....	77
Tablo 8. Toplanmış Roket Ölçümleri.....	78
Tablo 9. Orta İyonosfer İçin LAY Fonksiyonları.....	79
Tablo 10. Orta İyonosfer İçin LAY Fonksiyonlarının Pik ve Minimum Değerleri....	80
Tablo 11. Elektron Sıcaklıkları.....	82
Tablo 12. İyon Sıcaklık Profili.....	84
Tablo 13. İyon Oluşum Farklarının Mevsime ve Enleme Göre Gösterilmesi.....	86
Tablo 14. Mevsimlere Göre İyon Oluşumu.....	87
Tablo 15. İstanbul, Tekirdağ, Şile, Bolu, Bilecik, Bursa ve İzmit istasyonlarına.....	108

SEMBOL LİSTESİ

P_k^i	: Uydu-alıcı arasındaki mesefa (Pseudorange)
t_k	: Sinyalin alıcı tarafından algılandığı zaman
t^i	: Sinyalin uydudan çıktığı zaman
c	: Işık hızı
δ_k	: Alıcı saat hatası
δ^i	: Uydu saat hatası
ρ_k^i	: Uydu-alıcı arasında uzaklık
I_{Fk}^i	: İyonosferik gecikme
T_k^i	: Troposferik gecikme
L_1, L_2	: Taşıyıcı dalgalar
f_1, f_2	: Frekanslar
P	: Periyot
τ	: Alıcı zamanı
ϕ	: Taşıyıcı faz
$\phi_{Fk}^i(t)$: t epogunda faz ölçüsü
$\phi_{Fk}^i(t - \tau)$: $t - \tau$ iletim zamanındaki taşıyıcı faz
n_{Fk}^i	: Başlangıç Fazı
f_F	: Taşıyıcı dalga frekansı
L_{Fk}^i	: Uzunluk biriminde faz ölçüsü
N_e	: Elektron Yoğunluğu
$h\nu$: Plazma Frekansı
e	: Elektron
N^+	: Pozitif Azot
v_i	: Uzaklaşma hızı
γ	: Gama Işınları
h	: Yükseklik
$q(\chi, h)$: Güneşin zenith açısı (χ) ve yüksekliğe (h) bağlı olarak güneşin üretimi fonksiyonu

H	: İyon yükseklik
K	: Boltzman katsayısı
T	: Mutlak sıcaklık (Kelvin)
m	: Kütle
g	: Yerçekimi
D	: Plazma difüzyon katsayısı
M	: İyon kütlesi
I	: Geomatik enlem
B	: Yer manyetik alanı
E	: Elektrik Alanı
$h_m F_2$: F2 tabakasının maksimum yüksekliği
$f_0 F_2$: F2 tabakasının plazma frekansı
ΔN	: Boylamdaki değişim
ΔE	: Enlemdeki değişim
ΔZ	: Yükseklikteki değişim

ÖZET

Son yıllardaki hızlı teknolojik ve bilimsel gelişmelerle birlikte konum belirlenmesinde GPS (Küresel Konum Belirleme sistemi) teknikleri önemli rol oynamaya başlamıştır. Askeri amaçlar için geliştirilen GPS teknolojileri, sivil uygulamalar için de kullanılmaya başlanmıştır; ve beraberinde güneş aktiviteleri, iyonosfer, troposfer gibi yan dalların da dikkatle incelenmesine olanak sağlamıştır. Bunlara paralel olarak, GPS uydularına ilaveten GLONASS uydularının da hizmete girmesi ve hesap tekniklerinin gelişmesiyle yer hareketlerinin de milimetre düzeyinde ölçülmesine olanak sağlamıştır.

GPS teknolojisi son derece komple ve pek çok farklı disiplinleri ve teknolojileri bir araya toplamaktadır. Sadece uyduları ve radyo sinyallerini incelemek yeterli değildir (Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2001). Bu sinyallerin işlenmesi de ayrı bilim ve teknolojiyi gerektirmektedir. Tez boyunca işlendiği ve uygulandığı üzere veriler ve modeller elde edildikten sonra analiz ve yorumlarla bu teknolojiye azami yarar sağlanmaktadır.

Bölüm 1’ de GPS sistemi, Bölüm 2’de GPS hata kaynakları ve Bölüm 4’ de İyonosfer ve - elektromanyetik dalgalar incelenmiştir. Ayrıca kayıtlar oluşturulması ve daha sonra verilerin işlenmesi bu bölümde yer almaktadır.

GPS, GLONASS ve gelecekteki GALILEO sistemlerinden oluşan GNSS (Global Navigation Satellite System) tekniklerinden en rasyonel şekilde istifade edebilmek için 2006-2009 yıllarında CORS-TR projesi gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3’ de sunulduğu üzere çeşitli aşamalardan geçen proje, 8 Mayıs 2006 tarihinde başlamış 31 aylık başarılı bir çalışmadan sonra 8 Aralık 2008 tarihinde işler hale getirilmiştir. Türkiye için son derece önemli olan proje İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) tarafından yürütülmüştür. Projede Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ortak müşteri olarak çalışmalara katılmışlardır. Sistem, Mayıs 2009’da müşteri kurumlara devredilmiş olup işletimi bu iki kurum tarafından yapılmaktadır.

Bölüm 5'te CORS-TR gözlemleri kullanılarak Trakya bölgesindeki deplasmanlar hesaplanmış ve irdelenmiştir. Sonuçlar pek çok dış etkenin toplamı olarak yansımaktadır. Bu etkenler arasında güneşten gelen parçacıklar ile X ışınlarının etkileri de vardır. Bu amaçla tüm dış etkenler bir arada karşılaştırılmıştır.

Bölüm 6' da CORS-TR ile TEC (Toplam Elektron Miktarı / Total Electron Content) hesapları da yapılmış ve değişik modeller analiz edilmiştir. Bilindiği gibi uydulardan alınan elektromanyetik sinyalleri ile tespit edilecek olan TEC uydu ile alıcı arasındaki m² başına düşen elektron miktarını vermektedir. Serbest elektronların etkisi ile değişen elektromanyetik dalga yörüngesi Uydu-Alıcı arasındaki değişik TID'lar (Gezici İyonosferik Bozucu / Travelling Ionospheric Disturbance) nedeni ile TEC'de farklılıkların yaşandığı tesbit edilmiştir.

Hesaplama yöntemi uzun olmakla beraber, iyonogramlardan alınan gerçek $h=f(N)$ diagramlarından yararlanarak evvela h_{max} yüksekliğinin altında kalan tepe altı yoğunluğu hesaplanmış ve daha sonra Chapman tabakası modelinden yararlanarak TEC hesapları yapılmıştır. Bu yaklaşımın daha sağlıklı sonuç verdiği belirlenmiştir.

ABSTRACT

With recent advances in technology and scientific research, GPS (Global Positioning Systems) have taken on a prominent role in determining location. Initially developed for military use, GPS has expanded into civilian uses and has brought focus to additional fields of research such as solar activity, ionosphere and troposphere. The addition of GLONASS satellites to the existing GPS satellites as well as advances in calculation methods have made it possible to measure tectonic movement at the millimeter level.

GPS technology is complex and brings together a variety of disciplines and technologies. Simply studying satellites and radio signals is not sufficient. The processing of said observations require additional scientific and technological know-how. Throughout the thesis and the subsequent implementation these technologies have been used for analyzing the acquired data and models.

The GPS system has been covered in Section 1, followed by GPS errors in Section 2 and a study of the Ionosphere and electromagnetic waves in Section 4. This section also covers the creation of records and processing of the data.

CORS-TR project has been implemented (2006 – 2009) in order to make the most rational use of the GNSS (Global Navigation Satellite System) comprised of GPS, GLONASS and the upcoming GALILEO systems. As covered in Section 3, the project, which was initiated on the 8th of May 2006, was completed successfully 31 months later on the 8th of December 2008. This project, which is vital for Turkey, has been carried out by Istanbul Kultur University (IKU). The military mapping agency “Harita Genel Komutanligi” (HGK) and the kadastre office “Tapu ve Kadastro Genel Mudurlugu” (TKGM) have been a part of this project as future clients. The project has been turned over to these agencies on May 2009 and have been run by them since.

Section 5 covers the work conducted via CORS-TR to calculate and analyze displacements in the Thracian peninsula. The results reflect the effects of multiple external factors. Among these factors are particles from the sun and X-rays. All external factors have been compared during this study.

Section 6 covers the TEC (Total Electron Content) calculations and analysis of various models via CORS-TR. It is well established that TEC, which is determined by the electromagnetic signals from satellites provides the electron content per m² between the satellite and the receiver. Variations have been observed on the TEC due to the different TID's (Travelling Ionospheric Disturbance) electromagnetic path between satellite-receiver, which changes by the effect of free electrons.

Despite the longer calculation time, the tepe alti density below the h_m level has been determined by the true h=f(N) diagrams taken from the ionograms, followed by the TEC calculations using the Chapman layer models. It has been determined that this approachn creates better results.

GİRİŞ

İlk defa 1878'de Balfour Stewart, günlük manyetik alan değişiminin açıklanabilmesi için, atmosferin üstünde bir elektrik akım sisteminin olması gerektiğine işaret etmiştir. Sıra ile 1832'de Faraday'ın, 1839 da Gauss'un ve 1860'da Lord Kelvin'in aynı konudaki çalışmaları ile, Stewart'a öncülük ettikleri bilinmektedir.

Yukarı atmosfer fiziğinin araştırılması yolunda ilk önemli grup çalışması, 15 ay süren ilk kutup yılı IPY (First International Polar Year) süresince yapılmıştır. 1882'de 11 ülkenin iştirakiyle yapılan çalışmalar, meteoroloji, okyanus, med-cezir, güneş ışınları, kutup ışığı, jeodezi, arz akımları ve geomanyetizma bilim dallarını kapsamaktadır. Bu çalışmalarda, doğrudan yukarı atmosfer fiziğine önemli katkılar sağlanmış olmakla birlikte asıl daha sonraki yıllarda kurulacak teorilere data hazırlanmasında ve jeofizik yılları geleneklerinin yerleşmesine büyük ölçüde yardımcı olmuştur.

1901'de Markoni'nin Cornwall (İngiltere)'den yollanan bir sinyali Newfoundland (Amerika)'da izleyebilmesi iyonosfer üzerinden nakledilen ilk radyo sinyalidir. Pek çok bilim adamının o yıllarda bu sonucu şüpheyle karşılaşmasına rağmen 1902'de Kennely bu sonucun 80 km yükseklikte iletken bir tabaka etkisinin sebep olabileceği görüşünü savunmuştur. Aynı yıllarda Heawside da tamamen bağımsız olarak aynı sonuca ulaşmıştır. Bu nedenle iyonosfer uzun süre Kennely-Heawside tabakası olarak anılmıştır.

Fizikçilerden Lord Rayleigh, Poincare ve özellikle Sommerfeld'in elektromanyetik dalgaların yayılımı teorisine getirdiği yenilikler, ileride kurulacak magneto-iyonik teoriye zemin hazırlamıştır. 1912'de Eccles ve 1924'de Larmor'un da çalışmaları yardımıyla 1925'de Appleton ve 1929'da Hatree ilk magneto-iyonik ortam kavramını ortaya atmışlar ve elektromanyetik dalgaların iyonize ortamda yayılımını belirleyen Appleton-Hartree bağıntısını elde etmişlerdir.

İyonosferin varlığının deneysel olarak ispatı 1926'da Breit ve Tuve tarafından Amerika'da ve aynı yıllarda Appleton ve Barnett tarafından da İngiltere'de yapılmıştır. Yine atmosfer tabakalarının isimleri, bu yıllarda Appleton tarafından

konulmuştur. İlk tespit edilen tabakaya E adı (Electric-field) adına izafeten verilmiştir. Bundan sonra tabakalara, yüksekliklerindeki sıralanmalara göre D, E ve F adları verilmiştir.

1931'de Chapman yukarı atmosfere ait bulgu ve teorilerden yararlanarak ilk model iyonosfer tabakasının (Chapman Layer) hesaplarını geliştirmiştir. Danimarkalı jeofizikçi La Cour yönetiminde çalışmalarını sürdüren ikinci IPY (1933) çalışması iyonosfer fiziği ve Kennely-Heavside tabakalarının özelliklerinin çıkarılması için, güçlü çalışmaların yapılmasına olanak sağlamıştır.

İkinci Dünya Savaşı süresince, iyonosfer fiziği hakkında yayınlar ve dataların önemli bir bölümü kaybolmuştur. Ancak askeri amaçlı uygulamalar büyük bir önem kazanmıştır. 1950'lerden sonra kurulan bir komisyon elde edilen verilerin toplanması konusunda yardımcı olmuştur.

US Navy gurubundan F. Friedman tarafından yürütülen roket deneyleri, "ölçü" tekniğini iyonosfere ulaştırmıştır. Roket deneyleri plazma fiziğine ve iyonosferin yapısının anlaşılmasına önemli ölçüde yardımcı olmuştur.

J. Van Allen ve S. Chapman 1957-1958 yıllarında, yani güneş aktivitesinin maksimum olduğu bir dönemde (Bu dönem Uluslararası Jeofizik Yılı - IGY adıyla anılır ve 18 ay sürmüştür) iyonosfer hakkında bilgilerimizin gelişmesinde büyük ölçüde yardımcı olmuşlardır. Diğer tarftan 1964-1965 yılları güneş aktivitesinin minimum olduğu devreyi kapsamaktadır. ICSU (International Council of Scientific Union) tarafından IQSY (International Years of the Quite Sun) olarak tanımlanan bu dönemde de yukarı atmosfer hakkında ilginç sonuçlar saptanmış bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar "Annales of the Geophysical Year" da yayınlanmıştır (Bulat, 1976).

Tez çalışmamızda atmosferin ve bilhassa iyonosferin GPS / GNSS sinyallerine etkileri ve kullanılan modellerin analizi CORS-TR verileri kullanılarak incelenmiştir.

Bölüm 1' de GPS sistemi, Bölüm 2'de GPS hata kaynakları ve Bölüm 4' de İyonosfer ve - elektromanyetik dalgalar incelenmiştir. Birinci bölümde, küresel konum belirleme sistemi hakkında genel bilgiler verilerek, GPS aracılığı ile yapılan

iyonosferik model çalışmaları araştırılmıştır. Daha sonra GPS sinyal yapısı hakkında açıklamalarda bulunulmuştur. İkinci bölümde GPS hata kaynaklarından bahsedilmiştir. GPS uydularından gönderilen GPS sinyalleri, yeryüzünde bulunan alıcılara ulaşana kadar, doğal bir plazma olan iyonosferden ve meteorolojik olayların gerçekleştiği troposferden geçmektedir. Kısaca bahsettiğimiz bu sinyal yolu boyunca, pek çok değişim sözkonusudur. Anlık değişime sahip bu ortamlardan geçerek gelen GPS sinyali grup ve faz gecikmelerine uğrayacaktır. Bu ise iyonosferin modellenbilmesinde ve troposferik etkilerin araştırılmasında aşılması gereken önemli bir hata kaynağıdır. Ayrıca kayıtlar oluşturulması ve daha sonra verilerin işlenmesi 4. bölümde yer almaktadır.

GPS, GLONASS ve gelecekteki GALILEO sistemlerinden oluşan GNSS (Global Navigation Satellite System) tekniklerinden en rasyonel şekilde istifade edebilmek için 2006-2009 yıllarında CORS-TR projesi gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3' de sunulduğu üzere çeşitli aşamalardan geçen proje, 8 Mayıs 2006 tarihinde başlamış 31 aylık başarılı bir çalışmadan sonra 8 Aralık 2008 tarihinde işler hale getirilmiştir. Türkiye için son derece önemli olan proje İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) tarafından yürütülmüştür. Projede Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ortak müşteri olarak çalışmalara katılmışlardır. Sistem, Mayıs 2009'da müşteri kurumlara devredilmiş olup işletimi bu iki kurum tarafından yapılmaktadır.

4. Bölümde görülebileceği gibi iyonosfer güneşden gelen ışınlar nedeniyle anlık değişime sahip olduğundan, GPS sinyal yayılımında en önemli etkiye sahip olan bir bölgedir. Bu nedenle çalışmamızda iyonosferin modellenmesi ayrıntılarıyla incelenmiştir. Bu amaçla da pek çok araştırmacının çalışmaları sonucu ortaya çıkan IRI modelinden istifade edilmiştir. Bu model çok sayıda roket, uydu ve dağınık radar ölçümleriyle de kıyaslanarak geliştirilen bir iyonosfer modelidir. Elektron sıcaklığının belirlenmesinde kaynak alınan diğer modeller arasında CIRA (1986), Vracc ve Theis (1981), Spenner ve Plugge (1979) sayılabilir. Bunlardan Vracc ve Theis'in geliştirdiği modelde, elektron sıcaklığı; elektron yoğunluğu ve yüksekliği açısından tanımlanmaktadır. Elektron sıcaklığına benzer olarak iyon sıcaklık değişimi de, Booker tarafından geliştirilen bir fonksiyon ile tanımlanmaktadır. IRI modeli ile göreceli olarak iyon yoğunluğu yüzdesi de tarif edilmektedir. Bu nedenle

çalışma mekanizmasını detaylarıyla incelenmiştir. IRI programı aracılığı ile elektron yoğunluğu ve TEC değişimi hesapları yapılmıştır.

Bölüm 5'te CORS-TR gözlemleri kullanılarak Trakya bölgesindeki deplasmanlar hesaplanmış ve irdelenmiştir. Sonuçlar pek çok dış etkenin toplamı olarak yansımaktadır. Bu etkenler arasında güneşten gelen parçacıklar ile X ışınlarının etkileri de vardır. Bu amaçla tüm dış etkenler bir arada karşılaştırılmıştır. GPS verileri yüksek doğrulukla konum belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu amaçla CORS-TR verilerini kullanarak yer hareketlerinin izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Marmara bölgesindeki 7 farklı istasyon için ΔN (Enlemdeki Değişim), ΔE (Boylamdaki Değişim) ve ΔZ (Yükseklikteki Değişim) değerleri hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda güneş aktivitesinin yüksek olduğu günlerde, daha hızlı bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.

Bölüm 6' da CORS-TR ile TEC (Toplam Elektron Miktarı / Total Electron Content) hesapları da yapılmış ve değişik modeller analiz edilmiştir. Bilindiği gibi uydulardan alınan elektromanyetik sinyalleri ile tespit edilecek olan TEC uydu ile alıcı arasındaki m² başına düşen elektron miktarını vermektedir. GPS sinyalleri aracılığı ile TEC hesabı kolaylıkla yapılabilmektedir. Çift frekanslı (f₁ ve f₂) GPS kayıtlarından TEC'i hesaplamak mümkündür. CORS-TR kullanılarak Trakya bölgesinde TEC verileri hesaplanmıştır. TEC sadece uydulardan gelen sinyaller kullanılarak değil Bölüm 4'de gösterilen iyonogramlardan yararlanılarak N=F(h) grafiklerine dönüştürerek de hesaplanmıştır.

Serbest elektronların etkisi ile değişen elektromanyetik dalga yörüngesi Uydu-Alıcı arasındaki değişik TID'lar (Gezici İyonosferik Bozucu / Travelling Ionospheric Disturbance) nedeni ile TEC'de farklılıkların yaşandığı tesbit edilmiştir.

Son Bölüm tamamen sonuçların değerlendirilmesi ve önerilere ayrılmıştır.

1. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)

1.1 Genel Bilgiler

Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System – GPS), herhangi bir yer ve zamanda konum belirlemeyi ve zaman transferini sağlayan bir uydu - haberleşme sistemidir (Eren vd, 1975). 1980’li yıllarda ABD Savunma Bakanlığı tarafından, zaman transferi, askeri araçların ya da uçakların yerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. GPS sistemi, son yıllardaki teknolojik gelişmeler sayesinde günlük hayatımızda sivil kullanıma da açık hale gelmiştir. Araç takip sistemlerinde, aktif kontrol ağlarında, coğrafi bilgi sistemlerinin veri tabanlarının geliştirilmesinde, turizm, tarım, ormancılık, spor alanlarında, hidrografik ölçmeler de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. GPS teknolojisinin, iyonosfer ve troposferin modellenmesinde önemli katkıları olmaktadır (Kahveci vd , 2001).

Yüksek doğruluklu konum belirleme sistemi olan ve pek çok uygulama alanı bulunan GPS ölçme tekniklerini etkileyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. GPS ile konum belirlemede temel işlev uydu ile alıcı arasındaki uzaklığın belirlenmesidir. Bu uzaklığın belirlenmesi sırasında, uydu efemeris hataları, uydu saati hataları, iyonosferik gecikme etkisi, troposferik gecikme etkisi, multipath etkisi gibi hata kaynakları da mevcuttur. Yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda bu hataların giderilebilmesi için dikkatli bir çalışma gerekmektedir.

GPS uydularından yayınlanan sinyaller, uzay boşluğunu geçtikten sonra, dünya atmosferinde önce iyonosferden daha sonra da troposferden geçerek yeryüzeyindeki GPS alıcılara ulaşmaktadır. Bu nedenle de atmosferik gecikmenin çok iyi bir şekilde tayin edilmesi gerekir. Söz konusu gecikmelerden iyonosfer gecikmeleri bu teze konu teşkil etmektedir. İyonosferin yapısı, güneşin aktivitesine bağlı olarak, günün saatine, gece veya gündüz oluşuna, mevsime, yıla, enlem ve boylamında etkisi ile sürekli olarak değişen bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla GPS sinyalleri iyonosferin içerisinden geçerken, sürekli olarak değişen iyonosferin yapısından etkilenmektedir. İyonosfer, radyo dalgalarını dağıtıcı bir özelliğe sahip olduğundan, uydu alıcı uzunluğunda azalma ya da artmalar oluşturmaktadır.

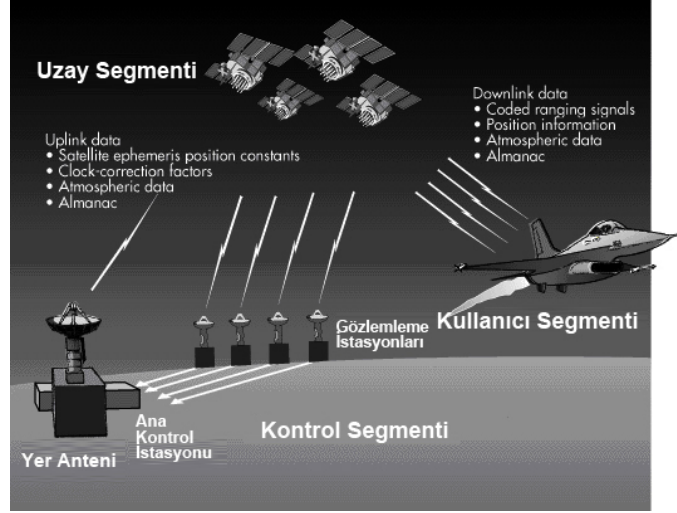
Bu bozucu etkilerin giderilebilmesi için de, GPS sinyalinin içinden geçtiği iyonosfer tabakasının iyi bir şekilde modellendirilebilmesi gerekmektedir. Bu iyonosferik etki, sinyalin geçmiş olduğu yol üzerindeki alanda bulunan serbest elektronların miktarı ile doğrudan ilişkilidir.

Troposferik etki ise, troposferin kuru ve ıslak bileşenleri nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Kuru bileşenden kaynaklanan etki gecikmenin %90'nını oluşturmaktadır. Kuru bileşen yüzey basıncına bağlı olarak değiştiğinden ıslak bileşene oranla daha kolay modellenmektedir.

1.2 Küresel Konum Belirleme Sisteminin Bölümleri

GPS; uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleri olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Uzay bölümü yerden yaklaşık 20200 km yükseklikte bulunan 28 adet uydudan (2011 itibarıyla) oluşmaktadır. Bu uydular kendilerine ve diğer uydulara ait bilgileri yerdeki kullanıcılara elektromanyetik dalgalarla iletirler. GPS uydularında bu veri akışı iki farklı frekansla, L1 frekansı 1575,42 MHz ve L2 frekansı 1227,60 MHz ile sağlanır. Bu frekansların seçilme nedeni iyonosferik etkinin L bandında az olmasındandır. Ayrıca, L1 frekansının herhangi bir nedenden dolayı kesilmesi durumunda L2 frekansı yedek frekans görevi görür. Başka bir neden de, çift frekans özelliklerinden yararlanılarak iyonosferik düzeltmelerin yapılabilmesidir.

Kontrol Bölümünün bileşenleri ve fonksiyonları Şekil 1'de gösterilmektedir. Kontrol bölümü ayrıca OCS olarak kısaltılan İşlevsel Kontrol Bölümü ya da İşlevsel Kontrol Sistemi olarak da anılmaktadır.



Şekil 1. GPS / GNSS bölümleri (Misra ve Enge, 2006).

GPS Kontrol bölümü ise dünyanın belirli yerlerinde konumlanmış altı adet istasyondan oluşmaktadır. Bu istasyonlar, uydudan alınan verileri değerlendirmek (uydu yörüngelerinin belirlenmesi gibi) ve uyduların düzgün çalışmasını sağlamakla görevlidir. Kontrol bölümünün kalbinde, Kolorado yakınlarındaki Schriever Hava Kuvvetleri Sahasında yer alan Ana Kontrol İstasyonu bulunmaktadır. Ana Kontrol İstasyonu bu sistemi çalıştırmakta ve komuta kontrol fonksiyonlarını sağlamaktadır. Kontrol bölümünün özel fonksiyonları aşağıda listelenmektedir:

- Uydu yörüngelerini gözlemlemek,
- Uydunun düzgün çalışmasını sağlamak ve gözlemlemek,
- GPS zamanını sürdürmek,
- Uydu efemerislerini ve saat parametrelerini tahmin etmek,
- Uydu navigasyon mesajlarını güncellemek,
- Yörüngeyi sürdürmek için küçük uydu manevralarını yönetmek ve ihtiyaç olursa hataları telafi etmek için yeniden konumlandırma sağlamak.

Bu uydu sinyalleri tüm dünyaya yayılmış olan ABD Hava Kuvvetleri gözlem istasyonları tarafından izlenmektedir: Hawai, Kolorado, Cape, Ascension Adası, Diego Garcia ve Kwajalein. 2005’de bu ağ altı gözlem istasyonu daha eklenerek genişletilmiştir: Washington, D.C, İngiltere, Arjantin, Ekvator, Bahrain ve Avustralya. Bu on iki istasyon her zaman en az iki gözlem istasyonundan bir uyduyu izleyebilmektedir (Misra ve Enge, 2006).

GPS zamanı, uydulardaki ve gözlem merkezlerindeki atomik saatler baz alınarak belirlenmektedir. Uydu saatlerinin senkronizasyonu zaman farkını, sapma ve sapma oranını tahmin ederek ve uydunun navigasyon mesajındaki parametrelerin geçişini sağlayarak belirlenmektedir. Bu parametreler her bir uydu tarafından geçişi sağlanan navigasyon mesajının bir parçasıdır. Uydulardan yayımlanan saat parametreleri Ana Kontrol İstasyonu tarafından hesaplanmakta ve antenler vasıtasıyla uydulara aktarılmaktadır.

GPS kullanıcı bölümü, elinde GPS alıcısı olan herkese denilir. GPS alıcısının temel görevi uydu sinyallerini kaydetmektir. GPS alıcısı tarafından kaydedilen sinyaller işleme tabi tutulur, anlık uygulamalarda koordinat dönüşümleri yapılır ve gerektiğinde navigasyon için gerekli bilgiler toplanır (Mısra ve Enge, 2006).

1.3 GPS Koordinatları ve Zaman Aralığı

GPS işlemleri sırasında, iki önemli hususa dikkat etmek gereklidir. Birincisi, öncelikle, konum ve hızı ifade için bir koordinasyon sistemine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu tür koordinat sistemleri genellikle globaldir, zira GPS onun uydularının ve kullanıcılarının konumunu gösteren global bir koordinasyon sistemini gerekli kılmaktadır. İkincisi ise, zaman ölçümü ve tespiti ile ilgilidir. Saatler GPS'in merkezindedir. Bir alıcı senkronize şekilde çalışan saatler tarafından uyduların çıkardığı sinyallerin geçiş zamanını belirleyerek ölçüm yapar. Metre boyutunda konumlandırma için, doğru ölçümler ve nano saniye seviyesinde uydu saatlerinin senkronizasyonu gerekmektedir. GPS, GPS zamanı (GPST) olarak adlandırılan bir zaman aralığını göstermektedir ve GPST ve UTC olarak bilinen uluslararası sivil zaman standardının arasındaki sapmayı sürekli takip etmektedir.

1.4 Küresel Konum Belirleme Sistemi ile İyonosferik Model Çalışmaları

İyonosfer etkisi, GPS sinyallerinin elektromanyetik dalgalarının iyonosferden alıcıya geçişinin bir sonucudur. Bu etki, sinyallerin f frekans karesine ters orantılıdır. İyonosferi oluşturan serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyonlar, sinyal yayılımını ve ortamın elektrik özelliklerini etkilerler. İyonosferin yapısı ve etkilerinin araştırılması GPS'deki koordinat çözümlerinin doğruluğu bakımından önemlidir. GPS hesaplarında tam sayı belirsizliğini kısa süreli ölçümle çözmek oldukça güçtür. Bazı uzunluğu arttıkça daha uzun ölçme sürelerine ihtiyaç vardır. İyonosfere odaklanan çalışmalar, iyonosferdeki düzensiz etkileri belirlemeye yöneliktir. Bunun nedeni ise, iyonosferdeki düzensiz etkilerin, tam sayı belirsizliği çözümü ve koordinat bileşenlerini doğrudan etkilemesidir (Mısra ve Enge, 2006).

Bölgesel iyonosfer haritası L1 ve L2 faz ölçülerinin farkına eşit olan L4 doğrusal kombinasyonuna Taylor açılımı uygulanarak elde edilmektedir. Küresel iyonosfer etkilerinin modellendirilmesinde ise bölgesel nitelikteki Taylor açılımı yetersiz kaldığından küresel harmonik açılım uygulanmaktadır. İyonosferin GPS ölçülerinde neden olduğu sorunlar özellikle uydudan yayınlanan sinyallerin alıcı tarafından alınması sırasındaki sinyal kesiklikleridir. Bu ise ölçülen taşıyıcı dalga fazının sürekliliğini engellediğinden faz kesikliklerine (cycle slips) neden olmaktadır. Bu da ölçü değerlendirme (postprocessing) aşamasında oldukça yorucu ve zaman alıcı işlemler gerektirmektedir. Eğer ölçüler tek frekanslı (single-frequency) alıcılar kullanılarak yapılmışsa sorun daha da karmaşık hale gelmektedir (Kahveci, 1997).

İyonosferin GPS ile yapılan kod ve faz ölçülerine olan etkileri farklıdır. Başka bir deyişle, kod ölçüleri için iyonosferik grup gecikme etkisi (group delay) söz konusu iken faz ölçüleri için faz hızlanması (phase advance) söz konusudur. Faz ölçüleri için kırılma indisi, $n_p = 1 - \frac{40.3}{f^2} N_e$ ve kod ölçüleri için kırılma indisi

$n_g = 1 + \frac{40.3}{f^2} N_e$ şeklinde ifade edilmektedir (Georgiadou ve Kleusberg, 1988;

Leick, 1990; Seeber, 2003).

İyonosfer radyo dalgalarını dağıtıcı (dispersive) bir özelliğe sahiptir. Bu bozucu etki radyo dalgalarının frekansına bağlı olarak değişim gösterir. Dolayısıyla bu etkiler modellendirilirken öncelikle iyonosferin kırılma indisinin belirlenmesi ve daha sonra da uydu-alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca integral alınarak, ölçülere getirilecek olan düzeltmenin bulunması gerekmektedir. Birbirine yakın uzaklıkta ölçü yapan alıcılar için; elektromanyetik dalgalar, benzeri iyonosferik bölgeden geçtiği için aynı büyüklükteki iyonosferik etki altında kalacakları kabul edilebilir. Bu nedenle kısa baz uzunluklarında (<20-30 km) tekli, ikili ve üçlü faz farkları oluşturularak söz konusu iyonosferik etki, hem tek hem de çift frekanslı ölçüler için büyük ölçüde giderilebilmektedir. Fakat uzun bazlarda (bilhassa >100km) mutlaka çift frekanslı alıcılar kullanılmalıdır.

Yer yüzeyindeki GPS alıcılarına iyonosferi geçerek ulaşan GPS sinyalleri, iyonosferin zaman içerisindeki değişimini incelemek için kullanılabilir. Radyo dalgasının izlediği yolun üzerindeki bir metrekaare alanda bulunan serbest elektronların sayısı olarak tanımlanan toplam elektron içeriği (TEC) iyonosfer ve üst atmosferin yapısını inceleyebilmek için kullanılan önemli değişkenlerden birisidir. TEC değerleri ile iyonosferdeki kısa ve uzun vadeli değişimleri, iyonosferik düzensizlikler ve bozan etkenleri birlikte incelemek mümkündür (Arıkan vd., 2004; Erol ve Arıkan, 2004; Erol ve Arıkan, 2005). Ayrıca iyonosferde oluşan TEC değişimleri ile enerji dalgalanmaları belirlenebilmektedir. Değişik enerji kaynaklarının oluşturduğu basınç dalgalanmaları, farklı algılanma modelleri ile tayin edilebilmektedir (Hawarey ve Ayan, 2004).

1.5 GPS ve Sinyal Yapısı

GPS'in başlıca özellikleri,

- Yüksek konum belirleme doğruluğuna sahip olması,
- Üç boyutta hareketli platformların hızını belirleme olanağı sağlaması,
- Dünyayı kapsamı ve dünyanın her yerinden sürekli ölçme yapılabilmesi,
- Hava koşullarından bağımsız kullanılabilmesi,
- Sınırsız sayıda kullanıcı tarafından aynı anda kullanılabilmesi,
- Mühendislik, jeodezik ve jeofiziksel çalışmalarda yaygın olarak kullanılabilmesi biçiminde sıralanabilir.

Hareket periyotları yaklaşık 12 saat olan GPS uyduları 6 yörünge düzleminde hareket ederler. Uyduların yer yüzeyinden yüksekliği yaklaşık 20200 km ve ekvatora göre yörünge eğimleri 55°'dir. GPS uydularından gönderilen sinyaller 10.23 MHz'lik f_0 temel frekansından türetilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Uydu sinyalleri özellikleri (Hoffmann-Wellenhoff., 2001)

Uydu sinyallerinin bölümleri	Çarpanlar	Frekans (MHz)	Dalgaboyu (cm)
Temel frekans	f_0	10.23	
L ₁ taşıyıcı dalga	154 f_0	1575.42	19.05
L ₂ taşıyıcı dalga	120 f_0	1227.60	24.43

Uydu ile alıcı arasındaki (Pseudorange) düzeltilmemiş uzaklık olarak bilenen P_k^i kod gözlemi, sinyalin alıcı tarafından algılandığı t_k zamanı ile sinyalin uydudan çıktığı t^i zamanı arasındaki fark, ışığın boşluktaki hızı c ile çarpılarak elde edilir. (Teunissen ve Kleusberg, 1998). i . uydu ve k . alıcı için kod gözlemleri temel eşitliği,

$$P_k^i = c((t_k - t^i) - \delta_k^i) \quad (2.1)$$

ya da

$$P_{Fk}^i = \rho_k^i + c(\delta_k^i - \delta^i) \quad (2.2)$$

biçimindedir. Burada; ρ_k^i , uydu ile alıcı arasındaki uzaklık; δ_k^i , alıcı saat hatası; δ^i , uydu saat hatası; F alt indisi taşıyıcı sinyali gösteren 1 ya da 2 anlamındadır. (2.2) eşitliğine iyonosferik gecikme (I_{Fk}^i) ve troposferik gecikme (T_k^i) eklendiğinde, sinyaller için kod gözlem denklemleri elde edilir:

$$P_{1k}^i = \rho_k^i + I_{1k}^i + T_k^i + c(\delta_k^i - \delta^i) \quad (2.3)$$

$$P_{2k}^i = \rho_k^i + I_{2k}^i + T_k^i + c(\delta_k^i - \delta^i) \quad (2.4)$$

Burada I_{2k}^i değeri L₂ için I_{1k}^i ise değeri L₁ için iyonosferik gecikmelerdir.

GPS taşıyıcı faz gözlem denklemleri oluşturulduktan sonra osilatörde üretilen sinüzoidal sinyal fazı ile frekans ve zaman arasındaki ilişkilerin kurulmasında yarar vardır (Teunissen ve Kleusberg, 1998). Sinyalin dairesel frekansı f için,

$$f = \frac{2\pi}{P\lambda} = \frac{c}{P\lambda} \quad (2.5)$$

eşitliği geçerlidir. Burada P periyot; $c = 299792458 \text{ ms}^{-1}$ ışık hızı; λ ise sinyalin dalga boyudur. Başka bir deyişle, sinyalin dairesel frekansı f , ϕ sinyal fazının zamana göre türevine eşittir:

$$f = \frac{d\phi}{dt} \quad (2.6)$$

Faz, bu frekansın t_0 ve t aralığındaki integralidir.

$$\phi = \int_{t_0}^t f dt \quad (2.7)$$

Frekans sabit ve başlangıç fazı $\phi(t_0) = 0$ kabul edilerek p uzaklığına karşılık sinyal süresi x olduğuna göre alıcı noktasında gözlenen elektromanyetik dalga faz denklemi,

$$\phi = f(t - \tau) = f\left(t - \frac{p}{c}\right) \quad (2.8)$$

biçiminde elde edilir. Bu denklem temel faz eşitliğidir (Hofmann-Wellenhof., 2001). GPS alıcıları ile iki faz arasındaki fark ölçülür. Faz ölçüsü için temel eşitlik,

$$\phi_{Fk}^i(t) = \phi_{Fk}(t) - \phi_F^i(t - \tau) + n_{Fk}^i \quad (2.9)$$

biçiminde yazılabilir. Burada $\phi_{Fk}^i(t)$, t epoğunda faz ölçüsü (cycle); $\phi_{Fk}(t)$, sinyalin alındığı t zamanında alıcı osilatöründe üretilen faz; $\phi_F^i(t - \tau)$, $t - \tau$ iletim zamanındaki taşıyıcı faz; n_{Fk}^i , başlangıç faz tamsayı bilinmeyenidir. Taylor açılımı uygulanırsa (2.9) denklemi,

$$\phi_{Fk}^i(t) = \phi_{Fk}(t) - \phi_F^i(t) + \mathcal{F}_F + n_{Fk}^i \quad (2.10)$$

olur. Burada f_F taşıyıcı dalga frekansıdır. $\phi_{Fk}(t) - \phi_F^i(t)$ farkı ideal osilatör durumunda sıfıra eşittir. δ_k alıcı ve δ^i uydu saat hataları göz önüne alındığında bu fark yerine $(\delta_k - \delta^i)f_F$ yazılmalıdır. Buna göre (2.10) eşitliği,

$$\phi_{Fk}^i(t) = (\delta_k - \delta^i)f_F + \mathcal{F}_F + n_{Fk}^i \quad (2.11)$$

biçimine dönüşür. Bu denklem λ_F dalga boyu ile çarpılır ve (2.5) eşitliği göz önüne alınır, uzunluk biriminde faz gözlem denklemi,

$$L_{Fk}^i = \frac{c}{\lambda_F} (\delta_k - \delta^i) + \mathcal{F}_F + n_{Fk}^i \quad (2.12)$$

elde edilir. Burada L_{Fk}^i uzunluk biriminde faz ölçüsüdür. İyonosferik ve troposferik gecikmeler göz önüne alınarak (2.12) eşitliği yeniden düzenlenirse k noktası ile i uydusu arasındaki L_{1k}^i ve L_{2k}^i faz ölçüleri için,

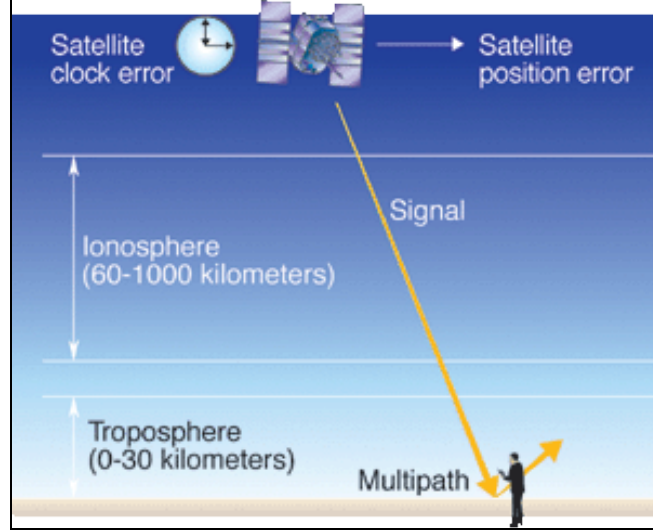
$$L_{1k}^i = \frac{1}{k} \left[\frac{1}{k} T_k^i + c\delta_k^i - \lambda_1^i \right] \quad (2.13)$$

$$L_{2k}^i = \frac{1}{k} \left[\frac{1}{2k} T_k^i + c\delta_k^i - \lambda_2^i \right] \quad (2.14)$$

eşitlikleri elde edilir (Hugentobler vd., 2001).

2. GPS HATA KAYNAKLARI

Uydudan yer istasyonuna kadar olan yol boyunca, elektromanyetik dalgaya etkileyen her fiziksel olay ölçü sonuçlarına hata olarak yansımaktadır. Bu bölümde başlıca GPS hata kaynakları incelenecektir (Şekil 2).



Şekil 2. GPS hata kaynakları (Misra ve Enge, 2006)

2.1 Yörünge Hataları

Günümüzde GPS uydu yörünge hataları, IGS'nin (Uluslararası GPS Servisi) yörüngeleri yüksek doğrulukla belirlemesi yüzünden ana hata kaynağı olarak görülmemektedir (Hugentobler vd., 2001). IGS hassas yörüngeleri 5 cm hatta daha küçük standart sapma ile elde edilebilmektedir.

2.2 Saat Hataları

GPS sistemi, GPS zamanı biçiminde tanımlanan zaman ölçeğine dayanmaktadır. Bu sistem UTC ile ilişkilendirilebilir. Saat hatalarının kaynağı uydu ve alıcı osilatörlerindeki kaymalardır. Uydu saat hatası, uydu saati ve GPS sistem zamanı arasındaki farktır. Uydu saat kayması uydu navigasyon mesajıyla gönderilmektedir.

Alıcı saat hatası, alıcı saati ve GPS sistem zaman arasındaki farktır. Hatanın büyüklüğü alıcı içerisinde bulunan devrenin kalitesine ve kullanılan yazılıma

bağlıdır. Alıcı saat hataları pseudo uzaklıklarda ve taşıyıcı faz gözlemlerinde uzunluk hatasına neden olur.

2.3 Anten Faz Merkezi Değişimleri

Uydulardan sinyallerin çeşitli yönlerde gelmesi sonucu anten faz merkezi konumlarının değişimleri L_1 ve L_2 için farklıdır. Anten faz merkezi değişimleri anten tipine bağlı olduğundan, bu etkiler doğru bir biçimde modellendirilmelidir (Hugentobler vd., 2001). Değişik anten tiplerinin kullanılması sonucunda uydu yüksekliklerinin değişimine bağlı olarak bağlı istasyon yükseklikleri etkilenir. Uygun modelleme yapılmazsa bağlı yükseklik hatası 10 cm'ye kadar ulaşabilmektedir.

2.4 Yansıma Hataları

Yansıma etkisi anten çevresinin sinyalleri kırma özelliğine bağlıdır. GPS'de yansıma etkisi çoğunlukla binalar gibi büyük engeller nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Cannon vd., 1998). Eğer anten aynı konumunu korur ve çevresi değişmezse, yansıma etkisi uyduların azimutuna ve yüksekliğine bağlı olur (Wanninger ve May, 2000). Bu etki GPS sinyallerinin L_1 taşıyıcı fazı için 5 cm civarında olup P kodunda 1-4 m'dir.

2.5 Alıcı Gürültüsü

Alıcıdaki her direnç ölçüm sırasında farklı bir gürültü kaynağıdır. Bunun nedeni, alıcının izleme devresi, uydudan gelen ve alıcıda üretilen kod ölçüleri arasında korelasyon, termal gürültü şeklinde sıralanabilir. Elektronların rastgele hareketi nedeniyle üretilen elektrik akımı termal gürültü olarak açıklanmaktadır.

2.6 Troposfer Gecikme Hataları

Troposferdeki nem nedeniyle (kuru ve yaş bileşenler) radyo dalgalarının hareketinde troposferik gecikme ortaya çıkmaktadır. Kuru bileşen yüzey basıncına bağlı olarak değiştiğinden modelleme yaş troposfere nazaran daha kolaydır (Blewitt, 1993). 15 GHz'e kadar olan frekanslarda nötr atmosfer diye adlandırılan troposfer tabakası (Şekil 9) saçıcı (scattering) olmayan bir ortamdır. Bu nedenle frekansa bağımlı değildir. L_1 ve L_2 için aynı değerdedir.

2.7 İyonosfer Gecikme Hataları

İyonosfer yer yüzünden yaklaşık 50-1500 km arasında kalan (Şekil 11), serbest elektron ve iyonların bulunduğu bir bölgedir. Bu bölge, uydu ve alıcı anten arasında gelen elektromanyetik dalga'lerin yörüngelerinin ve dolayısı ile yer-uydu arasındaki ölçülen mesafenin doğruluğunu olumsuz etkileyen en önemli hata kaynağıdır. Atom ve moleküllerin bu bölgede iyon haline gelmeleri de, ana kaynak güneşten gelen X,UV ve EUV yüksek enerjili radyasyon kaynaklarıdır. Ayrıca güneşten gelen yüklü parçacıklar, manyetik fırtınalar iyon yoğunluğunun değişiminde etkili olmaktadır. Ancak bu bölge, bir bütün olarak aynı sayıda elektron ve iyona sahiptir. Yani; elektrik yüklü olarak kabul edilmektedir. İyonosferin e.m.d 'lar üzerindeki etkisi incelenmeden önce iyonosferin kendisini ve özelliklerini tanımak gerekir.

Bu hatanın büyüklüğü günün saatine, mevsimlere, güneşin dönüşüne, alıcının enlem-boylamına ve dünyanın manyetik alanına bağlıdır. İyonosferdeki gecikme gündüz ve geceye bağlı olarak 1-20 m arasında değişiklik gösterilebilir. İki frekanslı alıcılar ile iyonosferik gecikme büyük bir oranda giderilebilir. Tek frekanslı alıcılar için iyonosfer hala büyük bir hata kaynağıdır. Tek frekanslı alıcılardan elde edilen verileri değerlendirirken çeşitli modeller kullanılarak bu etki giderilmeye çalışılır (Georgiadou ve Kleusberg, 1988).

3. CORS-TR

3.1 Sürekli İşleyen GNSS Referans İstasyonları Sistemi (CORS)

Uydudan gönderilen sinyallerin hızları ve yolları, iyonosferdeki toplam elektron içeriği ile troposferdeki sıcaklık, basınç ve sıcaklık değişimleri ve diğer etmenlerden Tablo 2’de özetlenen büyüklüklerde etkilenir.

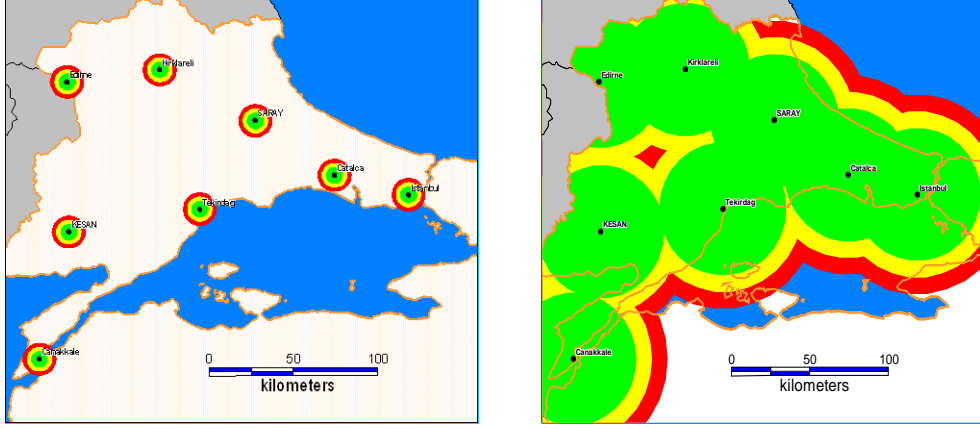
Tablo 2. GNSS konum hataları

TİP	MUTLAK	BAĞIL	ETKİ
Gürültü(noise) (Taşıyıcı)	0.5 mm	0.5 mm	Tesadüfi
Yansıma (Kod)	<10 m	<10	Sistematik
Yansıma (multipath)(Taşıyıcı)	<10 mm	<10 mm	Sistematik
Uydu Yörüngesi	20 m	1 ppm	Ölçek
Troposfer (0-15 km)	< 30 m	< 10 mm	Yükseklik
İyonosfer (50 -1000 km)	< 100 m	< 50 ppm	Ölçek

İyonosfer ve troposfer etkileri matematik modeller kullanılarak; diğerleri ise çeşitli ölçüm teknikleri uygulanarak hesaplanır ve böylece istenen konum belirleme duyarlığına erişilir. Yararlanılan ölçme tekniklerinin başında, “diferansiyel GPS” olarak tanımlanan; biri koordinat değerleri bilinen bir noktaya, diğeri ölçülecek noktaya yerleştirilen en az iki alıcı ile aynı zamanda ölçü yapma tekniği gelir. Ancak bu sistemle hesaplanan koordinat düzeltme değerleri, gerçek zamanda (RTK) 10 km yarıçapına kadar dar bir çember içerisinde yapılan ölçümler statik tekniklerde ise genelde 40-50 km yarıçapına kadar baz uzunluğuna bağlı olarak birkaç saate varan ölçümler için geçerlidir. Bu sistemdeki ikinci sakınca da ölçüm zamanının göreceli olarak uzun olmasıdır.

CORS (Continuously Operating Reference Stations / Sürekli İşleyen Referans İstasyonları) ise 30 - 100 km aralıklarla yerleştirilen sabit referans istasyonlarından oluşur ve ağ ilkesi ile çalışır. Bu sistemle referans istasyonlarının koordinatları birkaç milimetre duyarlıkta belirlenebilir. Her istasyonun incelikte saptanan koordinat değerleri ile anlık ölçümlerden hesaplanan koordinat değerleri arasındaki farklar (koordinat düzeltme değerleri) modellenilebilir ve ağ prensibinde çalışmayan

diferansiyel GNSS'ten çok daha geniş alanda geçerliliğini korur (Şekil 3). CORS ağı içerisindeki gezici GPS aleti ile birkaç saniye içerisinde santimetre duyarlılıkta konum belirlenebilir. Sistem 24 saat kesintisiz olarak çalışır.



Şekil 3. Diferansiyel GPS ile CORS'un kıyaslamalı kapsama alanları

3.2 CORS TR (TUSAGA Aktif) Projesi

TÜRKİYE için son derece önemli olan ve pek çok araştırmanın yapılmasına olanak sağlayan CORS-TR projesi TÜBİTAK'ın 1007 kod numaralı, projeler desteği kapsamında, İstanbul Kültür Üniversitesi tarafından yürütülmüş ve Harita Genel Komutanlığı (HGK) ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ortak müşteri olarak projede yer almışlardır. 147 referans istasyonundan oluşan Proje (Şekil 4) 8 Mayıs 2006 tarihinde başlamış ve 31 aylık çalışmasından sonra 8 Aralık 2008 tarihinde başarı ile tamamlanmıştır.

CORS-TR projesinin temel amacı, coğrafi bilgilerin en önemli parçası olan koordinatların ülke genelinde hızlı, ekonomik ve duyarlı olarak belirlenmesini sağlayacak bir sistemin geliştirilmesi, eski sistemdeki coğrafi bilgilerin yeni sisteme aktarılmasını sağlayacak modellerin ve parametrelerin belirlenmesidir. Bu ulusal nitelikteki proje, havada, karada ve denizde kullanılmaktadır. Projenin sağladığı bilgiler, coğrafi verileri kullanan tüm kurumları, kuruluşları ve vatandaşları yakından ilgilendirmektedir.

Proje, elliye yakın İKÜ, İTÜ, YTÜ, HGK ve TKGM araştırmacısının katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Önce literatür araştırması yapılmış ve mevcut sistemler yerlerinde incelenmiştir. Bu alışmalar ışığında daha iyi bir tasarım ve seçim için bir benchmark testi yapılmasına karar verilmiştir. Böylece dünyanın en kapsamlı benchmark testlerinden birisi, 2 Eylül – 31 Ekim 2006 tarihleri arasında Trakya – İstanbul'da gerçekleştirilmiştir. Bu test alışması, CORS sistemleri, iletişim altyapısı ve CORS özümü ile datum dönüşümü için değişik matematiksel modelleri inceleme olanağı vermiştir, (Eren vd, 2009) Testten edinilen bilgiler ve diğer araştırmalar sonucunda, yaklaşık 80 – 100 km aralıklarda 147 adet CORS referans istasyonundan oluşan CORS-TR ağı tasarımılanmıştır (şekil 4).

Bilindiği gibi geçmişte ulusal nitelikteki haritalar ve harita bilgileri ED50 datumunda üretilmiştir. 2001 yılında ise global ITRFyy datumuna geçilmiştir. Coğrafi verilerin entegrasyonu için ED50 datumundaki 600,000'den fazla haritanın ve harita bilgilerinin ITRFyy datumuna aktarılması gerekmektedir. Sözkonusu işlemi yapabilmek için dm duyarlıkta hücrenel dönüşüm parametrelerine gereksinim bulunmaktadır. Gerçekleştirilmesi zorunlu olan bu dönüşüm parametrelerini hesaplayabilmek için proje kapsamında incelemeler ve araştırmalar yapılmış; yaklaşık 30 km aralıklarda ED50 jeodezik noktalarında ITRFyy koordinatlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu, projenin ikinci ayağını oluşurmaktadır. Dönüşümü sağlamak için önce kurumlardan “2000 yılı sonrası yapılan projelerde” ölçülen ED50 noktaları derlenerek ve dağılımları göz önünde tutularak ilave gözlemler yapılmış ve her iki sistemde ortak yaklaşık 3000 nokta elde edilmiştir. Daha sonra da bu ortak noktalar kullanılarak yaklaşık 0.5 m duyarlıkta ulusal dönüşüm modeli belirlenmiştir (İKÜ, 2010).

Referans istasyonlarındaki alıcılar, GPS, GLONASS ve Galileo sinyalleriyle işlem yapabilmektedir. Referans istasyonlarına gelen uydu bilgileri, CORS kontrol merkezine iletilmektedir. Kontrol merkezinde ağ ilkesiyle değerlendirilen veri sonuçları, gezici alıcılara gönderilmektedir. İletişim için tüm istasyonlarda ve kontrol merkezlerinde TT ADSL ve alternatif olarak Turkcell EDGE seçilmiştir. İstasyonlarda 2m, 3m veya 4m lik pilyeler ile GNSS alıcılarının, modemlerin ve diğer aksesuarların muhafaza edildiği klimalı elik dolaplar yerleştirilmiştir. Her CORS referans istasyonundan kontrol merkezine ADSL veya EDGE aracılığıyla

yaklaşık 700 kbit/sn lik GNSS gözlemleri iletilmekte; CORS ağ hesapları ve düzeltme değerleri ise kontrol merkezinden kullanıcılara RTCM 3.x vasıtasıyla ulaştırılmaktadır. Bu sistemde tüm dünyada yaygın olan VRS, FKP ve MAC teknikleri kullanılmaktadır.



Şekil 4. CORS- TR referans istasyonlarının dağılımı

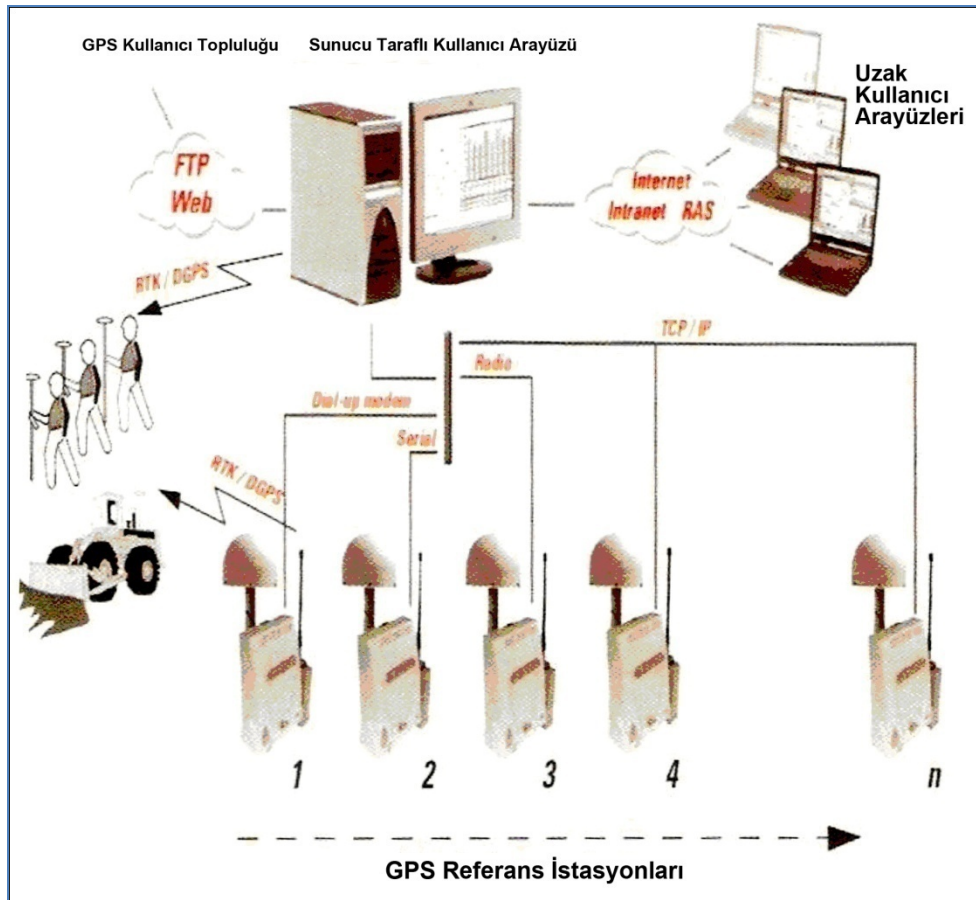
CORS-TR projesinin beyin görevini kontrol merkezi oluşturmaktadır. Proje başlangıcında ağ bazlı referans istasyonları, İKÜ, Ataköy yerleşkesindeki kontrol merkezinden ve daha sonra da TKGM ve HGK kontrol merkezlerinden yürütülmektedir. Tüm referans istasyonları verileri otomatik olarak bu merkeze iletilmekte, ağ hesapları ve düzeltmeleri bu merkezde gerçekleştirilmekte ve kullanıcılara iletilmektedir.

Kontrol merkezi, referans istasyonları ve kullanıcıları arasındaki iletişim Şekil 5'de, işlem akışı ise Şekil 6'de gösterilmektedir. Kontrol merkezi ana server'ı, ftp ve web server'ı olarak da kullanılabilir. Uygulamada ana server'ın firewall güvenliği düşünülerek ftp server'ın ayrı bir server üzerinde olması tercih edilmiştir.

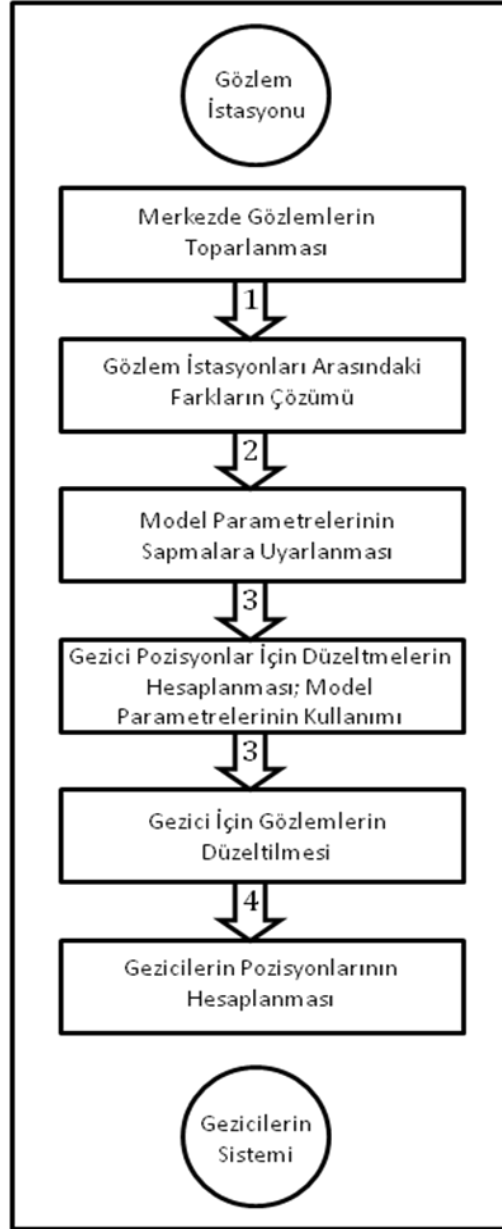
Merkezin esas görevi, gezici alıcıların gerçek zamanda koordinatlarını belirlemektir. Merkez tarafından yürütülen başlıca hizmetler şunlardır:

- Referans istasyonlarındaki alıcıları yönetmek ve kontrol etmek.

- Referans istasyonu GPS ölçülerini gerçek zamanda kaydetmek,
- GPS ölçüleri ile ilgili kalite kontrolü yapmak, sıkıştırmak ve RINEX 2.11 formatına çevirmek; ölçüleri ftp server'ına transfer etmek,
- Post-processing ile yüksek duyarlıkta baz ve dengeleme hesabı yapmak,
- Gerçek zamanda tüm istasyonlara ait baz ve dengeleme hesapları yapmak ve ağın analizini gerçekleştirmek,
- Troposfer ve iyonosferi modellemek,
- Ağ içinde kullanılacak RTK/DGPS düzeltme değerlerini hesaplamak,



Şekil 5. Kontrol merkezi, referans istasyonları ve kullanıcılar



Şekil 6. CORS servisleri işlem akışı

Böylece haritacılık, kadastro, her türlü coğrafi bilgi teknolojilerinde ve mekansal araştırmalarda devrim yaratacak yeni bir dönem başlatılmıştır. Kurulan bu sistem sayesinde kullanıcılar, 24 saat boyunca tüm ülke genelinde gerçek zamanda cm'ler veya sonradan hesaplarla (post-processing) mm-ler mertebesinde koordinatlarını belirleyebilmektedir. Böylece koordinatlar, karada, denizde ve havada;

- i. çok daha hızlı, ekonomik ve duyarlı olarak hesaplanabilmekte,
- ii. ulusal bir standart ve formatta üretilmektedir; Böylece klasik nirengi ve poligonlar bir daha kullanılmayacak ve tarihe karışacaktır.

Yukarıda değinildiği gibi bu proje, yepyeni uygulamalara öncülük etmekte ve/veya sağladığı gerçek konum değerleriyle bunlara altlık oluşturmaktadır. Örneğin, deprem erken uyarı sistemleri ARGE çalışmaları, depremlerin önceden saptanması ARGE çalışmaları, geoidin daha hassas belirlenmesi, iyonosfer ve troposfer araştırmaları; hassas meteorolojik tahminler, küresel afet bilgilerine gerçek veri sağlama, bölgesel afetlerin belirlenmesi ve afet yönetim sistemleri oluşturma (sel, yamaç kayması, deprem, çığ düşmesi ve fırtına afet yönetim sistemleri), kıyı kenar çizgilerinin belirlenmesi; deniz, kara ve hava ulaşımı, yönlendirme ve takip sistemleri, kullanıcısız araç sistemleri, hasta-acil servis uygulamaları, deniz yapıları proje ve uygulamaları; gemi yaklaşımı için deniz tabanı taraması, deniz ve göl kirliliğinin belirlenmesinde ve temizlenmesinde hassas konumlama, büyük barajların sürekli gözetimi ve merkezi erken uyarı sistemleri tasarımı, hassas tarım, insansız tarım, uzaktan algılamada hassas konum belirleme, fotogrametride hassas konum belirleme, arkeolojide konum belirleme, mühendislik projeleri uygulamaları, fotokodlama, e-devlet, e-ticaret uygulamaları, vd.

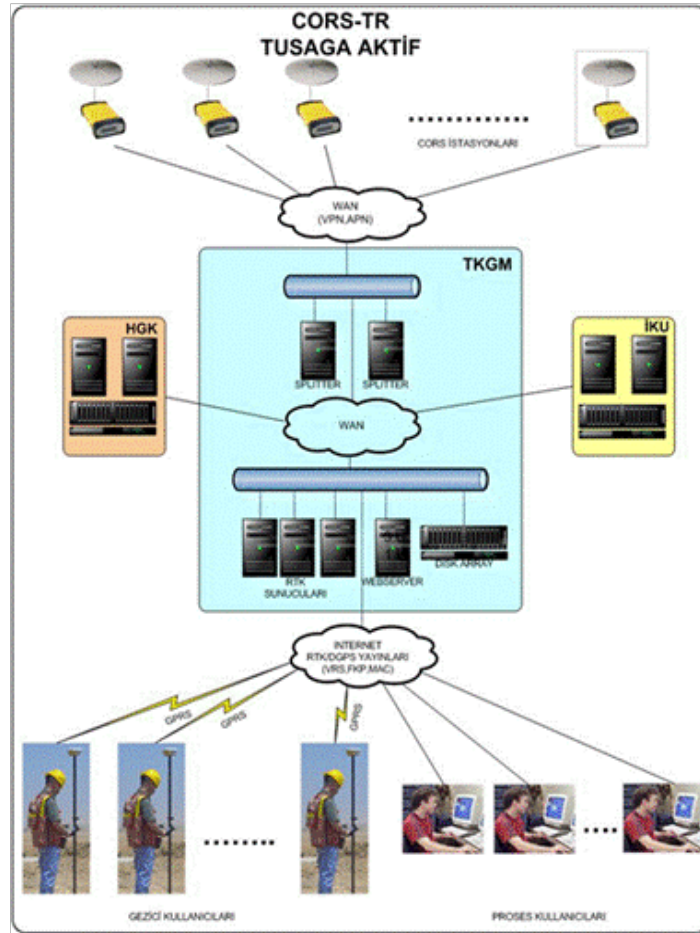
CORS-TR, ilk uygulamalardan itibaren büyük yararlar sağlamaya başlamıştır. Bu sistem sadece 2005-2007 yıllarındaki TKGM ve İller Bankası jeodezik çalışmaları bu sistem içinde yapılabilmiş olsaydı yaklaşık 75 milyon YTL'lik bir tasarruf sağlanacaktı. Bugün sistemin 2000 üzerinde kayıtlı kullanıcısı bulunmaktadır ve sistemin ülke ekonomisine önemli katkıları olmaktadır. Örneğin, 220 milyon USD'lık Dünya Bankası destekli TKGM kadastro yenileme projesinde, sırf jeodezik çalışmalarda bu sistemin uygulanmasıyla, yaklaşık 35 milyon USD tasarruf sağlanacaktır. Tasarruf edilecek meblağ, CORS TR proje bedelinin yaklaşık 7 katıdır. Ayrıca buna yakın bir tasarrufun da kadastro ölçülerinden sağlanması söz konusudur. Bundan başka Türkiye'de bulunan 3000'in üzerindeki GNSS alıcısının da hesaba katılması gerekir. Bunların üreticiliği, CORS-TR sayesinde en az iki katı artacaktır. Bundan da 100 milyon YTL üzerinde bir tasarruf söz konusu olabilecektir.

Projenin, benzerleri ile karşılaştırıldığında en düşük maliyetli olmasının yanısıra şu ayırt edici özellikleri de vardır; CORS TR projesi,

- a) 150 noktalı ağ olarak tasarlanan sistem, kuruluş büyüklüğü bakımından dünya üçüncüsü,
- b) Kuruluş sırası bakımından dünya dokuzuncusu,

- c) Gelişmekte olan ülkeler arasında ilk,
- d) TÜBİTAK'ın, "ulusal büyüklükte; somut sonuçları alınan, ürünleri birçok yeni araştırma ve uygulama çalışmalarına altlık oluşturan ve kapı açan; mali bakımdan son derecede şeffaf özellikleri nedeniyle örnek proje" olarak vasıflandırdığı bir projedir.

CORS-TR projesine ait nihai ölçü sistemi blok şema olarak (Şekil 7) gösterilmektedir. HGK-TKGM-İKÜ blokları kontrol merkezlerini temsil etmektedir. Şekilde en alt sırada GEZİCİ-POST-PROCESSING kullanıcıları gösterilmiştir.



Şekil 7. CORS-TR Sistemi konfigürasyonu

4. ATMOSFER ve İYONOSFER

Dünya atmosferi çeşitli gaz ve küçük parçacıklardan oluşmaktadır. Atmosfer kabaca deniz seviyesinden 1000 km yüksekliğe kadar olan bölge olarak tanımlanabilir. Atmosfer kütesinin %99 kısmı 30 km yükseklik altındadır (Memerzadeh, 2009). 80 km yükseklik ötesinde ise atmosfer iyonize molekülleri ve serbest elektrnları ihtiva etmektedir.

Atmosfer ısıya, iyonizasyona ve dağılıma göre farklı tabakalara bölünebilir. Sıcaklığın düşey değişimine göre atmosfer genellikle dört tabaka ile tanımlanmaktadır (Şekil 8):

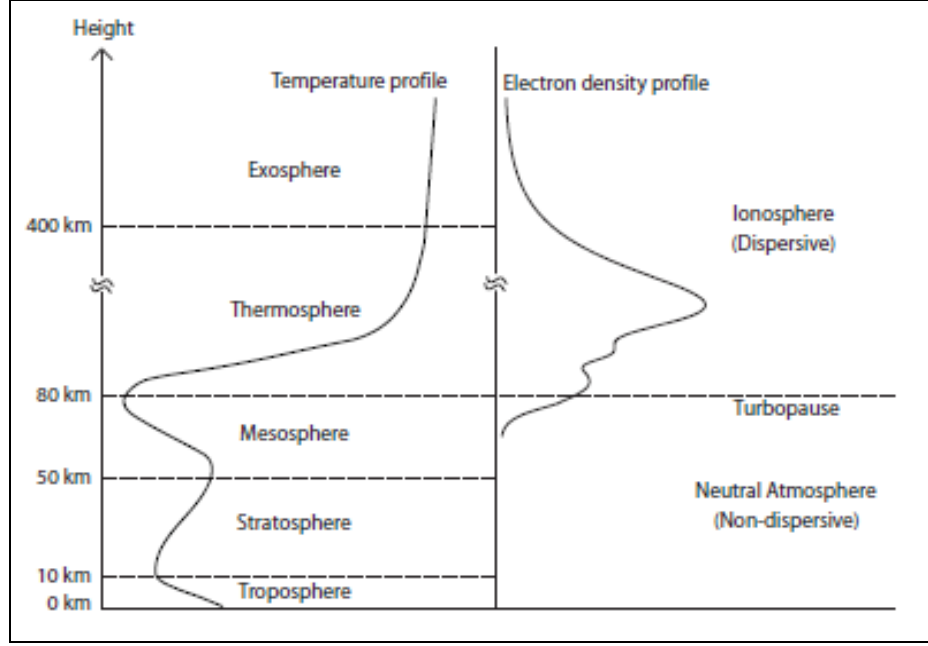
- 1) troposphere (10 km'ye kadar),
- 2) stratosphere (10 km ile yaklaşık 50 km arası),
- 3) mesosphere (50 km ile yaklaşık 80 km arası) ve
- 4) thermosphere (80 km ile yaklaşık 400 km arası).

Atmosferdeki ısı değişiklikleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Ekzosfer atmosfer en dışındaki katmandır.

Sinyal yayılımına göre ise atmosfer iki ana tabakaya ayrılmaktadır:

- 1) troposfer (genellikle deniz yüzeyinden 40 km'ye kadar olan bölge)
- 2) iyonosfer (genellikle 80 km ile 1000 km arası, hatta daha fazla)

Atmosferden geçen uydu sinyalleri, sinyallerin durumunu etkilemektedir. Bu etkiler, troposferik ve iyonosferik olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Her bir etki, uydu sinyallerini farklı etkilemektedir. Troposfer dağıtıcı bir özelliğe sahip olmadığı için, troposferik kırılma hem kod hem de faz modülasyonunda benzer etkiye neden olmaktadır. Troposfer, yatay yolda 30 metreye kadar bir sinyal gecikmesine neden olmaktadır. Bu nedenle troposferin etkisi, uydu sinyallerindeki hataların en büyük kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Diğer yandan, iyonosfer, iyonize atmosfer katmanları içinde, dağıtıcı özelliğe sahip olanıdır. Bu nedenle iyonosfer sinyal kodunu ve faz modülasyonunu ters yönde etkiler. Dahası, iyonosferik etki, taşıyıcı frekansın bir fonksiyonudur. Neyse ki iyonosferik etki çift frekanslı gözlem aracılığıyla elimine edilebilmektedir.



Şekil 8. Atmosfer bölümleri (Memerzadeh, 2009)

4.1 Troposfer

4.1.1 Genel Tanımlar

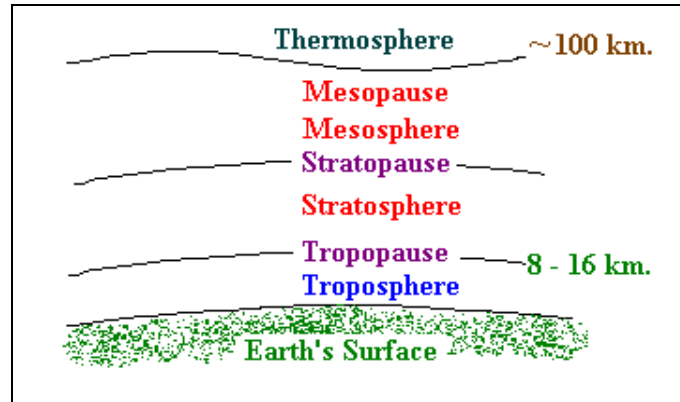
Normalde troposfer, atmosferin %75 ağırlığına ve su buharının çoğuna sahiptir. Su dönüşümü, troposferde suyun dünya yüzeyinden atmosfere olan değişim ve hareketi ile meydana gelir. Güneş enerjisi suyun buharlaşmasını sağlar ve rüzgar da nemi dolaştırır. Su partiküllerinin büyüklüğüne ve derecesine göre çeşitli türlerde yağışlar meydana gelir. Sonuç olarak, troposfer geçici ve mevsimsel varyasyonlara göre değişmektedir.

Troposfer kırılmasının taşıyıcı faz ve kod modülasyonu üzerindeki etkisi benzerdir. Ancak sinyallerin enerjisinin bir kısmı iyonize olmayan gazlar (örneğin karbondioksit) ve su molekülleri tarafından emilir. Sonuç olarak bu olaylar sinyali doruk yönünde 2,5 metreye kadar ve ufuk açısında 30 metre yaklaştırır. Bu gecikmeler ısı, basınç ve nemin yanı sıra alıcının uzaysal ve fiziksel konumuna göre de değişkenlik göstermektedir (Witchayangkoon, 2000). Troposferik kırılma, çift-frekanslı gözlem ile elimine edilemez.

Yerdeki bir GNSS referans istasyonu üzerindeki entegre su buharını tahmin yaygın bir tekniktir. İyonosfer-serbest taşıyıcı faz gözlemleri oluşturularak ve diferansiyel veya hassas nokta konum belirleme teknikleri ile diğer uzunluğa gelen hataları (saat, uydu efemerisi, vd) indirgeyerek her uyduya ait eğimli yola ait ıslak gecikme etkilerini izole edebiliriz. Bu durumda mutlak bir başucu ıslak gecikmesi (**Zenith Wet Delay – ZWD**) tüm uydu eğik gecikme gözlemlerinin başucuna indirgenmesinden sonra hesaplanan ortalama olarak modellenmektedir.

ZWD tahminine girdi olarak iyonosfer-serbest GNSS gözlemleri gereklidir. İyonosferin dağıtıcı özellikleri nedeniyle 1. Derece iyonosfer etkilerinin giderilmesi için çift-frekanslı GNSS ölçülerinin lineer bir kombinasyonu kullanılabilir. Bu toplam iyonosfer hatasının 99% undan fazlasını halletmektedir.

Geriye kalan daha yüksek derecedeki etkiler için Galileo ve modern GPS için üç-frekanslı gözlemler kullanılabilir ve ZWD tahmini için daha duyarlı gözlemler sağlayabiliriz. Bu yaklaşımın ZWD değerlerini 20% daha iyileştirdiği hesaplanmaktadır.



Şekil 9. Troposfer ve diğer atmosfer tabakaları (Witchayangkoon, 2000)

Nötr atmosfer, yani atmosferin iyonize olmayan kısmı, normalde iki bileşene ayrılır: hidrostatik (kuru) ve ıslak kısımları. Kuru kısım çoğunlukla kuru gazlardan oluşurken, ıslak kesim de su buharının bir sonucudur. Troposfer, radyo sinyalinde gecikmeye neden olur. Hidrostatik bölümü, toplam troposferik kırılmanın yaklaşık %90'ını sağlamaktadır (Leick, 1995). Hassas konumlandırma için, nötr atmosferi geçerken radio sinyallerin yaşadığı gecikmeyi düzeltmek gereklidir. Bu gecikme, en

önemli hata kaynaklarından biridir. Troposferik etki frekanstan bağımsızdır ve çift frekans gözlemleriyle elimine edilemez. Troposfer gecikmesi aşağıdaki formülle tanımlanabilir:

$$T_k^p = 10^{-6} \int_{path} N^{Trop} ds$$

Burada n troposferdeki kırılmayı, N^{Trop} troposferdeki gecikmeyi göstermektedir.

$$N^{Trop} = (n - 1) \times 10^6$$

Hidrostatik ve ıslak bileşenlere ayırarak olursak, troposferik gecikme şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$\begin{aligned} T_k^p &= 10^{-6} \int_{path} (N_d^{Trop} + N_w^{Trop}) ds \\ &= 10^{-6} \int_{path} N_d^{Trop} ds + 10^{-6} \int_{path} N_w^{Trop} ds \end{aligned}$$

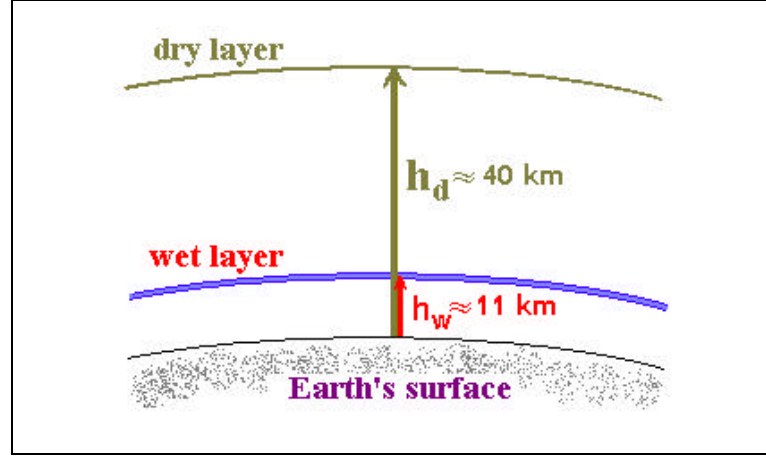
N_d^{Trop} ve N_w^{Trop} , hidrostatik ve ıslak bileşenlerin troposferik kırılmalarına karşılık gelmektedir.

4.1.2 Troposferik Modeller

Çeşitli troposferik modeller bulunmaktadır. Buna ilaveten, sinyal gecikmesini yükseklik açısı fonksiyonu olarak gösteren çeşitli haritacılık fonksiyonları da verilmiştir. Aşağıda sık kullanılan troposferik modeller verilmiştir.

4.1.2.1 Hopfield Modeli

Hopfield, dünya çapında veriler kullanarak 1969 yılında ampirik olarak troposferik bir model geliştirmiştir. Hopfield modeli, kuru katman için 11 km yükseklik, ıslak katman için de 40 km yükseklik olmak üzere tek katmanlı çok ısılı model atmosfer uygular. (Hopfield, 1969; Janes et al. 1991; Hofmann-Wellenhof et al., 1997),



Şekil 10. Hopfield modeli

Hopfield modeli, kuru ve ıslak gecikme bileşenlerini, dünya yüzeyinden izleme istasyonunun yüksekliği (h) fonksiyonu olarak gösterir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$N_d^{Trop} = N_{d,0}^{Trop} \left[\frac{H_d - h}{H_d} \right]^\mu$$

$$N_w^{Trop} = N_{w,0}^{Trop} \left[\frac{H_w - h}{H_w} \right]^\mu$$

Burada, $\mu = 4$,

$H_d = 40136 + 148.72 (T-273.16)$ kuru kısım için politropik kalınlık (m)

$H_w = 11000$... ıslak kısım için politropik kalınlık (m)

$N_{d,0}^{Trop} = K_1 P_o / T_o$... yer yüzeyindeki kuru troposferik kırıcılık

$N_{w,0}^{Trop} = K_2 e_o / T_o + K_3 e_o / T_o^2$... yer yüzeyindeki ıslak troposferik kırıcılık

Metre cinsinden troposferik zenith gecikmesi:

$$T_k^Z = \frac{10^{-6}}{5} \left[N_{d,0}^{Trop} H_d + N_{w,0}^{Trop} H_w \right].$$

Kuru ve ıslak çok ısılı katman kalınlığı, H_d ve H_w , sırasıyla 40-45 km ve 10-13 km aralığında değere sahiptir. Hopfield'in zenit troposferik gecikme formülü bir

haritalama fonksiyonuyla bir araya getirilmek suretiyle belli bir uydu yükseklik açısında troposferik gecikme elde edilebilir.

4.1.2.2 Saastamoinen Modeli

Saastamoinen atmosferi iki ideal gazın karışımı olarak ele almıştır: kuru hava ve su buharı. Daha sonra kırıcılığı elde etmek için gaz kanunları kullanılmaktadır. Troposferdeki ısı deniz yüzeyinden 10 km'ye kadar yükseklikle oldukça düzgün oranda azalmaktadır. Bu oran enleme ve mevsime bağlı olarak değişiklik arzedeabilmektedir.

Ayrıca, Saastamoinen kuru atmosferi iki katmana ayırmıştır: yaklaşık 11-12 km yükseklikle yüzeyden uzanan çok ısıli troposfer ve troposferden yaklaşık 50 km devam eden izotermal stratosfer. Atmosferik su buharı sadece troposferle sınırlıdır. Normal orta-enlem durumları için, Saastamoinen modeli, metre cinsinden aşağıda verilmiştir:

$$T_k^p = 0.002277 \sec z \left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0.05 \right) e_0 - \Omega \tan^2 z \right]$$

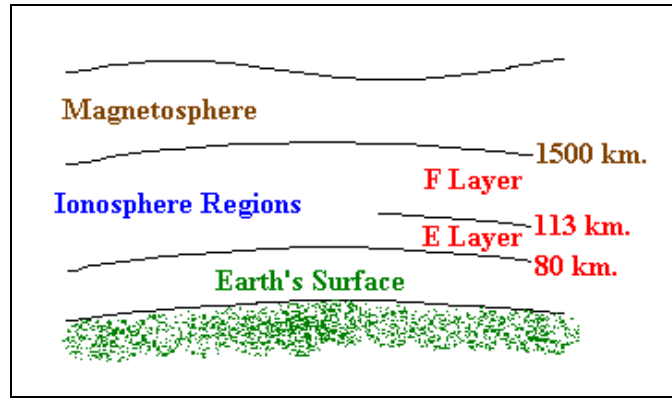
Burada, z gerçek zenith mesafesini, P_0 milibar cinsinden gözlem istasyonundaki basıncı ve Ω da aşağıda tanımı verilen katsayıyı göstermektedir:

$$\Omega = \frac{R}{r g} \left[\frac{P_0 T_0 - (R\beta / g) p^0 T^0}{1 - R\beta / g} \right].$$

Burada da, R gaz sabiti, r dünyanın yarıçapı, T_0 izleme istasyonundaki sıcaklığı, p^0 basınç ve T^0 da stratosferin tabanındaki sıcaklığı temsil etmektedir. β sıcaklığın dikey eğimini (dT / dh) göstermektedir.

4.2 İyonosfer

İyonosfer, dünyayı 80 km yukarısından 1500 km rakıma kadar yer alan bölümde saran iyonize hava katman veya katmanlarından oluşmaktadır (Şekil 11). Atmosferik partiküller radyasyon tarafından iyonize edildiğinde bu partiküller serbest negatif elektronların, pozitif atomların ve iyon denilen moleküllerin çarpışmasına bağlı olarak iyonize kalmaktadırlar. Serbest elektronlar GPS sinyallerinin yayılmasını etkilerler. Troposferin aksine, iyonosfer radyo dalgaları için dağıtıcı bir özellik taşır. Normalde vericiden yayılan enerji iyonosferden geçer, kısmen iyonize hava tarafından emilir, ve kısmen de kırılır veya dünyanın yüzeyine doğru yoluna devam eder. Dahası, 30 MHz'nin altındaki taşıyıcı frekansları iyonosfer tarafından yansıtılırken GPS sinyalleri, televizyon ve Frekans/Modülasyon (FM) radyoları gibi daha yüksek frekanslar normal olarak iyonosferden yoluna devam edebilir.



Şekil 11. İyonosfer tabakaları

Şekil 11'da görülebileceği gibi, iyonizasyonun tanımında iki farklı bölge bulunmaktadır: manyetosfer ve iyonosfer. Manyetosfer parçacık hareketinin jeomanyetik alan tarafından kontrol edildiği en dıştaki bölgedir. İyonosfer, E katmanı ve F katmanı olmak üzere iki ana katmandan oluşmaktadır. E katmanı düşük frekanslı radio dalgalarını yansıtırken, F katmanı da yüksek frekanslı radio sinyallerini yansıtmaktadır. F katmanı iki katmandan oluşur: F1 ve F2 katmanları. F1 katmanı dünyanın 180 km üzerinden, F2 katmanı ise 300 km üzerinden başlamaktadır. F katmanının kalınlığı gece değişmektedir ve böylece onun yansıtma özelliklerini de değiştirmektedir. İyonosferin dağıtıcı özelliği, 11 yıllık güneş noktaları döngüsünü yakından takip etmektedir.

4.2.1 İyonosferin Tarihçesi

İlk defa 1878 de Balfour Stewart, günlük manyetik alan değişiminin açıklanabilmesi için atmosferin üstünde elektrik akım sistemlerinin olması gerektiğine değinmiştir. Sıra ile 1832 de Faraday'ın, 1839 da Gauss'un ve 1860 da Lord Kelvin'in aynı konudaki çalışmaları ile, Stewart'a öncülük ettikleri de bilinmektedir.

Yukarı atmosfer fiziğinin araştırılması yolunda ilk önemli grup çalışması, 15 ay süren ilk kutup yıldızı IPY (First International Polar Year) süresince yapılmıştır. 1882 de 11 ülkenin iştirakiyle yapılan çalışmalar, meteoroloji, okyanus, med-cezir, güneş ışınları, kutup ışığı, jeodezi, arz akımları ve geomanyetizma bilim dallarını kapsamıştır. Bu çalışmalar, doğrudan yukarı atmosfer fiziğine birşey kazandırmış olmamakla beraber, daha sonraki yıllarda kurulacak teorilere, data hazırlanmasına ve jeofizik yılları geleneklerinin yerleşmesine, büyük ölçüde yardımcı olmuştur.

1901 de Marconi'nin Cornwall'den (İngiltere) yollanan bir sinyalin Newfoundland'da (Amerika) izlenebilmesi iyonosfer üzerinden nakledilen ilk radyo sinyalidir. Pek çok bilim adamı bu sonucu 80 km yükseklikte iletken bir tabaka etkisinin sebep olacağı şeklinde yorumlamıştır. Aynı yıllarda Heawside'da da, tamamen bağımsız olarak aynı sonuca ulaşmıştır. Bu nedenle iyonosfer uzun süre Kennely-Heawside tabakası olarak anılmıştır.

Dünya atmosferinde, yaklaşık 50 km yükseklikten başlayan oldukça yüksek elektron yoğunluğuna sahip yaklaşık $10^6 e/m^3 - 10^9 e/m^3$ iyonlaşmış gaz tabakası bulunmaktadır. Heaviside ve Kennely tarafından, birbirlerinden bağımsız olarak bulunan ve uzun yıllar boyunca Heawside tabakası olarak adlandırılan bu doğal plazma tabakası, Marconi'nin Londra'da yayınladığı radyo sinyallerini daha da güçlenmiş olarak Nova Scotia'da (Boston şehrinin kuzeyi) gözlemesi sonucu özellikle haberleşme alanında çalışan araştırmacıların bu bölgeyle daha fazla ilgilenmesine yol açmıştır. İyonosfer adı verilen, bu doğal plazma tabakası güneşten gelen mor ötesi ışınların, atmosferin üst tabakalarındaki atomlar ve moleküllerce soğurulması sonucunda oluşmaktadır. Bu tabakalar, foto iyonizasyon sonucunda oluştuğu gibi, şimşeklerin taşıdığı şiddetli elektrik alanların ve şok dalgalarının ya da oldukça yüksek sıcaklıkların etkisiyle de oluşabilmektedir. Serbest elektronlar ve

pozitif iyonları içeren bu iyonosfer tabakası elektromanyetik dalgaları yansıtarak, bu dalgaların uzak mesafelere gitmelerini sağlamaktadır. Yüklü parçacıklar, dünyanın manyetik alanınca hapsedilmektedirler. İyonlaşmış tabakaların yükseklikleri ve özellikleri, güneş ışınımının doğasına ve atmosfer bileşiminin niteliklerine bağlı bulunmaktadır (Davies, 1968).

Normalde, orta enlemde GPS sinyalleri üzerindeki iyonosferik etki önemsizdir. Diğer yandan, iyonosferik ışıltama aktivitesi düşük enlemlerde, özellikle güneş batımının hemen sonrasındaki saatlerde daha önemli hale gelmektedir. Buna ilaveten, iyonosferik etkiler güneş noktası sayısına göre yükselmekte ve düşmektedir. Büyük bir etkisi olan güneş noktası devri, 1843 yılında Samuel Heinrich Schwabe tarafından keşfedilmiştir. 1948 civarında, İsviçreli bir gökbilimci ve gökbilim tarihçisi olan Johann Rudolph Wolf, Schwabe'nin güneş noktası devrindeki keşfini, geçmiş yılların kayıtlarından yola çıkarak devrin uzunluğunu daha hassas bir şekilde tanımlamak suretiyle, ortalama 11.1 sene olacak şekilde teyit etmiştir.

4.2.2 İyonosferdeki Gecikmeler

İyonosferik aralık gecikmeleri, toplam elektron içerikleriyle (TEC) doğru orantılıdır ve iletim yoluyla değişir ve aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$TEC = \int_{path} N_e(s) ds$$

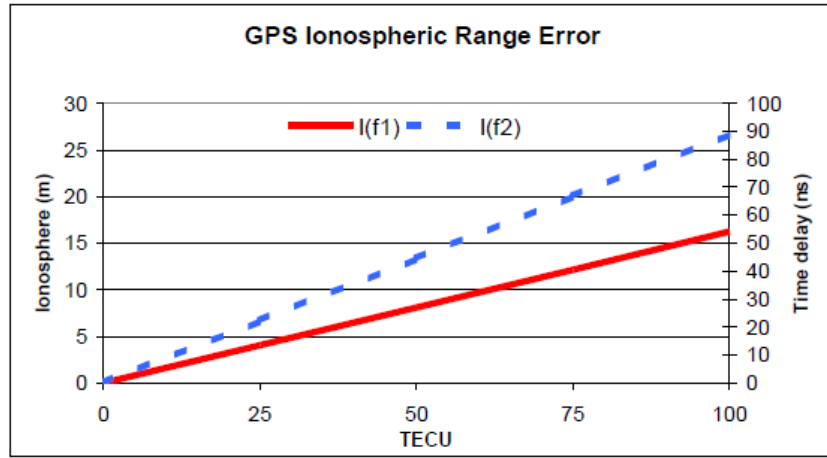
Burada, N_e elektron yoğunluğudur (elektronlar/m³). TEC, uydu ve alıcı arası hatta ait sütundaki serbest elektronların toplamıdır. Bu sütun 1 m² lik kesitsel bir alandır. TEC'in birimi (el/m²)'dir. Toplam electron içeriği yoğunluğu birimi (TECU) ise TECU = 1×10¹⁶ el /m² olarak tanımlanır. K ve p uydusu arasındaki iyonosfer gecikmesini hesaplamak için (metre cinsinden) aşağıdaki eşitlikler kullanılır:

$$\begin{aligned} I_{k,f,P}^p &= \frac{40.28}{f^2} TEC = \frac{40.28}{f^2} \int_{path} N_e ds \\ &= \frac{40.28 c}{f^2} \int_{path} N_e dt \end{aligned}$$

Burada, f frekansı ve c ise ışık hızını göstermektedir. İyonosfer ile ilgili zaman gecikmesi veya ilerlemesi şu şekilde ifade edilebilir:

$$v_f = \frac{I_{k,f,P}^p}{c} = \frac{40.3 \text{ TECU}}{cf^2}$$

Aşağıdaki grafik, GPS iyonosferik aralık hatalarını TECU ve frekans fonksiyonları olarak göstermektedir.



Şekil 12. TECU ve frekans fonksiyonu olarak GPS İyonosfer hataları (Witchayangkoon, 2000)

GPS sinyalleri için P1 ve P2 kodlarının gecikmesi ve L1 ve L2 taşıyıcı fazlarının yayılmasını tanımlayalım. Normalde iyonosferik kod gecikme birimi metre iken, taşıyıcı fazların birimi devir'dir.

$$I_{k,1,P}^p = -I_{k,1,\Phi}^p = -\frac{c}{f_1} I_{k,1,\phi}^p$$

$$I_{k,2,P}^p = -I_{k,2,\Phi}^p = -\frac{c}{f_2} I_{k,2,\phi}^p$$

Kod ve faz için iki frekans arasında iyonosferik ilişki oluşturulabilir:

$$\frac{I_{k,1,P}^p}{I_{k,2,P}^p} = \frac{f_2^2}{f_1^2}$$

$$\frac{I_{k,1,\varphi}^p}{I_{k,2,\varphi}^p} = \frac{f_2}{f_1}$$

İyonosferin GPS üzerindeki etkileri pek çok faktöre bağlı olarak değişebilir. Bu faktörlerin arasında; jeomanyetik varyasyonlar, uzaysal konumlar, üst atmosferdeki kimyasal kompozisyonlar ve sıcaklık, rüzgar sirkülasyonu, güneş noktası devrinin süresi, mevsim, günün saati ve görüş mesafesi yer alır. İyonosferik etki sinyal frekansının fonksiyonu olduğu için, çift-frekanslı veri olması iyonosferik etkinin nerdeyse tamamının elimine olmasını sağlar. Buna ilave olarak, ilişkin TEC'in aşırı hassas ölçümü de iki sinyalin iki taşıyıcı fazının lineer kombinasyonu sayesinde oluşur.

Çift-Frekanslı İyonosfersiz Eşitlikler: Yukardaki denklemleri kullanacak olursak, kodlar ve fazlar için iyonosfersiz fonksiyonlar elde edilebilir. (Leick, 1995):

$$P_{k,IF}^p(t) = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} P_{k,1}^p(t) - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} P_{k,2}^p(t)$$

$$\varphi_{k,IF}^p(t) = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \varphi_{k,1}^p(t) - \frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} \varphi_{k,2}^p(t)$$

Çift-frekanslı İyonosferli Eşitlikler: İyonosferik çözüm için psuedorange lineer kombinasyonları doğrudan kullanılabilir:

$$\begin{aligned} P_{I,k}^p &= P_{1,k}^p - P_{2,k}^p \\ &= (1 - \alpha) I_{P,k}^p + c (1 - \alpha) T_{GD}^p \\ &\quad + d_{1,P,k} + d_{1,P,k}^p + d_{1,P}^p - d_{2,P,k} - d_{2,P,k}^p - d_{2,P}^p \end{aligned}$$

$\alpha = (f_1 / f_2)^2$ dir . Alıcı saat bu kombinasyonu iptal etmektedir. T_{GD} terimi, yayın navigasyon mesajında da verildiği gibi, belli bir zaman üzerinden bir sabittir. Bu nedenle bu iyonosferik kombinasyon, iyonosferik etkiyle kıyaslandığında normalde küçük boyutta olan donanım gecikmeleri ve çoklu hat arasındaki farkı da içerir.

İyonosferik fonksiyonun çift-frekanslı fazı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned}\varphi_{k,I}^p(t) &= \varphi_{k,1}^p(t) - \frac{f_1}{f_2} \varphi_{k,2}^p(t) \\ &= N_{k,1}^p(t) - \frac{f_1}{f_2} N_{k,2}^p(t) - \frac{f_1}{c} (1-\alpha) I_{k,1,P}^p(t)\end{aligned}$$

L2 taşıyıcı fazındaki ölçek faktörü, L1 ile aynı frekansa sahip olacak şekilde ölçmek için kullanılır. Bu da L2'nin tamsayı belirsizlik doğasını bozmaktadır. Faz iyonosferik kombinasyonu, devir kaymalarını tesbit etmek için kullanılabilir.

4.2.3 Gazların İyonizasyonu

Çevremizi saran atmosfer, yaklaşık olarak % 78 Azot (N₂), % 21 Oksijen (O₂), % 0,9 Argon (Ar), % 0,03 Karbondioksit (CO₂) bileşenlerinden oluşmaktadır. Ayrıca azınlık bileşenler olarak da Neon (Ne), Helyum (He), Metan (CH₄), Kripton (Kr), Hidrojen (H₂), Ksenon, Ozon, Azot oksitleri, Amonyak, Kükürt dioksit, Karbon monoksit ve Radon gazlarından oluşmaktadır. Gaz karışımı yer yüzeyinde itibaren yaklaşık 100 km ye kadar bu oranlarda sabit olarak devam eder. Daha sonra ise bu oranlar yükseklikle beraber büyük farklılıklar gösterir. Örneğin;

200km:	O	→	10 ¹⁶ P/ m ³	300km:	O	→	10 ¹⁶ P/ m ³
	N ₂	→	10 ¹⁶ P/ m ³		N ₂	→	10 ¹⁴ P/ m ³
	O ₂	→	10 ⁶⁴ P/ m ³		O ₂	→	10 ¹² P/ m ³
	He	→	10 ¹³ P/ m ³		He	→	10 ¹³ P/ m ³

(m³ başına düşen parçacık sayısı) olarak dağılım göstermektedir (Gümrükçü O., 2009).

Yukarda bahsettiğimiz bu gazların karışımı, güneşten gelen çeşitli dalga boylarındaki elektromanyetik radyasyonunun etkisi altındadır. Bu gaz karışımının üzerine düşen elektromanyetik dalagaların, atom ya da moleküllerin elektronlarının sahip olduğu enerjinin artmasına sebep olur. Dolayısıyla elektron uyarılmış seviyeye geçerek, çekirdek etrafındaki yörüngelerden bir veya birkaç elektron uzaklaştırabilir. Eğer gelen elektromanyetik dalganın enerjisi elektronu dış yörüngeden tamamen

koparacak kadar büyük ise, atom ya da moleküle bağlı olan elektron, atomdan ayrılarak serbest yüklü elektron haline gelecektir. Elektronunu kaybeden atom ise pozitif yüklü iyon haline gelir. Atomun bu şekilde enerji kaybederek elektronunu kaybetmesi olayına foto iyonizasyon ve elektronun kaybolması için gereken enerjiye de iyonlaşma enerjisi denir.

Güneşten kuvantlar halinde yayılarak gelen ışınlar, yeryüzüne gelmeden önce etrafımızı saran atmosferden geçerek, yukarıda bahsedilen gaz karışımının içinden geçeceklerdir. Gelen güneş ışınlarının enerjisi yeterince yüksek ise oksijen ve azot molekülleri ile oksijen atomunu iyonize ederler.



Dünya atmosferinde bulunan atom veya molekülleri iyonize eden ışınların dalga boyları $1000 A^0$ den daha düşüktür. İyonizasyon sonucunda serbest kalan elektronlar, çarpışmalar sonucu kaybolmaktadırlar. Atom ve molekülleri iyonize eden ışığın kaynağı güneş olduğu için iyonların meydana gelişi ve ortaya çıkan elektronların kayboluşu sürekli bir şekilde devam edecektir. İyonosferde elektron yoğunluğu değişimi bu üretim ve kayboluş mekanizması ile orantılıdır. İyonların meydana gelişi ve elektronların kayboluşu arasında bir denge varsa, güneşin meydana getirdiği iyon üretimini q ile orantı sabitini de α ile gösterirsek N_e elektron yoğunluğu, N^+ da iyon yoğunluğu olmak üzere

$$\frac{dN_e}{dt} = q - \alpha N_e N^+ - \text{div}(N_i V_i) \quad (4.4)$$

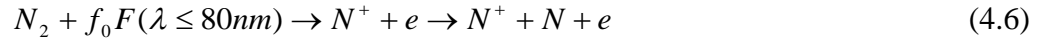
V_i : Birim hacme katılım / uzaklaşma hızını göstermektedir.

Ortam nötr olduğu için $N_e = N^+$ olacaktır. Dolayısıyla kayıp terimi N^2 ile orantılıdır. Bu denklemde α orantı sabitine elektron ile iyonun birleşme katsayısı (recombination coefficient) adı verilmektedir (Davies, 1968; Gümrükçü O., 2009).

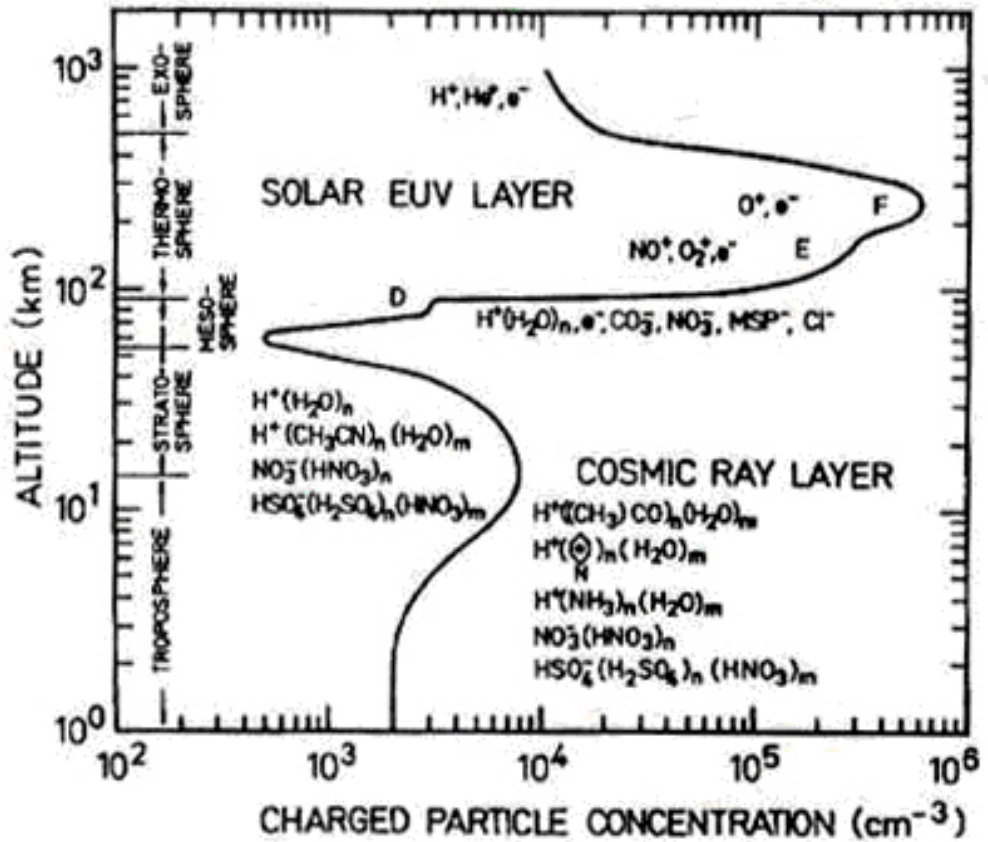
İyonosferin, ana kaynağının güneş olması nedeni ile, 24 saatlik bir periyodu, 27 günlük aktivite periyodu, 11 yıllık güneş aktivite periyotlarına sıkı sıkıya bağlıdır. Güneşin zenith açısından olan uzaklığı nedeni ile kış-bahar-yaz ayları olarak benzer şekilde farklı davranışlar gösteren kutup bölgesi, orta enlemler ve ekvator olarak da ayırmak mümkündür.

4.2.3.1 Fotoiyonizasyon

Yaygın olarak kullanılan fotoiyonizasyon denklemleri aşağıda verilmektedir:



Yüklü parçacıkların iyonosfer içinde yüksekliğe bağlı olarak dağılımı Şekil 13'de gösterilmektedir.



Şekil 13. Yüklü parçacıkların iyonosfer içinde yüksekliğe bağlı olarak dağılımı

Şekil 13’de gösterildiği gibi 0-10 km arası troposfer: 10-60 km arası stratosfer pek çok farklı bileşende kimyasal maddeleri de içerir.

Mezosfer (60-100 km arası), aynı zamanda D tabakasını oluşturur. Kimyasal bileşenler olarak CO₂, NO₂ ve hidrojen bileşenlerini de içerir. 100 km ile 500 km arası, E ve F tabakalarının bulunduğu ortamda (Termosfer) NO⁺, O₂⁺, e⁻ bileşenleri hakimdir. Ekzosfer (500 km’nin üzeri) H⁺, He⁺, e⁻ bileşenleri bulunmaktadır.

4.2.3.2 Chapman Tabakası

Güneşin zenith açısı (χ) ve yüksekliğe (h) bağlı olarak güneşin iyon üretimi $q(\chi, h)$ ‘Chapman fonksiyonu ve Rawer’ ile verilmektedir.

$$q(\chi, h) = q_{0mak} \exp\left\{1 - \frac{h - h_{mak}}{H} - Ch(\chi, h) \exp\left\{-\frac{h - h_{mak}}{H}\right\}\right\} \quad (4.8)$$

$$H(\text{ölçek yüksekliği}) = \frac{KT}{mg} \quad (4.9)$$

H_{mak} = iyon üretiminin maksimum olduğu yükseklik h, h_{mak} dan olan mesafe.

İyonosferde taşınma ve (elektron hızı), (iyon hızı olmak üzere) ve \vec{v} ortalama ötelenme hızı

$$\vec{v}_{drift} = \frac{\vec{E}_1 \times \vec{B}}{\|\vec{B}\|^2}, \text{dir.} \quad (4.10)$$

(uzaklaşma hızı) v_i ’ye nazaran kütlelerin çok küçük olması nedeniyle ihmal edilmiştir.

$$v(\text{difüzyon hızı}) = -D(h) \sin I \left(\frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dh} + \frac{Mg}{2KT} \right) \quad (4.11)$$

D: Plazma difüzyon katsayısı,

n_e: Elektron yoğunluğu,

M: İyon kütlesi,

g: Yer çekimi,

K: Boltzman katsayısı,

T: Mutlak sıcaklık (Kelvin),

I: Geomagnetik enlem,

B: Yermagnetik alanı,

E: Elektrik alan (İyon ve elektronların farklı yönlerde ötelenmesi nedeniyle meydana gelen polarizasyon elektrik alanı).

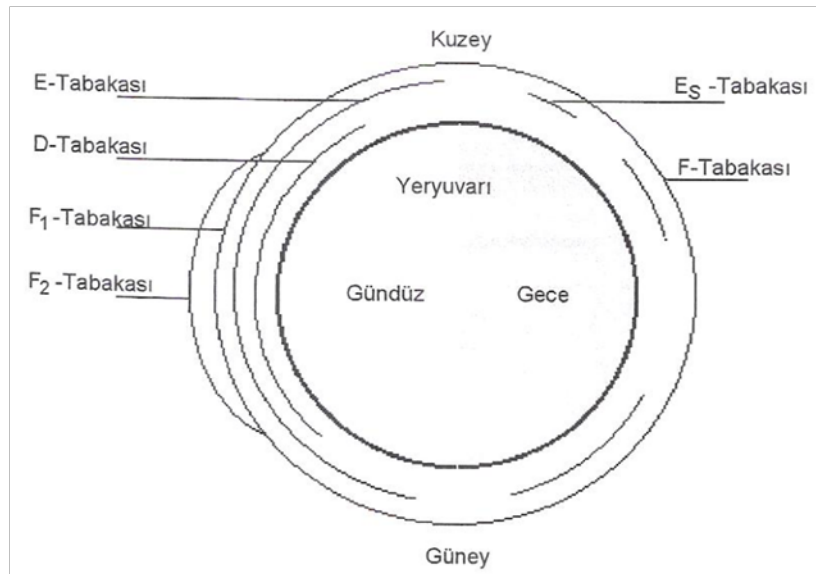
İyonosfer de özellikle 100 km'nin üzerinde difizyon'da n_e değişiminde etken bir faktördür.

4.2.4 İyonosferin Yapısı

Bu bölüm iyonosfer yapısı, iyonosfer tabakaları ve ölçüleri hakkında genel bilgileri içermektedir.

4.2.4.1 İyonosfer Tabakaları

Farklı dalga boylarına sahip olan güneş ışınının emilmesi ve değişik yüksekliklerdeki iyonlaşma farklılıkları, iyonosferin tabaka yapısını belirlemektedir. Şekil 11'de başlıca iyonosfer tabakaları gösterilmiştir. Bu tabakaların alt bölümleri ise bu kısımda değerlendirilmektedir. Bu bağlamda Şekil 14 gündüz ve gece için iyonosfer tabakalarını göstermektedir.



Şekil 14. İyonosfer tabakaları (Wild,1994)

D Tabakası: Bu tabaka yer kabuğundan itibaren 60-90 km arasındaki yükseklikte yer almaktadır. İyonlaşmanın en az olduğu katmandır. Bu katmanda iyonlaşma yüksek enerjili X ışınları ile gerçekleşir. Yükseklik arttıkça serbest elektron miktarı artar. Güneşin doğmasının hemen ardından D tabakasında iyonlaşma gerçekleşir. İyonlaşmanın etkisiyle uzun dalga ve orta dalga bandındaki sinyaller, D tabakası tarafından zayıflatılır. Gece ise serbest elektron ve iyonların birleşmesiyle bu katman kaybolur. Bu bölgenin GPS ölçülerine etkisinin olmadığı kabul edilir (Parkinson ve Spilker, 1996).

E Tabakası: E tabakası yer kabuğundan 90-150 km arasındaki yüksekliktir. Sinyaller üzerinde kırınım etkisi yaratan E tabakasının zayıflatma etkisi D tabakasına göre oldukça azdır. E tabakasındaki iyonizasyon büyük oranda düşük enerjili X ışınlarıyla oluşmaktadır. Daha güçlü bir E tabakası yüksek iyonlaşmanın olduğu alanlarda oluşur ve düzensiz E_s (Sporadic) tabakası olarak adlandırılır. Bu tabakanın etkisi ile 10 MHz üzerinde frekansa sahip olan sinyaller iyonosferden yansır ve 1000 km'nin üzerinde yol alabilir.

F Tabakası: Yer kabuğundan 140 - 150 km yükseklik ötesinde bulunan tabakadır. F tabakası F₁ ve F₂ olmak üzere 2 kısım da incelenmektedir ve bu tabaka güneşin mor ötesi ışınlarıyla oluşmaktadır.

F₁ Tabakası: GPS sinyalinin iyonosferde gecikmesinin %10'u bu katmandan kaynaklanmaktadır (Parkinson ve Spilker, 1996). Yapısı düzenli olup güneşteki değişimler ile kontrol edilmekte, yeryüzünden 140-200 km yükseklikte bulunmaktadır.

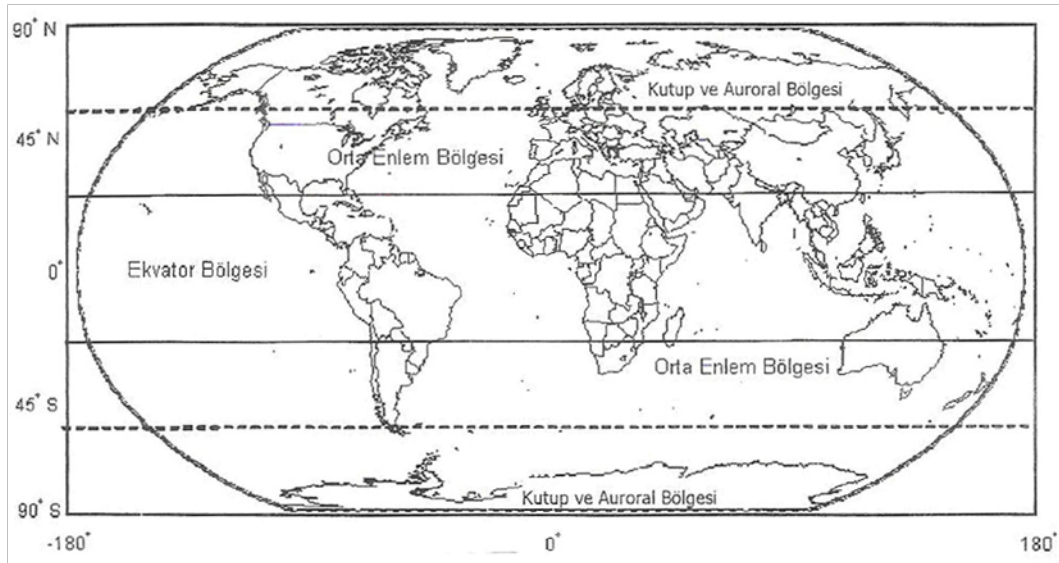
F₂ Tabakası: Düzenli bir yapıya sahip olan tabaka yeryüzünden 200-1000 km yükseklikte bulunmaktadır. GPS ölçülerine en çok etki eden bu tabakadır. Global ölçekte F₂ tabakasındaki elektron yoğunluğunda yıllık değişimler olur. Elektron yoğunluğu Haziran ayında, Aralık ayına göre % 20 daha fazla olmaktadır. Bunu güneşin parlamasındaki %6'lık saçılma ile açıklamak mümkündür (Parkinson ve Spilker, 1996).

Güneş fırtınası, güneş ve dünya arasındaki uzaklık değişimine bağlı olarak ocak ayında maksimum düzeye ulaşır. F₂ tabakasının elektron yoğunluğu geceleri düzensiz olarak azalır. Bu tabaka kutup bölgelerinde farklı değişimler gösterir.

F₂ tabakası ekvator bölgesinde çok düzensizdir; gece saatlerindeki elektron yoğunluğu, öğle saatlerindeki düzeyinden fazla olabilmektedir (Wild, 1994). En yüksek elektron yoğunluğu 350 km yüksekte bulunmaktadır.

4.2.5 Enlemlere Göre İyonosfer Bölgeleri

İyonosfer, coğrafi enleme göre üç ana bölgeye ayrılmaktadır; bunlar Ekvator bölgesi, orta enlem bölgesi ve kutup bölgesidir (Şekil 15). Bilimsel çalışmalarda bu bölgeler temel alınmaktadır.



Şekil 15. İyonosfer bölgeleri (Gizawy, 2003)

4.2.5.1 Ekvator Bölgesi

Ekvatorial bölge en yüksek elektron yoğunluğunun olduğu, sinyalin genliği ve fazı sıkça değişen bir bölgedir. Güneşin yüksek radyasyon seviyesi ve dünyanın manyetik alanıyla elektronlar ekvatorial bölgeye doğru hareket ederler. Bu durum elektron yoğunluğunun yükselmesine neden olur ve ekvatorial anomali olarak adlandırılır. Bu anomali ekvator da bölgesel elektrik alanına neden olan ve global gel-git

rüzgarlarıyla kontrol edilen, E tabakasının dinamosu ile değişmektedir (Gizawy, 2003).

4.2.5.2 Orta Enlem Bölgesi

Orta enlem bölgesi iyonosferin en sakin ve en az değişken bölgesidir. Bu bölge yatay manyetik alan etkilerine uzaktadır. İyonosferi inceleme istasyonlarının büyük bölümü orta enlem ülkelerinde yer aldığından iyonosfer ile ilgili en fazla araştırma orta enlem bölgesinde yapılmaktadır. Türkiye de bu bölgenin içinde yer almaktadır (Komjathy, A., 1997).

4.2.5.3 Kutup ve Auroral Bölgesi

Kutup bölgesi, aurora bölgenin üzerindeki enlemlerde bulunur. Bu enlemlerde manyetik alan çizgileri, güneş rüzgârı plazmasını kutup bölgesine aktarır. Bunun sonucu olarak 50 km-1000 km uzunluğunda geniş kümeler biçiminde yoğun elektron grupları oluşmaktadır. Bu kümeler içerisinde parlamalar (scintillation) meydana gelir. Kutup bölgesindeki yoğun elektron kümeleri 250-400 km yüksekliklerde, F₂ tabakasında bulunmaktadır (Gizawy, 2003).

Kuzey yarımkürede aurora borealis, güney yarımkürede aurora australis olarak adlandırılan aurora (Kutup Işığı), üst atmosferde (10 km-1000 km) meydana gelen olağan dışı parlak ışımaya olayıdır. Işımanın nedeni havadaki atomları harekete geçiren güneşten gelen yüklü parçacıklardır (Roy ve Clarke, 1982).

Auroral bölge, kuzey enlemlerde görülmekte olup zenginleştirilmiş üretken enerji yüklü parçacık yağışı (precipitation) anlamına gelmektedir. Bu bölge yaklaşık 55° ile 65° coğrafi enlemleri arasında yer almaktadır. Ortalama genişliği 5° ile 7° olup, bu genişlik manyetik fırtına olduğunda daha da artmaktadır. Auroral bölge Kanada, Alaska, Kuzey Avrupa ve Rusya'nın sadece bir bölümünü kapsamaktadır. Yüklü parçacıklar çok güçlü ise aurora görünür ve TEC'in düzensiz değişimine neden olurlar.

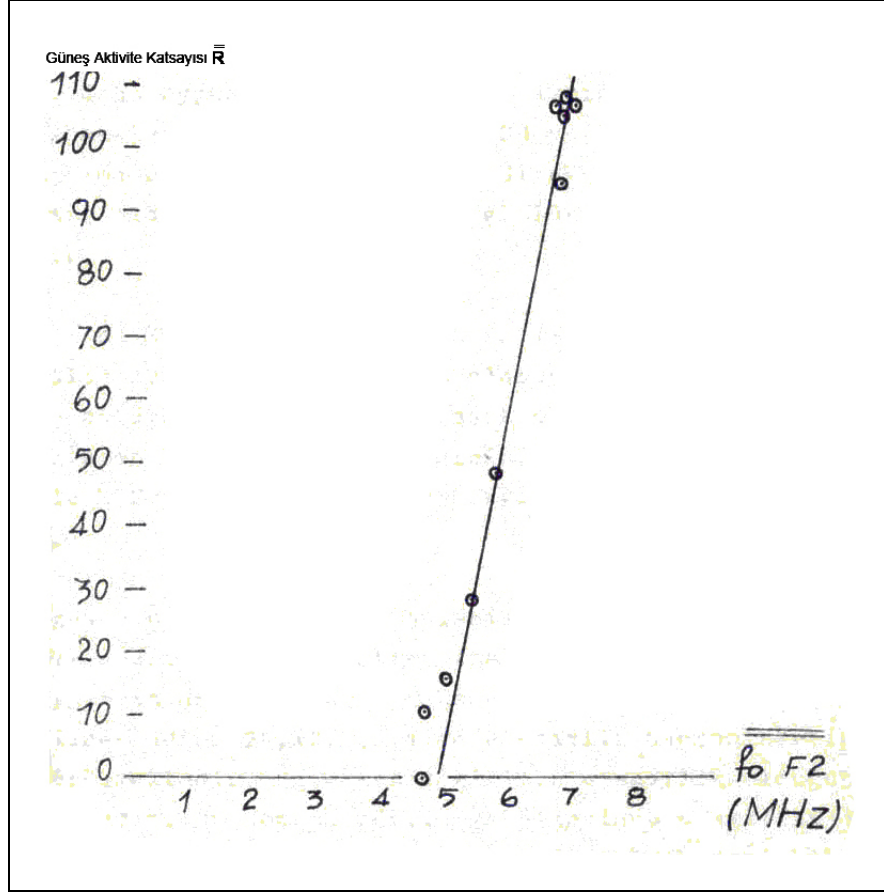
4.2.6 Güneş Aktivitesi

Güneşin ultraviyole dalgalarındaki değişim (solar flux), iyonosferin çeşitli bölgelerinde iyonlaşmaya yol açar. Dalga ışınımı ve parçacıklı ışınım nedeniyle oluşan bu iyonlaşma güneşin aktivitesinin bir fonksiyonudur. Güneşin ultraviyole enerji üretimi değişkendir; yaklaşık 11 yılda bir maksimum olmaktadır. (Parkinson ve Spilker, 1996).

Güneşin ultraviyole dalgalarındaki değişimin ölçümü iyonosfer tabakasında yapılır. Çünkü iyonosfer bütün ultraviyole dalgalarını emmektedir Başka bir deyişle güneşin ultraviyole aktivitesi ile oluşan iyonlaşma güneş lekeleri sayıları ile korelasyonludur. Uluslararası güneş aktivite katsayısı R ile iyonosfer doğrudan bağlantılıdır. Şekil 16'da İstanbul kayıtlarından R ile f_oF_2 arasındaki korelasyon açık şekilde görülmektedir.

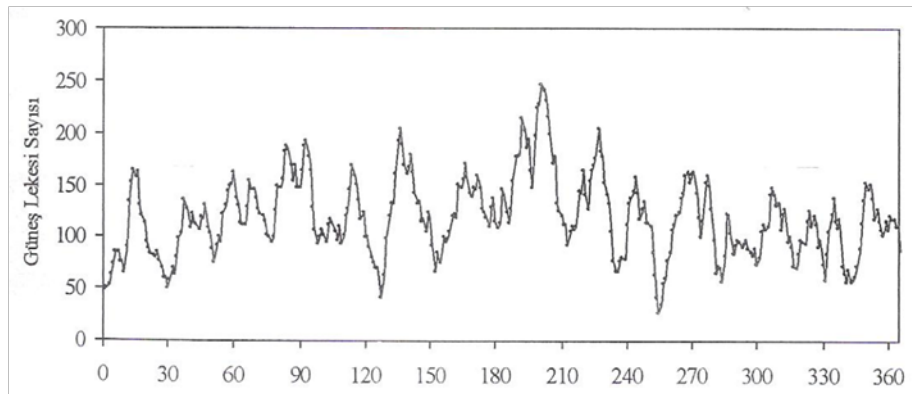
4.2.6.1 Güneşin Aktivite Katsayısı (R)

Güneş lekeleri, güneş yüzeyi üzerinde yoğunlaşan manyetik alanlardır. Siyah bölgeler olarak görülen bu lekeler geçici olaylardır; günler hatta haftalar boyunca izlendikten sonra yok olurlar. Şiddetli manyetik alanlar, güneş yüzeyinde belirdiğinde güneş lekeleri ortaya çıkar ve buldukları alanın sıcaklığını $6000^{\circ}C$ 'den $4200^{\circ}C$ 'ye düşürürler. Bu nedenle lekenin bulunduğu alan diğer bölgeye göre daha koyu görülmektedir. Güneş lekelerinin manyetik alan yapısı ne kadar karmaşıkça patlama üretme olasılıkları da o kadar yüksek olur (Bulat T.,1976).



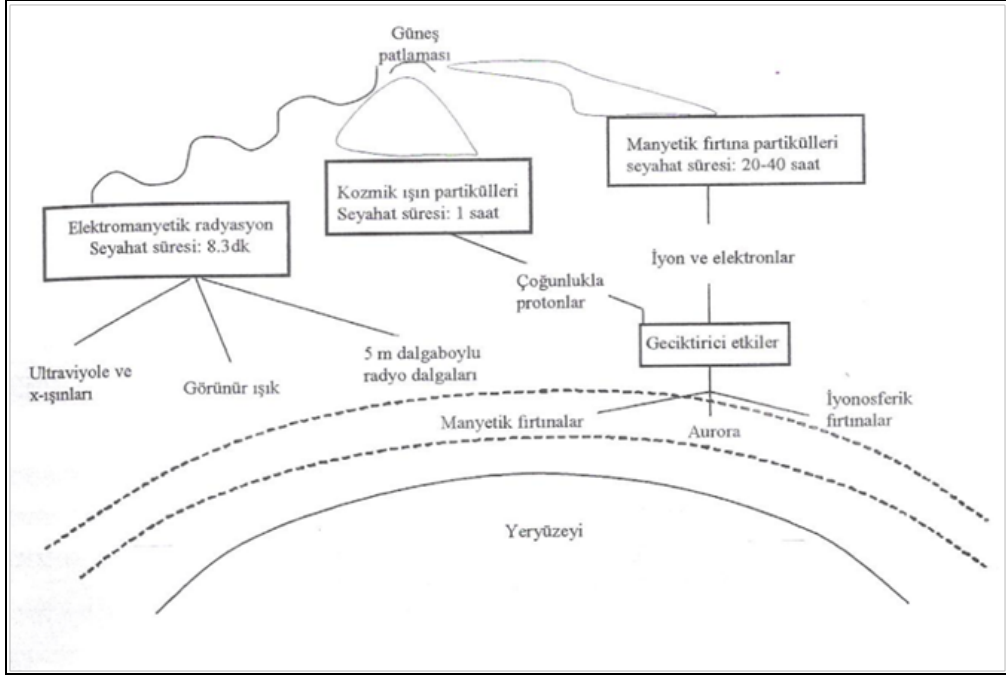
Şekil 16. İstanbul'da yapılan ölçümlerde güneş aktiviteleri ile f₀F₂ (N_{f2}=1.24.10¹⁰.(f₀F₂)² e /m³) arasındaki korelasyon (Bulat T., 1976).

2000 yılına ait güneş lekeleri sayıları Şekil 17'de örnek olarak verilmektedir. Güneş lekelerinin sayısı ortalama 11 yıllık dönemler halinde düzenli olarak artar ve azalır. Güneş lekeleri sayısının zaman serisi, iyonosferik aktivitenin 11 yılda bir en yüksek değere ulaştığını göstermektedir (Hugentobler, vd., 2001).



Şekil 17. 2000 Yılına İlişkin Güneş Leke Sayıları

Uzayda dünya ve çevresi elektriksel bir jeneratöre benzetilebilir. Bu jeneratör güneş rüzgârı, magnetosfer ve iyonosfer ortasında yer almakta ve milyarlarca kilowatt enerji üretmektedir. Proton ve nötronların güneş tarafından dışarı atılması nedeniyle oluşan güneş rüzgârı dünyanın manyetik alanını güneşe doğru itmekte veya çekmektedir (Şekil 18).



Şekil 18. Güneş patlamasının etkileri (Arslan, N., 2004)

Güneşin aktivitesi ile manyetik fırtına arasındaki korelasyon, dünyanın atmosferik yoğunluğu, manyetik alan ve atmosferik elektrik aktivitesinde değişimlere yol açar. Solar radyasyon nedeniyle hava yoğunluğunda oluşan dalgalanmalara ek olarak, yüklü parçacık akımları atmosfere çarpar ve sert manyetik fırtınalara, hava yoğunluğunda değişimlere ve auroral ışıklara neden olur.

Manyetik fırtınalar, dünyanın manyetik alan gücündeki ani değişimler nedeniyle oluşmaktadır. Bu değişimin nedeni güneşten gelen parçacıklı radyasyondur. Manyetik fırtınalar GPS gibi radyo iletişim sistemlerini etkilemektedir. Manyetik fırtınaların auroradaki etkisi ışık demeti biçimindedir.

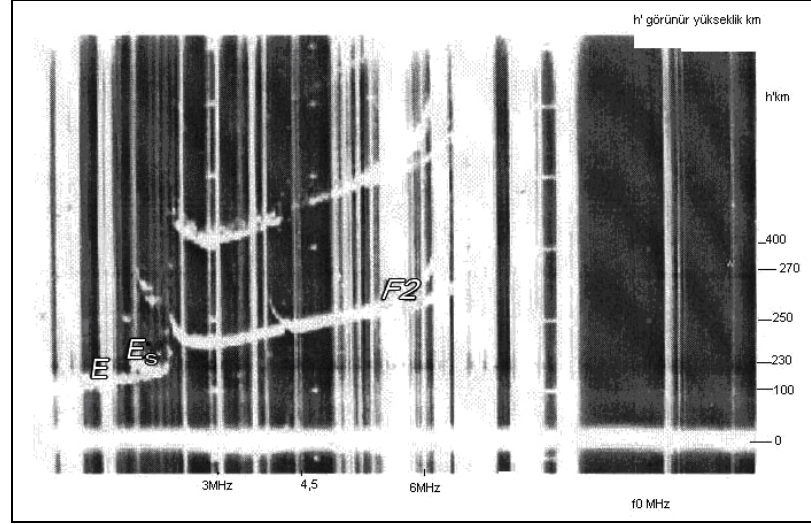
4.2.7 İstanbul İyonosfer İstasyonu Ölçümleri

Kısaca genel oluşum mekanizmasını anlattığımız iyonosfer, sürekli değişim halindedir. İyonosferin bu değişken yapısı, ionogram dataları ile ayrıntılı bir şekilde incelenebilmektedir.

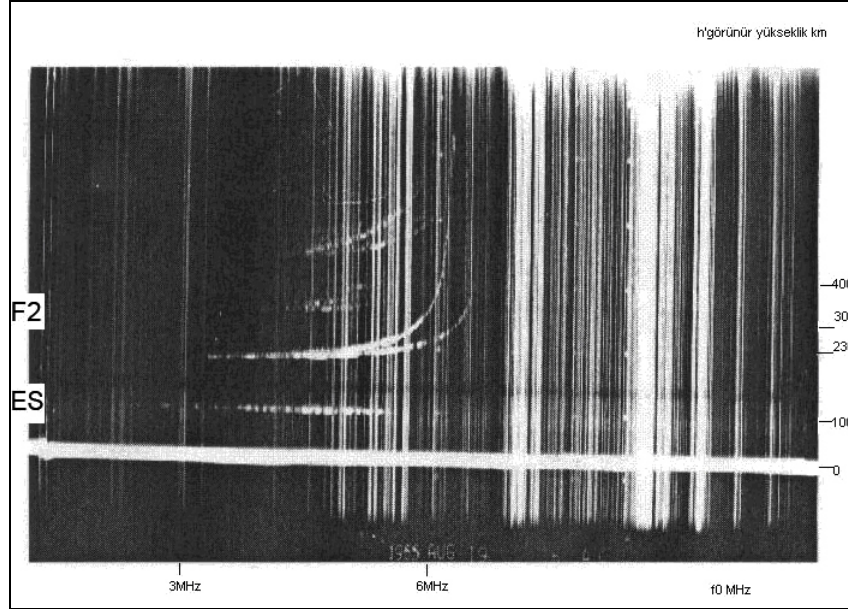
Bu kısımda İstanbul üzerindeki iyonosferin değişiminin ionogram datalarıyla incelenmesi sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi yapılmaktadır.

NATO tarafından kurulan İstanbul İyonosfer Araştırma İstasyonu tarafından yapılmış olan ölçümlerden bazı örnekler aşağıdadır. Bu veriler halen WDC (World Data Center Washington D3)'de muhafaza edilmektedir (Bulat T., 1976).

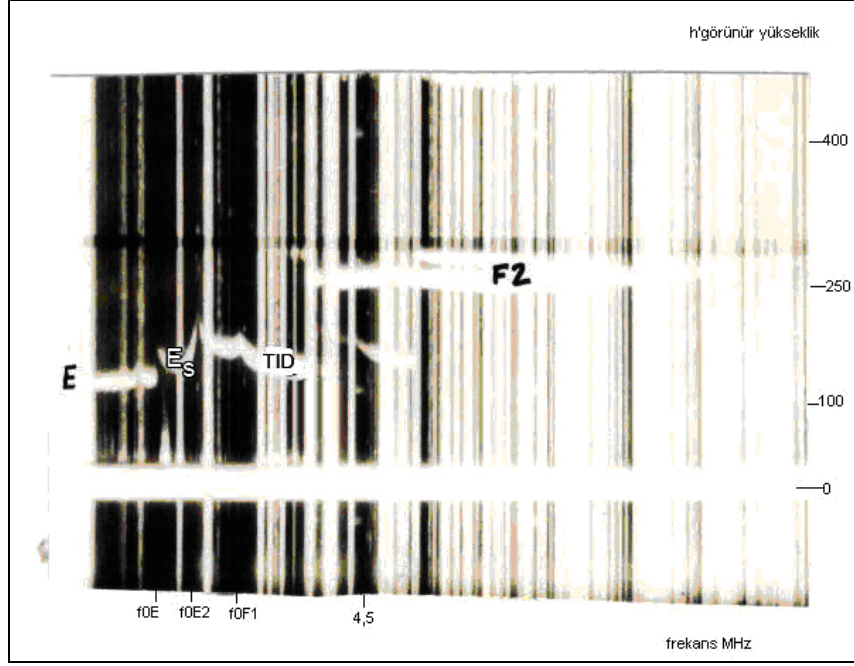
Şekil 19 ve Şekil 20 Ağustos 1966 ayına ait gündüz ve gece iyonosfer kayıtlarına örnektir. Yatay eksen frekansı, elektron yoğunluğunu ($N_e / m^3 = 1.24 \times 10^{10} f_0^2$; *frekans MHz*), dikey eksen ise yeryüzünden itibaren yüksekliği göstermektedir. Şekil 19' da E ve F₂ tabakaları da görülmektedir. E tabakasının kiritik frekansı 2.7 MHz elektron yoğunluğu $N_e = 54 \times 10^{10} e / m^3$, F₂ tabakasının kritik frekansı 6.8 MHz elektron yoğunluğu $N_{F_2} = 9.10^{10} e / m^3$ olarak okunmaktadır. E_s tabakasının görünmez yüksekliği h; 120 km den, F₂ tabakasının alt yüksekliği 230 km, maksimum yüksekliği 270 km olarak ölçülmektedir. Şekil 20 gece ionogram kayıdır. F₂ tabakasının alt sınırı 230 km, maksimum elektron yoğunluğunun bulunduğu görünür yükseklik 300 km olarak ölçülmektedir. Maksimum elektron yoğunluğu ($\approx 6 MHz$) e / m^3 tür. 100km yükseklikte ise E_s (sporadic E=E_s) tabakası gözlenmektedir. Yarı geçirgen bir tabaka olan E_s çok hızlı değişken elektron yoğunluğuna, gece ve gündüz oluşabilme özelliğine sahip bir tabakadır.



Şekil 19. Gündüz İyonsfer (Bulat T., 1976)



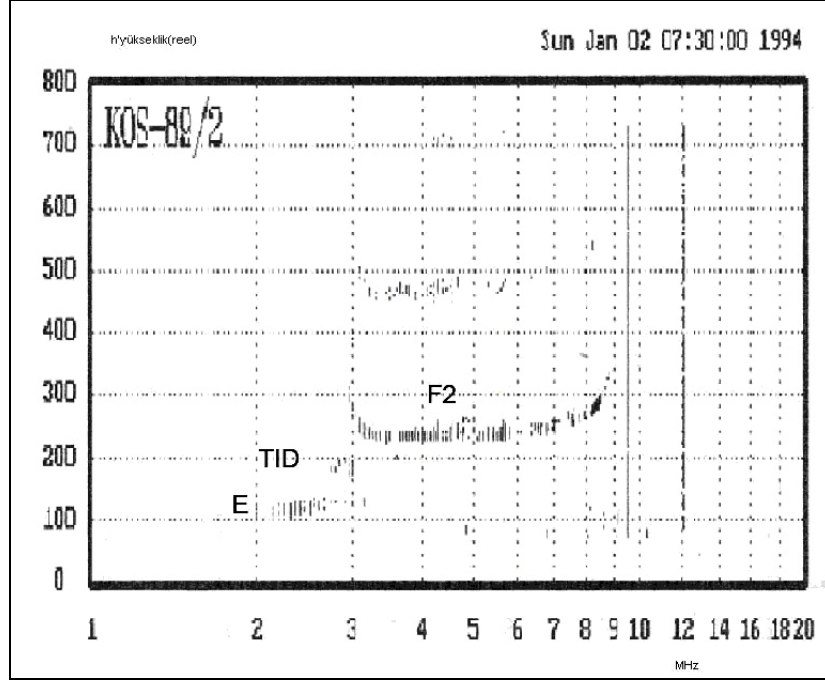
Şekil 20. Gece İyonsfer (Bulat T.,1976)



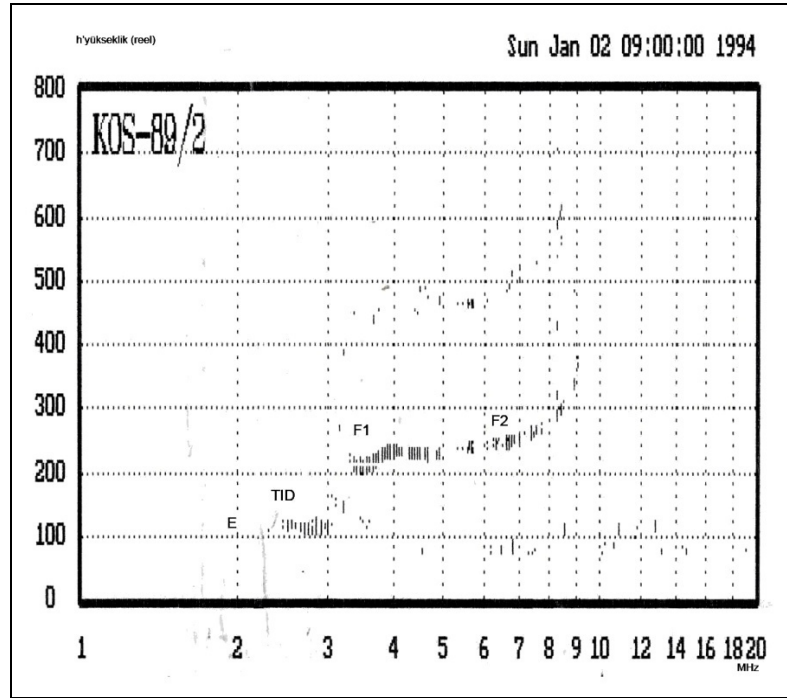
Şekil 21. E₂, F₁, F₂ ve TID iyonogramı (Bulat T.,1976).

Şekil 21 E_s , F_1 , F_2 ve TID (Travel Ionospheric Disturbance / Gezici İyonosferik Bozucu Etki) dalgalanmalarına ait çok ilginç bir iyonogramdır. E tabakasının hemen üzerinde E_s tabakalanması vardır. TID ise yukarıdan aşağıya doğru hareket eden (gravite dalgaları) bozukluktur ve çoğu zaman 100 km de yoğun E_s tabakalanmasına neden olmaktadır.

İyonosferde elektron yoğunluğu değişimleri hızlıdır. (4.4) bağıntısındaki $\text{div}(N_i V_i)$ terimi elektron yoğunluğu değişiminde en etkili faktördür. F bölgesinde saatte hızı 400 km nin üzerinde olan rüzgarlar vardır. Ayrıca E bölgesinde akan elektronlar yer magnetik alanı değişimini meydana getiren dinamo sistemini oluşturmaktadırlar. Buna örnek olarak “digi sonda” ile 2 şubat 1994 de yapılan 07.30 ,09.00 ve 10.00 da aynı noktada (NATO İyonosfer İstasyonu, İstanbul) üç ayrı ölçüme ait iyonogramlar Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24’de gösterilmektedir (Bulat T., 1976). Yatay eksen f_0 ’yu (MHz) düşey eksen gerçek yükseklikleri göstermektedir. Şekil 22’ de E, TID ve F_2 tabakaları görülmektedir.

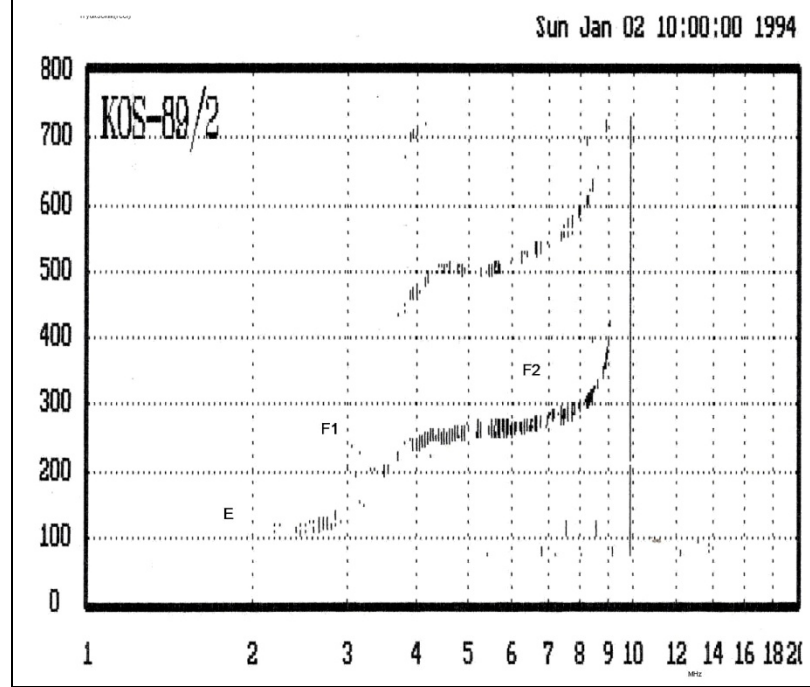


Şekil 22. 2 Haziran 1994 (Saat 07:30)'da Diji-Sondayla kaydedilen ionogramlar



Şekil 23. 2 Haziran 1994 (Saat 09:00)'da Diji-Sondayla kaydedilen ionogramlar

Şekil 23'de saat 9.00 da yapılan ölçümde E, TID, F₁ ve F₂ tabakaları seçilebilmektedir. F₁ tabakası henüz tam tabaka şekline geçmemiştir. Burada f₀E=3.1MHz, f₀F₁=4MHz, f₀F₂=9MHz'dir.



Şekil 24. 2 Haziran 1994 (Saat 10:00)'da Dijital-Sondayla kaydedilen ionogramlar

Şekil 24 saat 10.00 daki kayıttır. E, F₁ ve F₂ tabakaları seçilmektedir. f₀E=3.1MHz, f₀F₁=4.3MHz, f₀F₂=9MHz'dir

4.2.8 İyonosfer Tabakalarında Meydana Gelen Düzensiz Değişimler

Sinyal yolu üzerinde bulunan iyonosfer ya da bunun bir parametresi olan TEC, serbest elektronların sayısına bağlı olarak değişir. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi serbest elektronların sayısı ise zaman, iklim koşulları, coğrafi enlem, güneş ve jeomanyetik değişim gibi etkenlere bağlıdır (Parkinson ve Spilker, 1996).

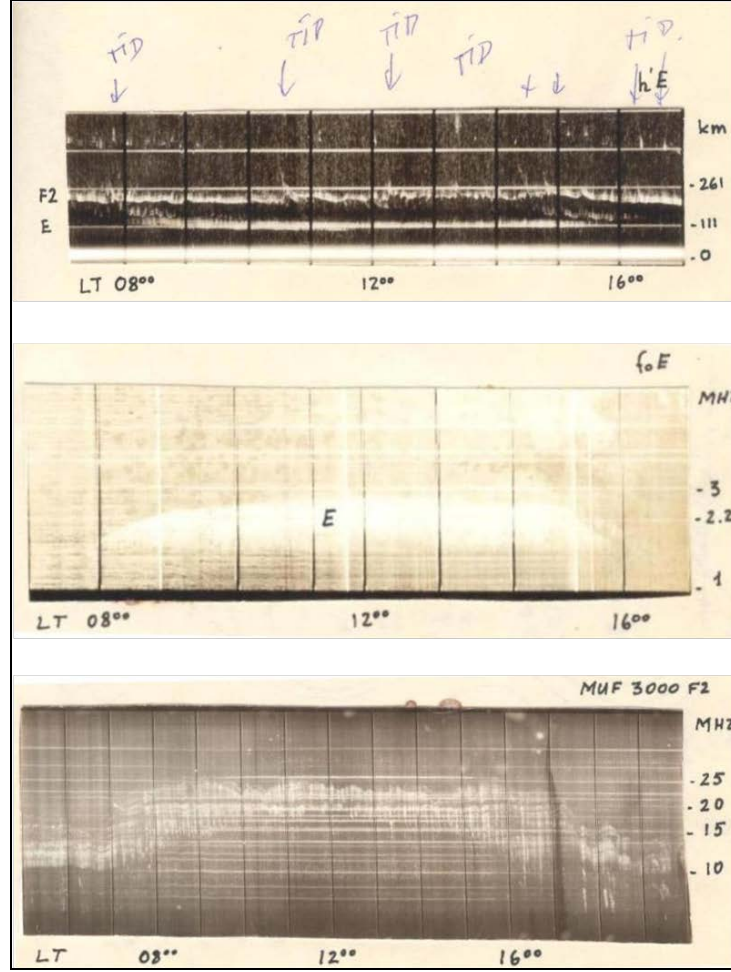
Gezici İyonosferik Bozucu Etki (TID): Gezici iyonosferik bozucu etki, nötr atmosfer ile iyonosfer arasındaki etkileşim, manyetik fırtınalar ve güneş parçacık olayları nedeniyle ortaya çıkmakta ve TEC'de düzensiz değişimlere neden olmaktadır.

Geniş Ölçekli TID: 30 dakikadan 3 saate kadar olan zaman aralığında ve 1000 km'lik bir alan içerisinde etkili olan düzensiz değişimlerdir (Schaer, 1999; Zhang ve Xiao, 2002).

Orta Ölçekli TID: 10 dakikadan 1 saate kadar olan zaman aralığında ve 100-200 km'lik bir alan içerisinde ortaya çıkan düzensiz, iyonosfer değişimleridir. Orta ölçekli TID orta enlem bölgelerinde daha sık meydana gelmektedir (Wanninger, 1999; Rieger ve Leitinger, 2002).

Küçük Ölçekli TID: Birkaç dakika süreli, anlık değişimlerdir. İyonosferdeki etki alanı 10-20 km civarındadır. Parlama etkisi olarak da adlandırılan bu etki orta enlemlerde az, kutup ve ekvatorunda oldukça fazla olmaktadır (Warnant, 1998; Warnant ve Pottiaux, 2000).

Şekil 25'de İstanbul üzerinde kaydedilen TID değişimi görülmektedir.



Şekil 25. İstanbul'da kaydedilen İyogramlarda gözlenen kısa süreli ve uzun süreli değerler (1965-1984 İ.Ü.F.F)

Diğer bir iyonosfer olayı da parlamadır. Parlama olayı GPS sinyallerinde iki tür etkiye neden olur; bunlar genlik parlaması (amplitude scintillation) ve faz parlamasıdır (phase scintillation). Genlik parlaması, iyonosferde oluşan düzensizliklerin kırılma etkisine yol açması nedeniyle ortaya çıkan kısa dönemli sinyal zayıflamasıdır. Bu etki GPS alıcısının izleme kapasitesi üzerinde kuvvetli bir baskı oluşturur. İyonosferdeki düzensizlikler nedeniyle sinyal azalabilir veya güçlenebilir. Bunun GPS kullanıcılarına bir yararı yoktur. Sinyal zayıflaması çok şiddetli olursa alıcıya kilitlenme için gerekli eşik değerin çok altına düşülür; faza kilitlenme tekrar oluşuncaya kadar kısmen ya da tamamen faz kaybı olur. Faz sıçraması her iki frekans için de meydana gelmektedir (Ayan, T., Aksoy, A., 1987).

Eğer sinyal yolu üzerindeki elektron sayısı hızla değişirse (scintillation), taşıyıcı fazlar değişime uğrar ve alıcının bu fazları izlemesi zorlaşır. L1 sinyalindeki 1 radyanlık değişim alıcının izleme devresinde sorun oluşturmak için yeterli olmaktadır. Böyle bir durumda alıcı, uydudan gelen sinyali izleyemediğinden faz sıçraması ortaya çıkar. L2 taşıyıcı fazındaki sıçrama L1'dekine göre fazladır. Bunun nedeni, sinyal yapısının zayıf olmasıdır. Bu zayıflık iyonosferdeki hızlı değişim etkisini incelemeye kullanılabilir (Stewart ve Langley, 1999). Küçük ölçekli TID, tamsayı belirsizliğinin çözümünde sorun yaratır.

4.2.9 İyonosfer Tabakasında Düzensiz Değişimler ile Bağlantılı Ölçütler

Güneş'te meydana gelen aktivitelerin etkisi sonucunda Dünya'nın manyetik alanının etkilenmesi ve buna bağlı olarak iyonosferdeki elektron yoğunluğunda meydana gelen ani değişimler, çeşitli kriterlere bağlıdır (Kp indisi, Ae indisi, Dst indisi ve Te indisi). Bunlardan Kp ve Dst indisleri iyonosferdeki değişimleri de incelememize yardımcı olmaktadır. Şimdi bu kriterlerin neler olduğuna bakalım:

Kp İndisi: J. Bartles tarafından tanımlanmış olan ve gezegenin manyetik etkileri belirleyen Kp indisi güneş parçacıklarının ışınımından kaynaklanan jeomanyetik alandaki düzensiz bozulmaların incelenmesinde kullanılmaktadır.

Kp indisi, iyonosfer içine doğru ilerleyen elektrik akımlarının bir göstergesi olarak tanımlanabilir. Dünya üzerinde değişik enlemlerde yer alan manyetometre istasyonları, bu elektrik akımlarının etkisiyle Dünya yüzeyindeki manyetik alanda meydana gelen normal olmayan değişimleri saptayarak, manyetik etkinlik şiddetine göre 3'er saatlik dilimler halinde ölçülmektedirler.

Manyetik etkinlik göstergesi olan Kp indeksi 0' dan 9' a kadar olan bir skalada ölçeklendirilmektedir. Bunu, manyetik etkinlik süreçlerinde görülen, aurora dediğimiz, parçacıkların ışınmalarından kaynaklanan ve gökyüzünde görülen renkli halelerin gözlemlendiği enlemlerle ilişkilendirebiliriz. Kp indeksi bilgisinden faydalanarak auroraların görülebileceği enlemler Tablo 3' de belirtilmiştir.

Tablo 3. Kp ve auroraların görüldüğü enlem arasındaki ilişki
(noaa.gov)

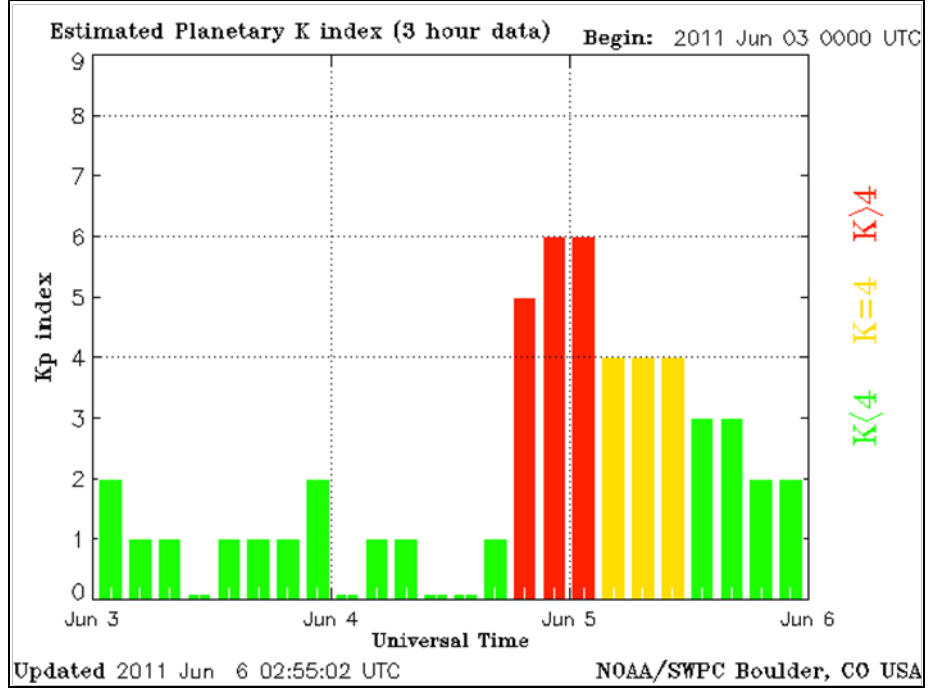
Kp	Aurora'nın gözlemlenebildiği manyetik enlem
0	66.5
1	64.5
2	62.4
3	60.4
4	58.3
5	56.3
6	54.2
7	52.2
8	50.1
9	48.1

Bu tablodan da görüldüğü gibi Kp değeri arttıkça auroraların görüldüğü manyetik enlem azalmaktadır. Bu aynı zamanda iyonosfere geçen Güneş rüzgarı enerjisinin de ne kadar güçlü olduğunun bir göstergesidir.

Ölçüm yapan istasyonlar auroral elektrojet akımlarından etkilenmediği sürece durum manyetik sakinlik (magnetically quiet) olarak ifade edilir. Eğer auroral bölge ekvatora doğru görülmeye başlarsa, elektrojet akım sisteminde, manyetosferik çember akımında ve sıralı alan akımlarında meydana gelen değişimlerin iyonosfere etkisi istasyonlar tarafından kaydedilecektir. Bu durum manyetik fırtına (magnetically disturbed) durumu olarak adlandırılır.

Bir durumun manyetik fırtına olarak adlandırılması kritik Kp değerinin belirli bir aralıkta sınırlandırılması ile yapılır. Bu kritik değer yapılan çalışmaya zamana ve konuma göre değişiklik gösterebilir. Örneğin daha önce yapılan bir çalışmada kriterler şu şekilde belirlenmiştir (Tulunay, Y., Tulunay E., Şenalp E.T., 2001): Gece saatlerinde manyetik sakinlik durumu için $Kp \leq 2$ şartı sağlanmalıdır. Manyetik fırtına durumları için $Kp > 2$ kriteri kabul edilebilir. Gündüz saatleri için manyetik

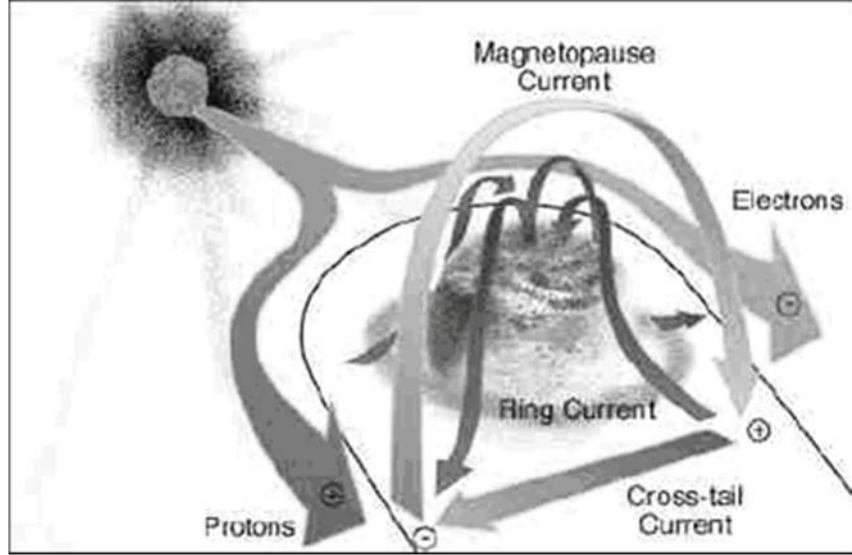
fırtına koşulu $K_p \geq 3$, iken manyetik sakinlik $K_p < 3$ durumunda gerçekleşmektedir. Bunun nedeni, gündüz saatlerinde Güneş'in etkin olmasından doğal bir rahatsızlık durumu gerçekleşir. Bu yüzden kriter sınırları yükselmektedir. Şekil 26' de K_p 'nin yerel saate göre değişimini gösteren 03.06.2011 ve 06.06.2011 tarihlerini kapsayan örnek bir grafik görmekteyiz. Söz konusu şekilde görüldüğü üzere burada kritik K_p değeri 4 olarak belirtilmiştir.



Şekil 26. K_p indeksinin 3' er saatlik zaman aralıklarındaki değişimi (noaa.gov)

Ae İndisi: Ae indisi, aurora elektrojet indisi olup yerel zaman ve enleme göre değişik şekilde (kuzey yarımküre aurora bölge) konumlanmış istasyonlar tarafından elde edilmektedir. Her istasyon kuzey-güney manyetik rahatsızlık değeri olan H' yi universal zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeder. İstasyonlardan alınan bu data ların süperpozisyonu ile H komponentinin maksimum negatif kararsızlık değeri tespit edilir. Bu AL olarak adlandırılır. Aynı şekilde H komponentinin maksimum pozitif kararsızlık değeri bulunur (AU). Bu iki değer arasındaki fark Ae indeksini meydana getirir. Ae indeksinde günlük nominal seyir dışında oluşan kararsızlıklar manyetosferik önfırtınalar (magnetospheric substorms) olarak adlandırılır ve 10 dakikadan birkaç saate kadar sürebilir (Ratcliffe, J.A., 1970).

Dst İndisi: Dst (Disturbance Storm Time) indeksi her saat için ekvator bölgesinde konumlandırılmış istasyonlar tarafından belirlenir. Bu enlemlerde manyetik fırtınanın çember akım şiddetine (magnetospheric ring current) bağlı olarak değişir. Dst indeksi bu rahatsızlığın direkt ölçüsüdür. Büyük negatif rahatsızlıklar (değişimler), çember akımının şiddetinde meydana gelen ani bir artışın göstergesidir. Bu artışın eski haline düşmesi saatler hatta günler sürebilir. Bu periyot içindeki değişikliği manyetik fırtına (magnetic storm) olarak adlandırıyoruz. Bu fırtına süresince Ae indeksinde de kesikli ya da sürekli ön fırtına belirtileri görülür. Dst olarak bilinen bu indeks, bize manyetik fırtınanın ne kadar şiddetli olduğu konusunda bilgi verir. Nano Tesla mertebesinde ölçülen bu değerler Dünya' nın manyetik alanının yatay bileşeni olan H komponentinin ortalama değeri olarak her saat başı hesaplanmaktadır.

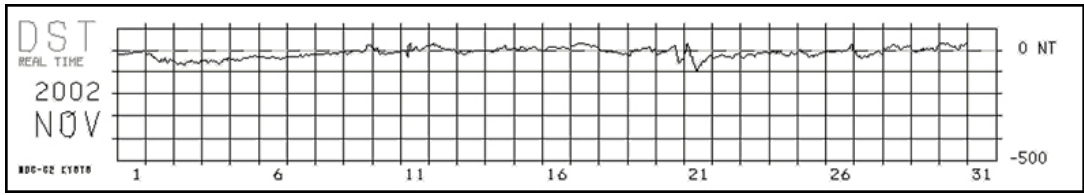


Şekil 27. Manyetosfer tabakası ve Güneş'in etkisiyle oluşan akımlar

Güneş rüzgarları Dünya' nın manyetosferi üzerinde büyük rahatsızlıklar yarattığı zaman manyetik fırtınalar gelişmektedir. Bunun sonucunda Şekil 27'de gösterildiği gibi ring current olarak belirtilen kısımda bir enerji artışı olacaktır. Düşük enlemlerdeki yüzey manyetik alanının gücünü belirten Dst indeksi, ring current üzerindeki enerji artışıyla ters orantılıdır. Bir manyetik fırtına durumunda ilk olarak Dst indeksi ani bir yükseliş gösterir ve daha sonra keskin bir şekilde azalmaya başlar. Bu azalma, ring current daki enerji artışıyla birlikte devam eder. Manyetik fırtınanın etkisi geçip ring current eski haline döndüğü süreçte Dst indeksi tekrar sakin haldeki

konumuna dönmeye başlar. Dst indeksinin büyük negatif değerleri göstermesi büyük bir manyetik fırtına olduğu anlamına gelmektedir (Sümer, Yalçın F., 2004).

Dünya'nın yüzeyindeki manyetik alan gücü yaklaşık 50.000 nT (nanoTesla) kadardır. Bu değer yanında çok küçük bir sapma olan -100 nT büyük bir manyetik fırtına için yeterli bir değerdir. Karpachev'in yaptığı çalışmada belirttiği üzere; Şubat 1986 yılında meydana gelen ve iki gün süreyle gelişen güçlü bir manyetik fırtınada Dst değeri -312 nT' ya kadar ulaşmıştır. Bu sakin durumun yaklaşık 16 katıdır (Sümer, Yalçın F., 2004).



Şekil 28. Kasım 2002 tarihine ait örnek: bir Dst indeksi değişim grafiği

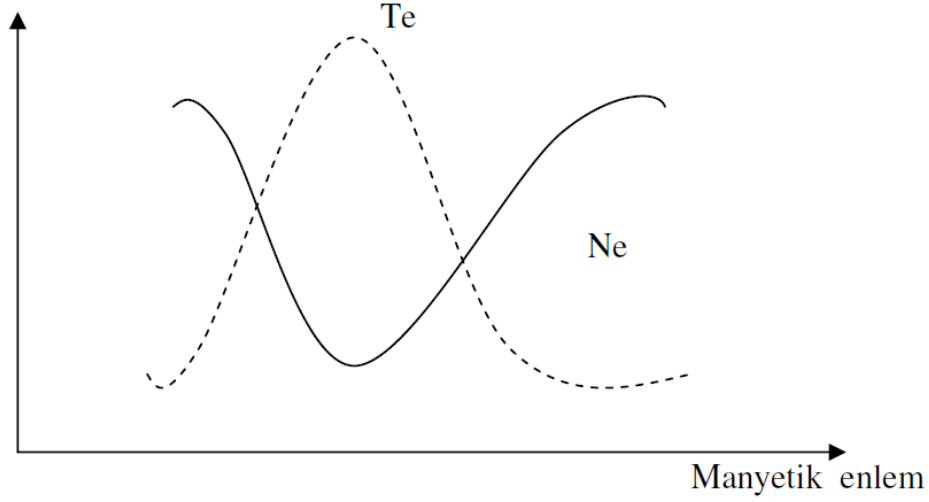
Ayrıca dört gözlem istasyonundan birer saatlik aralıklarla elde edilen manyetik fırtınanın derecesini yansıtan Dst indis değerleri Kp indisi ile karşılaştırılarak Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Kp indisi ve Dst indisinin karşılaştırılması

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

Te İndisi: İyonosfer bölgesinin manyetik fırtınalar altında kalmasının bir sonucu olarak değişen elektron yoğunluğu oranları elektron sıcaklığında da bir değişime yol açmaktadır. Bu değişim elektron yoğunluğu ile ters orantılıdır. Şekil 29' den görüldüğü gibi elektron yoğunluğu azaldıkça, sıcaklık değeri artmaktadır. Elektron

yoğunluğunun minimum değeri ile sıcaklığın tepe noktası daha önce de belirtildiği gibi her zaman paralellik göstermeyebilir (Karpachev A.T., 2003).



Şekil 29. Ne ve Te değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri

Solar Flux Ölçüleri: Solar flux ölçümü, 10.7 cm'lik dalga boyuna sahip dalga yardımıyla iyonosfer değişimlerinin gözlenmesi temeline dayanmaktadır. 10.7 cm dalga boylu solar flux ölçmeleri, iyonlaşmanın güneş lekesi sayısı yardımıyla belirlenmesinden daha uygun sonuçlar vermektedir. Günlük solar flux ölçüleri UT zamanına bağlı olarak 20:00'de Dominion Radyo Astrofizik Gözlemevi tarafından kaydedilmektedir. Bu gözlemevi Kanada Milli Araştırma Birliği'nce (CNRC) işletilmektedir. Solar flux ölçü değerleri 50 ile 300 arasında değişmektedir (Poole, 2002).

Güneş Patlaması Değerleri: Enerji salınımı bakımından güneş yüzeyindeki en şiddetli olaylardan biri geçici enerji boşalmaları olarak da tanımlanan güneş patlamalarıdır. Çok güçlü manyetik alanların parçalanmaları ve yeniden birleşmeleri, patlamaların oluşması için gerekli olan ilk enerji kaynağını oluşturmaktadır. Bu enerji boşalmaları, güneş gamma ışınım, X-ışınım ve radyo ışınım gibi elektromanyetik spektrumun hemen hemen her dalga boyunda ışınımında bulunmaktadır.

4.2.10 İyonosfer Modelleri

İyonosferin elektron yoğunluğu ve TEC değişimi incelemeleri, iyonosferik modeller yardımıyla yapılmaktadır. İyonosferik modeller, teorik ve ampirik olmak üzere ikiye ayrılır. Ampirik modeller bilgisayar programı yardımıyla yapılan modellerdir. Aslında birçok ampirik model bölgesel teorik iyonosfer modelleriyle birleştirilerek oluşturulmuştur. Buna örnek olarak, PIM (Parametrized Ionospheric Model) model verilebilir. PIM modeli iyonosferin elektron yoğunluğu profilini kritik frekansa bağlı olarak vermektedir. PIM modeli elektron yoğunluğu hesabında katsayı veri tabanına sahiptir ve bu profillerin yeniden yapılandırılmasında kendine has algoritması vardır (Davies; 1968). Bazı teorik modeller ise Faim (Fully Analytical Ionospheric Model), Slim model, Chui model, Bent model, Empirical, İyonosferik Standart Plazma ve Penn State Mk III modeli olarak sayılabilir. Faim model, Chui ve Slim model sabitlerinin uyumlu bir şekilde kullanılmasıyla elde edilen teorik bir modeldir. Slim (The Semi-Empirical Low-Latitude Ionospheric Model) model de, alçak enlemlerdeki iyonosferin teorik simülasyonuna dayanır. Ayrıca, elektron yoğunluğu profili 180 km'den 1800 km'ye kadar, farklı enlemler için belirlenmiştir. Modified Chapman fonksiyonları ile birlikte kullanılan bir modeldir.

F. Arıkan ve grubu tarafından geliştirilen ionolab tekniği ile, yüksek çözünürlüklü Toplam Elektron İçeriği Kestirimi yapılabilmektedir. Düzgünleştirilmiş Toplam Elektron İçeriği Kestirimi yöntemi ile alıcı ve uydu yanlışlıkları uygun biçimde kullanılarak IGS analiz merkezlerinde elde edilen sonuçlarla uyumlu kestirimler yapılabilmektedir. Bent model ise, D, E, F₁ tabakalarını modellemez. Ancak iyonosferin F₂ tabakası ve üzerinin elektron yoğunluğu profili için kullanılır. Bu bölgeyi boylam, zaman, mevsim ve solar radyasyon akımına bağlı olarak parabolik bir şekilde modeller. Empirical model, yer alıcıları ve uydulardan çeşitli tekniklerle elde edilen dataların aylık ortalamaları alınarak iyonosferin modellenmesidir. İyonosferik standart plazma model ise iyonosferin elektron yoğunluğunu, elektron sıcaklığı ve elektron hız parametrelerini içerir. Bu parametreler yer ve uzaydan elde edilen deneysel verilere dayanır.

Chiu model iyonosferi, elektron yoğunluğu yerel saat ve güneş lekeli sayısına bağlı olarak modeller. İyonosferin modellenmesi, elli adet istasyondan, ionosonda

tekniklerini kullanarak elde edilen datalarla yapılır. Bu modelin çıkış noktası FAIM modelidir. Ayrıca E, F₁ ve F₂ tabakaları için Modified Chapman fonksiyonları kullanılmıştır.

Penn State Mk III modeli, iyonosferin tabakasını Empirical model ve teorik hesaplamalar kullanılarak modeller. Bu modellerin dışında F₂ tabakasının pik yüksekliği, elektron sıcaklığı, iyon kompozisyonu ile ilgili modellerde vardır.

4.2.10.1 IRI Modeli

URSI ve COSPAR tarafından geliştirilen IRI (International Reference Ionosphere / Uluslararası İyonosfer Referans Modeli), iyonosferin sıcaklık ve yoğunluğunun belirlenmesinde uluslararası standartlara sahip olan bir programdır. IRI, yerden ve uzaydan alınan dataların aylık ortalaması alınarak geliştirilen 50 km'den 1000km'ye kadar olan yüksekliklerde elektron yoğunluğu, elektron sıcaklığı, iyon sıcaklığı ve iyon kompozisyonunun elde edileceği bir programdır (Gümrükçü, O., 2009) ve IRI en çok kullanılan model olduğundan dolayı bu bölümde detaylı olarak incelenmiştir (Bilitza, D., 1990).

Bu modelin temeli altı farklı parametreye dayanmaktadır. Bu parametreler, elektron yoğunluğu, elektron sıcaklığı, iyon İçeriği ($O^+, H^+, NO^+, O_2^+, N^+$), iyon sıcaklığı, iyon sürüklenmesi ve toplam elektron içeriğidir (Bilitza, 1990).

IRI programında, bu altı parametrenin bulunması için temelde Empirical model kullanılmıştır. Bu programda, İyonosferin E ve F tabakası modellenirken farklı tekniklerden elde edilen datalar kullanılarak, standart plazma modeliyle modellenmiştir. Örneğin, F tabakası için Incoherent Scatter, Topside Sounder, Beacon Satellite ve ionosonda dataları kullanılmıştır. E tabakası için bu teknikler dışında GPS ve radar tekniği kullanılarak, elde edilen datalar istasyonların konumlarına göre değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde F tabakasının maksimum elektron yoğunluğu yüksekliği ile E tabakasının maksimum elektron yoğunluğu yüksekliği normalize edilerek birleştirilir. İyonosferin F2 tabakası ve daha yükseklerinde IRI programından elde edilen veriler gerçekte uyumsuzluk gösterdiğinden dolayı bu yüksekliklerde Bent model kullanılmaktadır.

D tabakası modellenmesinde ise sadece roket dataları kullanılır. Bu tabakadaki dataların azlığı, D tabakasının uydular için düşük yükseklikte, ionosonda ve roket gibi teknikler için ise elektron yoğunluğunun az olmasından kaynaklanır. Bu yüzden İyonosferin bu bölgesi ve üstü için Chapman tabaka modeli kullanılmaktadır.

IRI modeli orta enlemlerde çok fazla istasyon olduğundan ve bu istasyonlardan alınan dataların fazlalığı nedeniyle oldukça doğru sonuçlar verir. Bu tekniklerden en önemlisi ionosonda tekniğidir. İyonosonda datalarının matematiksel modeller yardımıyla aylık ortalamaları alınır. Ayrıca IRI programında, düşük enlemler için geodedik koordinat sistemi, yüksek enlemlerde ise manyetik koordinat sistemi kullanılmaktadır.

Türkiye’de bir orta enlem ülkesi olduğundan, elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi ve TEC hesabı için IRI programının kullanımı tercih edilmiştir. Güneş lekeleri hesabı için de yine aylık ortalama değerleri kullanılmıştır. Güneş lekelerinin aylık ortalama sabitleri, URSI tarafından küresel (Lengendre) fonksiyonu kullanılarak, CCIR tarafından da Fourier analizi yapılarak belirlenmektedir.

IRI programının da, enlem, boylam (konum bilgisi) gibi değerler kullanıcı tarafından girilmektedir. IRI modeli iyonosferin alt sınırı ~ 60km ve üst sınırı 1000 km arasında kalan bölgede elektron yoğunluğu dağılımını belirlemek amacı ile uzun yıllar boyunca, Bottom side ölçümleri, güneş leke katsayısı, K_p magnetik aktivite katsayısı, roket ölçümleri, iyonosferin F₂ tabakası tepe elektron yoğunluğu dikkate alınarak hazırlanmış bir modeldir. İyonosferde konum ve zamana bağlı olarak değişen iyonosferik yoğunluk ve sıcaklık dağılımında farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıklar S. Eptein tarafından tanımlanan fonksiyonlarla ifade edilmektedir. S. Epstein'nin tanımladığı fonksiyonlar grubu, özel enlemsel ve günlük değişimi ifade etmekle birlikte, yükseklik farklılıklarını göstermekte de kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar aşağıda (4.12), (4.13) ve (4.14) denklemlerinde belirtilmiştir.

$$EPS_{-1}(h; HX, SC) = \ln(1 + e^x) \quad (4.12)$$

$$EPS_0(h; HX, SC) = 1/(1 + e^{-x}) \quad (4.13)$$

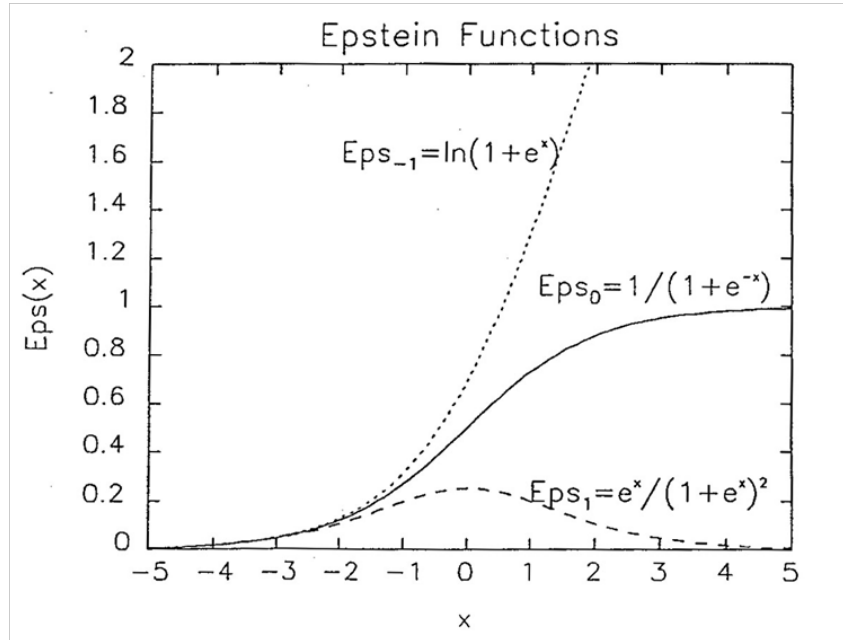
$$EPS_1(h;HX,SC) = e^x / (1 + e^x)^2 \quad (4.14)$$

Yukardaki denklemlerde,

$$x = (h - HX) / SC \quad (4.15)$$

$$EPS_{i+1} = dEPS_i / dx \quad (4.16)$$

olarak tanımlanmaktadır. (4-12)-(4.13) denklemlerinde geçen EPS_{-1} , tabakalar arasındaki geçişi göstermektedir. EPS_0 ise adı (step) olarak tanımlanmaktadır. EPS_1 ise SC genişliği ile $h=HX$ 'deki pik değeridir (Rawer, K., 1990). Epstein fonksiyonları Şekil 30 'da gösterilmektedir. Rawer tarafından bu filtre fonksiyonlarının nasıl kullanıldığı ayrıntılarıyla açıklanmaktadır.



Şekil 30. Epstein Fonksiyonları

Booker, yükseklik profilinin bazı alt bölümlere bölünebileceği ve her bir alt bölümünde $\frac{dy}{dh}$ gradyanının sabit olduğunu önermiştir. İyonosferin tabaka şeklinde gösterilmesi Rawer tarafından önerilmiştir. Rawer tarafından önerilen bu fonksiyon, doğrusal bir terimle Epstein geçiş fonksiyonunu birleştirmektedir. Ayrıca Epstein fonksiyonları, iyonosferik parametrelerinin gece ve gündüz değişkenlerini tanımlamakta da kullanılmaktadır. Bu model de bazı matematiksel fonksiyonlarla beraber, Booker profile fonksiyonu ve Rawer tabaka fonksiyonu kullanılmaktadır.

Bu fonksiyonları kullanmakla birlikte, IRI modeli, gözleme dayalı verileri kolay bir kullanımla araştırmacılara sunmaktadır. İstenilen konum ve zamanın elektron yoğunluğunu, iyon sıcaklığını ve TEC'in değişimini kolay bir şekilde tayin etmemize olanak vermektedir. Aşağıda IRI'de kullanılan matematiksel fonksiyonlardan kısaca bir bilgi verilmektedir (Bilitza, D., 1990).

4.2.10.1.1 Booker Profile Fonksiyonu

Booker, bir Y parametresinin yükseklik profilinin bazı diğer alt bölümlere bölünebileceğini, ve böylece her bir alt bölümün bir doğru çizgisi tarafından eşitlenebileceğini, başka bir deyişle dy/dh gradyanının her bir altbölümde sabit olduğunu ileri sürmektedir (Şekil 34). Booker buna iskelet profili adını vermektedir. Bu iskelet profilinin türettiği o zaman, bir alt bölümden diğer bir alt bölüme geçen EPSTEP fonksiyonlarının bir özeti ile temsil edilebilir. h_0 dan h ye entegre ederek Booker fonksiyonu B açısından elde edilebilir.

$$y(h) - y_0 = B(h; h_0, M, DY, HX, SC) \quad (4.17)$$

$$= (h - h_0) DY_1 \sum_{j=1}^M (DY_{j+1} - DY_j) SC_j (EPS_{-1}(h; HX_j, SC_j) - EPS_{-1}(h; HX_j, SC_j))$$

M altbölümlerin sayısı, DY_j ($j=1 - M + 1$) bu alt bölümlerdeki sabit gradyanlar, HX_j ($j= 1 - M$) altbölüm sınırları, ve SC_j ($j=1-M$) alt bölümler arasındaki geçiş zonlarının kalınlığıdır. y_0 , $y(h_0) = y_0$ ile tümleştirme sabitidir. SC_j uygun geçiş kalınlıklarının deneme yanılma yoluyla bulunması gerekir. Küçük SC_j değerleri gerçek profile olduğundan daha yakın olan bir profil üretmektedir; büyük SC_j değerleri ise daha büyük düzgünlük sağlamakta fakat bitişik step fonksiyonları arasında çatışmalar olabilmektedir. En iyi sonuçlar şöyle elde edilir:

$$\frac{D}{20} \leq SC_j \leq \frac{D}{10} \quad (4.18)$$

D birbirini takip eden alt katmanlar arasındaki yükseklik aralığı

$$D = \min(h_j - h_{j-1}, h_{j+1} - h_j) \quad (4.19)$$

Care tutturucu bir nokta seçerek (anchor point) içeri alınmalıdır (entegrasyon sınırlaması). Bu, çeşitli geçiş bölgelerinden birinde yer almamalıdır. En iyi seçim iskeletin ve gerçek profilin birbirine en yakın olduğu bir bölgeden olan bir h_0 dur. Bu kısıtlamalar Booker'ın yöntemiyle katmak profilleri sunmayı zorlaştırmaktadır. Yüksek bir profil, ya zıt işarete sahip gradyanları olan iki iskelet doğrusu ya da ortalama gradyanı olan üç iskelet doğrusu tarafından denkleştirilebilir. İlk durumda katmanın bir ucu geçiş zonunun ortasındadır ve yükseklik tutturucu bir nokta (anchor point) h_0 olarak kullanılamaz. İkinci durumda koşul artık neredeyse ihlal edilecektir.

4.2.10.1.2 Rawer Tabaka Fonksiyonu

Tabaka şeklini göstermenin daha iyi bir yolu da Rawer tarafından sunulmuştur (K. Rawer 1990). Rawer'ın fonksiyonu, Epstein'in geçiş fonksiyonu ile birlikte doğrusal bir terimle birleştirilmektedir.

$$LAY(h; hm, HX, SC) = EPS_{-1}(h; HX, SC) - EPS_{-1}(hm; HX, SC) - (h - hm)EPS_0(hm; HX, SC) / SC \quad (4.20)$$

Bu $h = hm$ ye yani sıfır değer aldığı yere yükselir. Tabaka şekillerinin geniş bir yelpazesi Şekil 31' de görüldüğü gibi Lay fonksiyonu tarafından gösterilmektedir. Uygun HX ve SC değerleri, doğrusal olmayan en küçük karelerle uydurma prosedürü tarafından bulunabilmektedir.

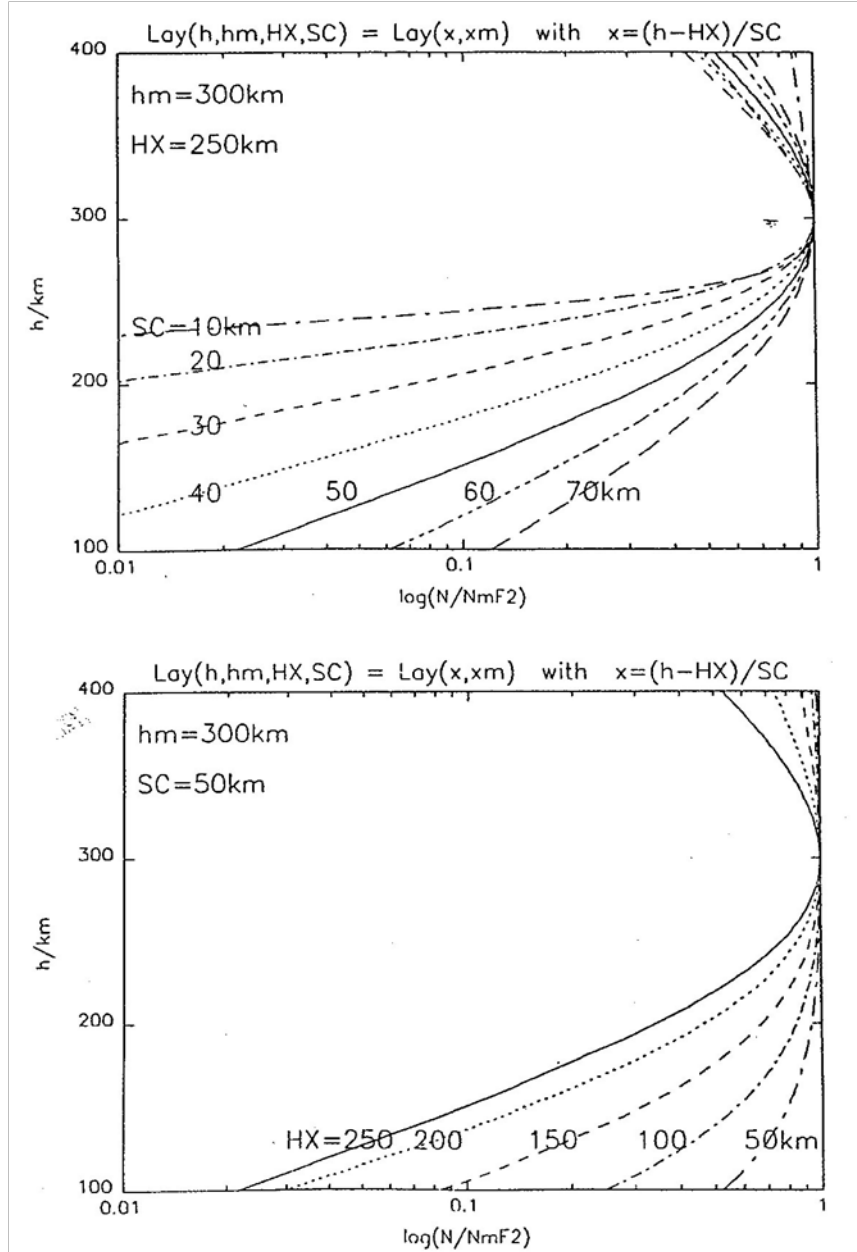
4.2.10.1.3 Gündüz – Gece Geçiş Fonksiyonu

Epstein fonksiyonları, iyonosferik parametrelerin basit gündüz gece değişkenlerini tarif etmek için kullanılmaktadır. İki fonksiyonun kombinasyonu yerel zaman ile sürekli olarak sabit bir gece zamanı YN değerinden sabit günüçi YN değerine değişkenlik göstermektedir.

$$HPOL(t; YD, YN, SR, SS) = YN + (YD - YN)EPS_0(t; SR, TD) + (YN - YD)EPS_0(t; SS, TD) \quad (4.21)$$

Bu aşamalar gün doğumu SR ve gün batımı SS 'nin yerel zamanlarında ortaya çıkmaktadır. Bu step genişliğine TD tarafından (genellikle bir saat) belirlenir. Bu

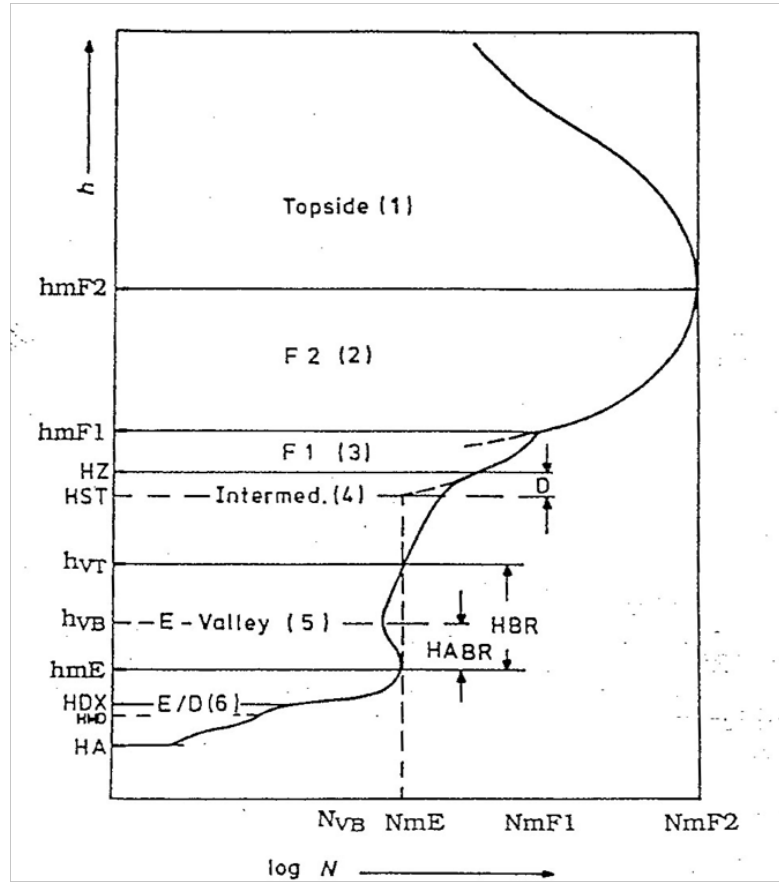
yerel zaman farkı, sadece tek bir gün ve gece değerlerinin sıralandığı tüm parametreler için kullanılır.



Şekil 31. Gündüz ve Gece Geçiş Fonksiyonları

4.2.10.2 IRI Elektron Yoğunluğu Dağılımı

IRI elektron yoğunluk profili, içerisinde (1) üst kenar, (2) F₂ taban kenar, (3) F₁-katman, (4) orta bölge, (5) E-vadi, (6) E-taban kenar ve D bölgesinin de bulunduğu Şekil 32' da görüldüğü gibi altı alt bölüme ayrılmaktadır. bu alt bölümlerin sınırlamaları, F₂ – F₁ ve E katman piki dahil olmak üzere bazı karakteristik profil noktası tarafından işaretlenmiştir. Bu kritik frekanslar, bu piklerin f_oF_2 , f_oF_1 ve f_oE 'si kırklardan beri tüm dünyada iyon sondaları şebekesi tarafından gözlenmektedir. Yerden dikey olarak geçiş sağlayan f_oF_2 kritik frekanslı bir radyo dalgası F₂ pikinde yansıtılmaktadır. Kritik frekansların kareleri yansımanın ortaya çıktığı yükseklikteki elektron yoğunluğuyla orantılıdır.



Şekil 32. IRI Elektron yoğunluğunun yükseliğe bağlı olarak dağılımı

$$NmF_2 / m^{-3} = 1.2410^{10} (fOF_2 / MHz)^2 \quad (4.22)$$

$h_m F_2$; F_2 tabakasının maksimum yüksekliği

$h_m F_1$; F_1 tabakasının maksimum yüksekliği

HST; geçiş bölgesi

$h_m E$; E tabakasının maksimum yüksekliği

h_D ; D tabakasının maksimum yüksekliği

h_A ; İyonosferin başlangıç yüksekliği

4.2.10.2.1 Üstkenar ($h_m F_2 - 1000km$)

F_2 tabakasının pik yoğunluğu ($N_m F_2$), üstkenar profili F_2 Yüksek yoğunluğu $N_m F_2$ ve yükseklik $h_m F_2$ olarak normalize edilmektedir.

4.2.10.2.2 $F_2 - Tepe Yoğunluğu (NmF_2, f_oF_2)$

IRI-90 F_2 kritik frekansı f_oF_2 'nin (ve böylece $N_m F_2$ 'nin) açıklaması için iki seçenek sunmaktadır. (1) uluslararası Radyo Danışma Komitesi tarafından son zamanlarda önerilen, ve (2) Uluslararası Radyo Bilim Birliği tarafından tavsiye edilen. Matematiksel açıklama her iki durum için de aynıdır. Bu, öncelikle tüm dünyada iyon sondaları tarafından gözlemlendiği gibi aylık medyan günlük Fourier analizine (7.sıra, 15 katsayı); ikinci olarak da 15 katsayının her ayrı ayrı bulunan küresel fonksiyonlar bakımından dünya çapında bir tanımlamaya dayanmaktadır (Bilitza, D., 1990). 988 katsayının her birinin iki seti de her ay yüksek ya da düşük solar aktivite için verilmektedir ($R_{12}=0,100$); doğrusal içdeğer biçme ile bulunan orta aktiviteler için f_oF_2 .

Çok yüksek solar aktiviteler için f_oF_2 gözlemleri bir saturasyon etkisi göstermektedir. IRI'de bu etki f_oF_2 yi $R_{12}=150$ üzerinde sabit tutarak pekiştirilmiştir.

F bölge sürecinin güçlü manyetik kontrolü yüzünden küresel analizlerde bir manyetik alan koordinesi kullanmak için bu bir avantajdır. En iyi sonuçlar ise Rawer tarafından ortaya çıkarılan modifiye edilmiş dip yüksekliği (μ) ile elde edilmiştir.

$$\tan \mu = \frac{\psi}{\cos^{\frac{1}{2}} \Phi} \quad (4.23)$$

Alçak yükseklikler, manyetik eğilime yakın (ψ) ve jeodezik yüksekliğe (Φ) daha yakın hale getirmektedir çünkü yükseklik artmıştır.

Daha yeni URSI modeli için, seyrek aralıklı veri bölgeleri önce (okyanuslar, güney yarımküre) aeromatik teori tarafından elde edilen f_oF_2 değerleri ile kaplanmıştır, sonra da analiz prosedürü uygulanmıştır. URSI katsayı seti ISS-b üstkenar ses ölçümleri ile kıyaslandığında okyanus f_oF_2 CCIR modelinden daha iyi sunulmasını sağlamaktadır. Son f_oF_2 modellemeleri Bilitza, Reinisch ve Bradley tarafından verilmiştir.

4.2.10.2.3 F₂ – Tepe Yüksekliği [$h_mF_2, M(3000)F_2$]

F₂-Yüksek yükseklik h_mF_2 onun yayılma parametresi $M(3000)F_2$ ile yakın bir korelasyon halindedir.

$$M(3000)F_2 = MUF / f_oF_2 \quad (4.24)$$

MUF'nin maksimum kullanılabilir ve 3000km uzaklıktan alınabilen frekansta olduğu yer olarak tanımlanmaktadır. Bu faktör rutin olarak iyonogramlar tarafından sıralanmış ve bu numaralı haritalar yukarıda f_oF_2 olarak gösterildiği gibi aynı şekilde oluşturulmaktadır. h_mF_2 deneysel bir formül ile $M(3000)F_2$ 'den hesaplanmaktadır.

$$h_mF_2 / km = 1490 / (M(3000)F_2 + DM) - 176 \quad (4.25)$$

Burada,

$$DM = f_1 f_2 / (f_oF_2 / f_oE - f_3) + f_4 \quad \dots \text{Doğrulama faktörü} \quad (4.26)$$

ve aşağıdaki eşitlikler de solar aktivite fonksiyonlarıdır.

$$\begin{aligned}
f_1 &= 0.00232R_{12} + 0.222 \\
f_2 &= 1 - R_{12} / 150 \exp(-(\psi / 40)^2) \\
f_3 &= 1.2 - 0.0116 \exp(R_{12} / 41.84) \\
f_4 &= 0.096(R_{12} - 25) / 150
\end{aligned} \tag{4.27}$$

Yukarıda, R12 solar güneş lekesi sayısının 12 aylık ortalaması ve ψ manyetik dip yüksekliği olup yer yüzünün manyetik alanının 300 km rakımda olan manyetik eğilimi ile alakalıdır:

$$\tan \psi = \frac{1}{2} \tan \varphi \tag{4.28}$$

Formül (4.27) $h_m F_2$ ve $M(3000)F_2$ arasındaki güçlü anti korelasyonu ilk tanımlayan kişi olan Shimazaki, ve korelasyon üzerindeki E katman iyonunun etkisini ilk kez hesaplayan Bradley ve Dudeney tarafından yapılan çalışmalara dayanmaktadır (Bilitza D., 1990).

4.2.10.2.4 Tepe Üstü Elektron Yoğunluğu Profili

Üstkenar modeli, Bent ve çalışma arkadaşları tarafından elde edilen Alouette üstkenar sonda verilerinin tanımlayıcı derlemesi üzerine kurulmuştur. Epstein fonksiyonları tabular formda Bent tarafından verilen değerlerin analitik bir sunumunu elde etmek için kullanılmaktadır.

$$N(h) / NmF_2 = \exp(-1 / a.B(x; x_0, 2, TG, TX, TC)) \tag{4.29}$$

B, önceki bölümlerde açıklanan Booker fonksiyonudur, ve x f2-yüksekliği 300km ye yaklaştıran modifiye edilmiş rakım değişkenidir.

$$x - x_0 = a(h - hmF_2) \tag{4.30}$$

$$a = 700 / (1000 - hmF_2) \tag{4.31}$$

$$X_0 = 300 - \delta \tag{4.32}$$

Üstkenar profil için Epstein parametreleri T

Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. Üstkenar Profil İçin Epstein Parametreleri

J	TG	TX	TC
1	$-\xi$	300	100
2	0	394.5	β
3	η	-	-

Bu parametreler “ η, β, ξ ” geomanyetik enlemin Φ bir fonksiyonudur. Aylık solar radio akı F10.7, ve F2 kritik frekansı foF2

$$\xi, \eta, \beta = t_0 + t_1 T_m(\Phi) + t_2 R(F10.7) + t_3 T(\Phi) R(F10.7) + t_4 f_0 F2 + t_5 f_0 F2 T(\Phi) + t_6 f_0 F2^2 \quad (4.34)$$

Burada

$$T(\Phi) = \cos^2 \Phi \quad (4.33)$$

$$T_m(\Phi) = \begin{cases} EPS_1(\Phi, 0, 15) \text{ for } \eta \\ \cos^2 \Phi \text{ for } \xi, \beta \end{cases} \quad (4.34)$$

$$R(F10.7) = \begin{cases} (F10.7 - 40)/30 & \text{for } F10.7 < 193 \\ 5.1 & \text{else} \end{cases} \quad (4.35)$$

Katsayılar t_1 Bent'in tablosundan elde edilen değerlere bu fonksiyonları uydurarak belirlenmiş ve Tablo 6' de listelenmişlerdir.

Tablo 6. Bent Fonksiyon Değerleri ile IRI Fonksiyon Değerlerinin Karşılaştırılması

t_0	0.058798	0.078922	-128.03
t_1	-0.08	-0.0046702	20.253
t_2	-0.014065	-0.019132	-8.0755
t_3	0.0069724	0.0076545	-0.65896
t_4	0.0024287	0.0032513	0.44041
t_5	0.004281	0.006029	0.71458
t_6	-0.0001528	-0.00020872	-0.042966

η, ξ ve β 'ya ait olan doğrulama δ :

$$\delta = \left(\frac{\eta}{1+Z} - \frac{\xi}{2} \right) / \left(\frac{\eta}{\beta(1+Z)^2} + \frac{\xi}{400} \right) \quad (4.36)$$

$$Z = \exp(94.45 / \beta)$$

Booker tarafından istenilen iskelet profilinden ziyade en küçük karalar methodu prosedürü ile elde edilen Booker fonksiyonu için TC, TX ve TG parametreleri elde edildiğinin belirtilmesi gerekir. Böylece üstkenar sunumu Rawer tarafından belirtildiği gibi Lay formalizmine daha yakındır. Lay fonksiyonları bakımından formül tekrar düzenlenerek şu elde edilir :

$$N(h) / NmF^2 = \exp(-\beta\eta / \alpha LAY(x; x_0, 394.5, \beta) - 100 \frac{\xi}{\alpha} LAY(x; x_0, 300, 100) - (h - hmF^2)\gamma) \quad (4.37)$$

$$\gamma = \eta / (1 + \exp((\delta + 94.5) / \beta)) + \xi / (1 + \exp(\delta / 100)) - \xi \quad (4.38)$$

Genel olarak, γ Lineer teriminin, en azından alçak üst kenarda üssel fonksiyonunun hesaplanmasında ihmal edilebilecek kadar çok küçüktür.

IRI ile AEROS ve AE-C uydu verisi ve Jicamarca uyumsuz dağılık ölçümleri ile kıyaslamalarında iyi bir uyum bulunmuştur.

4.2.10.3 Altkenar ($hmF_1 - hmF_2$)

Altkenar profil tanımı Ramakrishnan ve Rawer tarafından düzenlenmiştir.

$$N(h) / NmF_2 = \exp(-x^{B_1}) / \cosh(x) \quad (4.39)$$

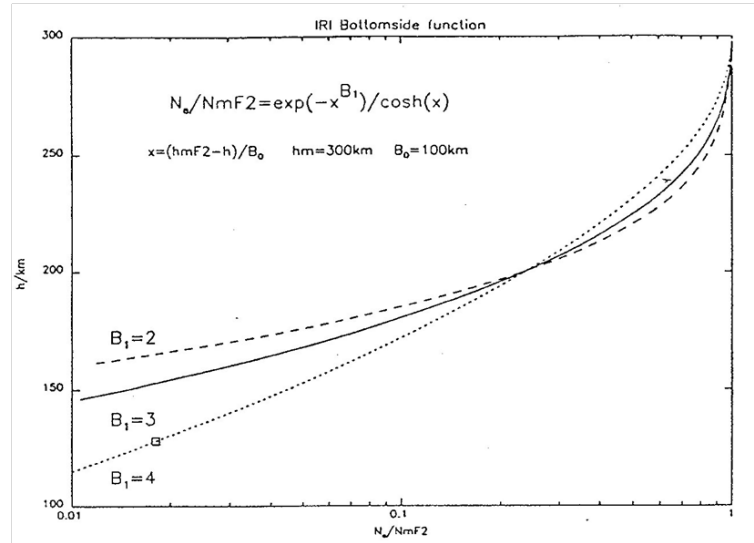
$$x = (hmF_2 - h) / B_0 \quad (4.40)$$

NmF_2 ve hmF_2 elektron yoğunluğudur ve F_2 –pik ve B_1 yüksekliği birçok durumda 3'e eşittir (Şekil 33). IRI-90 altkenar kalınlık parametresi için iki seçenek sunmaktadır. Çoğu durumda, özellikle de alçak rakımlarda model ne kadar yeni olursa seçimde o kadar iyidir.

Gulyaeva, iyon sondasına dayanarak, aşağıdaki F_2 pik yüksekliği, hmF_2 ve $h_{1/2}$ yüksekliği arasındaki ilişkiyi kurmuştur.

$$\rho = h_{1/2} / hmF_2 = EPSTEP(x; 0.6, 0.8, 20s, 15) \quad (4.41)$$

$$s(d) = 2 - \cos(2\pi / 365.d) \quad (4.42)$$



Şekil 33. Altkenar fonksiyonu

(4.39) fonksiyonunda verilen üstkenar profilini ele alarak, B_0 kalınlık parametresi belirlenebilir.

$$B_0 = hmF_2(1 - \rho) / C \quad (4.43)$$

C, B₁'in bir fonksiyonudur ve şu değerleri alır.

B ₁	3	3.5	4	4.5	5
C	0.755566	0.778596	0.797332	0.812928	0.82614

Gulyaeva'nın modeli Arecibo daki tutarsız dağılık ölçümlerle iyi bir uyumluluk göstermektedir.

4.2.10.4 F₁-Katman (hmF₁-HZ)

Ducharme ve grubunun yaptığı çalışmalarda, F₁ plazması değişkeni için aşağıdaki ilişki kurulmuştur (Bilitza, D., 1990). Solar zenit açısı x ile f_0F_1 frekansı ve manyetik dip yüksekliği.

$$\begin{aligned}
 f_0F_1 &= f_s \cos^n x \\
 f_s &= f_0(f_{100} - f_0)R_{12} / 100 \\
 f_0 &= 4.35 + 0.058|\psi| - 0.00012\psi_2 \\
 f_{100} &= 5.348 + 0.11|\psi| - 0.00023\psi_2 \\
 n &= 0.093 + 0.0046|\psi| - 0.000054\psi_2 + 0.0003R_{12}
 \end{aligned} \tag{4.44}$$

Bu model ayrıca F₁ özelliğinin yerine getirilmesi için kritik bir solar zenit açısı sağlar. Burada F₁ katmanının sadece solar zenit açısı x_s den daha küçük olduğunda var olduğu sanılmaktadır.

$$\begin{aligned}
 x_s &= x_0(x_{100} - x_0)R_{12} / 100 \\
 x_0 &= 49.85 + 0.35|\psi| \\
 x_{100} &= 38.96 + 0.51|\psi|
 \end{aligned} \tag{4.45}$$

IRI de belirlendiği gibi gece ve kışları F₁ özelliğini kaybeder.

F₁-pik yüksekliği IRI profilinin F₁ pik yoğunluğuna ulaştığı yükseklik olarak bulunmaktadır. Bu, hmF₁ in altkenar kalınlık parametresi tarafından etkilendiğini fark etmek için önemlidir. Bilitza ve Rawer Gulyaeva'nın modelinin bu parametre

formülü için diğer tahminlere daha yakın hmF_1 değeri ürettiğini belirtmiştir. Eğer F_1 özelliği ortaya çıkarsa, parabolik bir F_1 tabakası üstkenar profile eklenir.

$$N(h) / NmF2 = \exp(-x^{B_1}) / \cosh(x) + C_1 ((hmF1 - h) / B_0)^{1/2} \quad (4.46)$$

$$C_1 = \begin{cases} EPSTEP(18;0.09,0.2,30,10) \text{ for } |\mu| < 18 \\ EPSTEP(\mu;0.09,0.2,30,10) \text{ else} \end{cases} \quad (4.47)$$

μ Modifiye edilmiş dip yüksekliğidir ve EPSTEP fonksiyonu önceki bölümlerde verilmiştir.

4.2.10.5 Orta Bölge (HZ – hvr)

Bu, üst profilin daha alçak bir profil ile birleştiği bölgedir. Önce HST yükseklik F_1 profil fonksiyonunun E-pik yoğunluk değerine ulaştığı yerde bulunur. Bu durum profil fonksiyonunun çok düşük NmE değerine ulaşmadığında ya da HST yüksekliğin E vadisi altında bulunduğu ortaya çıkabilir. Bu tür durumlarda B1 parametresi 3'den 3.5, 4 ve nihayet 4.5 olarak değişir. Eğer HST bu B1 değerleri ile bulunamazsa, Hz ve E-valley top arasındaki boşluk linear enterpolasyonu ile kapatılır. Orta bölgenin bu üst sınırı şöyle belirlenmiştir:

$$HZ = (h_x + HST) / 2$$

$$h_x = \begin{cases} hmF1 & \text{if } F1 \text{ - görünürse} \\ hmF2 & \text{else} \end{cases} \quad (4.48)$$

HZ'den başlayarak, profil parabolik olarak aşağıya doğru eğilim gösterir, böylece E-yüksek vadi h_{VT} 'yi karşılar. Bu yükseklik transformasyonu ile yapılır.

$$h' - HZ = T / 2 \pm (T^2 / 4 - T(h - HZ))^{1/2}$$

$$T = (HZ - HST)^2 / (HST - h_l) \quad (4.49)$$

ve

$$h_l = \begin{cases} h_{VT} \text{ if vadi exists} \\ hmE \text{ else} \end{cases} \quad (4.50)$$

h_{VT} vadinin tepesindeki yüksekliktir ve hmE E-pik 'in yüksekliğidir.

4.2.10.6 E-Pik ve Vadi (h_{VT} -hmE)

E-pik kritik frekansı Kouris ve Muggleton tarafından geliştirilen bir model ile tarif edilmektedir (Bilitza D., 1990).

$$f_0 E^4 = A.B.C.D \quad (4.51)$$

Bu, solar zenit açısına, jeodezik yüksekliğe, mevsime ve solar 10.7 radyo flux ın 12 aylık ortalamasına bağlı olarak 4 faktörden oluşur.

$$\begin{aligned} A &= 1 + 0.0094(COV_{12} - 66) \\ B &= \cos^m x_{noon} \\ m &= \begin{cases} -1.93 + 1.92 \cos \varphi & \text{for } |\varphi| < 32^\circ \\ 0.11 - 0.49 \cos \varphi & \text{for } |\varphi| \geq 32^\circ \end{cases} \\ C &= \begin{cases} 23 + 116 \cos \varphi & \text{for } |\varphi| < 32^\circ \\ 92 - 35 \cos \varphi & \text{for } |\varphi| \geq 32^\circ \end{cases} \\ D &= \cos^n x_a \\ n &= \begin{cases} 1.2 & \text{for } |\varphi| > 12^\circ \\ 1.31 & \text{for } |\varphi| \leq 12^\circ \end{cases} \end{aligned} \quad (4.52)$$

CCIR'den farklı olarak, modifiye edilmiş bir zenit açısı, gece zamanı çeşitliliğini geliştirmek için gösterilmiştir.

$$x_a = x - 3EPS_{-1}(x; 89.98, 3) \quad (4.53)$$

Tüm zamanlar boyunca foE gözlemlenen minimum değerlere eşit ya da onların üzerinde tutulmuştur.

$$f_0 E_{\min} = 0.121 + 0.0015(COV_{12} - 66) \quad (4.54)$$

Sabit bir pik yükseklik hmE = tüm koşullarda 105 km olduğu varsayılır.

$$N(h)/NmE = 1 + E1x^2 + E2x^3 + E3x^4 + E4x^5 \quad (4.55)$$

F-bölge piki ve vadi profili beşinci sıradaki güç serisi ile temsil edilmektedir.

$$X=h-hmE$$

E1,E2,E3 ve E4 parametreleri, vadi genişliği, DP, vadi tabanı ve hmE arasındaki mesafe, HABR ve vadi tepesindeki logaritmik türeme ile belirlenmiştir. Tablo 7' da listelenen parametre değerleri tutarsız dağınık ölçümler ile elde edilmiştir.

Tablo 7. E-pik Kritik Frekansın Parametreleri (Bilitza, D., 2001)

		HABR/km	HBR/km	DP/%	DLN/km ⁻¹	hmE/km
Mid-night	Modip = 18	28	45	81	0.06	105
	Modip = 45	28	67	81	0.06	105
Noon	Modip = 18	0	0	0	0	105
	Modip = 45	10.5	17.8	winter: 10 else: 5	summer: 0.01 else: 0.016	105

Notes: $DP = 100 (NmE - N_{VB})/NmE$; N_{VB} is the density at the valley base.

$$DLN = \left. \frac{d \ln N}{dh} \right|_{h = h_{VT}}$$

Interpolation procedure is the same as indicated in Table 3 for B_0 .

Gece zaman vadisi için güç dizileri yoğunluğun kendisinden ziyade elektron yoğunluğu logaritmasına uygun hale getirilmiştir. Alçak ve ekvatorial yüksekliklerde vadi özelliği gün içinde düzensiz olarak gözlenmektedir, fakat aylık ortalama profilde sonuçlanacak sıklıkta değildir. Sıfır vadi derinliği durumunda F-1 tabaka hmE ile birleşmektedir.

Bu düzensiz olarak görüldüğü için, sporadik E_s olgusu IRI profil tanımında yer almamaktadır.

4.2.10.7 D Bölgesi ve E'nin Altı

Çoğu D-bölge profili hmD yükseklik ve Nm D yoğunluk ile karakteristik bir eğim sergiler. Mechtley ve Bilitza roket ölçümlerinde aşağıdaki deneysel ilişkiyi bulmuştur.

$$NmD/(10^8 m^{-3}) = (6.05 + 0.088R12) \exp(-0.1/\cos^{2.7} X) \quad (4.56)$$

R12'nin solar güneş lekesi sayısının 12 aylık ortalaması olduğu ve x in solar zenit açısı olduğu yer. NmD $4 \cdot 10^8 m^{-3}$ minimum değerine eşit ya da ondan fazla tutulur. Yoğunluk profili yükseklik HA da başlar ve üçüncü mertebeden polinom ile sunulur.

$$N(h)/NmD = \exp(F1x + F2x^2 + F3x^3) \quad (4.57)$$

$$X=h-hmD \quad (4.58)$$

Farklı F3 parametreler, skala yüksekliğinde kesin bir değişiklik için eğim noktasının altında ya da üzerinde kullanılır.

Tablo 8. Toplanmış Roket Ölçümleri

Time	Geographic Latitude	hmD/km	HA/km	F ₁ /km	F ₂ /km ²	F ₃ ^a /km ³	F ₃ ^b /km ³	hDX/km
Day	Low	80	65	0.02	-2·10 ⁻⁴	9.37·10 ⁻³	4.89·10 ⁻⁴	85.6
	Middle	80	65	0.05	-1.25·10 ⁻³	8.18·10 ⁻³	1.707·10 ⁻⁴	85.6
Night	All	88	80	0.05	-1.25·10 ⁻³	8.79·10 ⁻³	1.22·10 ⁻²	92.5

Tablo 8' de listelenen bilgiler Machtley ve Bilitza tarafından toplanmış roket ölçümlerinden elde edilmiştir.

Bir ölçüde D-bölge profilini E-katman pik yoğunluğu NmEve yükseklik hmE ye bağlamak için üssel bir fonksiyon kullanılır.

$$N(h)/NmE=\exp(-D1(hmE-h)K) \quad (4.59)$$

Bu fonksiyon D-bölge profil fonksiyonu ve onun hDX yüksekliğindeki ilk türevi ile uyumlu olduğu için D1 ve K parametrelerine karar verilmiştir.

$$K=-DN(hmE-hDX)/(NDX \ln(NDX/NmE)) \quad (4.60)$$

$$D1=DN/(NDX.K(hmE-hDX)K-1) \quad (4.61)$$

NDX hDX'de elektron yoğunluğu, DN ise bu yükseklikte türev dN/dh.

Radyo dalgası verileri ile kıyaslamalar bazen zıtlasmalarla sonuçlanır. Bunlar, çarpışma frekansları hakkındaki tahminlere dayanarak dolaylı olarak çıkarılan profillerdir ve ayrıca IRI gizlilikle değiştirilmeden önce deneysel bir kanıtta da ihtiyaç duyulmaktadır.

4.2.10.8 Orta İyonosfer için LAY Fonksiyonları (hmE – hmF2)

Analitik formda elektron yoğunluk profilini E den F2-pik de sunmak için dört Lay fonksiyonlu bir kombinasyon kullanılabilir.

$$\log(N(h)/NmF2) = \sum_{j=1}^4 A_j LAY(h; hmF2, HX_j, SC_j) \quad (4.62)$$

Tablo 9' de geçici bir parametre seti listelenmiştir. Genişlikler A_j Otomatik olarak en küçük kareler methodu ile Tablo 10' da listelenen kısıtlamalara uygulanarak elde edilmiştir. Tüm pik ve vadi parametreleri yaygın olarak şu formüller hesaplanan hmF1 haricinde standart IRI-90 profili için tarif edilenler ile aynıdır.

$$hmF1/km = 165 + 0.6428x \quad (4.63)$$

Tablo 9. Orta İyonosfer için LAY Fonksiyonları (Bilitza, D., 2001)

<i>j</i>	<i>HX</i>		<i>SC</i>
	Day	Night	-
1	0.9 hmF2	$h_{0.5}^{\dagger}$	$0.1204 (hmF2 - h_{0.5}) + 56.8$
2	hmF1*	$(hmF2 + h_{VF})/2$	10
3	h_{VB}	h_{VB}	9
4	hmE-6	hmE	6

* $(hmF2 + h_{0.5})/2$, if F1-layer is not present.

† $h_{0.5}$ is the height, where $N(h) = 0.5 NmF2$ (see Equation [3.17]).

Tablo 10. Orta İyonosfer İçin LAY Fonksiyonlarının Pik ve Minimum Değerleri

k		h	N	dN/dh	Weight	
Day	Night				Day	Night
1	1	$h_{0.5}$	$0.5 NmF2$	-	††	1
2	2	h_{VT}	NmE	-	1	1
3	3	h_{VB}	N_{VB}	-	2	3
4	4	hmE	NmE	-	5	5
5	5	h_{BE}^*	N_{VB}	-	1	0.5
6	-	$hmF1$	$NmF1$	-	3†	-
7	6	h_{VB}	-	0	50	50
8	7	hmE	-	0	500	500

* $h_{BE} = hmE - (h_{VB} - hmE)$.

† Zero, if F1-layer is not present.

†† $f = EPS_0(z; 0.15, 0.1)$

= 1

= 0.5

with $z = \log(N_{0.5}/NmF1)$ and $N_{0.5} = 0.5 NmF2$.
if F1-layer is not present.
if $(NmF1 - N_{0.5})(hmF1 - h_{0.5}) < 0$.

X, solar zenit açısıdır. Serbest parametrelerden daha fazla sınırlama olduğu için, hangi bireysel sınırlama derecesinin, uyum süreci boyunca hangi ağırlıkta olacağı buna bağlıdır.

4.2.10.9 İyonosferik Elektron Yapısı

McNamara IRI-79 ile hesaplanan TEC değerleri ile toplam elektron yapısının büyük bir veri tabanını karşılaştırmıştır. Bu, genellikle orta yükseklikler konusunda hem fikir, fakat IRI-79 faktörüne yükselen manyetik ekvatora yakın gözlenmiş TEC'yi göz ardı etmiştir. IRI-86 da geliştirilmiş üst kenar profili bu çelişkileri %10 ,%20 azaltmaktadır.

4.2.10.10 Plazma Sıcaklıkları

Elektron ve iyon sıcaklıkları için IRI -90 profilleri 120 km'den 1000 km'ye çıkarılmıştır. İlk sıra tahminleri 3000 km'ye kadar elde edilebilir; 1000 km üzerinde iki sıcaklığın denk geleceği düşünülür. Daha düşük bir sınırlamada, HTA=120km, termal eşitliğin nötrler, iyon ve elektronlar arasında olduğu varsayılmaktadır. Elektron ve nötr sıcaklıklar arasındaki farklar denklem 4.64'de verilmiştir.

$$T_e(HTA) = T_i(HTA) = T_n(HTA) \quad (4.64)$$

Artan yükselti ile elektron sıcaklığı her zaman iyon sıcaklığının üzerinde tutulmaktadır.

$$T_e(h) \geq T_i(h) \geq T_n(h) \quad (4.65)$$

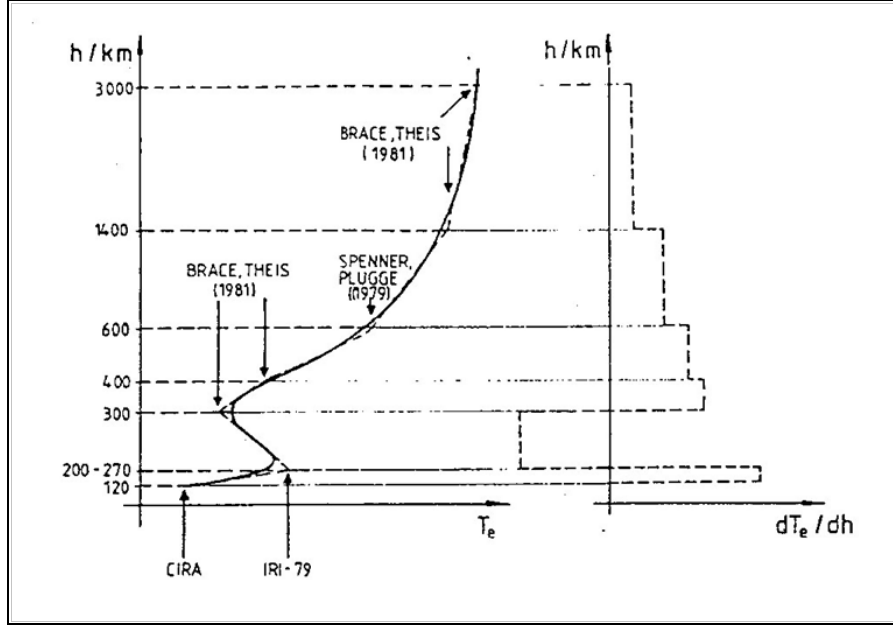
Solar aktiviteli varyasyonlar açık bir şekilde IRI-90 plazma sıcaklık modellerinde yer almamaktadır. Fakat belirtilen sınırlamaların üstü tüm sıcaklıklar bir araya geldiğinde solar aktiviteye neden olabilir. Bu tür durumlarda,örneğin gece zamanında plazma sıcaklıkları solar aktivite ile farklılık gösterir. Plazma sıcaklıklarının gözlemlenen ve modellenen bir örneği Blitza ve Hoegy tarafından verilmiştir.

IRI, nötr sıcaklık modeli olarak COSPAR Uluslar arası Referans Atmosferini kullanmaktadır. IRI bilgisayar kodu CIRA sıcaklıklarını hesaplamak için alt bölümler içerir. Bunun, uygun basitleştirilmiş bir versiyonu bulunur bulunmaz, IRI de yeni çıkarılan CIRA ile birleşeceği planlanmıştır.

4.2.10.10.1 Elektron Sıcaklığı

IRI elektron sıcaklık modelindeki gelişmeler Bilitza ve ekibi tarafından anlatılmıştır. Bu elektron sıcaklık profili bölge sınırlamaları olarak tarif edilen altı alt bölüme ayrılmıştır. Booker'ın yaklaşımını kullanarak sıcaklık profili her bölgede düz bir çizgi ile yakınlştırılmıştır. Böylece sıcaklık şu şekilde tarif edilebilmiştir:

$$T_e(h) = ATE_0 + B(h; AHH_0,5, ST, AHH, DTE) \quad (4.66)$$



Şekil 34. Elektron Sıcaklık Değişimleri

Bölgenin grandyanını:

$$ST_j = (dT_e / dh)_{j-1,j} = (ATE_j - ATE_{j-1}) / (AHH_j - AHH_{j-1}) \quad (4.67)$$

Bölge sınırlamaları AHH_j ($j = 0$ to 6), bu sınırlamalardaki elektron sıcaklıkları ATE_j , ve geçiş kalınlığı DTE_j Tablo 11' de verilmiştir.

Tablo 11. Elektron Sıcaklıkları

j	AHH_j /km	DTE_j /km	ATE_j	Source Model	Data Base	R_{12}^*
0	120	-	$T_n(120\text{km})$	CIRA (1986)	Incoherent scatter, satellites	T_n varies with R_{12}
1	h_m	5	TE_m	-	Incoherent scatter	60 - 120
2	300	5	$TE_{BT}(300\text{km})$	Brace and Theis (1981)	AE-C	10 - 20
3	400	10	$TE_{BT}(400\text{km})$	Brace and Theis (1981)	AE-C	20 - 50
4	600	20	$TE_{SP}(600\text{km})$	Spenner and Plugge (1979)	AEROS	20 - 40
5	1400	20	$TE_{BT}(1400\text{km})$	Brace and Theis (1981)	ISIS 2	40 - 70
6	3000	-	$TE_{BT}(3000\text{km})$	Brace and Theis (1981)	ISIS 1	70 - 110

* R_{12} is 12-months-running mean solar sunspot number.

$$T_e(AHH_j) - ATE_j = DSS_j \approx (ST_{j+1} - ST_j) DTE_j \ln(2) \quad (4.68)$$

DSS_j iskelet profili ve düzleştirilmiş fonksiyon arasındaki farkı açıklamaktadır. Ancak ATE_j, değerleri aynı zamanda iyi tanımlanmış sıcaklıklardır. Bu, yeni sıcaklıkları göstererek ve bunu iskelet profilin eklem noktalarında kullanarak iyi bir dereceye getirilebilir.

$$ATE_j^{(1)} = ATE_j - DSS_j \quad (4.69)$$

Tablo 11, bu modeller arkasındaki veri tabanını ve sıcaklık değerlerini elde etmek için kullanılan kaynak modellerini listeliyor. Brace ve Theis AE-C ve ISIS uydu verilerini manyetik dip yüksekliği bakımından tarif etmek için küresel uyumlu analizlere baş vurmaktadır. 82 kat sayı, ekinoks ve 300 km, 400km, 1400 ve 3000 km de gün dönümü için elde edilmiştir. Birisi saat 03:00 diğeri 15:00 olmak üzere iki set kat sayı verilmiştir. Küçük boylamsal farklılıkları dışarıda tutarak Blitza aşağıdaki yaklaşık izlenimleri elde etmiştir (Bilitza, D., 2001).

$$TE_{sp}(600km, \phi) / K = \begin{cases} 2900 - 5600ESP_1(\phi; 0, 11.35) & \text{at 3p.m} \\ EPSTEP(|\phi|; 839, 2000, 45, 5) & \text{at 3p.m} \end{cases} \quad (4.70)$$

ϕ Derecelerdeki jeomanyetik yüksekliktir. Yerel zaman farklılıkları bölüm 4.8.1.3 de açıklanmıştır.

Alçak enlemlerde gün boyunca sıcaklık profili genellikle 270 km maksimum yerel ölçüyü gösterir. Yükseklik ve sıcaklık tutarsız dağınık ölçümlerden elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} h_m / km &= 210 + 60 \exp(-(\phi / 22.4)^2) \\ TE_m / K &= 1500 + 800 \exp(-(\phi / 33)^2) \end{aligned} \quad (4.71)$$

TE_m gece normal sıcaklık hm=150 km 'e yükseklikte.

IRI modeli çok sayıda roket uydu ve tutarsız dağınık radar ölçümleriyle kıyaslanmıştır. Genel olarak iyi bir uyum söz konusudur: farklılıklar çoğunlukla mevsim ve solar aktivite değişikliklerinin yetersiz açıklanmasından kaynaklanmaktadır.

IRI sıcaklıklarının belirlenmesi için ikinci bir seçenek sunar. Onlar bize gün içinde iyonosferdeki yoğunluk ve elektron sıcaklığı arasındaki, güçlü anti korelasyon kullanan bir modelle hesaplanabilirler. Bu durumda kullanıcılar seçtikleri yüksekliklerdeki elektron yoğunluğunu sağlamak zorundadır. Brace ve Theis'in bu modeli elektron sıcaklığını ,elektron yoğunluğu ve yüksekliği bakımından tarif etmektedir. Bu, solar aktivite değişkenlerini de dahil ederek Bilitza et al tarafından genişletilmiştir.

4.2.10.10.2 İyon Sıcaklığı

Elektron sıcaklığına benzer olarak iyon sıcaklık profili de bir Booker fonksiyonu tarafından sunulmaktadır.

$$T_i(h) = ATI_0 + B(h; XSM_0,3, STI, XSM, DTI) \quad (4.72)$$

$$STI_j = (ATI_j - ATI_{j-1}) / (XSM_j - XSM_{j-1})$$

Tablo 12. İyon Sıcaklık Profili (Bilitza, D., 2001)

<i>j</i>	<i>XSM_j/km</i>	<i>ATI_j</i>	<i>DTI_j</i>
0	<i>HS</i>	<i>T_e(HS)</i>	
1	430	<i>TIM</i>	10
2	<i>HTT</i>	<i>T_e(HTT)</i>	10
3	<i>AHH₅*</i>	<i>ATE₅*</i>	20
4	<i>AHH₆*</i>	<i>ATE₆*</i>	

* If *HTT* > *AHH₅*, then *XSM₃* = *AHH₆* and *ATI₃* = *ATE₆*. (*AHH_j* and *ATE_j* are electron temperature parameters defined in section 3.3.1, page 65, and Table 8.)

İyon sıcaklığı için yapılan tutarsız dağınık ölçümler 430 km de farklı bir değişim göstermektedir. AEROS uydusu ölçümlerini kullanarak, bu noktadaki enlemsel farklılık

$$TIM = \begin{cases} 1240 - 1400EPS_1(\phi; 0, 11.11) & \text{day} \\ 1200 - 300\cos^{1/2}Z & \text{night} \end{cases} \quad (4.73)$$

$$Z = 0.47|\phi| + 0.024\phi^2 \quad (4.74)$$

Yükseklik *HS* , nötr sıcaklık profili üzerinde nokta olarak bulunmaktadır.

HTT , Sabit iyon sıcaklığının STI_2 olduğu tahmin edildiğinde, iyon profilinin elektron sıcaklık profilini karşıladığı yüksekliktedir.

Tutarsız dağılık veriler ve uydu ölçümleri ile yapılan kıyaslamalar orta enlemlerdeki nötr sıcaklık ve iyon arasında daha yakın bir bağlaşıma ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

4.2.10.11 İyon Oluşumu

IRI göreceli iyon yoğunluğu yüzdesini tarif etmektedir, böylece kesin iyon yoğunluğu şöyledir:

$$N_{ion}(h) = N_e(h)R_{ion}(h) \quad (4.75)$$

Bu model O_+ ve O_{2+} yüzdeliğini gösterir ve alt kenardaki NO_+ iyonlar ve üstkenardaki hafif iyonlarla %100 e kadar çıkar.

Booker'ın yaklaşımı O_+ ve O_2 profillerini sunmak için kullanılmaktadır. O_4 iyonları için profil fonksiyonu kalınlıklarla okur $DO_j=9,5,5,50$ km $j=1,2,3,4$ Alçak enlemlerde MO_1 MO_2 ve geçiş yükseklikleri HO_1 HO_2 Danilov ve Semenov tarafından roket verilerinden elde edilmiştir. Solar zenit açısıyla bu parametre varyasyonu step fonksiyonu ile yakınlaştırılmıştır.

$$RO(h) == RO_0 \cdot \exp(B(h; HO_0, 4, MO, HO, DO)) \quad (4.76)$$

Veri tabanındaki sınırlamalardan dolayı bu model güneşli zamanları sınırlandırmıştır. Parametreler Tablo 12' de gösterildiği gibi mevsime ve solar aktiviteye göre çeşitlilik göstermektedir. O_+ profil üstkenar bölümü uydu verilerinden gelen çok küçük verilere itimat göstermektedir. Bu, Tablo 13' de gösterildiği gibi sadece iki enlem sınıfını ve gece ve gündüz koşullarını ayırt etmektedir.

$$MO_1, MO_2, HO_1 = EPSTEP(z; A, B, z_s, d_z) \quad (4.77)$$

O₂₊ profilini göstermek için sadece iki Epstein fonksiyonuna ihtiyaç vardır.

$$RO_2(h) = RO_{2_0} \cdot \exp(B(h; HO_{2_0}, 2, MO_2, HO_2, DO_2)) \quad (4.78)$$

Aşağıdaki adaptasyonlar otomatik olarak program çalışırken yapılmıştır:

- 1) HO₃ yüksekliği üst O₊ iskelet profili, HO₄ geçiş yüksekliği ve gradyanlar %100'e ulaştığında bulunur.

$$HO_3 = HO_4 + (\ln(100) - MO_5(HO_4 - HO_5)) / MO_4 \quad (4.79)$$

Tablo 13. İyon Oluşum Farklarının Mevsime ve Enleme Göre Gösterilmesi (Bilitza, D., 2001)

		Winter	Summer		Equinox	
			COV < 100	COV > 100	COV < 100	COV > 100
$\frac{MO_1}{\%/km}$	A	0.13027	0.161	0.092	0.088	0.102
	B	0.08018	0.069	0.072	0.091	0.083
	z_s	0.25	0.18	0.21	0.34	0.03
	d_z	0.04216	0.254	0.014	0.008	0.045
$\frac{MO_2}{\%/km}$	A	0.00999	0.0216	0.03863	0.0195	0.01
	B	-0.00686	0.0161	0.01389	0.0067	0.00127
	z_s	0.1	0.1	0.12	0.1	0.09
	d_z	5.113	0.03014	0.05762	0.04	0.05
$\frac{HO_1}{km}$	A	180	167	168	172	185
	B	170	152	165	158	167
	z_s	0.15	0.17	0.258	0.24	0.18
	d_z	0.1175	0.04916	0.008	0.01	0.015
HO_2/km		290	290	237	290	
HO_4/km		(HO ₂ + HO ₃)/2				
$RO_1/\%$		100				

	Latitude < 30		Latitude ≥ 30	
	Day	Night	Day	Night
HO_4/km	695	570	695	575
HO_5/km	2177	1040	3367	1380
$MO_3/\% km^{-1}$	0			
$MO_4/\% km^{-1}$	-0.000781	-0.002	-0.000786	-0.00126
$MO_5/\% km^{-1}$	0.00264	-0.0052	-0.00165	-0.00524

* HO₅ is the height at which the percentage of O⁺ ions has decreased to 1%.

HO₃ düşük iskelet profilinin %100 e ulaştığı yükseklikte HO₂ üzerinde olmak zorundadır. Eğer HO₃ HO₂ nin altındaysa o zaman gradyan MO₄ başarılı bir şekilde, HO₃ HO₂ nin üzerinde oluncaya kadar 0.001km⁻¹ 'e düşer.

- 2) Tablo 14'den referans noktasını ve gradyanları kullanarak yeni bir referans noktası elde edilebilir. Böylece O_{2+} için referans noktasının geçiş bölgelerinden birinde olmadığından emin olunur.

Tablo 14. Mevsimlere Göre İyon Oluşumu (Bilitza, D., 2001)

		Winter	Summer		Equinox	
			COV<100	COV>100	COV<100	COV>100
$\frac{NO_{2_1}}{km}$	a	136	130	130	125	125
	b	-9	-10	-10	0	0
$\frac{NO_{2_2}}{km}$	a	181	198	190	182	170
	b	-26	0	0	0	0
$\frac{NO_{2_1}}{km}$	a	0.02994	0.05922	0.05107	0.0307	0.02806
	b	-0.04879	-0.07983	-0.07964	-0.04968	-0.04716
$\frac{NO_{2_1}}{\% / km}$	a	-0.01396	-0.00397	0.00097	-0.00248	-0.00066
	b	0.00089	0.00085	-0.01118	-0.02451	-0.02763
$\frac{HO_1}{km}$	a	-0.09929	-0.00313	-0.02614	-0.00313	-0.02247
	b	0.05589	0	-0.09537	0	-0.01919
HO_{2_0} / km		140	160	140	140	140
RO_{2_0} / km		45	31	30	37	37

Note: $\begin{Bmatrix} HO_2 \\ MO_2 \end{Bmatrix} = a + bz$ $Z = \begin{Bmatrix} \cos x \\ 0 \text{ for } x > 90 \end{Bmatrix}$ x is solar zenith angle

- 3) Yükseklik HO_{mak} , O_+ profil fonksiyonunun maksimuma ulaştığı yerdedir. Eğer RO_{mak} %100 den büyükse, RO_{mak} %100 e eşit ya da daha az oluncaya kadar, RO_o %0.01 'e düşürülür. Eğer O_{2+} iyonlarının bu yüzdesi $100 - RO_{mak}$ dan büyükse, O_+ ve O_{2+} %100 den daha az oluncaya kadar, gradyan MO_{23} başarılı bir şekilde 0.02 km^{-1} e düşürülür.

- 4) HO_{mak} yükseklikte oran :

$$r = (100 - RO_{mak} - RO_2(HO_{mak})) / RO_2(HO_{mak}) \quad (4.80)$$

Burada moleküler iyon profilleri ve ışık iyon profilleri arasındaki karışıklıktan uzak durulmuştur.

Sonuç olarak NO_+ , H_+ ve He_+ yüzdeleri şöyle bulunur :

$$RNO(h) = \begin{cases} 100 - RO(h) - RO2(h) & h \leq HO_{\text{mak}} \\ r RO2(h) & h > HO_{\text{mak}} \end{cases}$$

$$RH(h) = \begin{cases} (100 - RO(h) - RO2(h) - RNO(h))/(1 - P) & h \geq HO_{\text{mak}} \\ 0 & h < HO_{\text{mak}} \end{cases} \quad (4.81)$$

$$RHE(h) = RH(h)P/(1 - P)$$

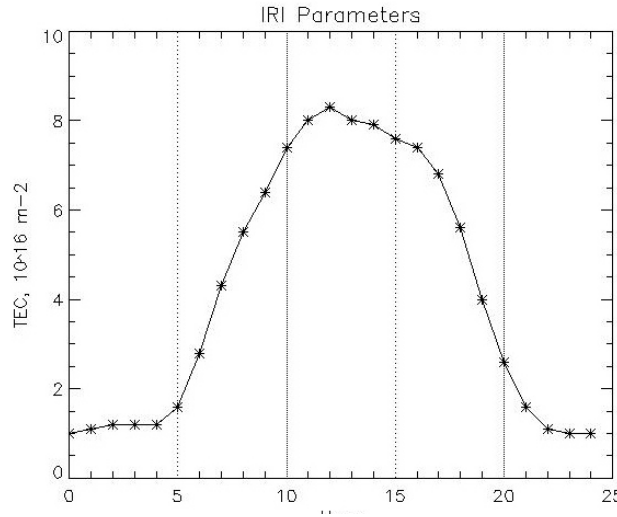
$P = 0.1$ tüm ışık iyonlarının toplamı olarak He_+ iyonlarının oranıdır.

Tutarsız dağınık verilerle ve ISS-b verileri arasındaki kıyaslamalar IRI nin üst kenar iyonosferdeki ışık iyonlarının yüzdeliğini olduğundan fazla gösterdiğini sergilemektedir. Alçak enlemlerde S3-1 uydu verisi ve ekvatorial roket verileri ile yapılan karşılaştırmalarda da farklılıklar bulunmuştur. Deneysel iyon oluşum modeli ve IRI nin mümkün olan gelişimi Blitza tarafından sunulmuştur.

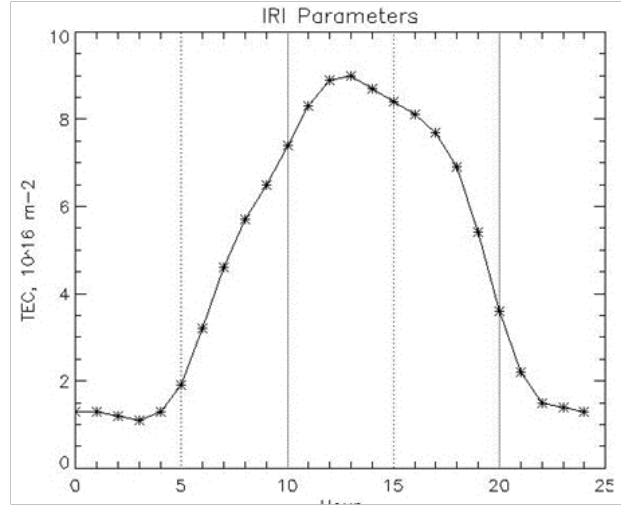
Danilov ve Yaichnikov tarafından alternatif bir model geliştirilmiştir. Bu, solar aktivite, mevsim ve enlem solar zenit açısını da göz önüne alarak O_+ , H_+ , He , NO_+ , O_{2+} , N_+ nın göreceli yoğunluklarını vermektedir. Bu bilgiler uyduların ve roketlerin verilerine dayanmaktadır. IRI-90 bu modeli iyonosferik iyon oluşumunun hesaplanması için ikinci bir seçenek olarak sunmuştur. Bilgisayar kod listesi aşağıdaki gibidir:

4.2.10.12 IRI Programı ile Elektron Yoğunluğunun ve TEC Değişiminin Hesabı

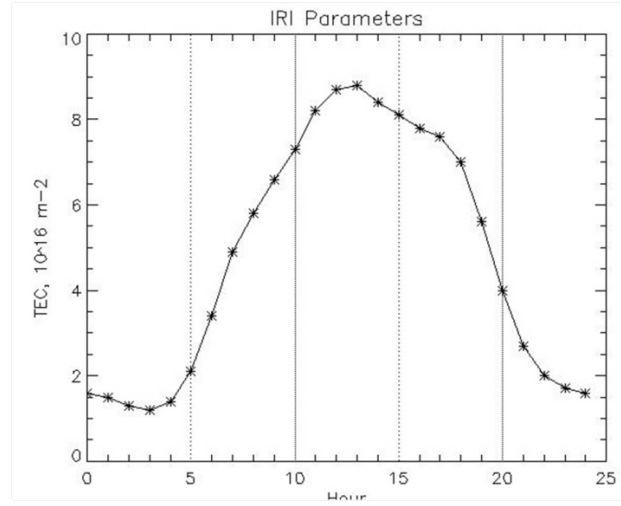
Bu bölümde, International Reference Ionosphere (IRI) modeli kullanılarak elektron yoğunluğunun günün saatine ve yüksekliğe bağlı olarak ve TEC değişimi elde edilmiştir. IRI dataları, iyonosonda verileriyle, uydu ve roket ölçümleriyle ve radar ölçümleriyle elde edilen verilerden faydalanarak, elektron yoğunluğunun değişimlerini hesaplamamıza olanak vermektedir. Güneşin oldukça sakin olduğu bir yıl olan 2010 yılı içerisinde, elektron değişiminin gözlemlendiği Nisan ayı için IRI aracılığı ile Ne değişimini ve TEC değişimini tarafımızdan incelenmiştir. Şekil 35, Şekil 36, ve Şekil 37'de günün saatine bağlı olarak 5 Nisan, 15 Nisan ve 23 Nisan 2010 tarihlerinde TEC değişimi görülmektedir. Ayrıca Şekil 38, Şekil 39, Şekil 40, Şekil 41, Şekil 42, Şekil 43'de de elektron yoğunluğu değişimi günün saatine ve yüksekliğe bağlı olarak gösterilmektedir.



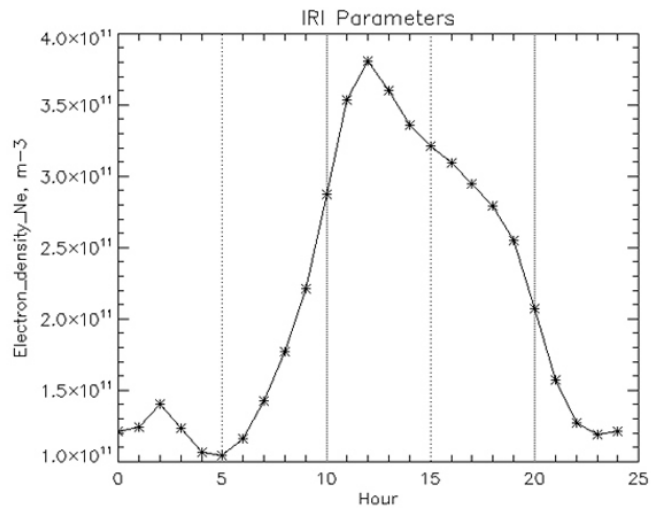
Şekil 35. 5 Nisan 2010 tarihindeki TEC değişimi



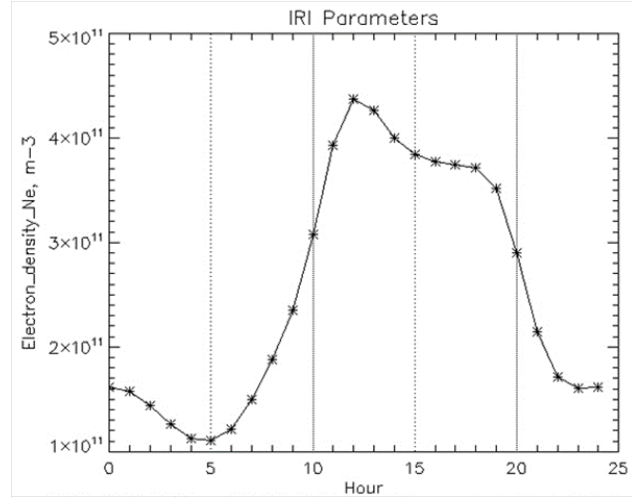
Şekil 36. 15 Nisan 2010 tarihindeki TEC değışimi



Şekil 37. 23 Nisan 2010 tarihindeki TEC değışimi

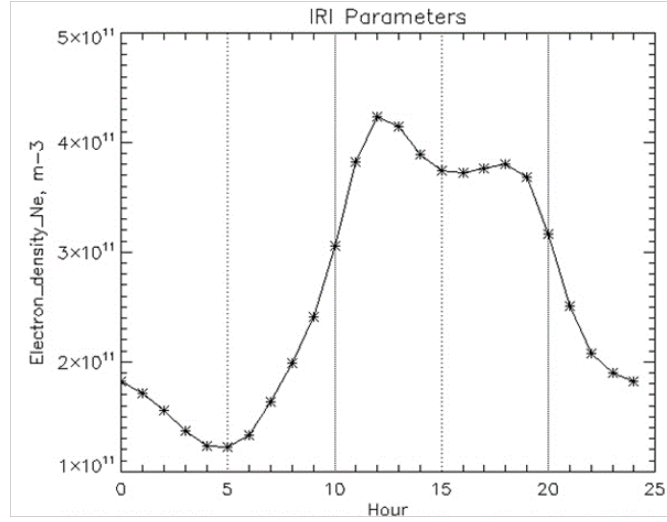


Şekil 38. 5 Nisan 2010 tarihindeki elektron yoğunluğu değışimi

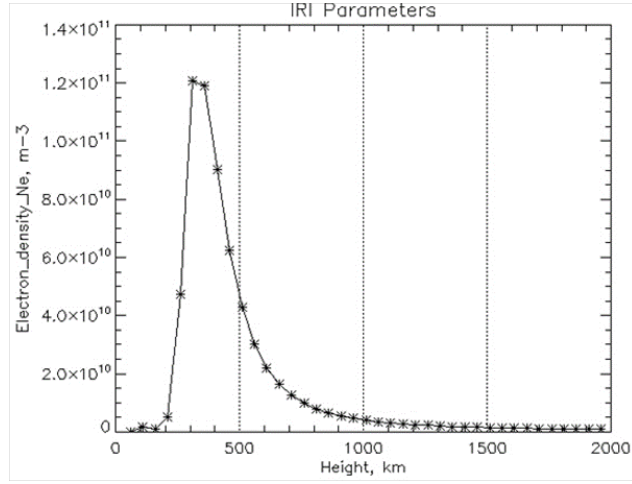


Şekil 39. 15 Nisan 2010 tarihindeki elektron yoğunluğu değişimi

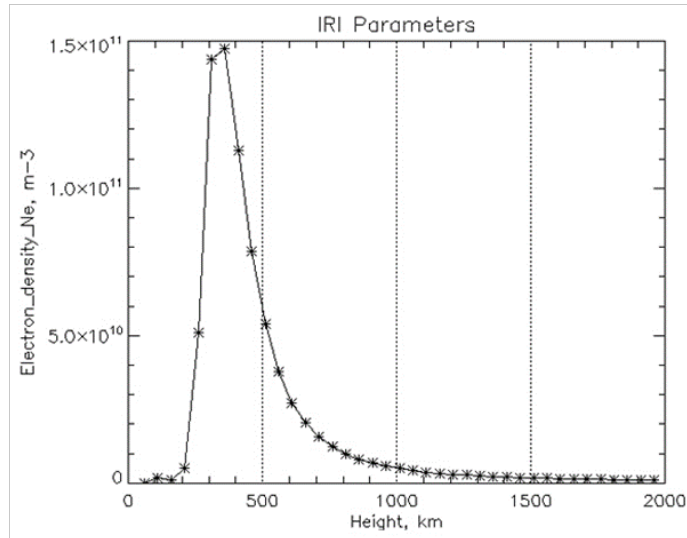
Bu tarihte $K_p=7$ ve Dst indisi de -75 civarındadır. Uluslararası değerlendirmelerde $K_p \geq 3$ olması, manyetik bir fırtınanın varlığını ifade etmektedir (noaa.gov). Bu nedenle 5 Nisan tarihindeki N_e ve TEC değişimleri belirlenmiştir. 5 Nisan 2010 tarihinde TEC değişiminin maksimum $8.6 \cdot 10^{16} \text{ e/m}^2$ olduğu ve N_e ninde günün maksimum $3.8 \cdot 10^{11} \text{ e/m}^3$ olduğu tespit edilmiştir. Şekil 41, Şekil 42, ve Şekil 43'de de maksimum elektron yoğunluğu 350 km'de $1.2 \cdot 10^{11} \text{ e/m}^3$ değerinde olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 15 Nisanda $K_p=6$, $Dst=-50$ durumunda iken N_e 'nin gün içindeki maksimum değeri $4.4 \cdot 10^{11} \text{ e/m}^3$ iken, 350 km'de maksimum $1.5 \cdot 10^{11} \text{ e/m}^3$ değerlerinin aldığı belirlenmiştir. Aynı şekilde 23 Nisan 2010 tarihinde K_p 'nin yaklaşık 4 olması manyetik bir fırtınanın varlığını işaret etmektedir. Yine bu tarihte N_e değişimi gün içinde maksimum $4.2 \cdot 10^{11} \text{ e/m}^3$ iken, 350 km'de maksimum $1.6 \cdot 10^{11} \text{ e/m}^3$ olmaktadır.



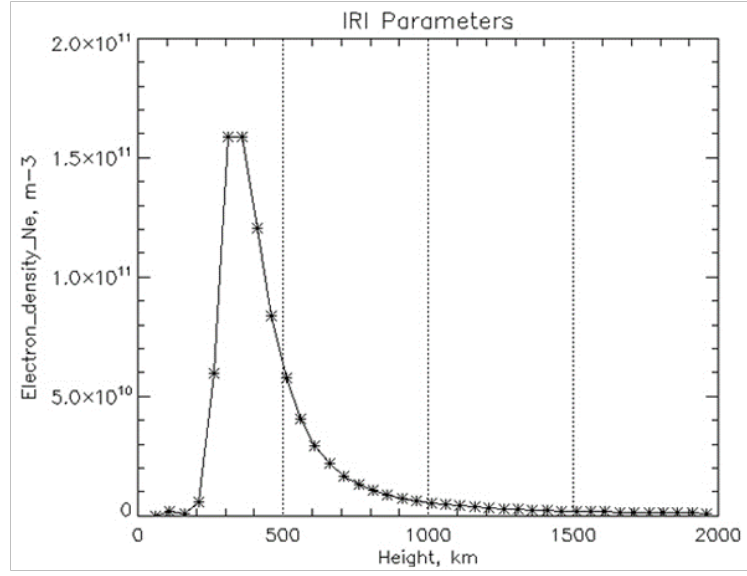
Şekil 40. 23 Nisan 2010 tarihindeki elektron yoğunluğu değişimi



Şekil 41. 5 Nisan 2010 tarihinde elektron yoğunluğunun yüksekliğe göre değişimi



Şekil 42. 15 Nisan 2010 tarihinde elektron yoğunluğunun yüksekliğe göre değişimi



Şekil 43. 23 Nisan 2010 tarihinde elektron yoğunluğunun yüksekliğe göre değişimi

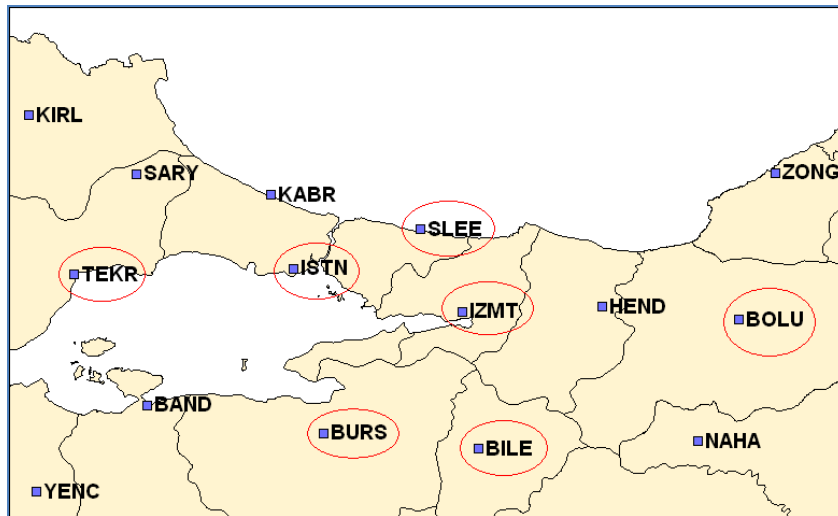
5. DIŞ ODAKLI ETKİLER VE HAREKETLER

Kasım 2008 tarihi itibarıyla 146 istasyonluk CORS-TR kurulumu haricinde tamamlanmış ve işlemeye başlamıştır. Türkiye'nin her yerinde RTK ve statik teknikler kullanılarak kullanıcılar tarafından koordinatlarının hızlı, ekonomik ve duyarlı olarak belirlenmesi operasyonu yapılabilmektedir.

CORS-TR GNSS gözlemleriyle ve güçlü akademik yazılımlar kullanarak (Bernese, GAMIT vb) noktaların jeodezik duyarlı koordinatlarını hesaplamak mümkündür. Bu noktalarda ölçüleri tekrarlayarak noktaların konumlarındaki değişiklikleri mm ler mertebesinde belirlemek mümkündür.

Bilindiği üzere Türkiye bir deprem ülkesi olup depremlerin önceden bilinmesi ve erken uyarı sistemlerinin kurulması konularında yoğun çabalar sarf edilmektedir. Tektonik hareketlerin CORS-TR ve ilave GNSS gözlemleri ile belirlenmesi depremlerin önceden bilinmesi araştırmaları için en somut verilerden birisini oluşturacaktır.

Bu bağlamda, evvela 1-15 Ocak 2009 tarihleri arasında 7 GPS yer istasyonunda derlenen GNSS verileri değerlendirilmiş ve günlük koordinat değişiklikleri analiz edilmiştir. Söz konusu istasyonların Kuzey Anadolu Fay Hattının iki tarafında olmasına özen gösterilmiştir. Bu 7 istasyon Şekil 44'de gösterildiği gibi İstanbul, Bursa, Tekirdağ, İzmit, Şile, Bilecik ve Bolu dur.



Şekil 44. İncelemesi yapılan CORS-TR yer istasyonlarının konumları

Sözkonusu 7 istasyona ait koordinatlar aşağıda verilmektedir. Burada, N_0 , E_0 sabit istasyonların koordinatlarını, Z_0 ise sabit istasyonun yerin merkezine göre olan, “km” cinsinden uzaklığını göstermektedir. Her istasyon için

$$\Delta N = [\text{Uyduverisi } N] - [N_0]$$

$$\Delta E = [\text{Uyduverisi } E] - [E_0]$$

$$\Delta Z = [\text{Uyduverisi } Z] - [Z_0]$$

Olmak üzere ΔN , ΔE , ΔZ hesaplanmıştır.

İstanbul ;

$$N_0 = 40^\circ 48' 01''.84220$$

$$E_0 = 28^\circ 49' 53''.88637$$

$$Z_0 = 6369.057142 \text{ km}$$

Bolu ;

$$N_0 = 40^\circ 32' 36''.11511$$

$$E_0 = 31^\circ 36' 07''.32053$$

$$Z_0 = 6369.86429 \text{ km}$$

Bilecik ;

$$N_0 = 39^\circ 57' 06''.922117$$

$$E_0 = 29^\circ 58' 38''.60134$$

$$Z_0 = 6369.8774585 \text{ km}$$

Bursa ;

$$N_0 = 40^\circ 12' 51''.30734$$

$$E_0 = 29^\circ 00' 54''.82565$$

$$Z_0 = 6369.4494465 \text{ km}$$

İzmit;

$$N_0 = 40^\circ 48' 07''.12407$$

$$E_0 = 29^\circ 57' 03''.36458$$

$$Z_0 = 6369.3758736 \text{ km}$$

Şile ;

$$N_0 = 40^\circ 58' 41''.21049$$

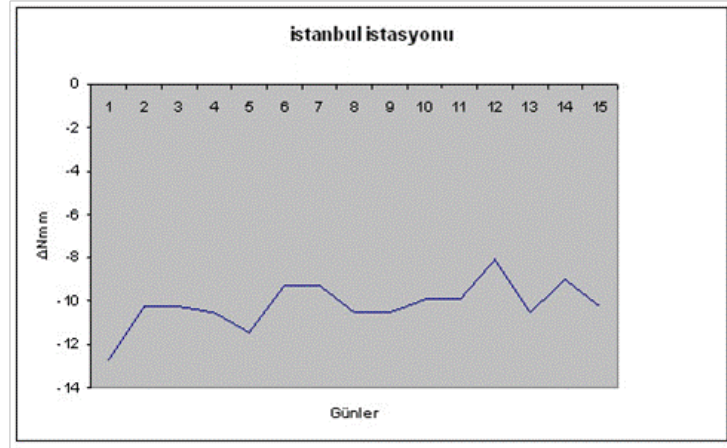
$$E_0 = 29^\circ 36' 02''.46045$$

$$Z_0 = 6369.0422076400 \text{ km}$$

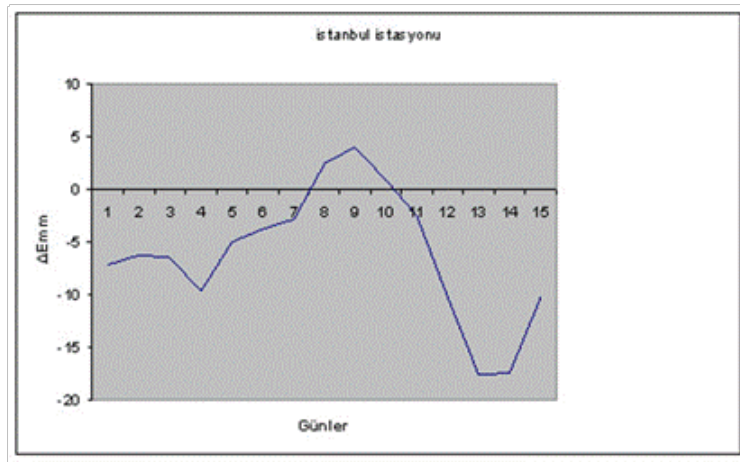
5.1 İstanbul 1-15 Ocak 2009

1-15 ocak 2009 tarihleri arasında, İstanbul İstasyonuna ait ΔN , ΔE ve ΔZ hesaplanmış olup farklar sırasıyla Şekil 45, Şekil 46, ve Şekil 47’de gösterilmektedir. Burada elde edilen sonuçlar CORS-TR ekibi tarafından daha önce yapılmış olan çalışmalarda elde edilmiş sonuçlarla uyum içindedir (Eren K., vd., 2011).

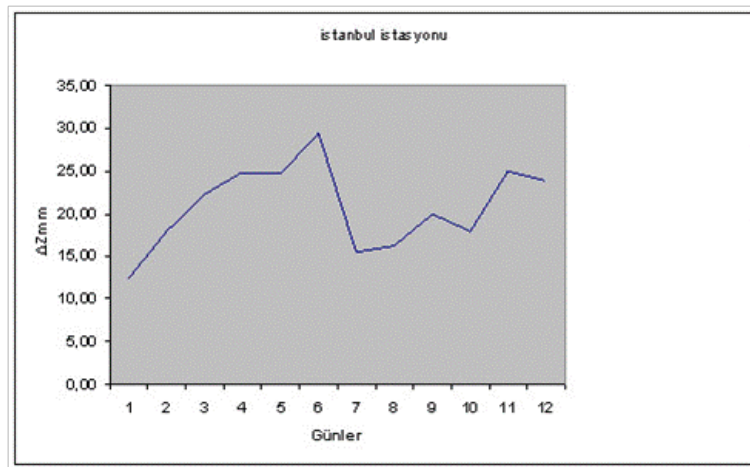
Şekil 45’de ΔN farkında “mm” düzeyinde bir trendin olduğu gözlenmektedir. Şekil 46’da ise ΔE farkında 4 Ocaktan itibaren bir dalgalanmanın varlığı görülmektedir. Şöyle ki 4 Ocak’da İstanbul istasyonunun ΔE değişimi -10mm değerinde olup daha sonra sürekli bir artış göstererek 9 Ocak’da +5mm değerine yükselmektedir. Şekil 47’de ΔZ farkında 5-11 ocak tarihleri arasında bir dalgalanma izlenebilmektedir. Bu değişimlerin güneş veya atmosferik etkenlerle ilgisi olup olmadığı hususu daha sonraki kısımlarda incelenecektir.



Şekil 45. İstanbul İstasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)



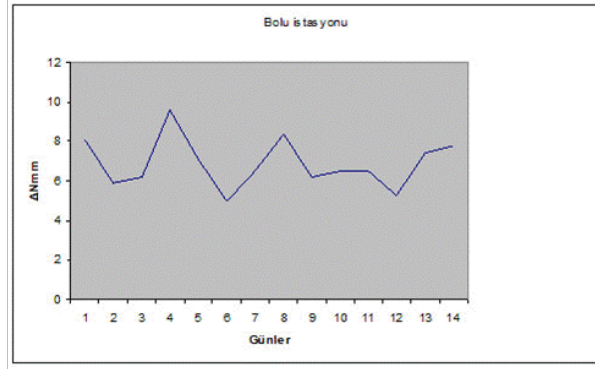
Şekil 46. İstanbul İstasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)



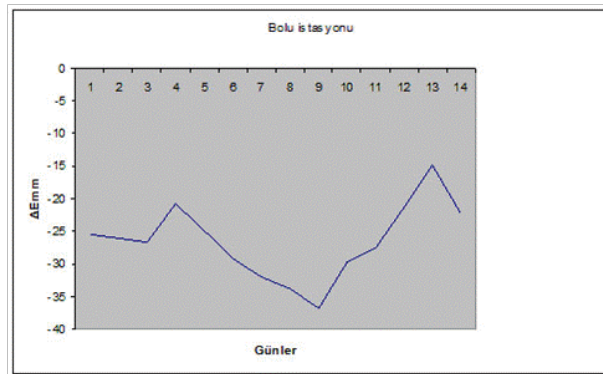
Şekil 47. İstanbul İstasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)

5.2 Bolu 1-15 Ocak 2009

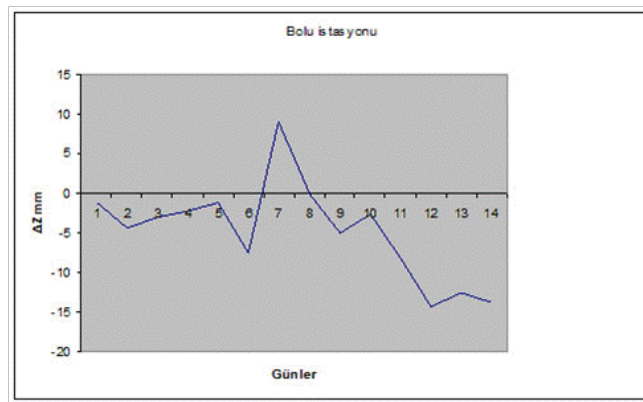
Şekil 48, Şekil 49, ve Şekil 50’de Bolu istasyonu için 1-15 Ocak 2009 tarihleri arasında GPS kayıtlarından elde edilen ΔN , ΔE ve ΔZ değişimlerini sırası ile göstermektedir.



Şekil 48. Bolu istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)



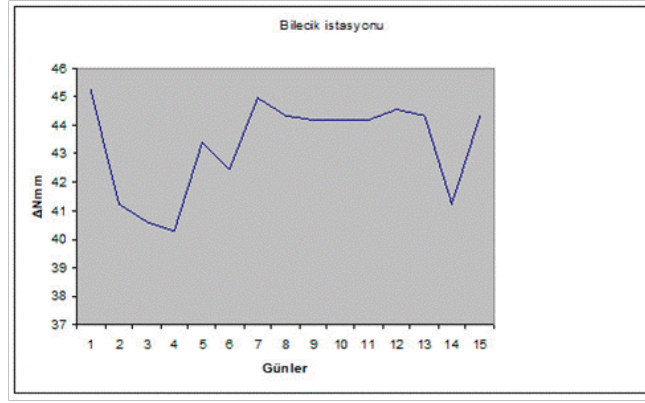
Şekil 49. Bolu istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)



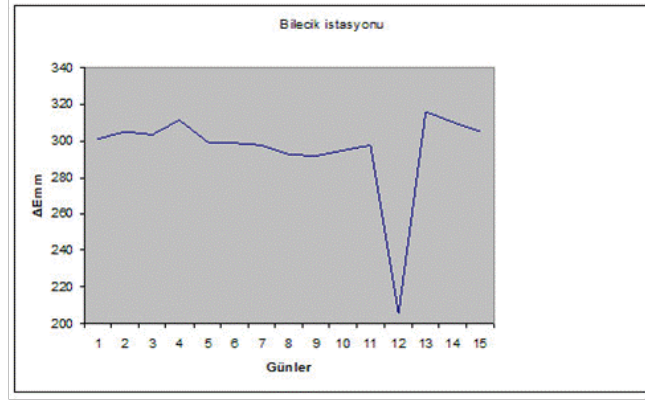
Şekil 50. Bolu istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)

5.3 Bilecik 1-15 Ocak 2009

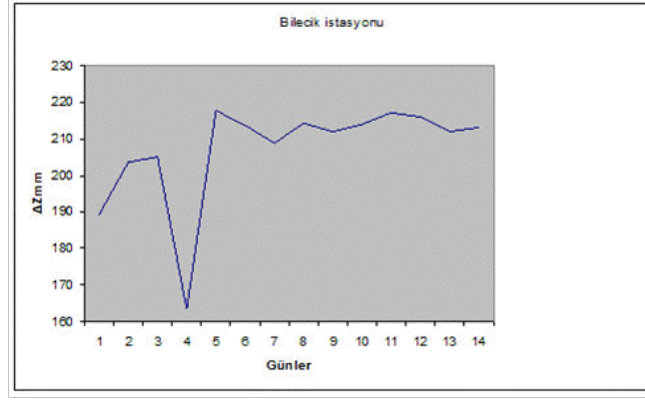
Şekil 51, Şekil 52, Şekil 53’de sırasıyla Bilecik’in 1-15 Ocak 2009 tarihindeki ΔN , ΔE ve ΔZ değişimlerini göstermektedir. Söz konusu şekillere ait verileri karşılaştırmamızdan, genel trendin benzerlik taşıdığı açıktır. Diğer bir nokta da 4 Ocakta gözlenen bir tepe değerinin her üç istasyonda da gözlenebilmesidir. Bu tepe değerlerinin güneş veya atmosferik olaylar ile ilgisi kısımda tartışılacaktır. 4 Ocak 2009’da ΔN ve ΔZ ’de bir minimum gözlenirken, ΔE ’de ise bir maksimum pik gözlemlenmektedir.



Şekil 51. Bilecik istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)



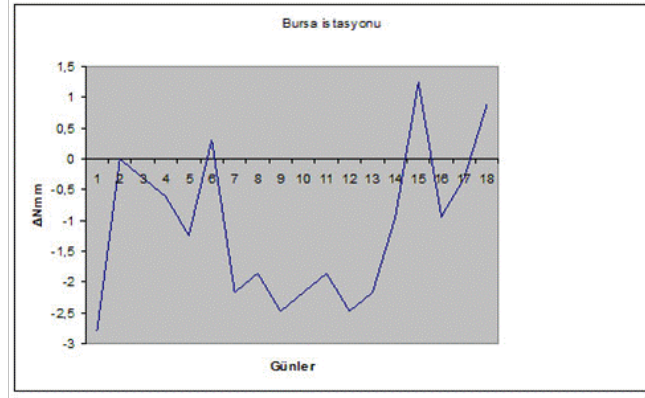
Şekil 52. Bilecik istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)



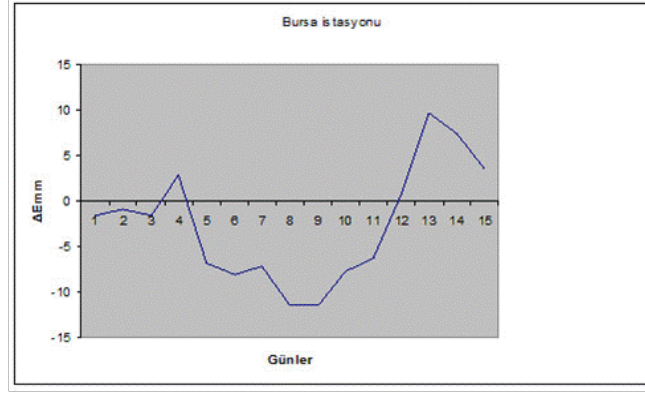
Şekil 53. Bilecik istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)

5.4 Bursa 1-15 Ocak 2009

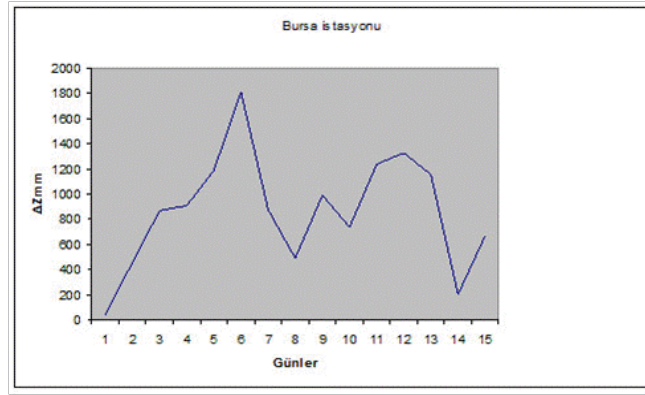
Şekil 54, Şekil 55, ve Şekil 56'da sırasıyla Bursa'nin 1-17 Ocak 2009 tarihindeki ΔN , ΔE ve ΔZ değişimlerini göstermektedir. Bursa kayıtlarından, ΔN değişiminin diğer kayıtlar ile benzerlik arzemediği açıktır.



Şekil 54. Bursa istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)



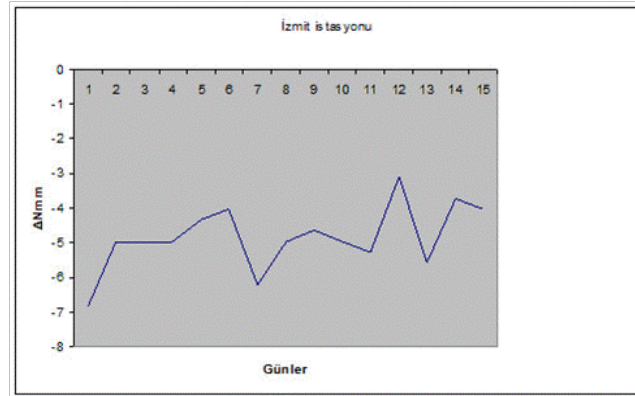
Şekil 55. Bursa istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)



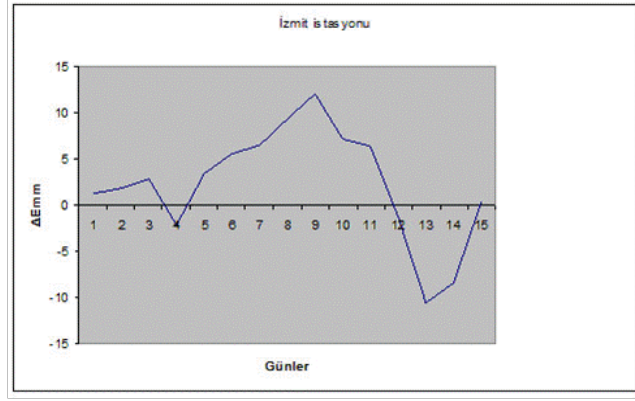
Şekil 56. Bursa istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)

5.5 İzmit 1-15 Ocak 2009

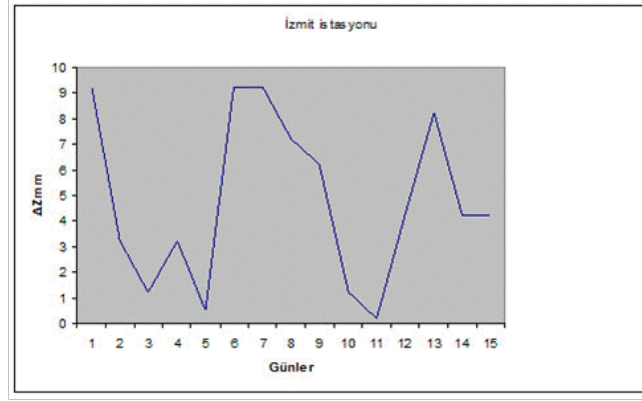
Şekil 57, Şekil 58, ve Şekil 59’de 1-15 Ocak 2009 tarihlerindeki İzmit’e ait ΔN , ΔE ve ΔZ değişimleri görülmektedir.



Şekil 57. İzmit istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)



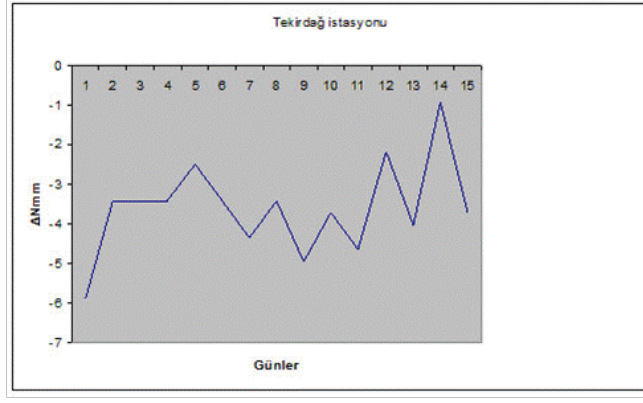
Şekil 58. İzmit İstasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)



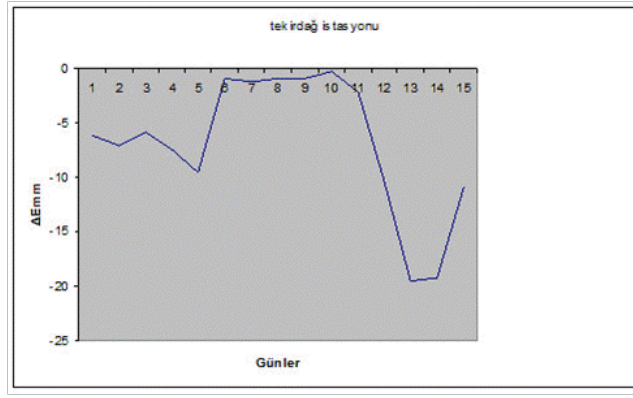
Şekil 59. İzmit İstasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)

5.6 Tekirdağ 1-15 Ocak 2009

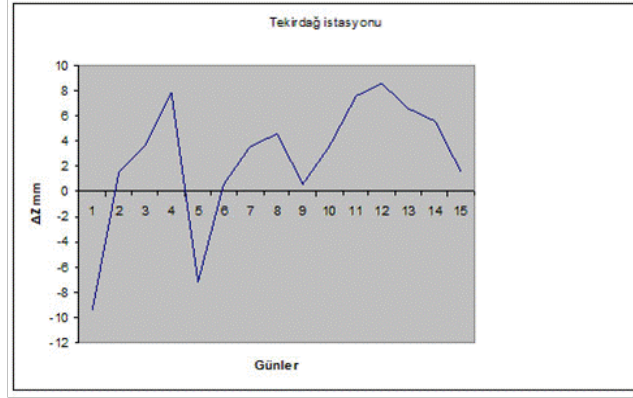
Aşağıdaki Şekil 60, Şekil 61, ve Şekil 62'de Tekirdağ için 1-15 Ocak 2009 tarihindeki ΔN , ΔE ve ΔZ değişimi görülmektedir. Tekirdağ İstasyonu kayıtlarından ΔN değişimi diğer İstasyonlardakilere paraleldir. ΔE ve ΔZ değişimleri ise 3,4,5,6,7 Ocakdaki değişimi destekler niteliktedir.



Şekil 60. Tekirdağ istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)



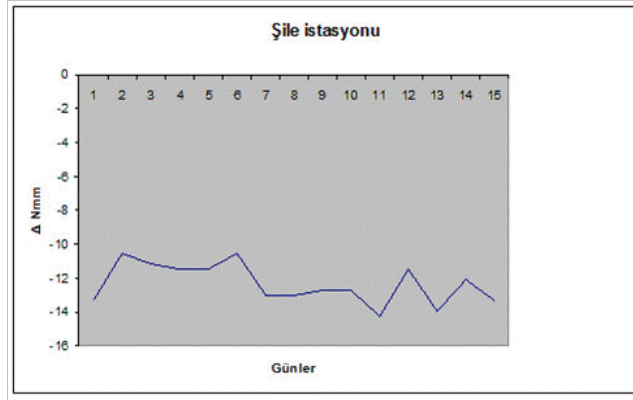
Şekil 61. Tekirdağ istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)



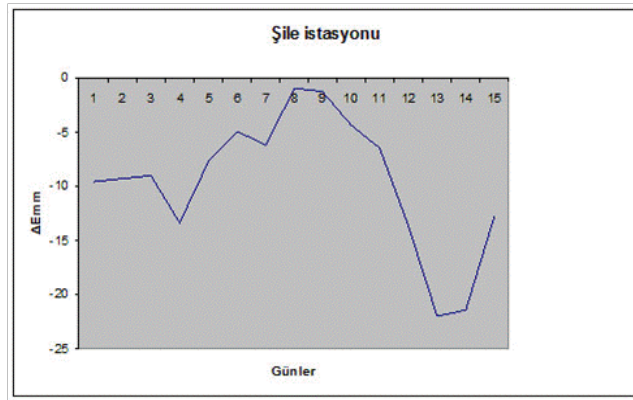
Şekil 62. Tekirdağ istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)

5.7 Şile 1-15 Ocak 2009

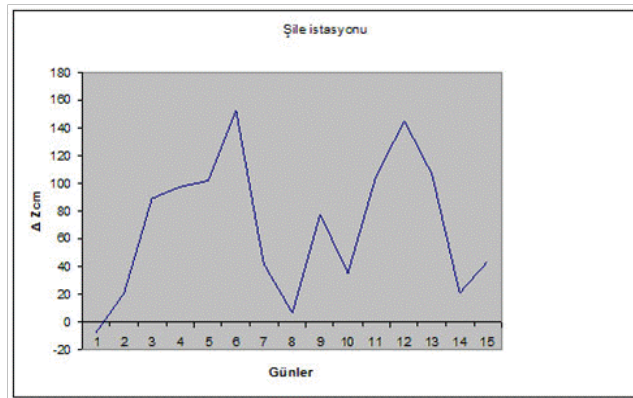
Şekil 63, Şekil 64 ve Şekil 65’de Şile için 1-15 Ocak 2009 tarihindeki ΔN , ΔE ve ΔZ değişimleri görülmektedir.



Şekil 63. Şile istasyonuna ait ΔN değişimi (1-15 Ocak 2009)



Şekil 64. Şile istasyonuna ait ΔE değişimi (1-15 Ocak 2009)



Şekil 65. Şile istasyonuna ait ΔZ değişimi (1-15 Ocak 2009)

5.8 Genel Değerlendirmeler

7 Ocak 2009 da ΔZ değişimi farklı istasyonlar için incelendiğinde İstanbul ve Bilecik için minimum pik değerini vermekte iken, Boluda maksimum bir pik değeri vermekte, İzmitte maksimum değer almakta, Tekirdağ'da maksimuma doğru bir çıkış trendi sergilerken, Şile'de minimuma doğru bir iniş trendi göstermektedir. Bolu, İzmit ve Tekirdağı Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde olup, gösterdikleri ΔZ değişimi (Eren K., vd., 2011) çalışmalarda elde edilen sonuçlardaki uyumludur.

Ancak çok ilginç olarak 3,4,5 Ocak tarihlerinde, ilk dört istasyonda da, çok belirgin şekilde etkileyici bir olayın varlığı kesindir. Tesadüfi hatalar, her dört istasyonda da aynı karakteri taşıyamaz. Yorumumuz bu hareketin yer kaynaklı olduğudur

Izmit kayıtlarında ΔN kaydı, genel trendi doğrular niteliktedir. Kuzeye doğru mm mertebesinde bir yer değiştirme varlığı söylenebilir. ΔE kaydı Şekil 58'de 4 Ocak anormalisi (böyle adlandırılır) aynen mevcuttur. ΔZ kaydında ise ilginç noktalar vardır. Şekil 59'de aynı değişimi göstermektedir.

Şile istasyonu kayıtları da benzer şekilde diğer istasyonlardaki gibi 3,4,5,6 Ocak anormalisini doğrular niteliktedir.

5.9 Arz Dışı Odaklı Etkiler

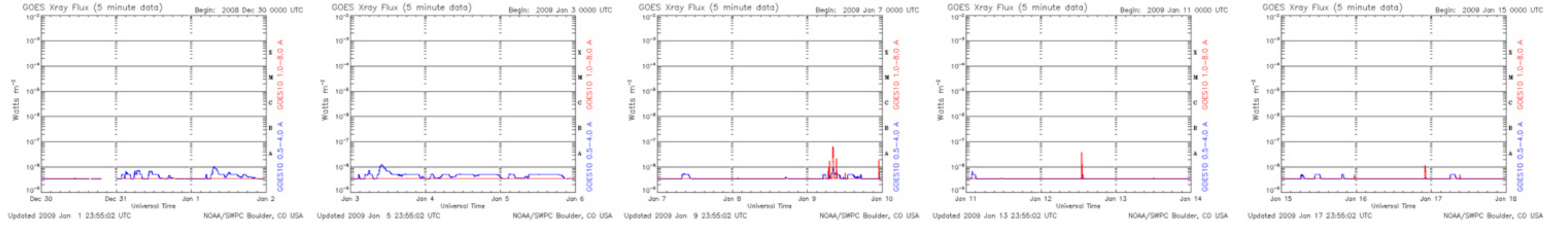
Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere 1-15 Ocak 2009 tarihleri arasında güneşten gelen x ışınlarının ve diğer parametrelerin aynı peryottaki değişimleri incelenmiştir.

5.9.1 X-ışınları

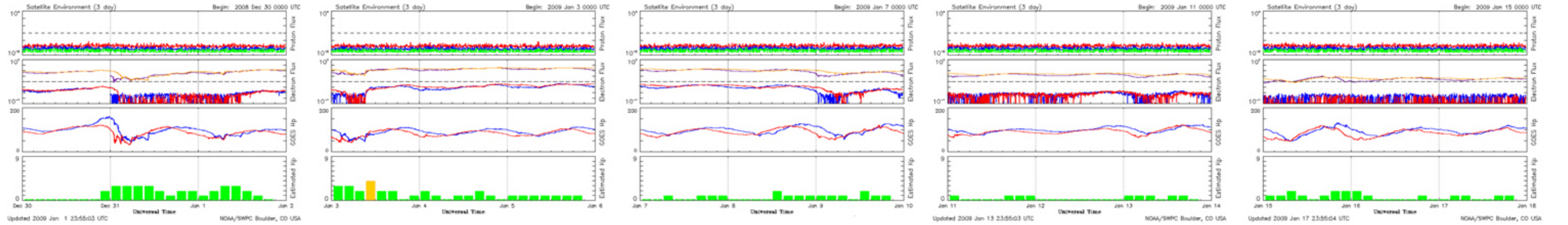
Güneşten gelen x-ışınlarının kayıtları GOES uydusuna göre Watt/m^2 cinsinden örnek olarak 1-15 Ocak 2009 tarihleri arasındaki kaydı Şekil 66'da gösterilmektedir. Soldaki düşey eksen Watt/m^2 'yi; sağdaki düşey eksen X-ışınlarının dalga boylarını Å^0 (Angström) cinsinden göstermektedir. Kayıtların yapıldığı dönemde X-ışını radyasyonu çok sakinidir.

5.9.2 Proton (+) ve Elektron (-) Akıları ile H_p ve K_p Katsayıları

Yüklü çekirdek akısı (Proton Flux), Elektron akısı (Electron Flux), H_p (uydu yörüngesindeki magnetik alan), K_p (Magnetik Aktivite katsayısı) sinyalleri etkileyen başlıca göstergelerdir. H_p ve K_p katsayıları 1-15 Ocak tarihleri arasında Şekil 67’de birlikte gösterilmektedir. X-ışınları, elektron akısı, H_p ve K_p arasındaki paralellik şekillerden takip edilebilmektedir. Özellikle 9,10,11,12 Ocaktaki elektron akısı ile K_p paralellik göstermektedir.



Şekil 66. X-ışınları kayıtları (1-15 Ocak 2009)



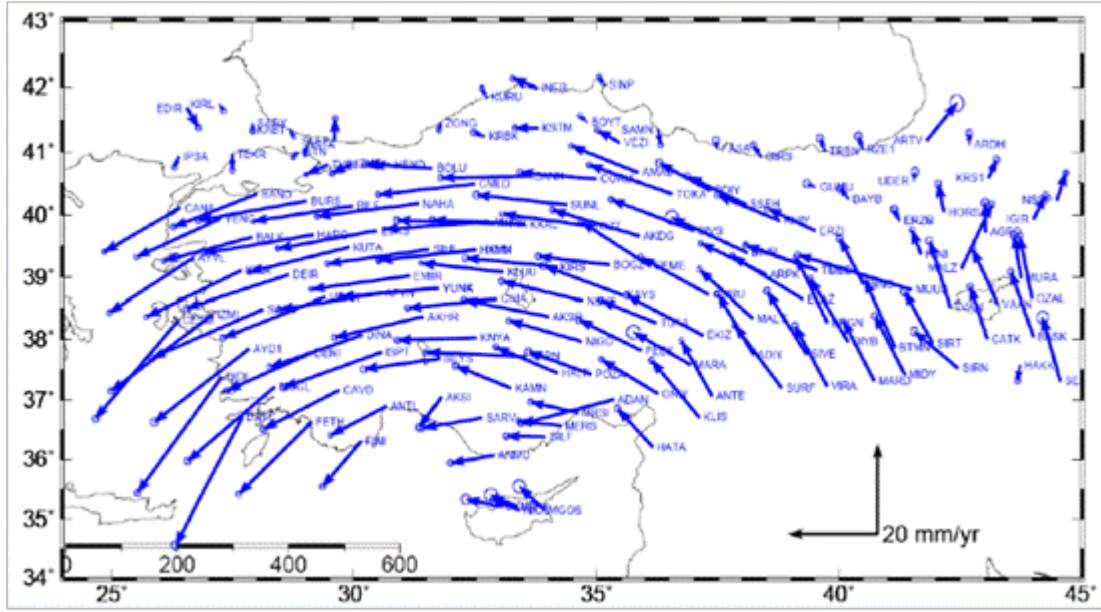
Şekil 67. Elektron akısı, Proton Akısı, Hp, Kp Kayıtları (1-15 Ocak 2009)

5.10 ΔN ve ΔE Farklarının İncelenmesi

Projede kullanılan 7 CORS istasyonuna ait ΔN ve ΔE sonuçları bu kısımda irdelenmektedir. Tablo 15’de görüldüğü gibi; bu istasyonlardaki 15 günlük farklar incelendiğinde İstanbul, Tekirdağ, Şile istasyonları kayıtlarının bir blok, Bolu, Bursa, İzmit kayıtlarının diğer bir blok meydana getirdiği görülmektedir. Bu tablodaki değerler kısa bir periyodu içermesi nedeniyle sayısal mertebelere ihtiyatlı yaklaşmak doğru olacaktır. Yine de istasyon ve üzerinde buldukları blokların hareketleri hakkında bazı ipuçları vermektedir. Buna göre Kuzey Anadolu Fay hattının kuzeyinde olan üç istasyon ile fayın altında olan diğer üç istasyon birbirlerine nazaran zıt yönde hareket etmektedirler. Sonuçlarımız (Eren K., vd., 2011) da elde edilen sonuçlara tamamen uymaktadır. Burada tek farklı kayıt Bilecik sonuçlarıdır. Bilecik İstasyonu fay hattının güneyinde kalmakla beraber sonuçlarımız diğer üç istasyon ile birlikte (Bolu, Bursa, İzmit) batıya doğru, kuzey-güney doğrultusunda güneye doğru hareket ettiğini göstermektedir. Bu sonuçta da elde edilen sabit CORS istasyonu hız haritasındaki verilere uymaktadır (Şekil 68).

Tablo 15. İstanbul, Tekirdağ, Şile, Bolu, Bilecik, Bursa ve İzmit istasyonlarına ait ΔE ve ΔN değişimleri (1-15 Ocak 2009)

	Doğu Batı	Kuzey Güney
	ΔE	ΔN
İstanbul	0,028 →	-0,127 ↑
Tekirdağ	0,137 →	-0,0863 ↑
Şile	0,538 →	-0,127 ↑
Bilecik	-1,13 ←	0,122 ↑
Bolu	-0,248 ←	-0,032 ↓
Bursa	-0,469 ←	-0,04 ↓
İzmit	-0,248 ←	-0,1 ↓



Şekil 68. CORS-TR İstasyonlarının Hız Haritası (Eren K., vd., 2011)

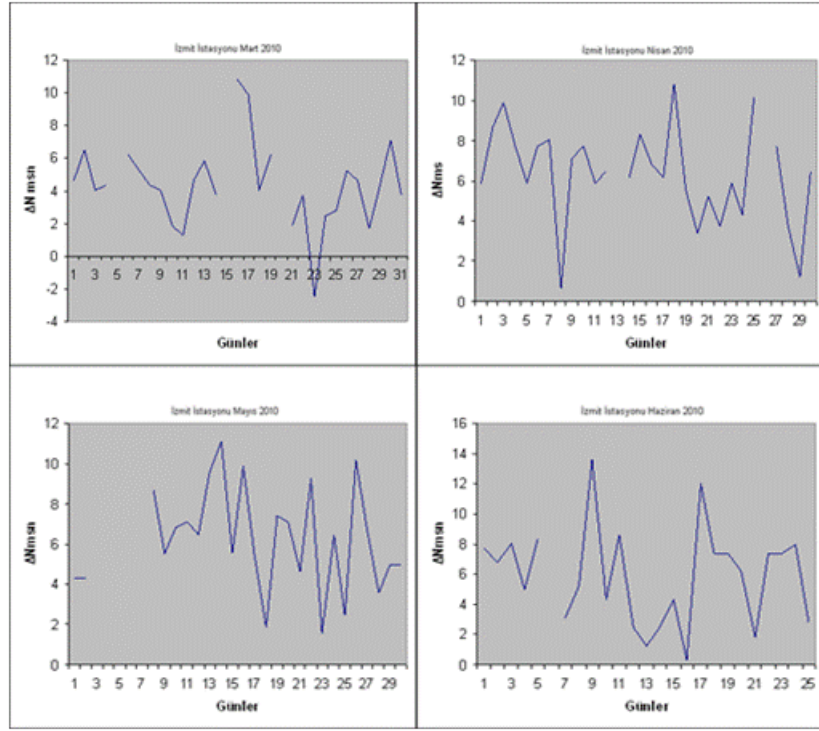
5.11 Uzun Süreli Kayıtlar

İzmit ve Bilecik istasyonları için 2010 yılı içerisinde Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarına ait daha uzun süreli ΔN ve ΔE farkları da incelenmiştir. Bu değişimleri her istasyon için aşağıda ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

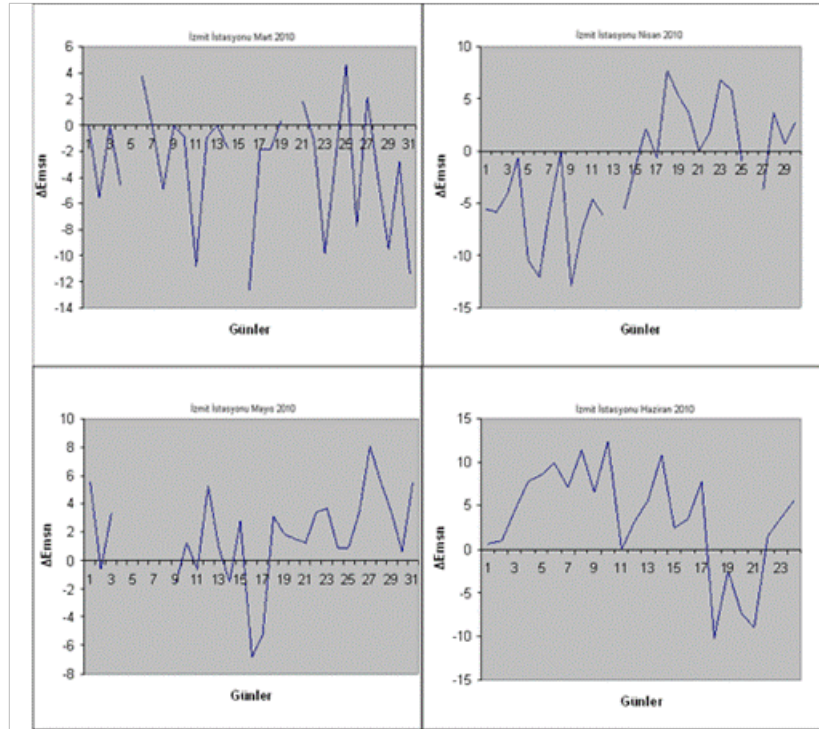
5.11.1 İzmit İstasyonu

İlk incelemelerimize nazaran, daha uzun süreli olan bu kayıtlar, her üç bileşen için genel bir trendi yani sürekli olarak bir hareket olduğunu göstermektedir. Bu bizim hız vektörlerini hesaplamamıza da olanak sağlamaktadır.

İzmit istasyonu için 4 aylık ölçüm sonuçlarından 100 günlük periyotta ΔN değeri 5,42 msn olarak hesaplanmıştır (Şekil 69). Aynı periyotta ΔE değeri ise 5.75 msn olarak hesaplanmıştır (Şekil 70). Pozitif (artım yönünde) bir trend olması dikkat çekicidir.



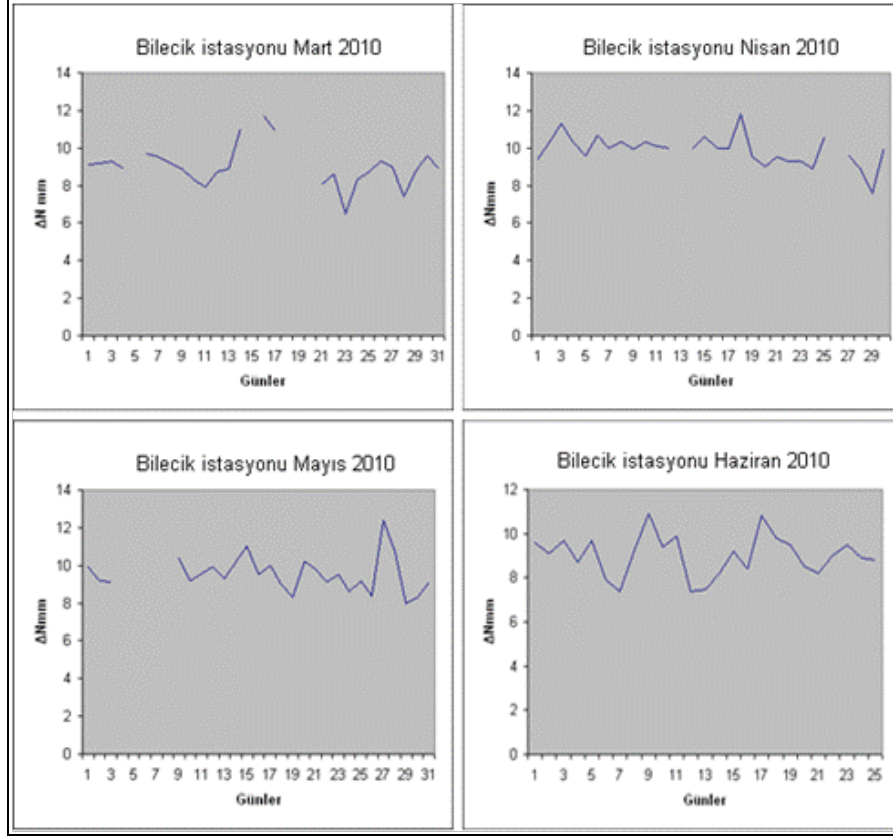
Şekil 69. İzmit istasyonu için uzun süreli ΔN kayıtları



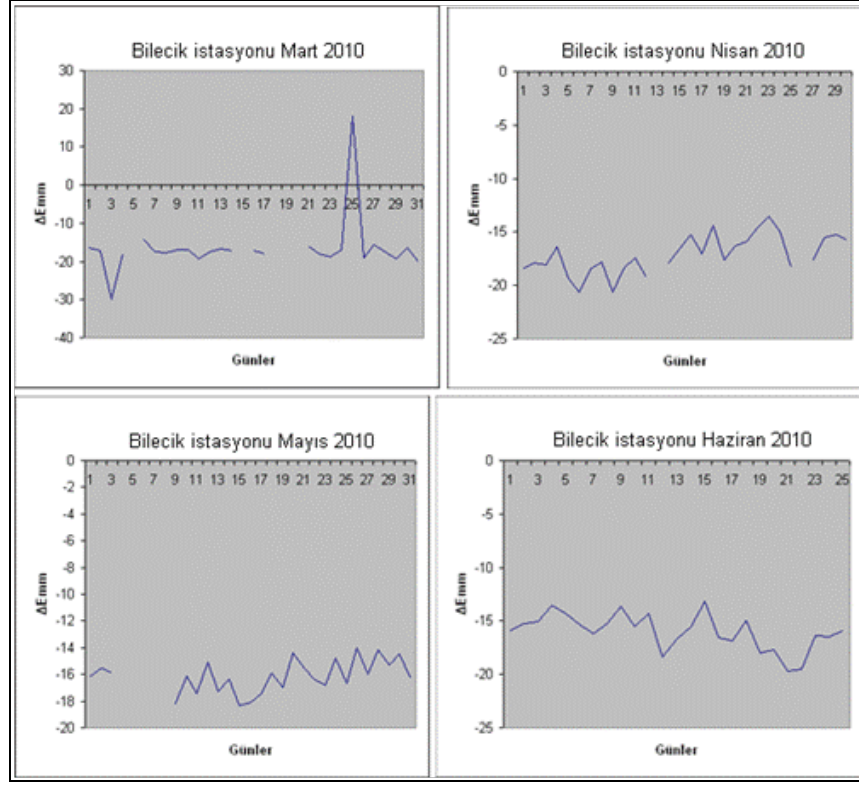
Şekil 70. İzmit istasyonu için uzun süreli ΔE kayıtları

5.11.2 Bilecik İstasyonu

Şekil 71 ve Şekil 72’de Bilecik İstasyonunda Mart-Nisan-Mayıs-Haziran 2010 peryotlarında elde edilen ΔE ve ΔN değerleri gösterilmektedir.



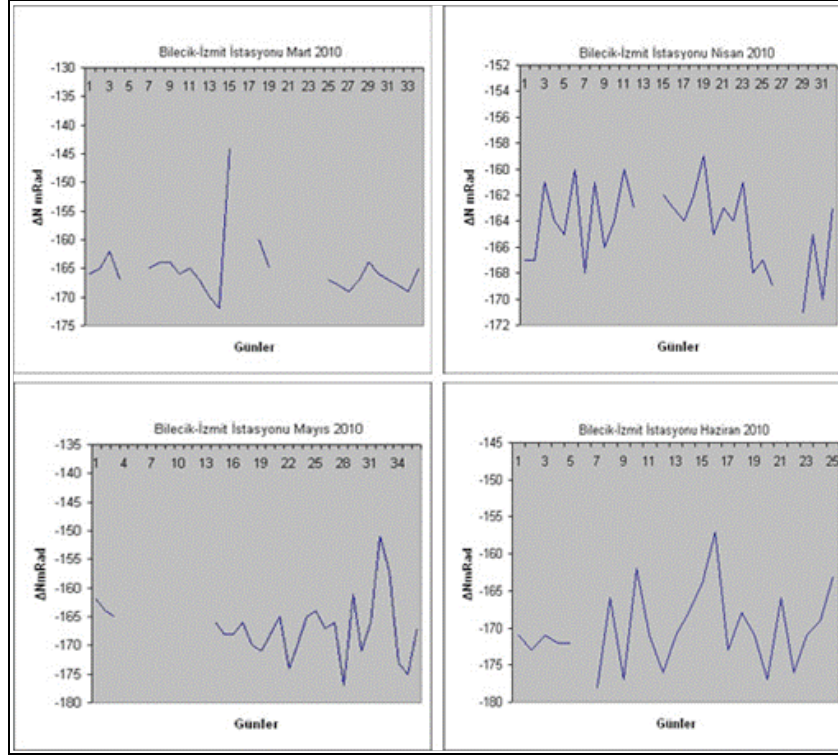
Şekil 71. Bilecik istasyonu için uzun süreli ΔN kayıtları



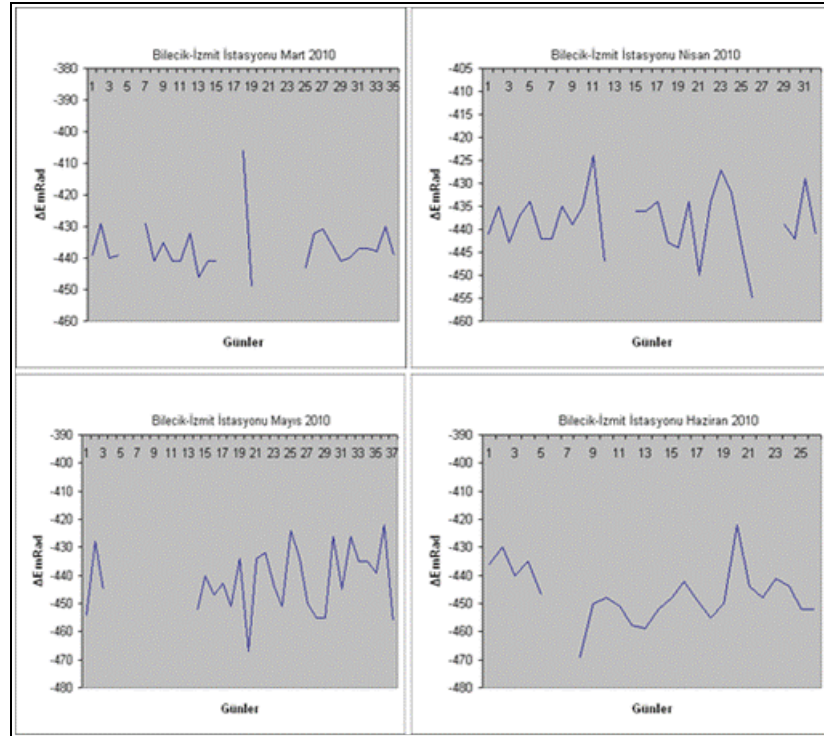
Şekil 72. Bilecik istasyonu için uzun süreli ΔE kayıtları

5.11.3 İzmit-Bilecik İstasyonları

Şekil 73 ve Şekil 74'de dört aylık Mart-Nisan-Mayıs-Haziran 2010 aylarına ait İzmit ile Bilecik istasyonları arasındaki $\Delta \bar{E}$ ve $\Delta \bar{N}$ farklılıklarının değişimini göstermektedir. $\Delta \bar{E}$ doğu-batı doğrultusunu; $\Delta \bar{N}$ kuzey-güney doğrultusundaki farklılığı göstermektedir. Yaptığımız Regresyon analizinden İzmit – Bilecik arasındaki ΔE $7,72 \cdot 10^{-2}$ mm/100 gün, ΔN $4,53 \cdot 10^{-2}$ mm/100 gün olarak hesaplanmıştır. Bu farkların hesapların duyarlılığının altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 73. Bilecik- İzmit istasyonu için uzun süreli ΔN kayıtları



Şekil 74. Bilecik-İzmit istasyonu için uzun süreli ΔE kayıtları

6. CORS-TR İLE TOPLAM ELEKTRON MİKTARI (TEC) HESAPLARI

6.1 İyonosfer Ortamında Elektromanyetik Dalga Yayılımı

Bu bölümde iyonosferde elektromanyetik dalga yayılımı incelenmektedir. Uydulardan yayılan GNSS sinyalleri, yeryüzeyindeki alıcılara erişmeden önce, iyonosferi ve troposferi katetmek zorundadır. Doğal bir plazma olan iyonosferde, elektromanyetik dalga ilerlerken yansıma ve kırılmalara uğrayacaktır. Bu ise GPS vericisinden gönderilen sinyalin alıcıya ulaşana kadar faz ve grup gecikmelerine uğramasına sebep olacaktır. Bu nedenle bu bölümden önce iyonize ortamda elektromanyetik dalga yayılımı incelenmiştir. GNSS sinyallerinin gecikmesine neden olan iyonosferin, toplam elektron içeriği iyonosferin özelliklerini belirlemede kullanılan önemli parametrelerden biridir. Bu yüzden de iyonize ortamda elektromanyetik dalga yayılımını inceledikten sonra TEC değişimi araştırılmıştır (Gümrükçü O., 2009).

Homojen izotrop bir ortamda yayılan elektromanyetik dalga'nin elektrik alan bileşeni,

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (6.1)$$

dalga denkleminde uymaktadır. Burada μ ortamın manyetik geçirgenliği ve ϵ da ortamın elektriksel geçirgenliğidir. Bilindiği üzere elektrik alan vektörünün

ortamdaki yayılma hızı $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$ faz hızıyla ifade edilir. μ de Snell kanunundan

faaydalanılarak hesaplanabilir, $\mu = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} = \sqrt{\kappa}$ buradaki κ da ortamdaki soğuma

katsayısıdır (Davies K., 1968).

x doğrultusunda yz düzleminde yayılan bir düzlem elektromanyetik dalganın hareket denkleminde

$$E = E_0 e^{i(\omega t - kx)} \quad (6.2)$$

bu bağıntıda k ortamdaki yayılma sabiti olup $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 'dır. λ ortamdaki dalga boyu

ve $i^2 = -1$ 'dir. Düzlem dalganın hareket denklemi ise aşağıda verilmektedir:

$$\begin{aligned} E &= E_0 \cos(\omega t - kx) \\ E &= E_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \\ E &= E_0 \cos k_0 (ct - \mu x) \end{aligned} \quad (6.3)$$

Bu denklemlerde $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ boşuktaki yayılma sabiti, λ_0 boşuktaki dalga boyudur.

Ortamda aynı faz hızı ile yayılan bu denklemlerde v, μ ve k reel büyüklüklerdir. Soğurucu bir ortamda ise bu parametreler kompleks formda ifade edilirler. n kompleks kırılma indisi olmak üzere,

$$\begin{aligned} E &= E_0 e^{i(\omega t - nk_0 x)} \\ n &= \mu - i\chi \end{aligned} \quad (6.4)$$

olarak ifade edilir. (6.4) eşitliğinde μ ve χ kırılma indisinin reel ve imajiner kısmıdır. Kırılma indisinin kompleks ifadesini (6.2) dalga denkleminde yerine yazılırsa,

$$E = E_0 e^{-k_0 \chi x} e^{i(\omega t - \mu k_0 x)} \quad (6.5)$$

Bu denkleminde $K = k_0 \chi$ ortamın soğurma katsayısı ve $E_0 e^{-iKx}$ de dalganın genliğidir ve uzaklık ile eksponansiyel olarak azalmaktadır. Ortamın kompleks kırılma indisini veren bağıntı, E elektrik alanına ve P polarizasyonuna bağlı olarak ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} D &= \varepsilon E = \varepsilon_0 E + P \\ K &= \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = 1 + \frac{P}{\varepsilon_0 E} \end{aligned} \quad (6.6)$$

Dalganın yayıldığı ortamdaki $\frac{P}{E}$ oranı hesaplanabilirse n kırılma indisi bağıntısı kolaylıkla tayin edilebilir. Düzlem dalganın yayıldığı ortamın, elektriksel olarak nötr olduğu, yük dağılımının uniform olduğu, elektronların sadece dalganın yayılımını etkilediği, soğuk plazmada ki termal hareketlerin ve boş uzayın manyetik

özelliklerin var olduğu, Lorentz polarizasyon teriminin olmadığı bir ortam olduğu kabul edilir.

x doğrultusunda ilerleyen bir radyo dalgasının elektrik alan vektörünün y bileşeni

$$E_y = E_0 \cos(\omega t - kx) \quad (6.7)$$

denklemleri ile ifade edilir. İyonosferde ilerleyen dalga ile parçacıkların çarpışmaları sırasında, dalgada ki potansiyel enerji parçacıktaki kinetik enerjiye dönüşür bu enerjiyle hareket eden parçacıklar elektromanyetik dalga yayarlar ve en sonunda gelen dalgaya enerjilerini iade ederler. Elektronlardan saçılan dalgalar, ilerleyen dalgalarda faz değişimine sebep olurlar.

İzotropik ortamda kırılma indisinin bulunabilmesi için ortamın $\frac{P}{E}$ (constitutive) ilişkisinin hesaplanması gerekir. Bundan dolayı E elektrik alan etkisi altında bulunan bir m kütleli ve e yüklü iyon üzerine etki eden elektrostatik kuvveti $F = eE$ olur.

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = eE_y \quad (6.8)$$

İzotropik ortam için kırılma indisi bağıntısı (6.9) denklemi ile bulunur.

$$n^2 = 1 - \frac{N_e^2}{\epsilon_0 m \omega^2} \quad (6.9)$$

denklemleri bulunur. Bu denklem reel bir değer olduğu için

$$\mu^2 = 1 - \frac{N_e^2}{\epsilon_0 m \omega^2} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (6.10)$$

olarak yazılabilir.

$$\omega_N^2 = \frac{N_e^2}{\epsilon_0 m} \quad (6.11)$$

yada

$$f_N^2 = \frac{N_e^2}{4\pi^2 \epsilon_0 m} \quad (6.12)$$

olarak ifade edilebilir. Burada ω_N ortamın açılma plazma frekansı olarak adlandırılır.

Yukarda iyonize ortamı izotropik kabul ederek kırılma indisi bağıntısı elde edilmiştir. Ortamda bir dış manyetik alanın bulunduğunu soğrulmanın olduğunu düşünülürse bu denklemler oldukça karmaşık olacaktır. Burada x eksenine θ açısı yapan bir \vec{B}_0 dış manyetik alanının bulunduğunu kabul edilir. Ayrıca çarpışma frekansının elektronunun enerjisinden bağımsız olduğu varsayılacaktır. Böyle bir dış alanda x eksenine doğrultusunda ilerleyen düzlem radyo dalgası düşünülür. Elektron üzerine etki edecek olan kuvvetler, elektrostatik kuvvet eE , manyetik $e\vec{v} \times \vec{B}_0$ ve çarpışmalardan kaynaklanan sürtünme kuvvetidir. Bir dalga için elektrik alanı etkisi altında serbest elektronun hareket denklemi (6.13) eşitliği ile verilir.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = e(E + \vec{v} \times \vec{B}_0) - m\nu\vec{v} \quad (6.13)$$

Burada ν çarpışma frekansdır. Bu denklemde \vec{v} ile $\frac{d\vec{v}}{dt}$ değerleri yerini yazılarak N_e ile çarpılırsa, E ve P arasındaki bağıntı, (6.14) eşitliği ile verilir.

$$-P = \varepsilon_0 XE + iPXY - iZP \quad (6.14)$$

$$X = \left(\frac{w_H}{w}\right)^2, Y = \left(\frac{e}{mw}\right), Z = \frac{\nu}{w}$$

(6.14) bağıntısı plazmanın constitutive ilişkisi olarak tanımlanmaktadır. Bu denklemin x, y ve z bileşenleri

$$-P_x = \varepsilon_0 XE_x - iP_z Y_T - iP_x Z \quad (6.15)$$

$$-P_y = \varepsilon_0 XE_y - iP_z Y_L - iP_y Z \quad (6.16)$$

$$-P_z = \varepsilon_0 XE_z - iP_x Y_T - iP_y Y_L - iP_z Z \quad (6.17)$$

olarak elde edilirler. Ortamın elektromanyetik özelliklerini gösteren bu denklemlerde $Y_T = Y \sin \theta, Y_L = Y \cos \theta$ dir.

Bu bağıntılardan $\frac{P_y}{E_y}$ ve $\frac{P_z}{E_z}$ oranları hesaplanabilir. x doğrultusunda, elektrik alanının etkisi ile ortamdaki deplasmanın elektrik alan ve polarizasyona bağlı olan denkleminde

$$D_x = \varepsilon_0 E_x + P_x = 0 \quad (6.18)$$

faaydalanılarak

$$\frac{P_x}{P_z} = \frac{iY_T}{1 - X - iZ} \quad (6.19)$$

elde edilir. R polarizasyon terimi olduğundan

$$R = -\frac{H_y}{H_z} = \frac{D_z}{D_y} = \frac{E_z}{E_y} = \frac{P_z}{P_y} \quad (6.20)$$

$$P_y E_z = P_z E_y \quad (6.21)$$

elde edilir. Yukarıda elde edilen P_y bileşeni P_z ile çarpılıp, yine elde edilen P_z bileşenini veren denklem de P_y ile çarpılıp, bu denklemler birbirinden çıkarıldığında,

$$P_z^2 Y_L - P_x P_y Y_T + P_y^2 Y_L = 0 \quad (6.22)$$

denklemini elde edilir. Bu denklemini P_y^2 ile bölüp, $\frac{P_z}{P_y}$ yerine de R ifadesi yazılarak,

$$R^2 Y_L - \left(\frac{P_x}{P_z} \right) R Y_T + Y_L = 0 \quad (6.23)$$

$$Y_L R^2 - \frac{iY_T^2}{1 - X - iZ} R + Y_L = 0 \quad (6.24)$$

elde edilir. Bu denklemin kökleri çözümlerse

$$R = \frac{i}{2Y_L} \left(\frac{Y_T^2}{1 - X - iZ} \mp \sqrt{\frac{Y_T^4}{(1 - X - iZ)^2} + 4Y_L^2} \right) \quad (6.25)$$

olarak bulunur.

$$\frac{P_y}{\varepsilon_0 E_y} = -\frac{X}{(1 - iZ + iY_L R)} \quad (6.26)$$

(6.25) ve (6.26) denklemleri kırılma indisi bağıntısında (6.9)'da yerine yazılırsa,

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \left(\frac{Y_T^2}{2(1 - X - iZ)} \right) \mp \sqrt{\frac{Y_T^4}{4(1 - X - iZ)^2} + Y_L^2}} \quad (6.27)$$

Manyetik alan yokluğunda ise $Y_L = Y_T = 0$ alınarak kompleks kırılma indisi yazılır. Bu durumda kırılma indisi (6.28) eşitliğiyle verilir.

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ} \quad (6.28)$$

Eğer izotropik olmayan ortamda parçacıkların (iyonosfer için iyon ve elektronların, dalgayla) yaptıkları çarpışmaları önemsenmezse bu durumda kırılma indisinde $Z = \frac{v}{w}$ değeri yerine $Z = 0$ alınır. Dolayısıyla kırılma indisi, (6.29) denklemi ile verilir.

$$\mu^2 = 1 - \frac{2X(1 - X)}{2(1 - X) - Y_T^2 \pm \sqrt{Y_T^4 + 4(1 - X^2)Y_L^2}} \quad (6.29)$$

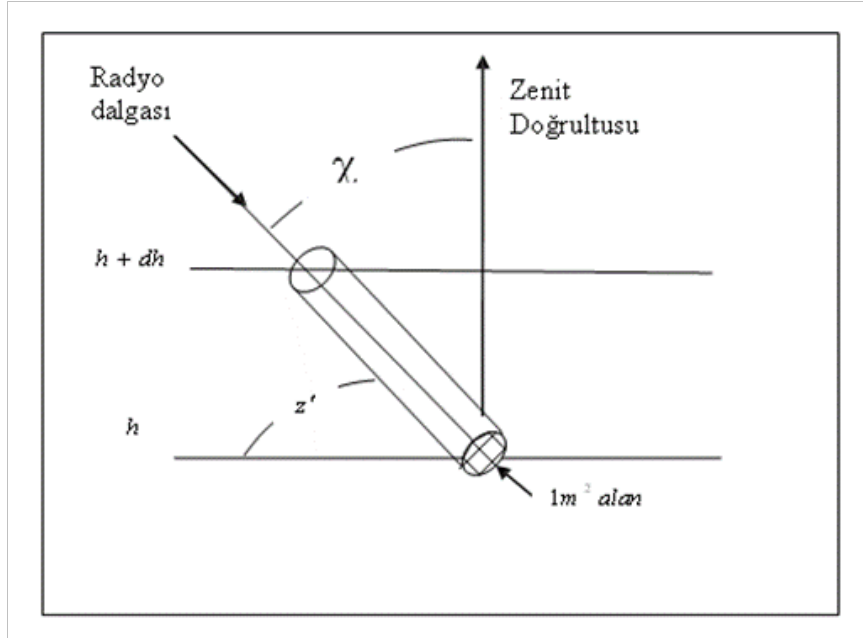
Eğer hem çarpışma hemde manyetik alan ihmal edilirse, bu durumda da kırılma indisi ifadesinde, Z,Y değerleri yerine sıfır yazılır ve böylece kırılma indisi ifadesi (6.30) eşitliği gibi elde edilir.

$$\mu^2 = 1 - X = 1 - \left(\frac{f_N}{f} \right)^2 = 1 - \kappa \frac{N}{f^2} \quad (6.30)$$

Burada κ bir sabit olup değeri $\kappa \approx 80.5N$ metre küp başına elektrondur (Davies, 1968). Tüm bu işlemlerden anlaşılacağı üzere ionosferdeki, manyetik alan değişimleri ve parçacık çarpışmaları, ionosferin yapısını, dolayısıyla kırılma indisini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenden dolayı kırılma indisi ionosfer araştırmaları için çok önemlidir.

6.2 TEC'in Hesaplanması

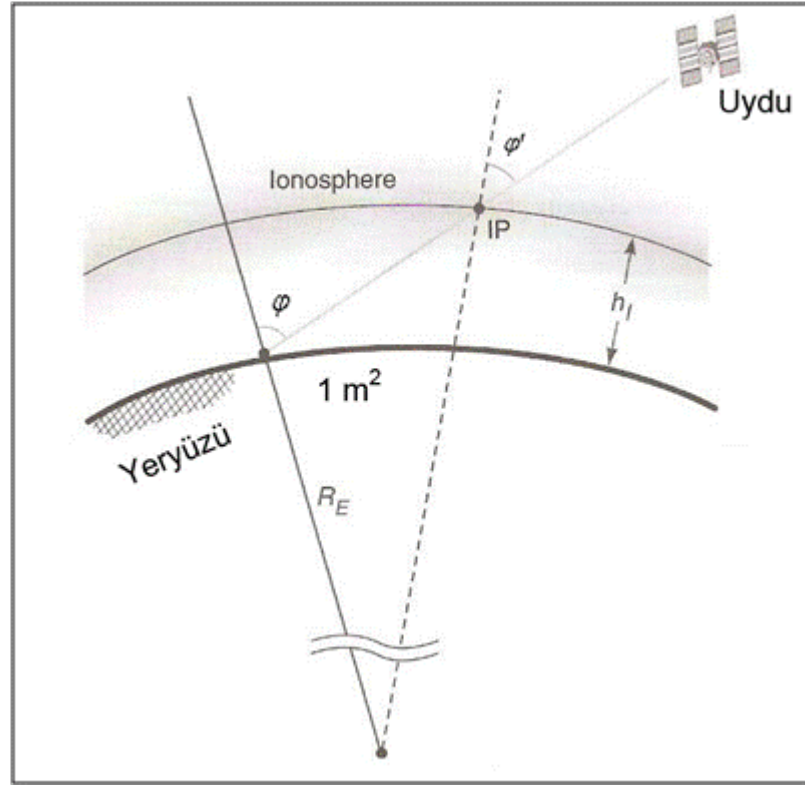
TEC uydu ile alıcı arasında birim yüzeye toplanmış elektronların sayısıdır (Şekil 75). Birimi ise TECU olarak ifade edilmektedir. $1 \text{ TECU} = 1 \cdot 10^{16} \text{ el/m}^2$ 'dir.



Şekil 75. 1 m² kesitli alana sahip bir silindir boyunca TEC miktarı (Davies, 1965)

Tepe noktamız ile uydunun konumu arasındaki açıyı φ , diğer bir deyişle uydunun koordinatlarını biliyorsak, zenit doğrultusundaki TEC'i $\cos \varphi$ ile çarparak bulabiliriz.

Ancak GNSS sinyalleri (elektromanyetik dalgalar) ortamın iyonize olması nedeni ile doğrultularından saparlar ve uydu-alıcı doğrultusundan farklı bir yörüngede yayılırlar (Şekil 76). Diğer bir ifadeyle, iyonosferin yapısı homojen olmadığından iyonosferden geçen elektromanyetik dalgalar kırılmaya uğrayıp, optik yörüngeden farklı bir yörünge izlemektedirler. Özellikle TID, E₂, E_s gibi tabakaların mevcudiyeti halinde ve uydu konumunun ufuk çizgisine yakın durumlarında elektromanyetik dalgalarının yörüngesi çok farklı olmaktadır.



Şekil 76. Uydudan Gelen Sinyalin Katettiği Yol

Elektromanyetik dalga iyonize ortama girdiğinde kırılmaya uğrar ve snell kanuna göre yörüngesini değiştirir.

Snell kanunu $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}$ şeklindedir veya $n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$, ortamın n kırılma

indisi $n_g = 1 + \frac{40.3}{f^2} N_e$

dir (Seeber, G., 2003; Ünver, O., 2010).

TEC yol boyunca alınan integrale eşittir (Mısra ve Enge, 2006; Seeber, G., 2003).

$$TEC = \int_{yol} N_e ds \quad (6.31)$$

dir.

Çift frekans yöntemini kullandığımızda TEC daha kolay ölçülebilmektedir. Elektromagnetik dalganın faz v_p ve grup v_g hızları, c ışığın boşluktaki hızı, n_p ve n_g 'de sırasıyla faz ve grup kırılma indisi olmak üzere,

$$v_p = \frac{c}{n_p} \quad v_g = \frac{c}{n_g} \quad (6.32)$$

Bu grup ve faz kırılma indislerinin, N_e elektron yoğunluğuna bağlı ifadesi,

$$n_g = 1 + \frac{40.3}{f^2} N_e \quad n_p = 1 - \frac{40.3}{f^2} N_e \quad (6.33)$$

Şeklinde (Seeber, G., 2003). Buna göre grup ve faz hızları

$$v_g = \frac{c}{1 + \frac{40.3}{f^2} N_e} \quad v_p = \frac{c}{1 - \frac{40.3}{f^2} N_e} \quad (6.34)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. İyonosferde yayılımı sırasında ortaya çıkan faz ve grup geçikmesi $I_\varphi = -\frac{40.3 TEC}{f^2}$ ve $I_s = +\frac{40.3 TEC}{f^2}$ şeklinde ifade edilmektedir.

Çift frekans uygulamasından f_1 ve f_2 farklı frekans için (E. Yizengaw and E. A. Essex, 1999)

$$TEC = \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{2f_1^2}{40.3} I_\varphi \quad (6.35)$$

Bağıntısından TEC hesaplanabilir (Tek Tabaka Modeli; Yizengaw, 2004).

Eğer iyonosferi belirli kalınlıkta dilimlere ayırır ve elektron yoğunluklarını hesaplayarak yükseklik ile elektron yoğunluğu değişimleri (Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21' deki ionogramlarda görüldüğü üzere) bulunabilir. Böylelikle iyonosferin tabanı olan 65 km den başlayarak, dilediğimiz yüksekliğe kadar olan elektron sayısını, sayısal integrasyon yolu ile hesaplayabiliriz. Maksimum elektron yoğunluğunun bulunduğu hmF_2 'nin üzeri Chapman tabakası bağıntısına göre tek tabaka modeli için kolaylıkla hesaplanabilir. Matlab'de yazılan tek tabaka modeliyle hesaplanan TEC Ek1'de verilmiştir.

Sayısal integrasyon yolu ile TEC hesaplanmasının akış diyagramı aşağıda veilmektedir:

- 1) Digi-Sonda ile alınan iyonogramlar, elektron yoğunluğunun gerçek yükseklik ile değişimini vermektedir. $h_m F_2$ den (F_2 tabakasının maksimum yüksekliği) itibaren elektron yoğunlukları bilinen ince tabakalara ayrılmaktadır (Şekil 19, Şekil 20, ve Şekil 21).

İnce tabaka kalınlığı $\Delta h = h_{n+1} - h_n$ dir. İnce tabakadaki ortalama elektron

$$\text{yoğunluğu } \bar{N} = \frac{N_{n+1} + N_n}{2}$$

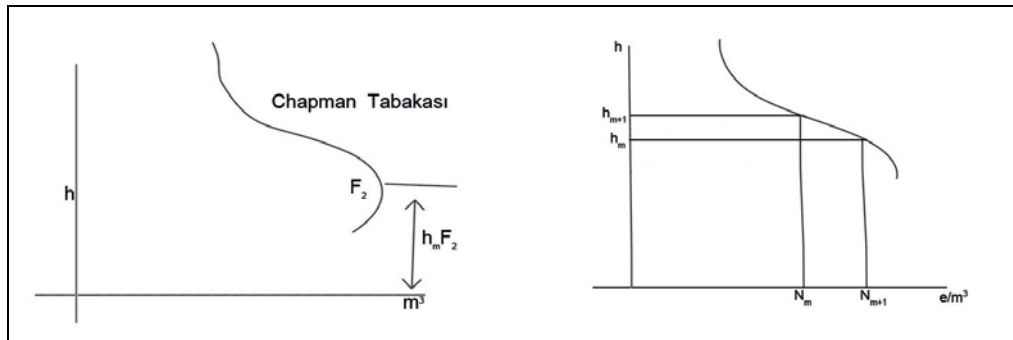
dir.

İnce tabakadaki toplam elektron miktarı $STEC_n = \Delta h * \bar{N}$ dir.

Eğer $\sum_{h_0}^{h_m} \Delta h * \frac{N_{n+1} + N_n}{2}$ ifadesini sayısal integrasyonla çözerek h_0

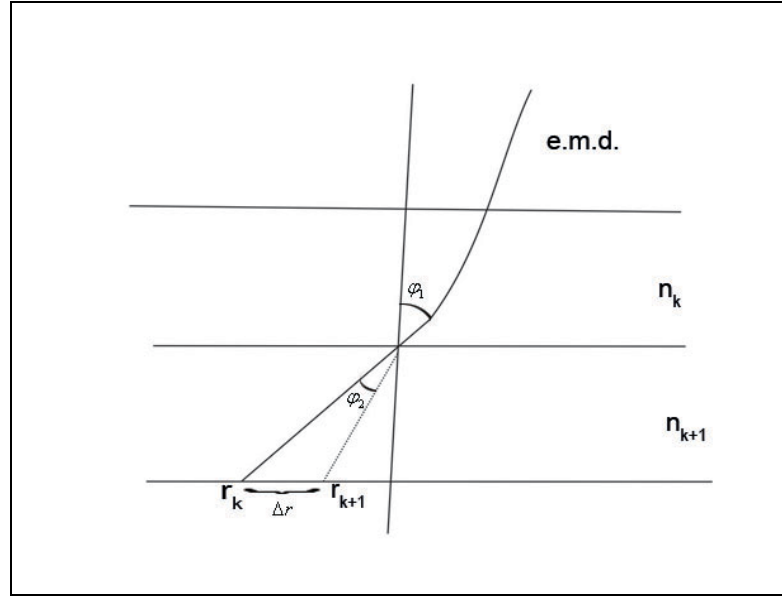
yüksekliğinden h_m 'e kadar olan tepe altı (sub Peak electron content) toplam elektron miktarı hesaplanmaktadır.

- 2) $h_m F_2$ nin üzerinde kalan bölgenin toplam elektron yoğunluğu Chapman tabakası model alınarak (Şekil 77) ve (4.8) bağıntısı kullanılarak çözülebilir. İstenen h dilimlerine ayrılıp, istenen yükseklikler için sayısal integral uygulanarak çözülebilir. Gerekli taktirde IRI tek tabaka modeli kullanılarak $h_m F_2$ nin üzerinde kalan elektron yoğunluğu değişimi hesaplanabilir.



Şekil 77. Chapman tabakası

- 3) [1] ve [2]'de hesaplanan TEC lerin (STEC ve HTEC) toplamı zenit doğrultusundaki TEC'i verecektir.
- 4) Uydudan-alıcıya kadar elektromanyetik dalganın çizdiği yörünge, yukarıda belirtilen yöntemle kolaylıkla hesaplanabilir.
- İyonosferin kırılma indislerini hesaplayabileceğimiz tabakalara ayırdığımızda (Şekil 78) yörüngede her tabaka için yörüngeden sapma



Şekil 78. Dilimlere ayrılmış iyonosferde elektromanyetik dalga'nin kırılması

$$\text{Snell kanunu } \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}$$

ve $\varphi_k - \varphi_{k+1}$ farkı ise yörüngedeki doğrusal sapma miktarını verecektir. Buna bir örnek Ek2 de hesaplanmıştır. Böylelikle uydu mesafesinden elektromanyetik dalgalarının iyonosferi kat ettiği en alt noktaya kadar elektromanyetik dalgasının açılma ve doğrusal sapma miktarını geometrik olarak mümkün olan en az hata ile hesaplanabilecektir.

- 5) Eğer elde diji-sonda değil de normal iyonogramlar varsa, bu iyonogramları URSİ(REF) yöntemi ile (10 nokta Metodu) gerçek yükseklik elektron yoğunluğuna dönüştürmek mümkündür

$f(NF2)=f(h)$ grafiği elde edildikten sonra [1] ve [2] işlemleri ile TEC hesaplanabilir.

6.3 1-15 Ocak 2009 Peryodundaki TEC Hesapları

TEC'in ana kaynağı güneşten gelen X ışınları, elektron ve proton akışı ve değişimleri sağlayan K_p (planetary kindex) manyetik fırtına katsayısıdır. TEC hesaplamalarımızdaki değişimlerin kaynağının dış etkenlere ve arasında bağlılığı anlayabilmek için TEC kayıtları ile X ışınları ve K_p elektron/proton flux H_p uydu yörüngesindeki manyetik alan kayıtlarını karşılaştırdık.

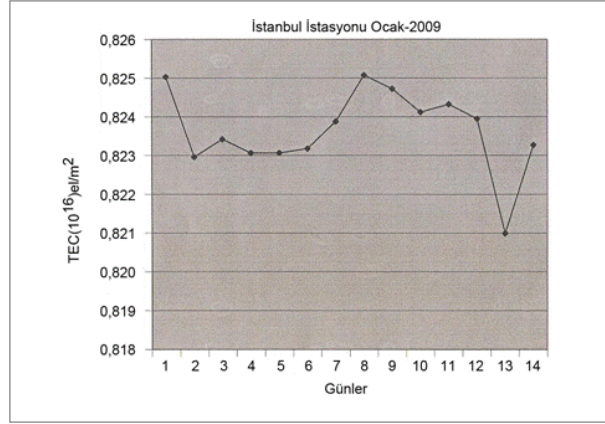
1-15 Ocak 2009 tarihleri arasındaki projede kullanılan yedi CORS-TR istasyonunda belirlenen TEC değişimlerinin grafikleri Şekil 79'den Şekil 84'e gösterilmektedir. Bilindiği gibi 100 km uzaklığa kadar olan istasyonlarda TEC'in fazla değişme göstermeyeceği bilinmektedir (Yizengaw, 2004). Bu nedenle bu yedi istasyona ait TEC karşılaştırmaları fazla bir değişimi göstermeyecektir. Bununla birlikte bu 7 istasyon TEC değerlerinde bazı farklılıklar göze çarpmaktadır: İstanbul $0.825 \cdot 10^{16}$, Bolu $1.37 \cdot 10^{16}$, Bursa $1.34 \cdot 10^{16}$, Bilecik $1.31 \cdot 10^{16}$, Şile $1.33 \cdot 10^{16}$, Tekirdağ $1.1 \cdot 10^{16}$ e/m².

Ayrıca daha uzun periyotlu İzmit istasyonuna ait Mart-Nisan-Mayıs-Haziran 2010 TEC hesaplamalarına ait grafikler Şekil 85'dan Şekil 88'ye gösterilmektedir.

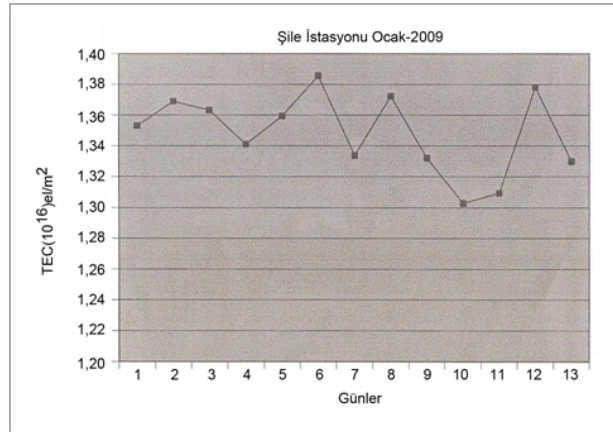
Manyetik aktivitenin $K_p > 4$ 'ten büyük olduğu (örneğin; 5-7) 12, 15, 23 Nisan 2010 ile 15-18 Mayıs 2010 tarihlerine ait X-Ray, H_p , K_p , elektron/proton akılarının ölçü sonuçları Şekil 89 ve Şekil 90'de gösterilmektedir. 5-7 Nisan, 12 Nisan, 15 Nisan, 23 Nisan, 15-17 Mayıs günleri fırtınalı olup bu tarihlere ait TEC kayıtlarının karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Maalesef diğer fırtınalı günlerdeki CORS GPS kayıtları eksiktir.

5-7 Nisan 2010 günlerinde Anılan şekillerde X-Ray K_p, H_p , elektron akısında ve TEC kaydında bire bir örtüşme vardır (Şekil 86). 12 Nisan 2010 da K_p , H_p , elektron flux kayıtları birbirlerini tamamlamaktadır. Özellikle X-Ray flux 0,5-4,0 Å⁰ dalga boyu kaydı tamamen TEC ile örtüşmektedir. 15 Nisan kaydında $K_p=5$ H_p , elektron

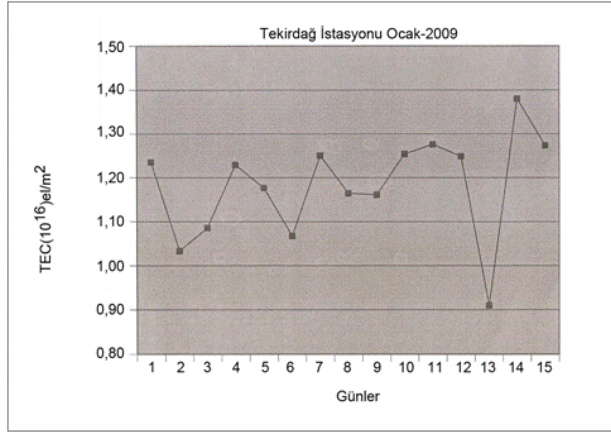
flux kaydını TEC kaydında takip etmek mümkündür. 23 Nisan 2010 TEC kaydında anomali görünmekle beraber, bu anomaliyi destekleyecek X-Ray flux, Hp zayıftır; ancak elektron akımında olağanüstü bir azalma vardır. 15-17 Mayıs'ta TEC'le kuvvetli bir elektron azalması gözlemlendiği halde, bu azalmayı destekleyecek X-ışın akımı gözlenmemektedir. Diğer parametreler de sakindir.



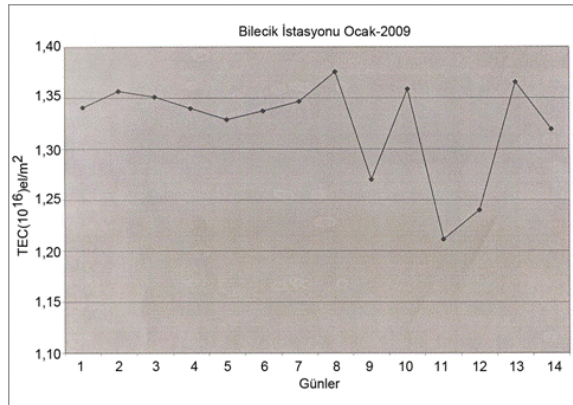
Şekil 79. İstanbul istasyonuna ait TECU değerleri (1-14 Ocak 2009)



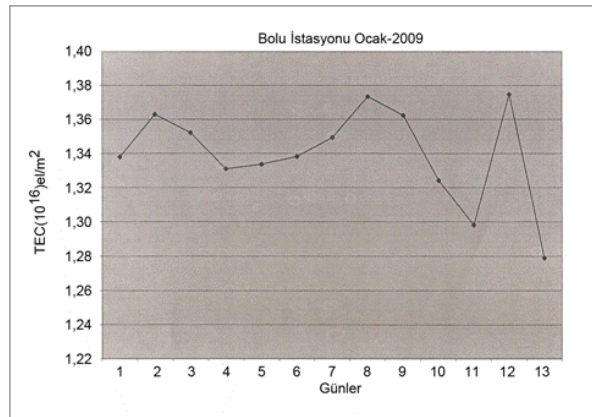
Şekil 80. Şile istasyonuna ait TECU değerleri (1-13 Ocak 2009)



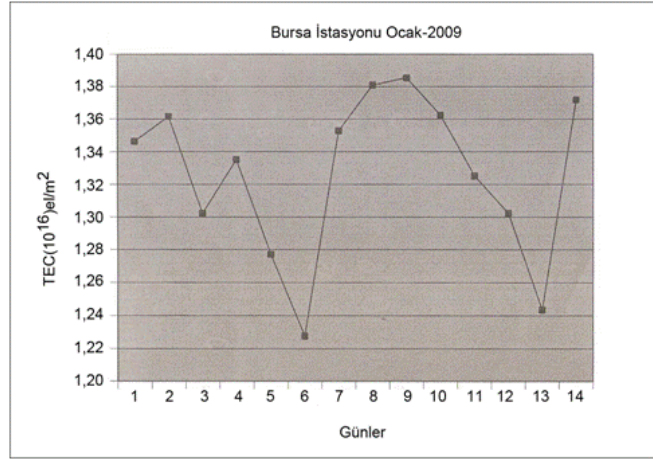
Şekil 81. Tekirdağ istasyonuna ait TECU değerleri (1-15 Ocak 2009)



Şekil 82. Bilecik istasyonuna ait TECU değerleri (1-14 Ocak 2009)



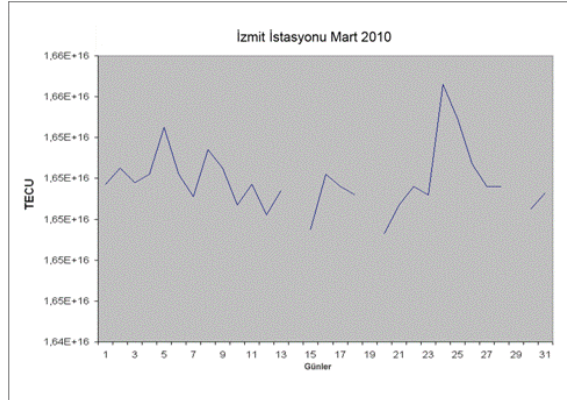
Şekil 83. Bolu istasyonuna ait TECU değerleri (1-13 Ocak 2009)



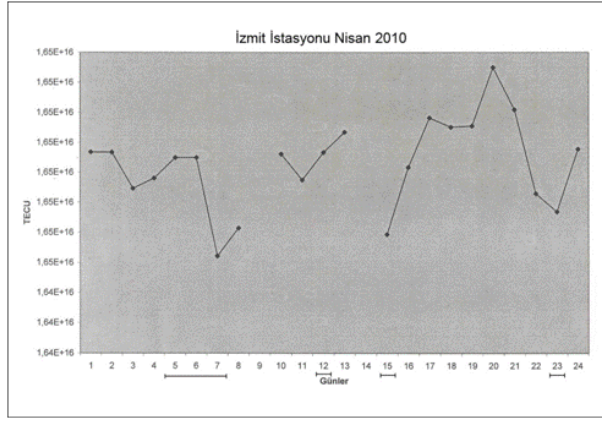
Şekil 84. Bursa istasyonuna ait TECU değerleri (1-14 Ocak 2009)

6.4 İzmit İstasyonu İçin Mart-Nisan-Mayıs-Haziran 2010 TEC Hesapları

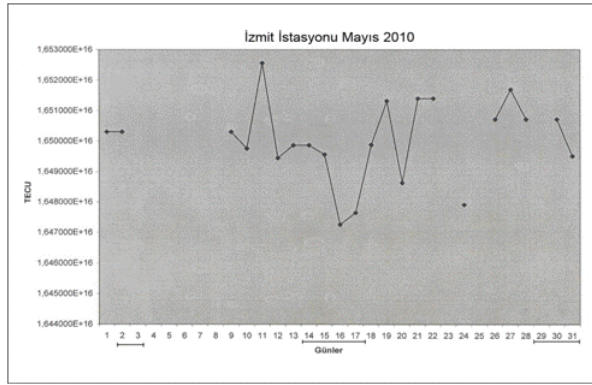
İzmit istasyonu için hesapladığımız Mart-Nisan-Mayıs-Haziran 2010 TEC kayıtları maalesef bazı kayıt eksikliğinden kesikli olarak gözükmektedir. 10-17 Mayıs ve 15-23 Nisan tarihlerinde hızlı değişimler vardır. Ancak bu değişimleri açıklayacak herhangi bir etkiye rastlanmamıştır.



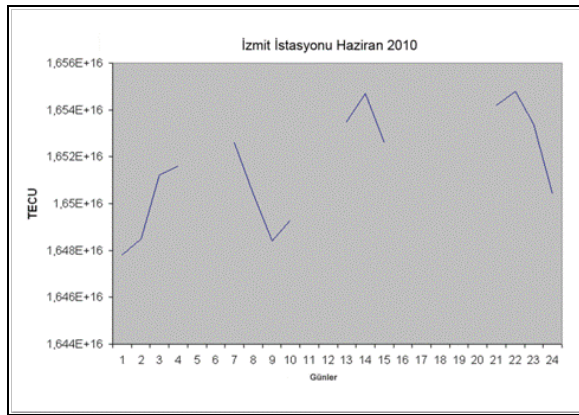
Şekil 85. İzmit istasyonuna ait TECU değerleri (1-31 Mart 2009)



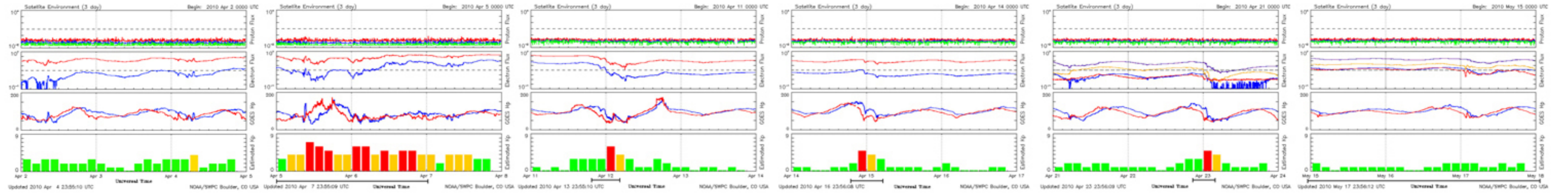
Şekil 86. İzmit istasyonuna ait TECU değerleri (1-24 Nisan 2009)



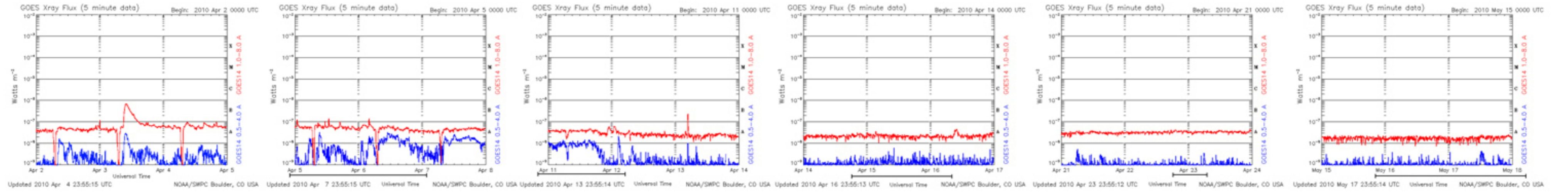
Şekil 87. İzmit istasyonuna ait TECU değerleri (1-31 Mayıs 2009)



Şekil 88. İzmit istasyonuna ait TECU değerleri (1-24 Haziran 2009)



Şekil 89. 2-24 Nisan 2010 tarihlerine ait Kp değerleri (yüksek) ve 15-18 Mayıs 2010 tarihlerine ait Kp değerleri (sakin)



Şekil 90. 2-24 Nisan 2010 tarihlerine ait X-ray değerleri (yüksek) ve 15-18 Mayıs 2010 tarihlerine aşt X-ray değerleri (sakin)

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonunda varılan sonuçları özetle bir araya getirmeye çalışalım. Bölüm 4’de iyonosfer araştırmalarına kaynak teşkil edecek İstanbul iyonogram kayıtları bize çalışmamızda yönlendirici olmuştur.

‘Bölüm 5: Dış Odaklı Etkiler ve Hareketler’ bölümünde 7 referans istasyonundaki hareketler araştırılmıştır. Burada 7 istasyona ait sonuçlardan altısının (Eren, K.,vd., 2011) çalışmasında belirtilen hareketliliğe uyduğu görülmüştür.

Bu projedeki değerlendirmelere göre Doğu–Batı yönündeki açılma, Kuzey-Güney doğrultusundaki açılmaya nazaran iki katı kadardır. Buradaki sonuçlar ileride bu bölgede yapılacak olan ölçmeler ile hareketlerin daha sağlıklı olarak tespitini gerektirecek niteliktedir.

GNSS Uydularından gelen f_1 ve f_2 frekanslarının zaman ve faz farkından TEC değerleri Mart-Haziran 2010 tarihleri için hesaplanmıştır. Bu değişimlerin grafikleri ile istasyon kayıtlarındaki ΔN ve ΔE kayıtlarından hata kaynağı olarak niteleyebileceğimiz bir bulguya rastlanmamıştır.

TEC ölçüleri sadece uydular aracılığıyla değil yerden yapılan sondajlarla da ölçülebilmektedir. Ancak bunun için iyonogram kaydının evvela reel yükseklik-elektron yoğunluğu kaydına dönüştürülmesi gerekir, veya diji-sonda kullanılarak bu sorun otomatik olarak çözülür. Bu yöntem ile evvela tepe altı elektron yoğunluğu daha sonra tepe üstü elektron yoğunluğu Chapman modeline göre sayısal integral ile bulunmuştur.

Yaptığımız TEC hesaplamalarında bulduğumuz anormalilerin $X_{\text{ışını}}$, K_p , H_p ; elektron/proton akıları ile karşılaştırdığımızda birbirleri ile örtüşen sayısal olmamakla birlikte paralelliğe rastlanmıştır. Ancak bazı fırtınaların TEC kaydını etkilemediği de gözlenmiştir.(15-17 Mayıs 2010)

Bundan sonraki çalışmaların iki kola ayrılması önerilmektedir:

- 1) İlki “ülke genelinde yer hareketlerinin ve hız vektörünün” belirlenmesidir. Bu çalışma bize yeterli süre ve hassasiyet ile yer koordinatlarındaki değişimi incelediğimizde deprem tahminlerine yardımcı olabilecek verilerin sağlanabileceğini ortaya koymuştur.
- 2) İkincisi de atmosferin GNSS sinyallerine etkilerinin izlenerek ülke genelinde atmosfer modellerinin geliştirilmesi.

Ülke genelinde yer hareketlerinin ve hız vektörlerinin belirlenmesi:

Bir deprem ülkesi olan memleketimizde plaka hareketlerinin izlenmesi depremlerin önceden bilinmesi çalışmalarına ve erken uyarı araştırmalarına altlık oluşturacaktır. Bu amaçla mevcut 147 CORS istasyonunda Bernese ve GAMIT gibi akademik yazılımlar kullanılarak tüm istasyonlardaki koordinatlar ve hız vektörleri ulusal datum ve epokta günlük hesaplar ile belirlenmelidir. Böylece ülke genelindeki jeodezik koordinatların da güncellenmesi sağlanacaktır.

İKÜ GEOMER böyle bir ulusal proje için çalışmaları başlatmalıdır. Projede diğer akademik kuruluşlarla TÜBİTAK’ın da yer alması yararlı olacaktır.

Atmosferin GNSS sinyallerine etkilerinin izlenerek ülke genelinde atmosfer modellerinin geliştirilmesi:

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi L-dalgasındaki radyo frekansları nötr atmosferdeki basınç, ısı, ve neme bağlı olarak yayılma gecikmesine uğrarlar. Bu etkiler GNSS alıcıları ile ölçülebilir ve atmosfer özellikleri hakkında bilgiler çıkarılabilir. Bunlardan en önemlisi atmosferdeki nem ve TEC ölçüleridir.

Son 20 yıldır meteorologlar GNSS’i atmosferik bir uzaktan algılama aracı olarak değerlendirip hava tahminleri ile iklim değişiklikleri uygulamalarında kullanmışlardır. Galileo sinyallerinin devreye girmesi ve GNSS sinyalleri ile birlikte kullanımı sayesinde su buharı tahminlerini daha duyarlı olarak (hem de daha yüksek zamansal ve mekansal düzeyde) mümkün kılacaktır.

Dünya genelinde birçok GNSS ağları meteoroloji uygulamaları için başucu ıslak gecikmesi (*Zenith Wet Delay – ZWD*) yöntemini kullanmaktadır. Örneğin; NOAA yüzlerce ABD referans istasyonlarından ZWD değerlerini belirlemekte ve hava tahminlerinde kullanmaktadır. Bu yöntem CORS-TR gözlemleri kullanılarak Türkiye genelinde hava tahminleri için kullanılabilir.

GPS / GLONASS ile birlikte Galileo gözlemleri ıslaklık tahminlerinin duyarlık ve çözünürlüğünün geliştirilmesinde önemli rol oynayacaktır. Galileo ve GPS/GLONASS yaklaşımı her bir epoktaki ölçüleri ikiye katlayacak ve daha kısa sürede daha güvenilir ZWD değerleri belirlenmesine olanak sağlayacaktır. Bu yaklaşımla GPS'e göre ZWD hatalarında %30-40 azalma beklenmektedir. Ayrıca, artan serbestlik aykırılıkların, bilhassa halen gerçek zamana yakın hesaplarda sınırlayıcı faktör olan ultra-hızlı orbit hatalarının daha etkin belirlenmesini sağlayacaktır.

Gerçek zamana yakın hesaplamalar için tipik aralık 30 dakikadır. Gerçek zamana yakın ZWD değerleri için GPS/GLONASS ve Galileo kullanarak 10 dakika veya daha küçük zaman aralığı kullanılabilir (Raquet et al., 2006). Böyle bir çözünürlük dolu fırtınaları, fırtına ve kasırga gibi şiddetli hava koşullarını tesbit ve izlemek için yeni fırsatlara olanak verecektir. Bir deprem ve sel ülkesi olan memleketimizde ZWD değerleri sayesinde (bilhassa GALILEO ile) şiddetli hava koşullarının önceden belirlenmesi felaketlerin verdiği zararları azaltacaktır.

Atmosfer izlenmesi için hızla gelişen diğer bir teknik de radyo örtülmesi (radio occultations) bazlıdır. Bu metod ile troposfer ve stratosfer özellikleri hakkında bilgi türetilmektedir. Alçak-dünya yörüngeli araçlardaki GNSS alıcıları dünya çevresinin arkasında doğan ve batan GNSS uydularını algılamaktadır.

Art arda gelen sinyaller atmosferin farklı yatay katmanları içinde nötr atmosferin özelliklerine göre bükülerek yol almaktadır. Atmosferik yol gecikmelerini izole etmek için diferansiyel teknikleri kullanarak sinyal bükülmelerini belirleyebilir (dolayısıyla atmosfer özelliklerini) ve ısı ve neme ait yüksek-çözünürlüklü düşey profilleri türetebiliriz.

Radyo örtülmesi tekniği yüzeye yakın troposferden 50-60 km yüksekliklerdeki stratosfere kadar etkilidir. Daha yüksek irtifalarda atmosfer gecikmesi çok küçük olup artık iyonosfer hataları ve gözlem gürültüleri önem kazanır.

Özetle; Galileo sinyallerinin atmosfer izlenmesinde kullanılması geliştirilmiş gözlem duyarlığı, daha iyi geometri, ve daha yüksek zamansal ve mekansal çözünürlük sayesinde yer-tabanlı nem tahminini %50 kadar iyileştirecektir. Bu husus dünya genelinde halen GNSS ZWD gözlemlerini hava tahminlerine asimile eden veya asimile etmeyi planlayan birçok kuruluşa önemli kazançlar sağlayacaktır. Galileo üçlü-frekans özelliklerinde istifade ederek ve radyo örtülmesi tekniklerini kullanarak geliştirilmiş ısı ve nem profili türetilebilecektir (Raquet et al., 2006).

İşte bu nedenlerle akademik kuruluşlar (İKÜ, İTÜ vb) meteoroloji alanındaki uygulayıcı kuruluşlarla (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) birlikte atmosferin yukarıdaki metodlarla modellemeleri bilhassa önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Aquino M., Waugh s., Moore T ., Dodson A., (2001), "GPS Based Ionosphere Scintillation Monitoring " Space Weather Workshop :Looking Towards aFuture European Space Weather Programme, 17-19 September 2001 ESTEC, Noordwijk the Netherlands.

Arıkan F., Erol C.B., Arıkan O., (2004), "İstenen Periyod için Düzgünleştirilmiş TEC Kestirimi.", URSI-Türkiye., İkinci Ulusal Kongresi, pp. 393-395., 2004.

Aslan Z., Topçu S., Barla M.C., Özdemir G., (2004), "Atmosfer Fiziği", Papatya Yayıncılık, 2004.

Arslan N, (2010), "The Effects Of Total Electron Content On RelativeGPS Positioning" Sigma 28, 266-274, 2010.

Arslan N., (2004), "The GPS ile İyonosfer Toplam Elektron Yoğunluğunun Değişimlerinin Koordinatlara Etkilerinin Araştırılması", YTÜ Doktora Tezi, 2004.

Ayan T, Aksoy A., (1987), "Global Konum Belirleme Yöntemi-GPS", Türkiye 1. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 23–27 Subat 1987, Ankara.

Bassiri S., Hajj G.A., (1992), "Modeling the Global Positioning System Signal Propagation Through the Ionosphere", TDA Progress Report 42-110 , August, 1992.

Bassiri, S., Hajj G. A., (1993), " Higher-Order Ionospheric Effects on The Global Positioning system Observables and Means of Modeling Them", Manuscripta Geodaerica, 18:280-289, 1993.

Bilitza D., (1990), "International Reference Ionosphere", Science Applications Research, USA.

Bilitza D. (2001), "International Reference Ionosphere 2000", Radio Science, Vol. 36, No. 2, pp. 261-275, 2001.

Bilitza D., Reinisch B. W., (2008), "International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters", Advance in Space Research, Vol. 42. pp. 599-609, 2008.

Blewitt G., (1993), "Advances in Global Positioning System Technology for Geodynamics Investigations:1978-1992", Published by American Geophysical Union.

Boonsap W., (April 2000), "Elements of GPS Precise Point Positioning", The Graduate School, The University of Maine, December, 2000.

Bulat T., (1976), "İstanbul üzerindeki İyonosfer özellikleri ve uzak haberleşme konusunda bir öneri" İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Jeofizik Kürsüsü.

Cannon M.E, Ray J.K, Fenton P., (1998), "Mitigation of Static Carrier Phase Multipath Effects Using Multiple Closely-Spaced Antennas", Presented at ION-GPS98, Nashville, Fifth Edition.

Chapman S., (1931), " The Absorption and Dissociative or Ionizing Effect of Monochromatic Radiation in An Atmosphere on A Rotating Earth" Proc. Phys. Soc., 43:26, 1931.

Chapman S., Davies K., (1958), "on The Approximate Daytime Constancy of The Absorption of Radio Waves in The Lowet Ionosphere" , Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, Vol. 13, pp. 86-89, 1958.

Davies K., (1965), "Ionospheric Radio Propagation", Central Radio Propagation Laboratory, Washington

Davies K., (1968), "Ionospheric Radio Waves", Colorado.

Davies K., Hartman G.K., (1997) "Studying the Ionospher with the Global Positioning System", Radio Sci., 32,4, 1695-1703, 1997.

Eren K., Uzel T., (1995), "GPS Ölçmeleri", Text Book (in Turkish), August 1995, Yıldız University, Istanbul.

Eren K., Uzel T., (2006), "Ulusal CORS projesi birinci gelişme raporu" İstanbul Kültür Üniversitesi

Eren K., Uzel T., (2007), "Ulusal CORS projesi ikinci gelişme raporu" İstanbul Kültür Üniversitesi

Eren K., Uzel T., (2007), "Ulusal CORS projesi birinci gelişme raporu" İstanbul Kültür Üniversitesi

Eren K., Uzel T., (2008), "Ulusal CORS projesi birinci gelişme raporu" İstanbul Kültür Üniversitesi.

Eren K., Uzel T., Gulal E., Yildirim O., Cingoz A., (2009), "Results from a Comprehensive GNSS Test in the CORS-TR Network: Case Study", Journal of Surveying Engineering, ASCE, February 2009, USA.

Eren K., Uzel T., (2009), "Ulusal CORS projesi son raporu" İstanbul Kültür Üniversitesi.

Eren K., Uzel T., (2010), "Ulusal CORS projesi datum dönüşüm raporu" İstanbul Kültür Üniversitesi.

Eren K., Uzel T., Gulal E., Tiryakioğlu I., Dindar A.A., Yılmaz H., (2011), "Tectonic Studies in Turkey Using CORS-TR Observations", EGU2011-5439.

Erol C.B., Arıkan F., (2004), "GPS Sinyalleri ile İyonosferin İstatistiksel Özelliklerinin Belirlenmesi", URSI-Türkiye., İkinci Ulusal Kongresi, pp.390-392., 2004.

Erol C.B., Arıkan F., (2005), "Statistical Characterization of the Ionosphere Using GPS Signals", J. of Electromagnetic Waves and Appl., Vol.19, No:3, pp. 373-387, 2005.

Georgiadou ve Kleusberg, (1988), "On the Effect of Ionospheric delay on Geodetic relative GPS positining ". Manuscripta Geodetica., 13:1-8,. 1988

Gizawy L.M., (2003), "Development of an Ionosphere Monitoring Technique Using GPS Measurements for High Latitude GPS Users", PhD Thesis, University of Calgary.

Gümrükçü O., (2009), "GPS Sinyalleri ile Konum Belirleme de İyonosferik Etkilerin İncelenmesi"., Yüksek Lisans Tezi., YTÜ.

Hawareyve M., Ayan T., "Uzay Mekiği Tırmanış, deprem ve füze fırlatılışından kaynaklanan TEC Değişimlerinin GPS ile belirlenmesi"., İTÜ Dergisi/Mühendislik., C.3., Sayı:2-3-4-5., pp.45-56., Ekim 2004.

Hoffmann-Wellenhoff B., Lichtenegger H., Collins J., (2001), "Bernese GPS Software Version 4.2", Astronomical Institute University of Berne.

Hugentobler U., Schaer S., Pridez F., Beutler G., Bock H., (2001), "Bernese GPS Software Version 4.2" ,Astronomical Institute University of Berne.

Hunsucker R.D ., Hargreaves J.K., (2003), "The High Latitude Ionosphere and its Effects on the radio propagation ' Cambridge University Pres '003.

Bilitza D. with contributions by K.Rawer, L.Bossy, I.Kutiev and E.Kazimirousky, (1990), "International Reference Ionosphere 1990 U.R.S.I. COSPAR", National Space Science Data Center, NASA National Aeronatics and Space Administration, Godd and Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.

Jakowski N., Wehrenpfenning A., Heise S ., Schluter S ., Noack T., (2001), "Space Weather Effects in the Ionosphere and their Impact on Positioning "Space Weather Worksop Looking Towards a Future European Space Wather Programme 17-19 Sep 2001 ESTEC Noordwijk the Netherlands.

Kahveci M., (1997), “Türkiye koşullarında yapılan GPS gözlemlerinde ortam etkilerinin araştırılması” Doktora Tezi, İTÜ, 1997.

Kahveci M., Yıldız F., (2001), GPS Global Konum Belirleme Sistemi., Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Karpachev A.T., (2003), “Dependence of MIT form on longitude, height, season, local time, solar and magnetic activity”, Geomagnetism and Aeronomy, 43, 256-269.

Komjathy A., (1997), “Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System”, Ph.D. dissertation, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 188, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Kanada, 248p.

Lanyi G.E., Roth T., (1988), “A comparison of mapped and measured total ionospheric electron content using global positioning system and beacon satellite observations”, Radio Science. 23, 483-492.

Leick A., (1990), “GPS Satellite Surveying”, John Willey&Sons, Newyork

Leick, A. 1995. Satellite GPS Surveying. 2nd ed., Wiley-InterScience, 560p.

Memarzadeh Y., (2009), “Ionospheric Modeling for Precise GNSS, Applications”, Publication on Geodesy 71,.NCG., 2009.

Misra P., Enge P., (2006), “Global Positioning System Signals, Measurements and Performance”, Ganga-Jamuna Press ISBN 0-9709544-1-7 2006.

Nishino M., Nozawa S ., Holtet J.A ., (1998), “Daytime Ionospheric Absorption Features in the Polar Cap Associated with poeward Drifting F-Region Plasma Patches “Earth and Planets Space 50 ,107-117 1998.

Parkinson B.W., Spilker, J. J., (1996),”Global Positioning Systems: Theory and Applications”, Vol.1.

Ping J., Kono Y., Matsumoto K., Otsuka Y., Saito A., Shum C., Heki K., Kawano N., (2002), "Regional Ionosphere Map over Japanese Island", *Earth Planets Space*, 54, e13-e16, 2002.

Poole I., (2002), "Understanding Solar Indices", *QST ARRL's Monthly Journal*, September, 2002.

Raquet J., Petovello M., Skone S., Lachapelle G., (April 2006), "GNSS Solutions", *InsideGNSS*.

Ratcliffe J.A., (1970), "Sun, Earth and Radio", World University Library.

Rieger M., Leitinger R., (2002), "The Effect of Traveling Ionospheric Disturbances (TIDs) on GNSS User Systems", XXIIth General Assembly of the International Union of Radio Science, 17.24 Aug. 2002 Maastricht, The Netherlands.

Roy A.E., Clarke D., (1982), "Astronomy: Structure of the Universe", Adam Hilger Ltd, Bristol, Second Edition.

Schaer, S., (1999), "Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the GPS", Ph.D Thesis, Universitat Bern

Schunk R. W., Nagy A.F., (2004), "Ionospheres Physics, Plasma Physics, and Chemistry" Cambridge University Press ISBN 0 521 60770 1-2004

Seeber G., (2003), *Satellite Geodesy*, Walter de Grayter, Newyork.

Skone S., Cannon M.E., (1999), "Ionospheric Effects on Differential GPS Applications during Auroral Substorm Activity" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (1999).

Stewart P. Langley R.B., (1998), "Ionospheric Modeling for WADGPS at Northern Latitudes", *Proceedings of ION-GPS 98, the 11th International Technical Meeting*, Nashville, USA, 15-18 September, 1998.

Stewart P.J., Langley R.B., (1999), "The Statistics of Scintillation Occurrence at GPS Frequencies", Proceedings of IES99, Ionosphere Effect Symposium, Alexandria, V.A, USA, 4-6 May, 1999, pp 122-131.

Sümer, Yalçın F., (2004), "Yapay Sinir Ağı Modeli ile İyonosferik Kritik Frekans Tahmini" Yüksek Lisans Tezi.

Teunissen P.J.G., Kleusberg A., (1998), "GPS for Geodesy", 2nd Edition.

Tulunay Y., Tulunay E., Şenalp E.T., (2001), "An attempt to model the influence of the trough on HF communication by using neural networks", Radio Science, 36, 1027-1041.

Verhagen S., (2005), "The GNSS integer ambiguities: estimation and validation" NCG Nederlandse Commissie voor Geodesie Netherlands Geodetic Commission Delft, January 2005.

Wanninger L., May M., (2000), "Carrier Phase Multipath Calibration of GPS Reference Stations", Proc. ION-GPS 2000, Salt Lake City UT, 132,144.

Wanninger L., (1999), "The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS-Networks Under Solar Maximum Conditions", Proceedings of ION-GPS99 September 14-17, 1999 Nashville T.N.

Warnant R., (1998), "Detection of Irregularities in the Total Electron Content Using GPS Measurements-Application to a Mid-Latitude Station", Acta Geod. Geophys. Hung. Vol 33 (1) pp 121-128, 1998.

Warnant R., Pottiaux E., (2000), "The Increase of the Ionospheric Activity as Measured by GPS", Earth Planets Space Vol. 52, 1055-1060.

Warnant R., (2002), "Atmospheric Perturbations on GNSS Signals and their Influence on Time Transfer", XXVIIth General Assembly of the International Union of Radio Science, 17.24 Aug. 2002 Maastricht, The Netherlands.

Wild U., (1994), "Ionosphere and Geodetic Satellite Systems; Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring", Ph. D Thesis.

Yizengaw E., Essex E.A., (1999), "Use of GPS Signals to Study Total Electron Content of the Ionosphere during the Geomagnetic Storm on 22 September 1999."

Yizengaw E., (2004), "Imaging the Ionosphere" P.H.D. Thesis 2004

Zhang D., Xiao Z., (2002), "Correlative Ionospheric Disturbances in the Sunlit Hemisphere during the Flare on July 14, 2000", Chinese Science Bulletin Vol. 47, No. 12, June 2002.

EKLER

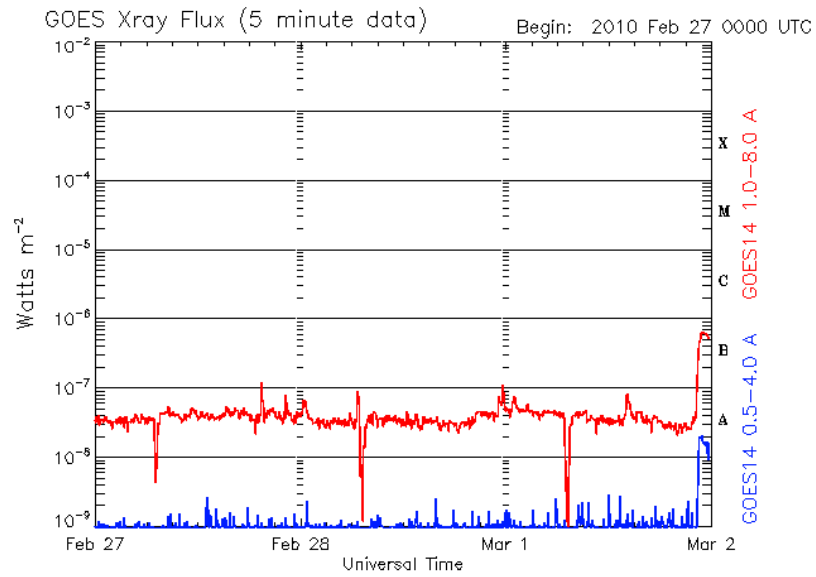
EK-1

**MATLAB'DE TEC'İ HESAPLAMAK İÇİN KULLANILAN TEK TABAKA
MODELİ**

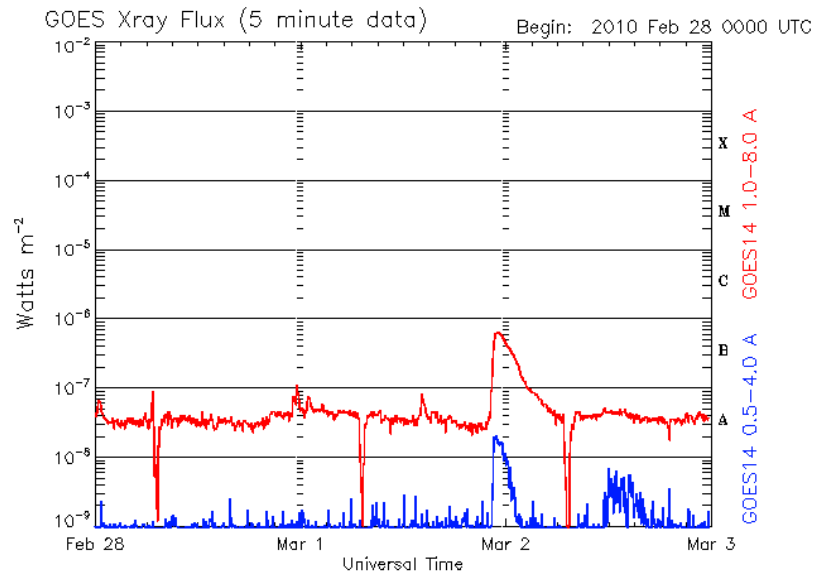
```
1 - format long
2 - n=size(istn)
3 - m=n(1,1)
4 - f1=1575.42*10^6
5 - f2=1227.60*10^6
6 - %f1=1575.42
7 - %f2=1227.60
8 - K=40.3
9 - c=3*10^8
10 - LPT=0
11 - LP=0
12 - TECA=0
13 - TECT=0
14 - TECT=0
15 - for i=1 : m
16 -
17 -     L1P(i)=istn(i,1)
18 -     L2P(i)=istn(i,2)
19 -     TECA=((f1^2*f2^2)/(f1^2-f2^2))*(1/K)*((L1P)-(L2P))*1/c
20 -     %TECA=(1/K)*(f1*f2/(f1-f2))*(L1P-L2P)
21 -     TECT=TECT+TECA(i)
22 -     % TEC=TECA(i)
23 -     LP=L1P-L2P
24 -     LPT=LPT+LP(i)
25 -
26 - end
27 - GLP=LPT/m
28 - TECT=TECT/m
```

EK-2

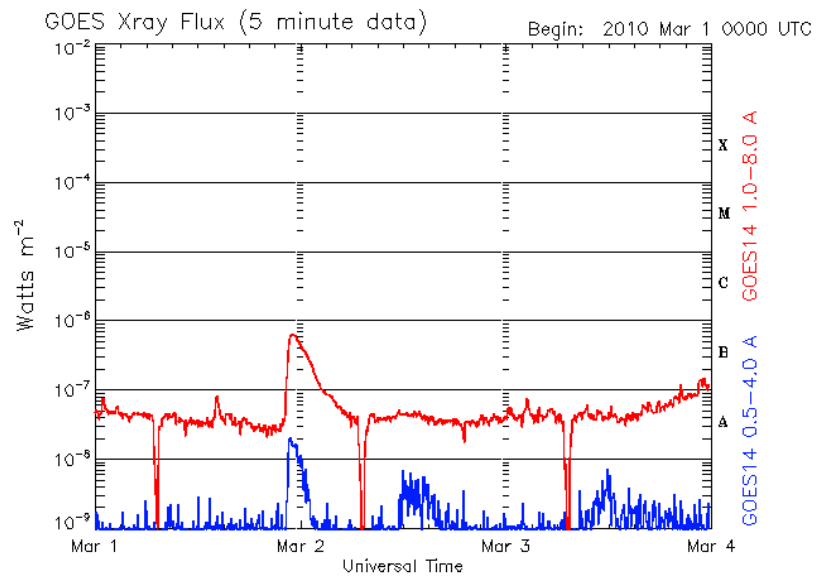
**MART-NİSAN-MAYIS-HAZİRAN 2010 TARİHLERİNE X-RAY
KAYITLARI**



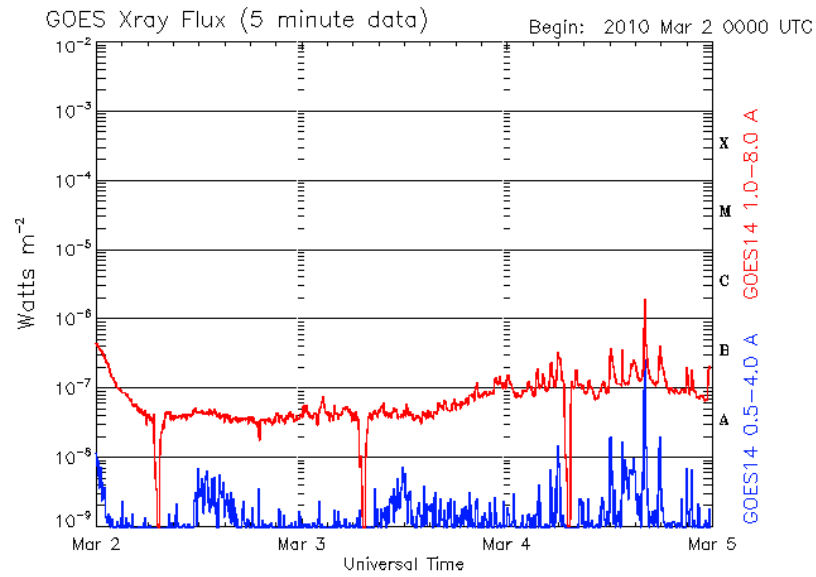
Updated 2010 Mar 1 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



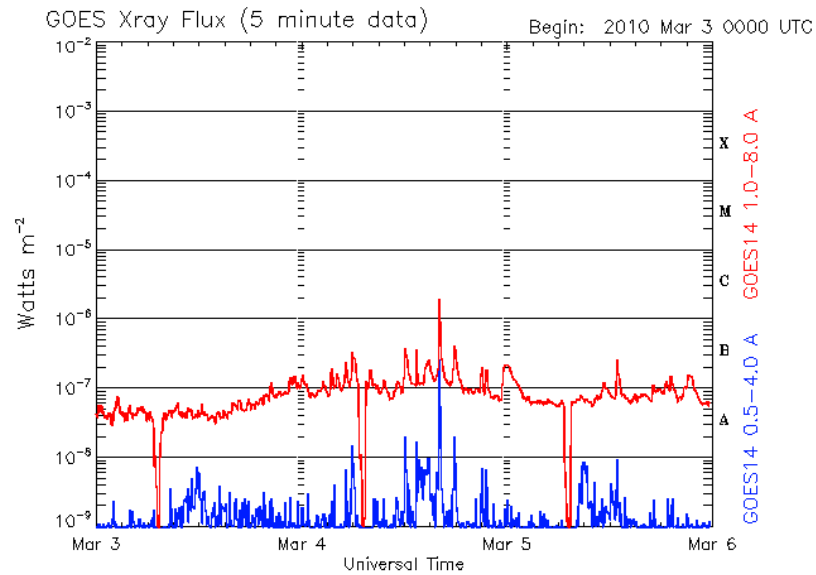
Updated 2010 Mar 2 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



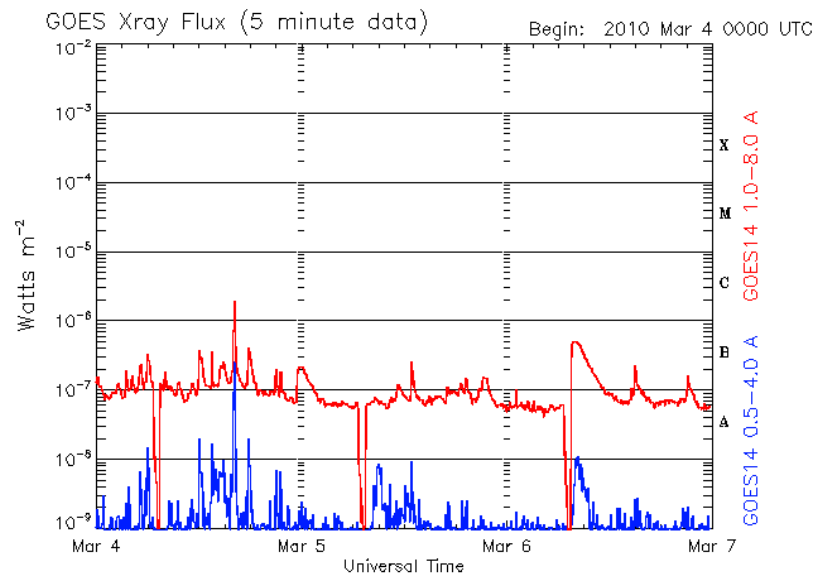
Updated 2010 Mar 3 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



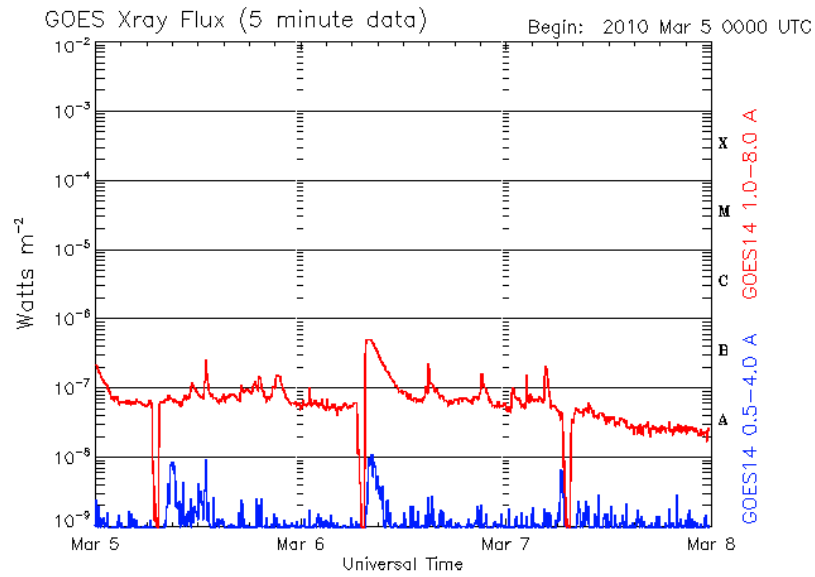
Updated 2010 Mar 4 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



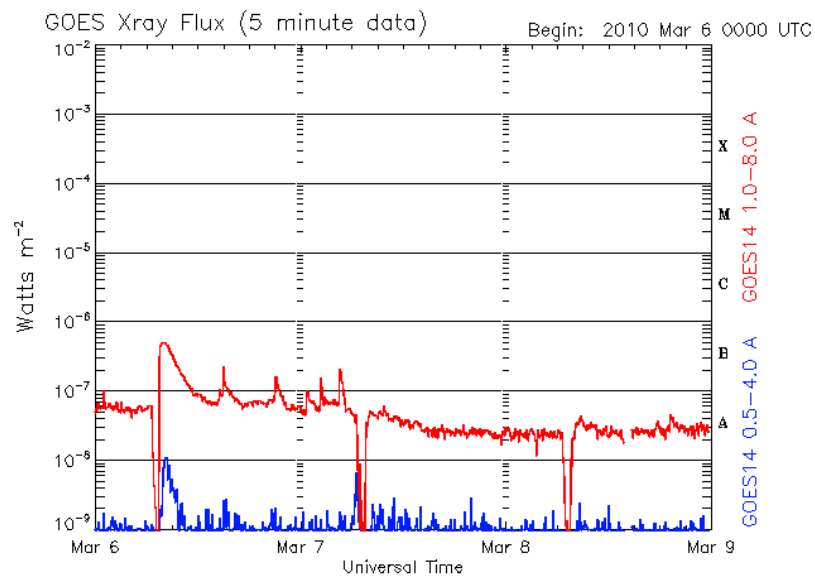
Updated 2010 Mar 5 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



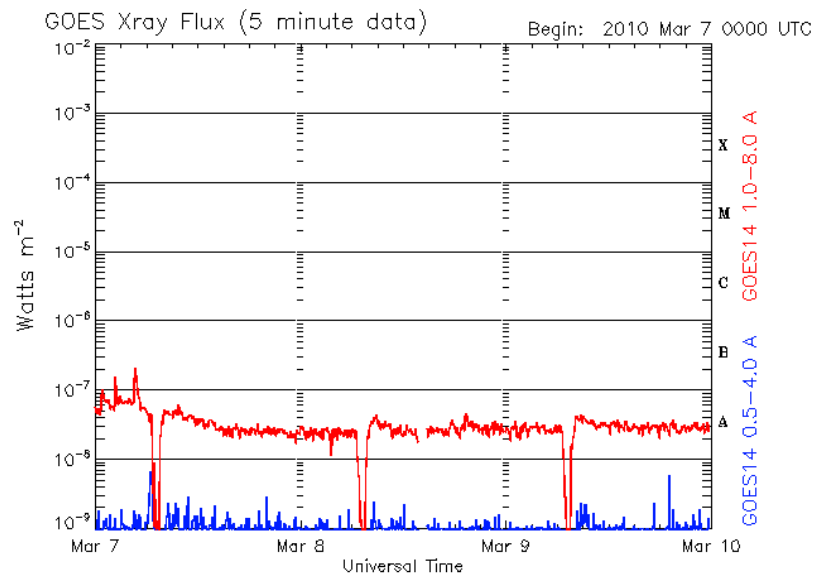
Updated 2010 Mar 6 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



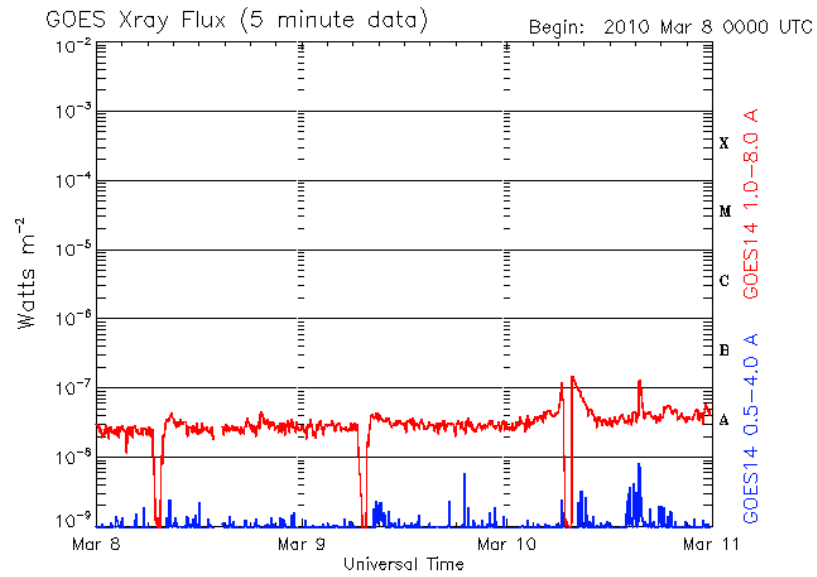
Updated 2010 Mar 7 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



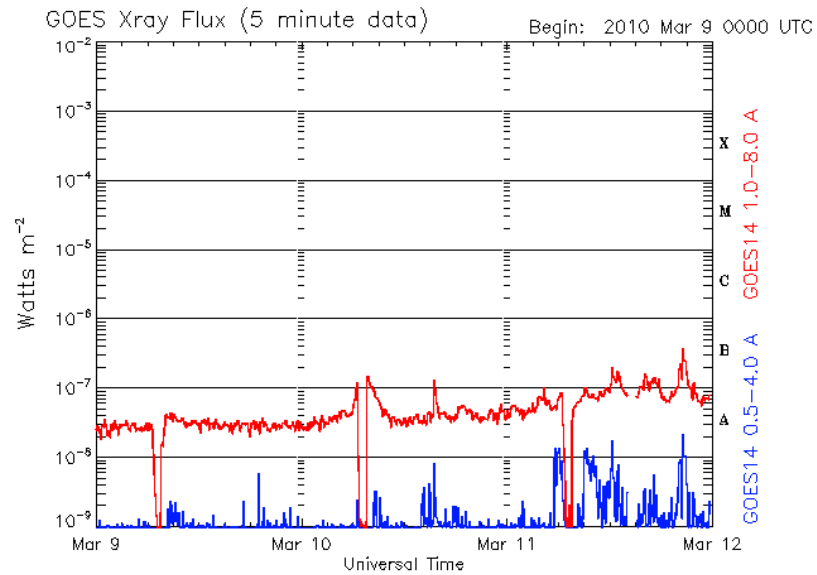
Updated 2010 Mar 8 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



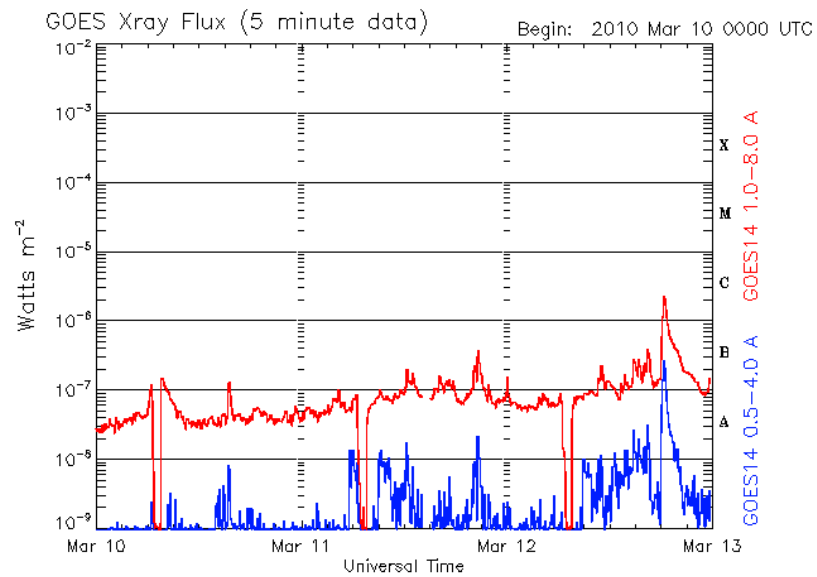
Updated 2010 Mar 9 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



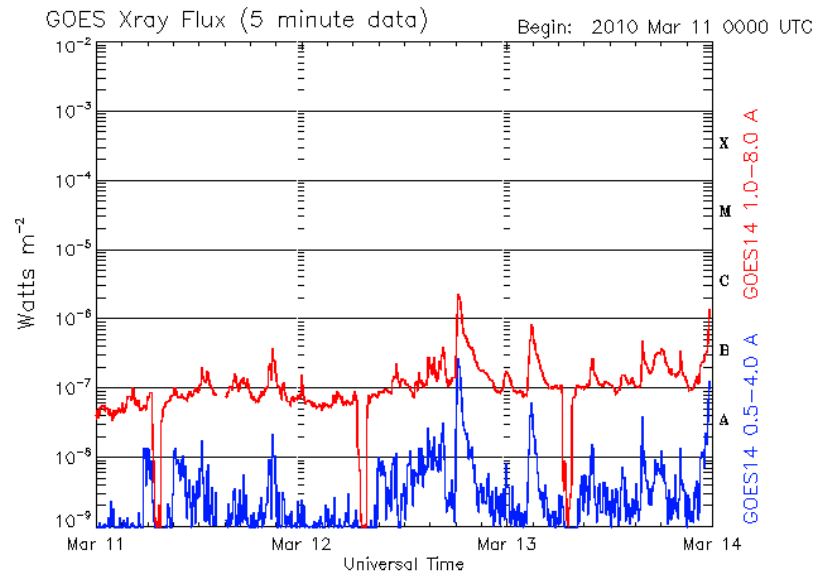
Updated 2010 Mar 10 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



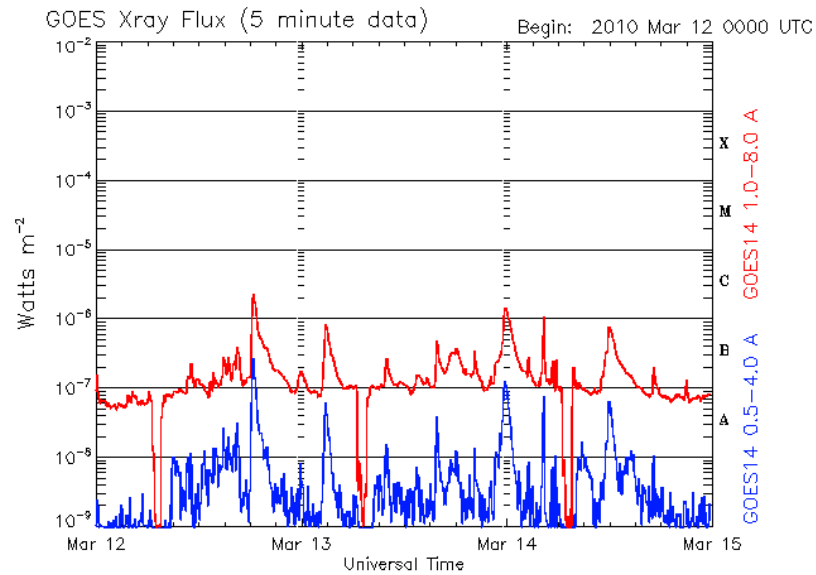
Updated 2010 Mar 11 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



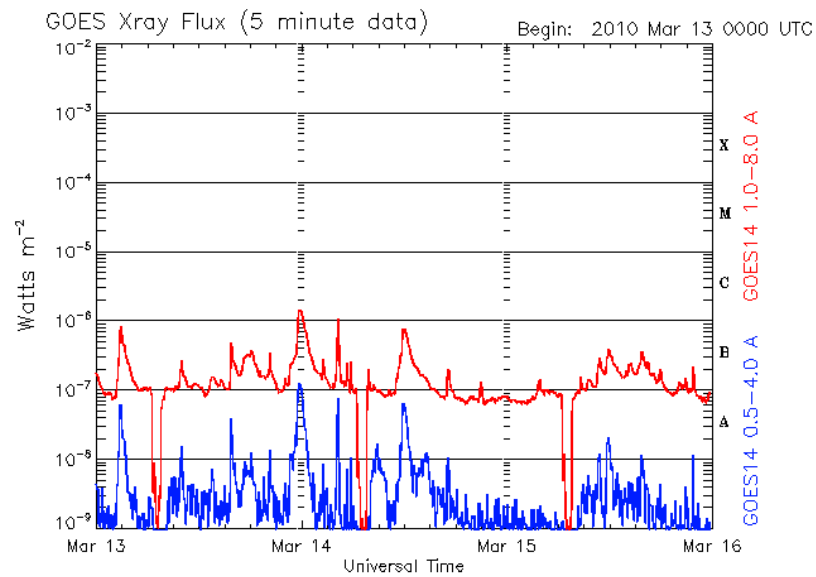
Updated 2010 Mar 12 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



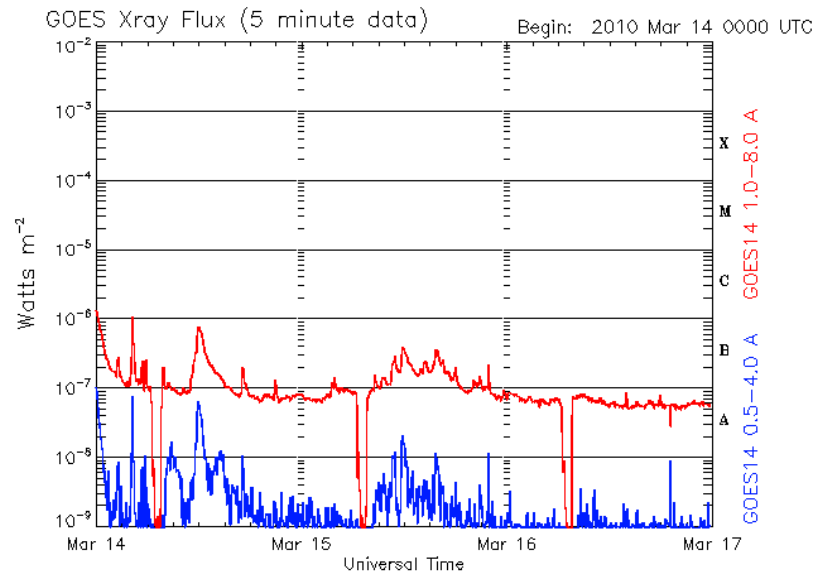
Updated 2010 Mar 13 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



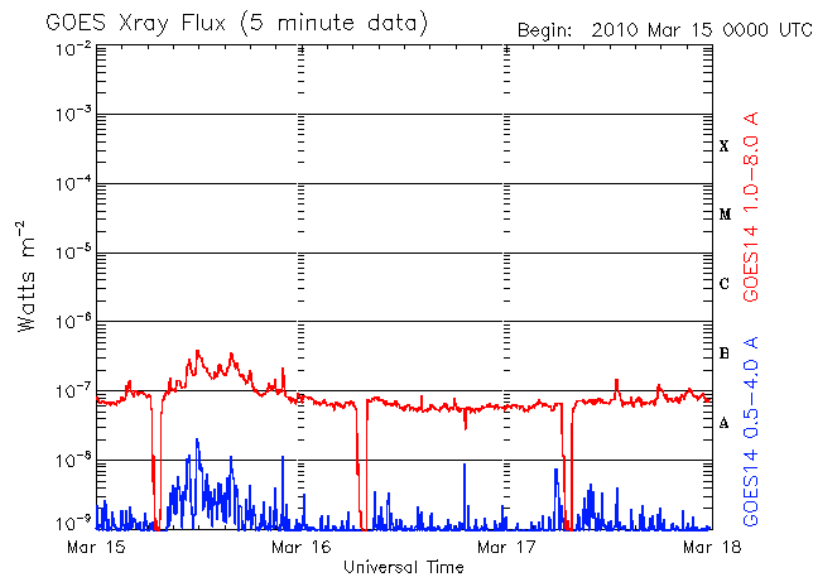
Updated 2010 Mar 14 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



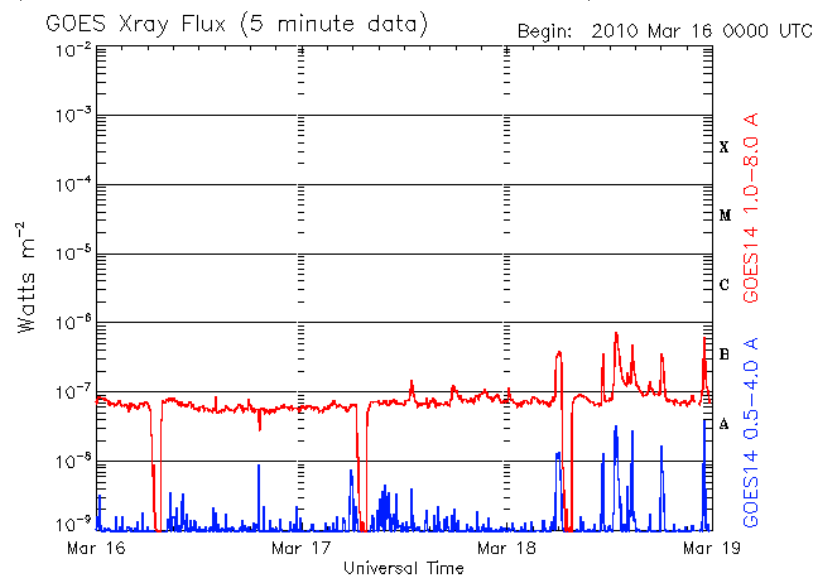
Updated 2010 Mar 15 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



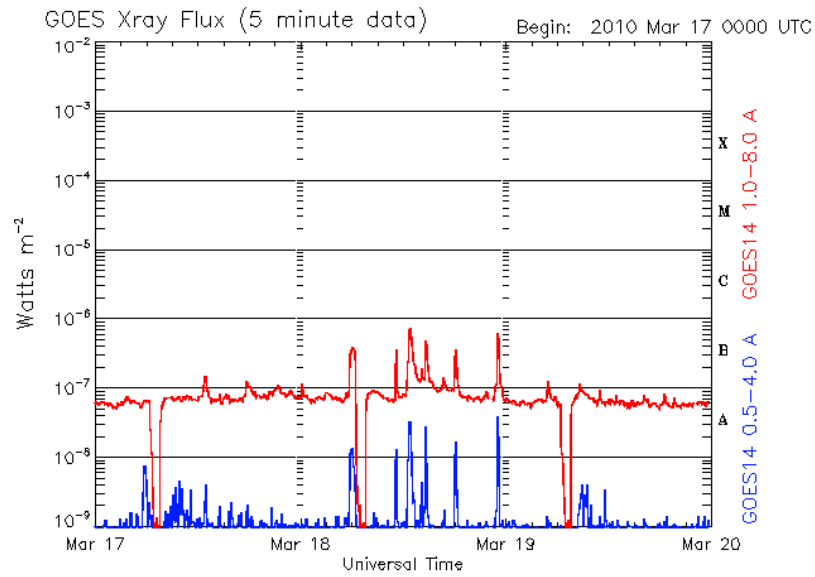
Updated 2010 Mar 16 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



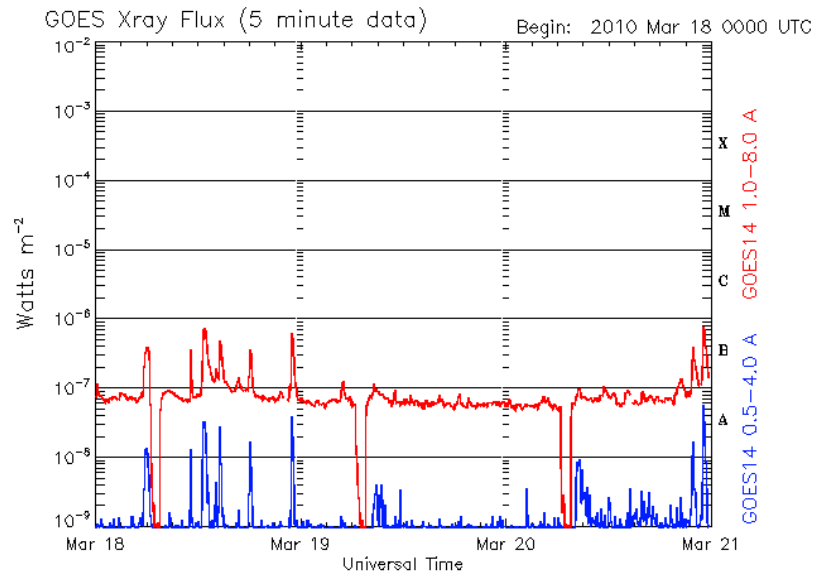
Updated 2010 Mar 17 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



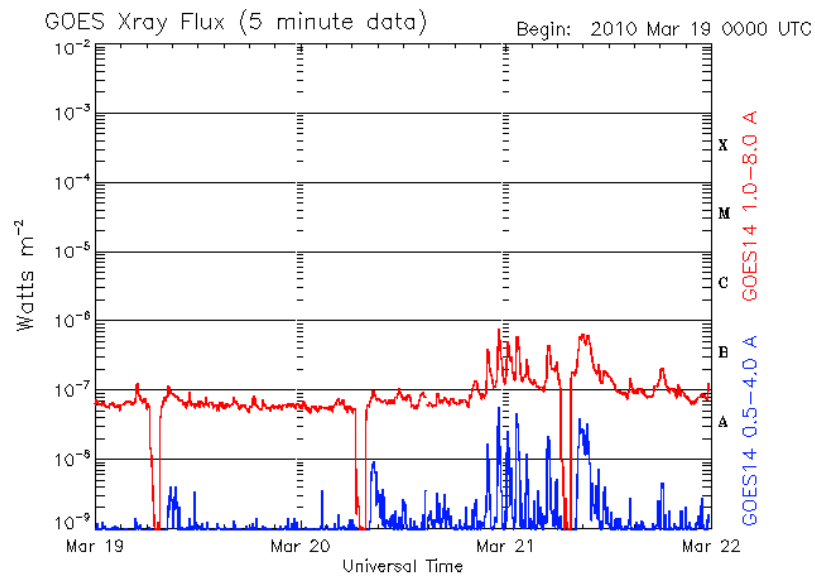
Updated 2010 Mar 18 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



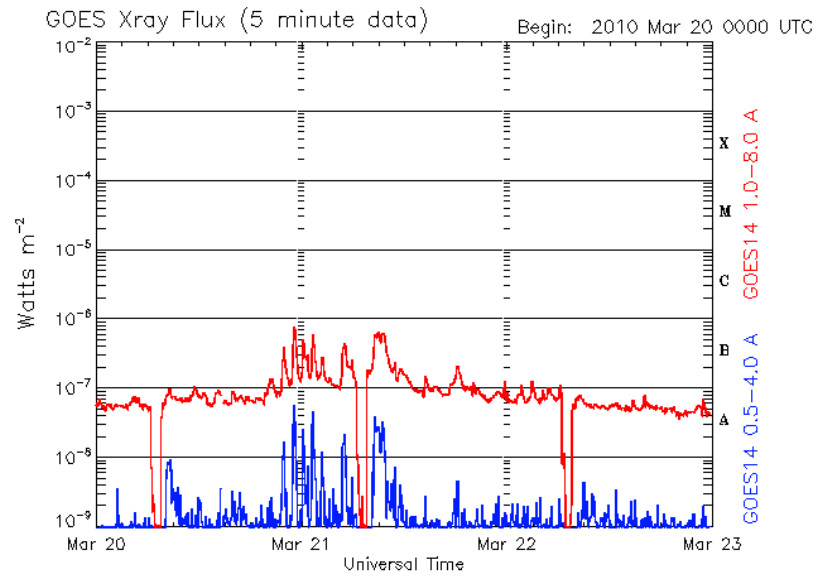
Updated 2010 Mar 19 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



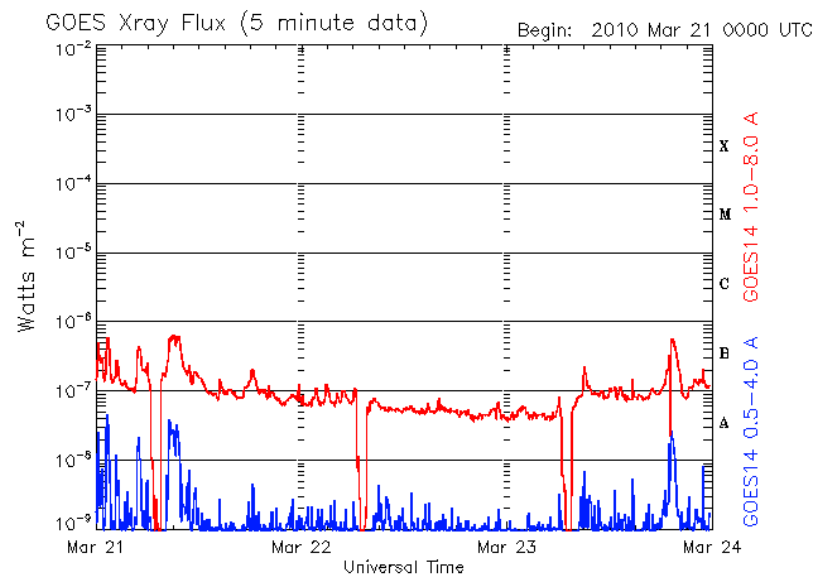
Updated 2010 Mar 20 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



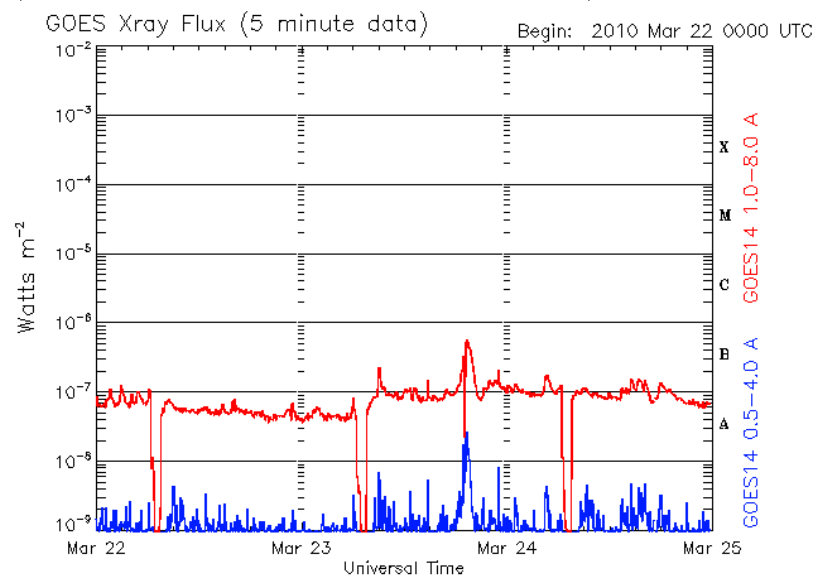
Updated 2010 Mar 21 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



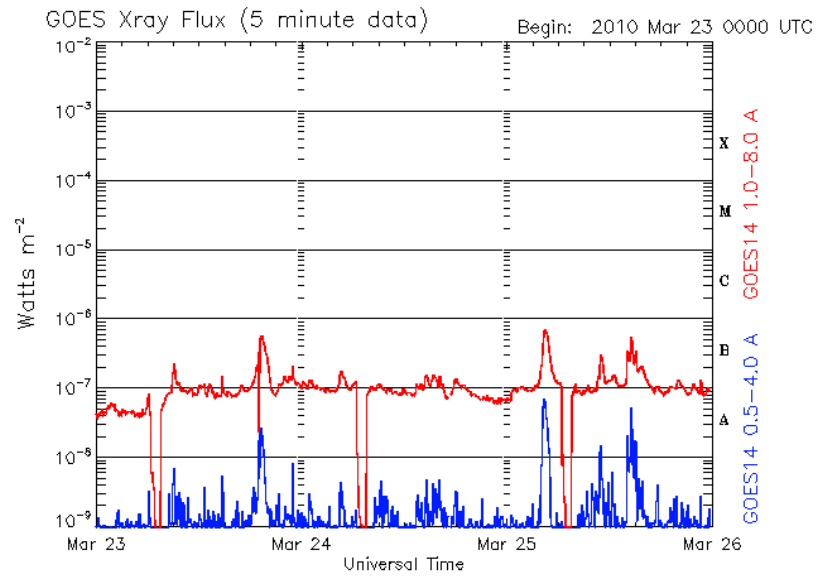
Updated 2010 Mar 22 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



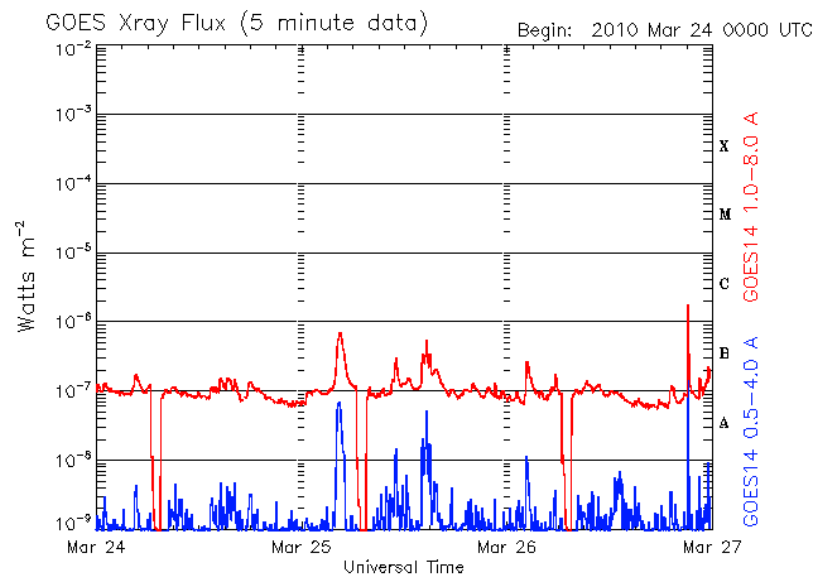
Updated 2010 Mar 23 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



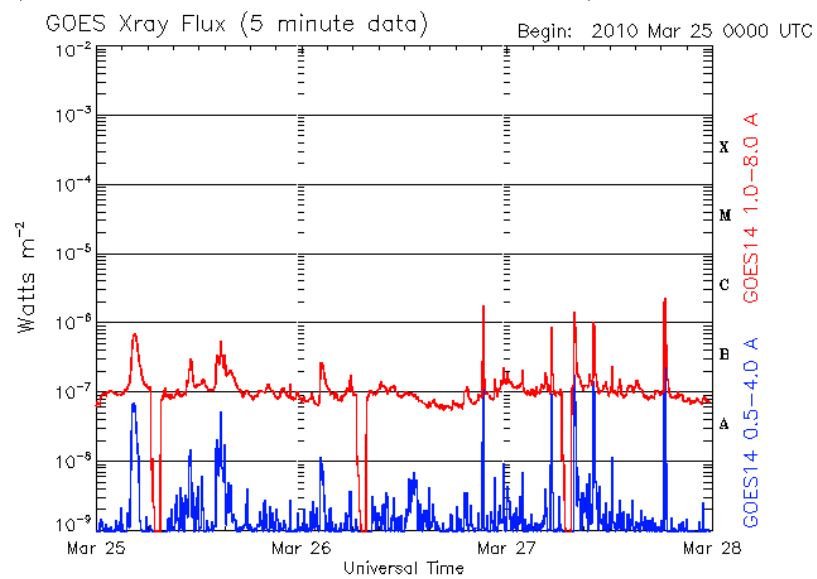
Updated 2010 Mar 24 23:55:16 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



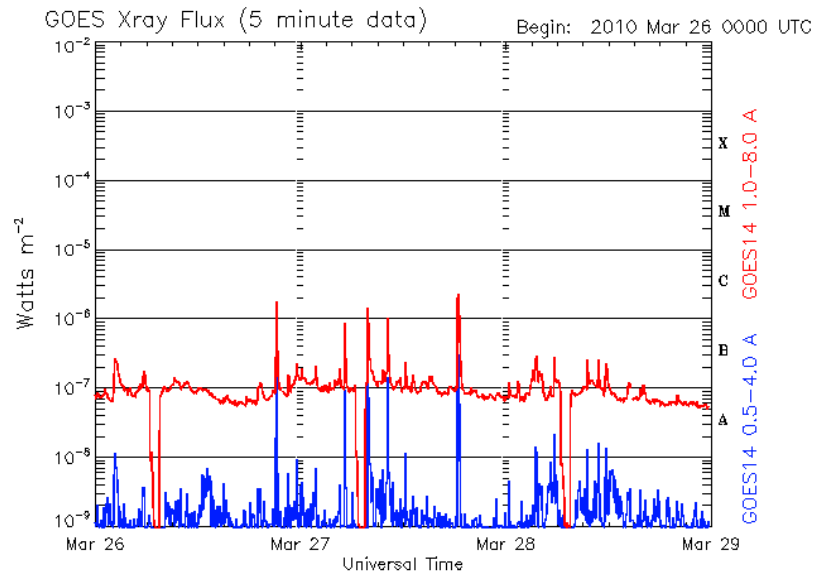
Updated 2010 Mar 26 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



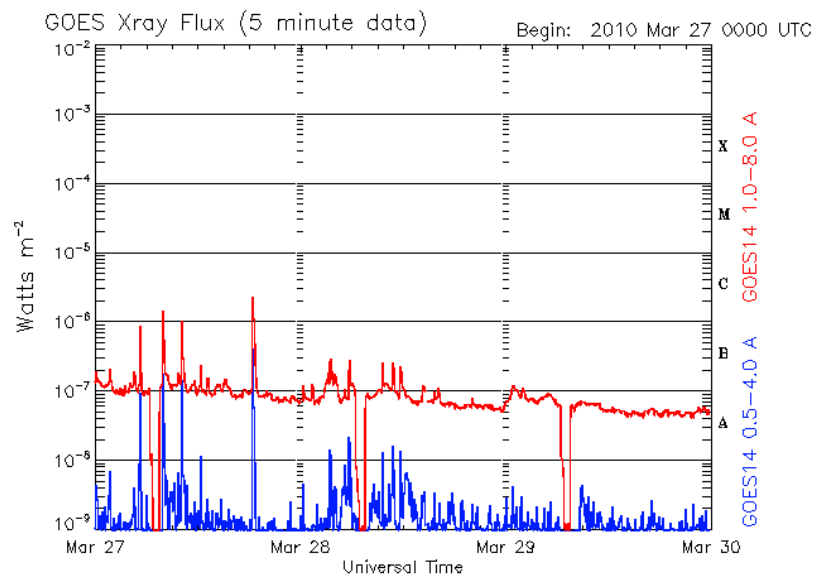
Updated 2010 Mar 26 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



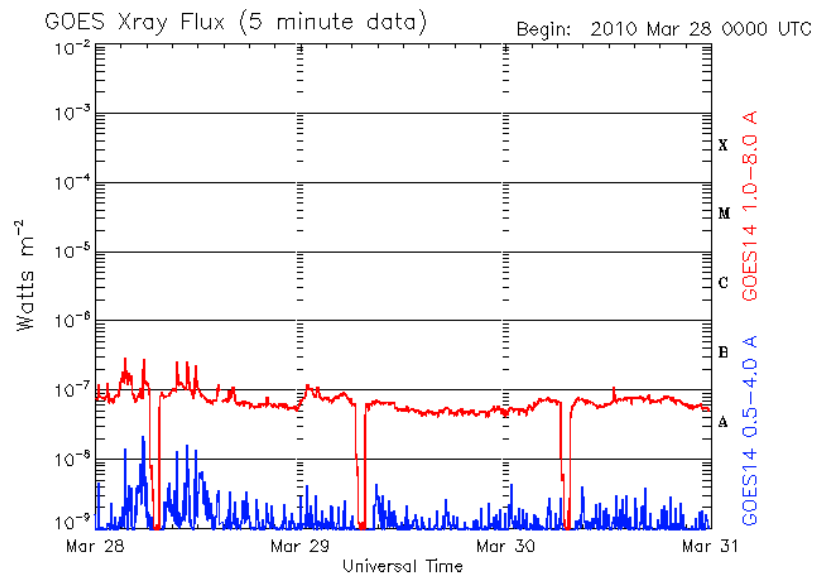
Updated 2010 Mar 27 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



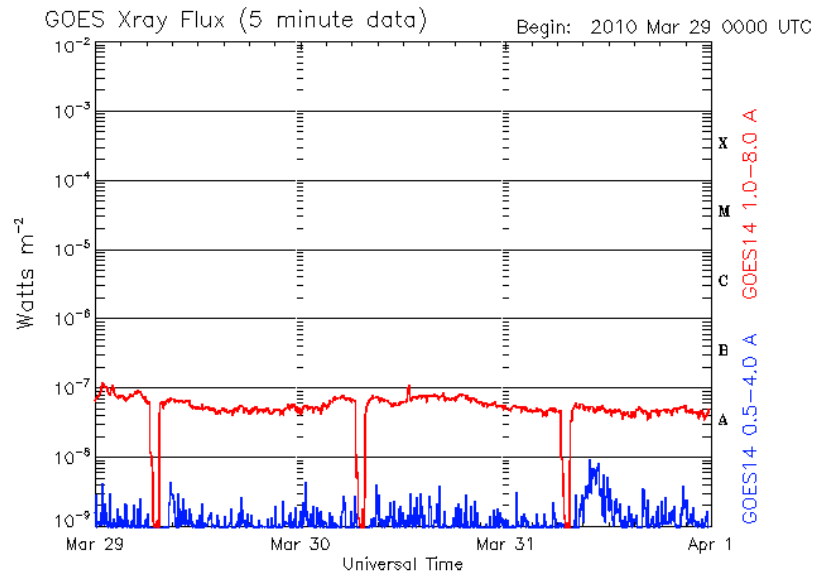
Updated 2010 Mar 28 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



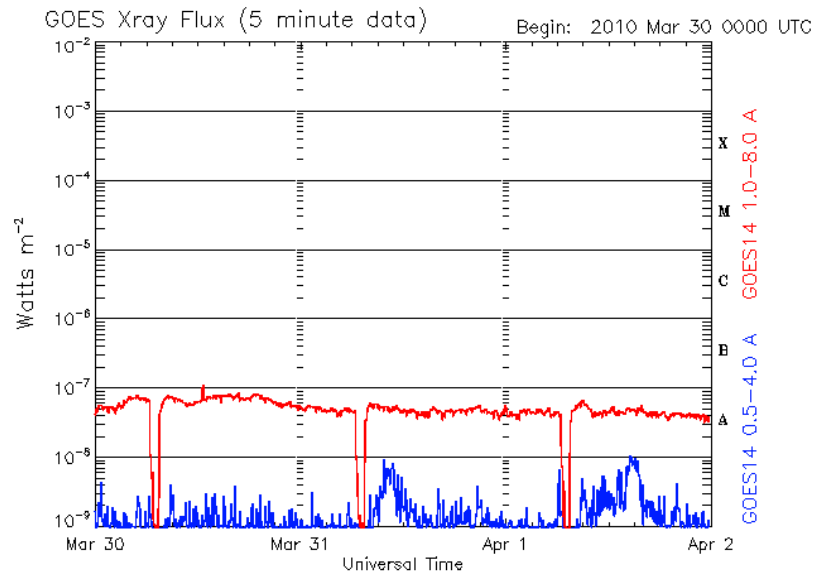
Updated 2010 Mar 29 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



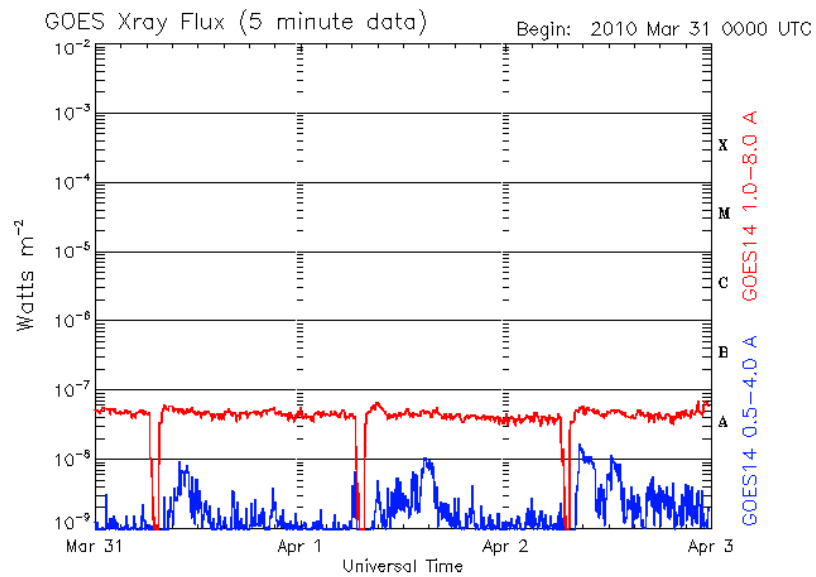
Updated 2010 Mar 30 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



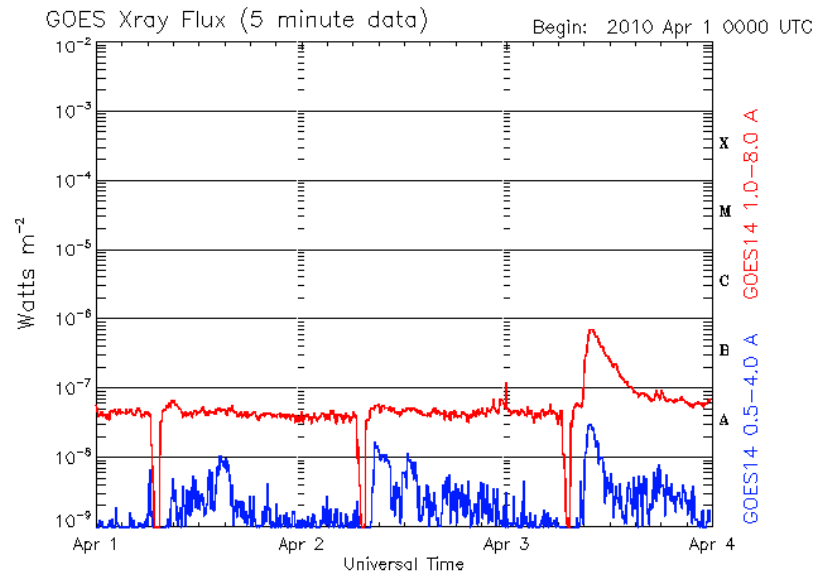
Updated 2010 Mar 31 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



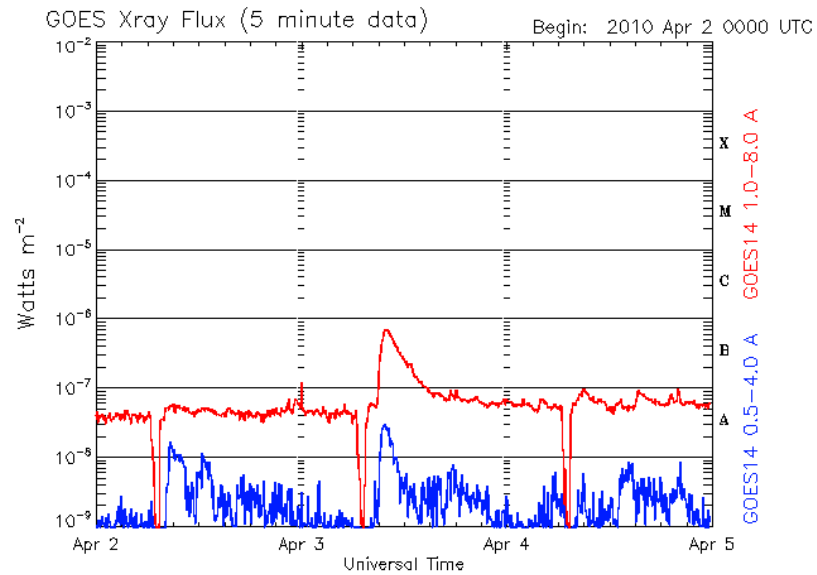
Updated 2010 Apr 1 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



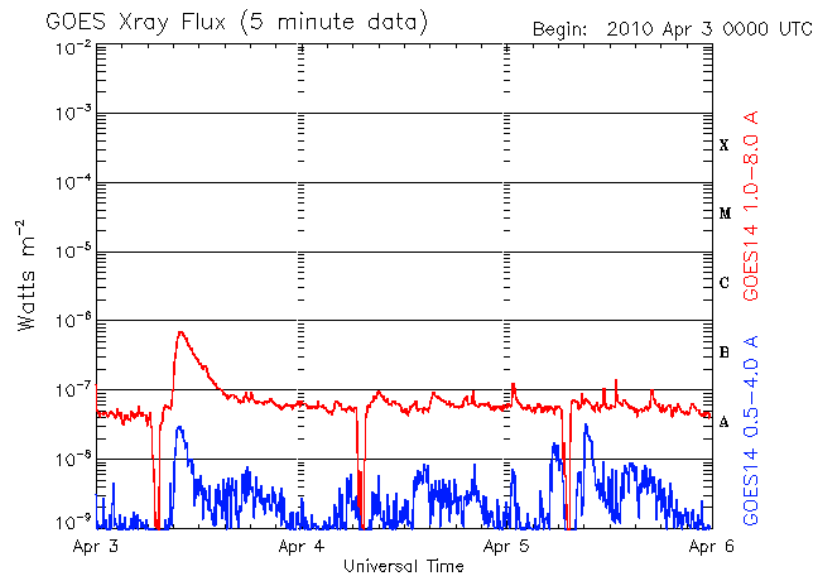
Updated 2010 Apr 2 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



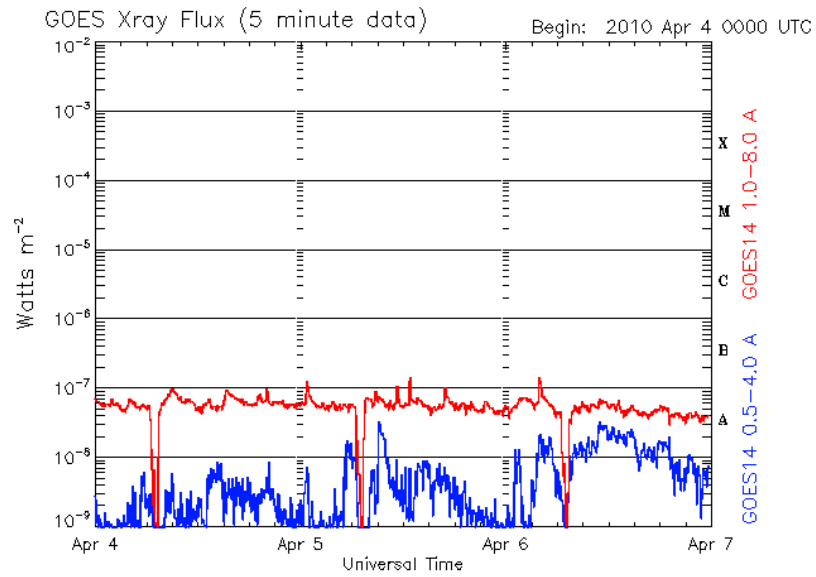
Updated 2010 Apr 3 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



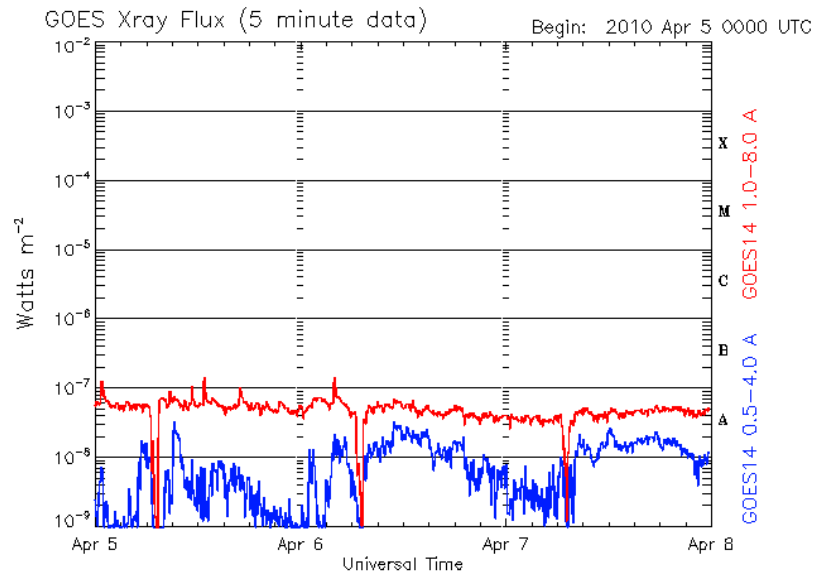
Updated 2010 Apr 4 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



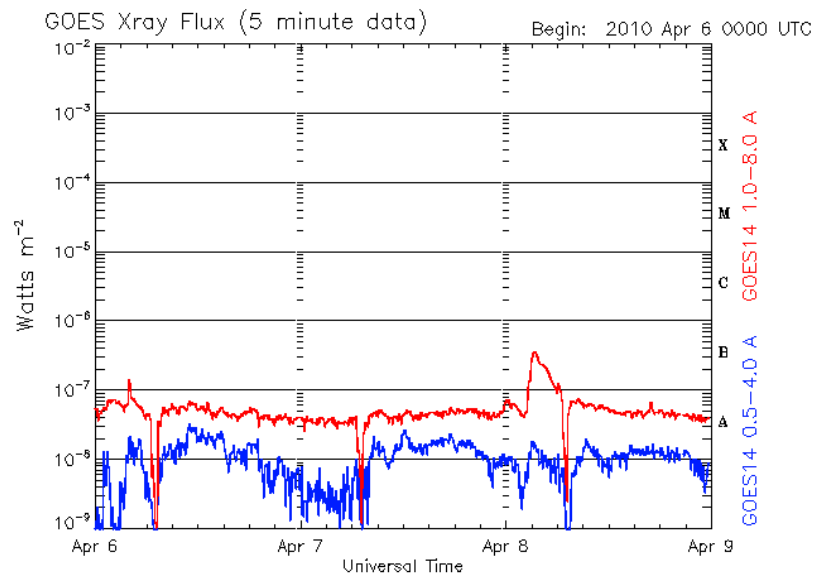
Updated 2010 Apr 5 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



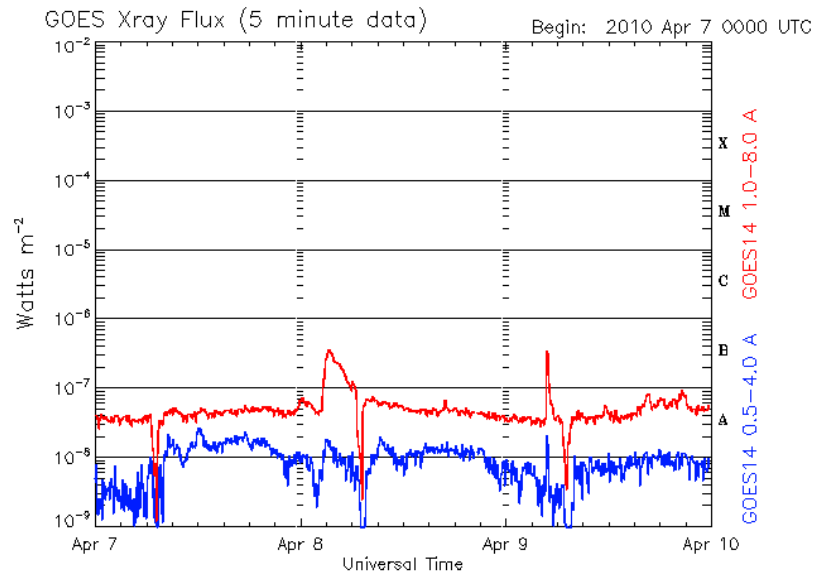
Updated 2010 Apr 6 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



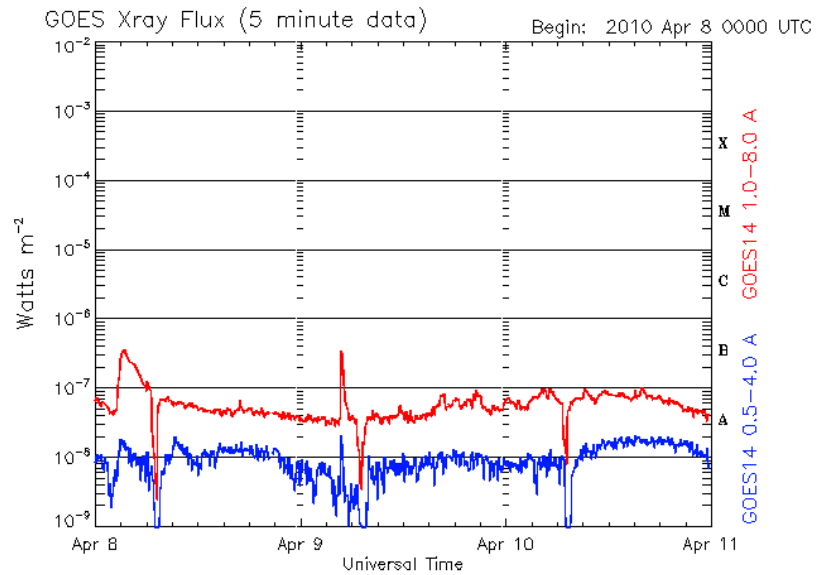
Updated 2010 Apr 7 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



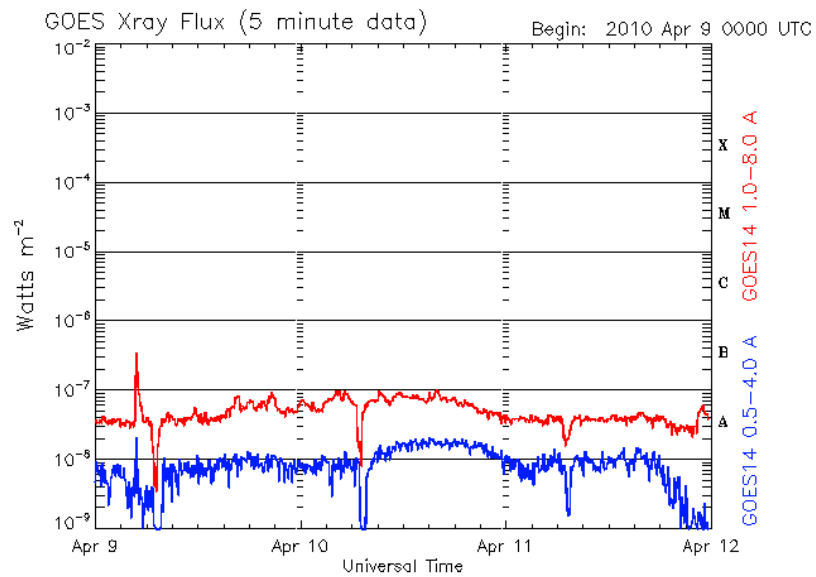
Updated 2010 Apr 8 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



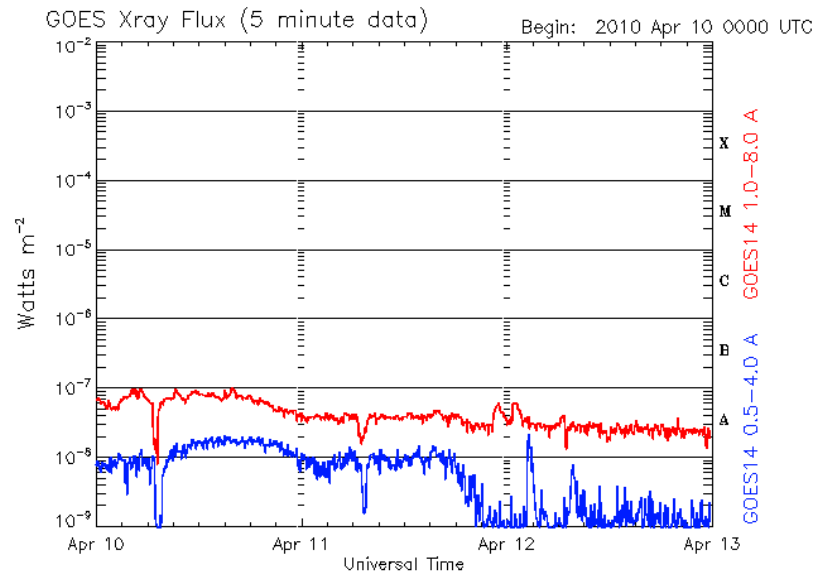
Updated 2010 Apr 9 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



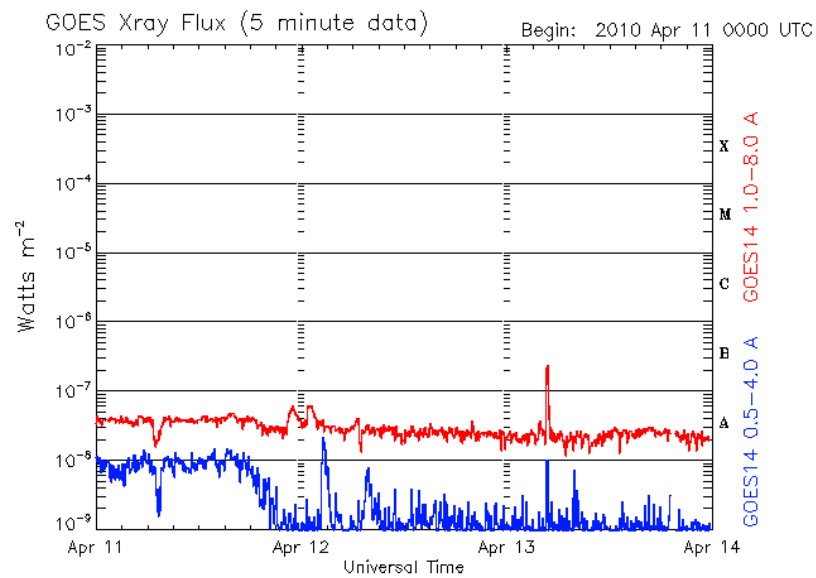
Updated 2010 Apr 10 23:55:16 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



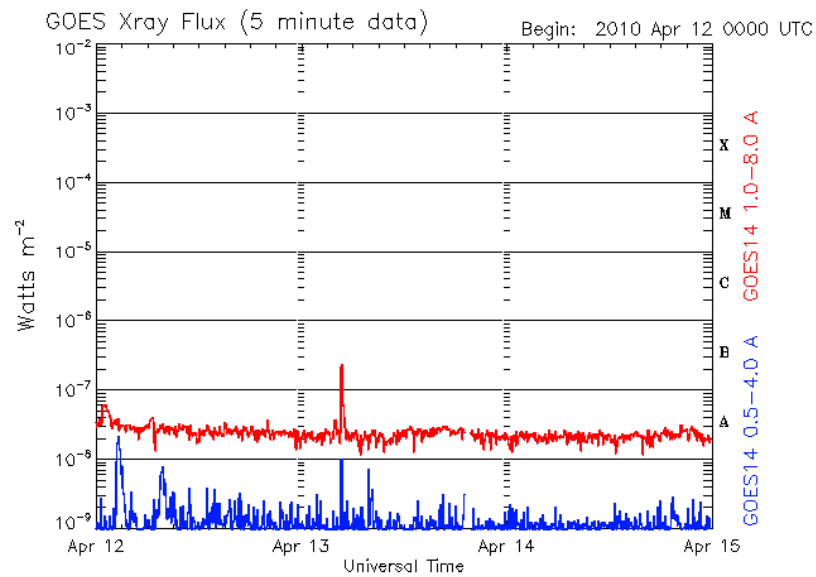
Updated 2010 Apr 11 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



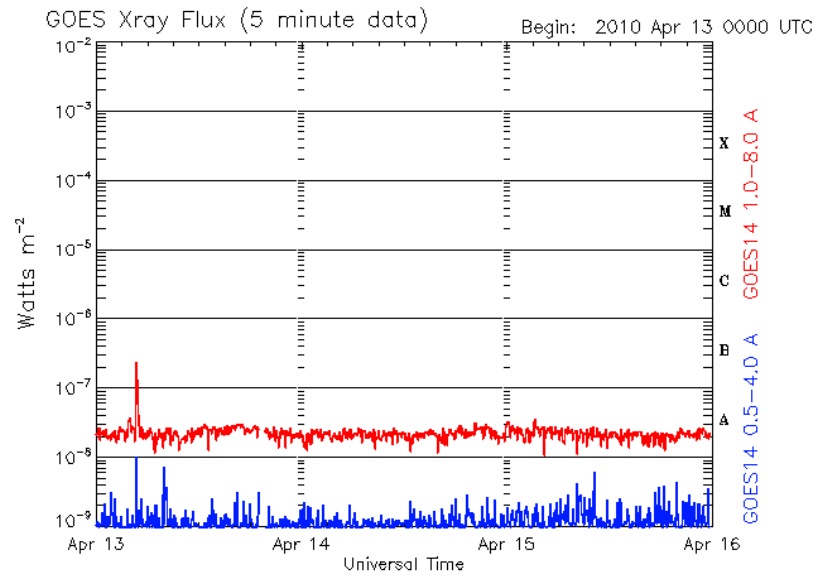
Updated 2010 Apr 12 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



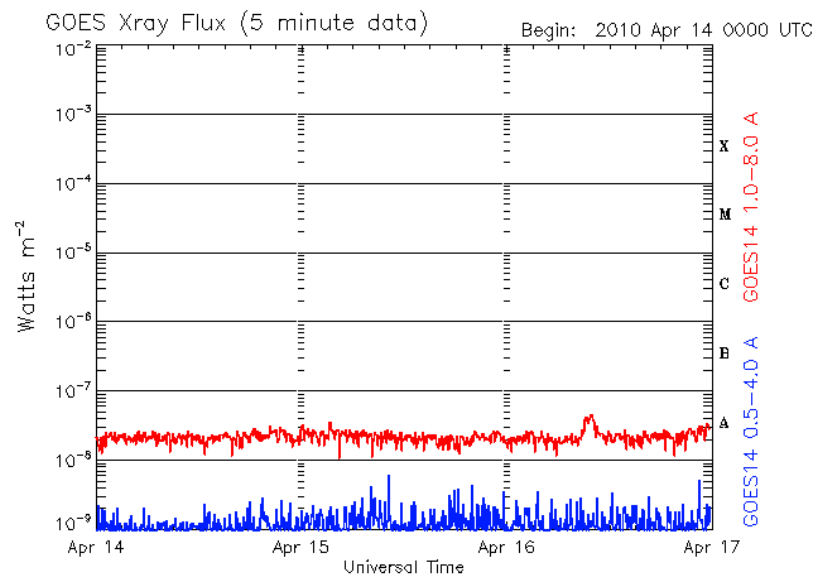
Updated 2010 Apr 13 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



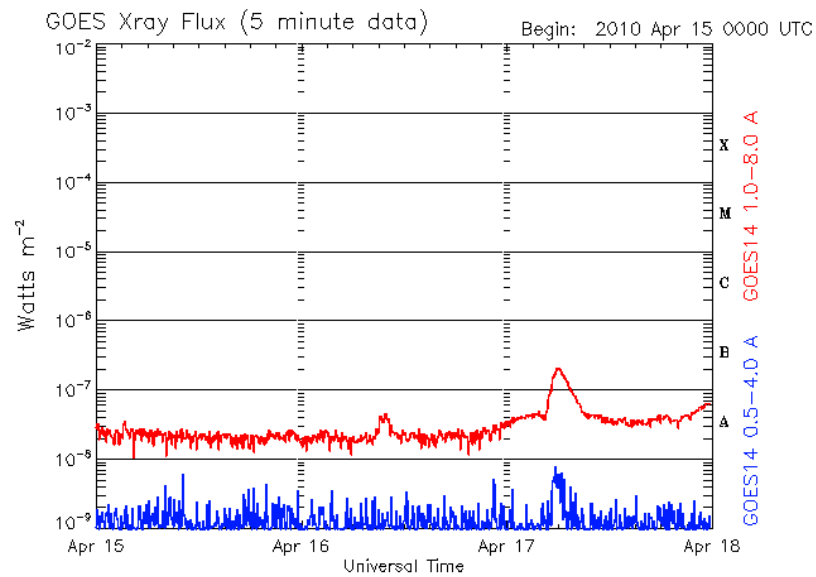
Updated 2010 Apr 14 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



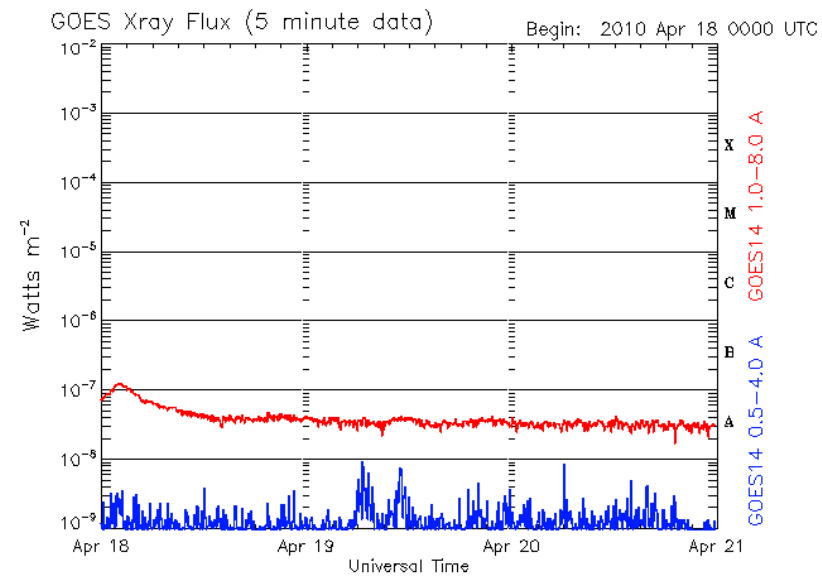
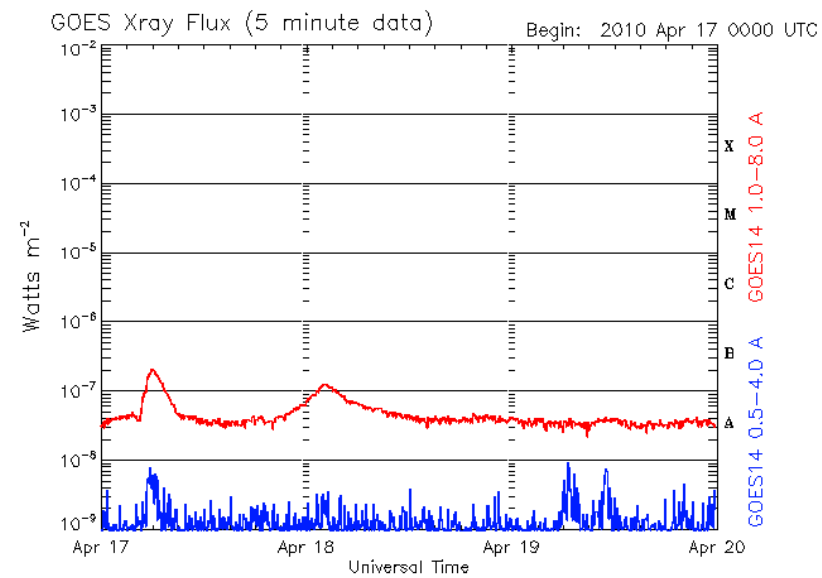
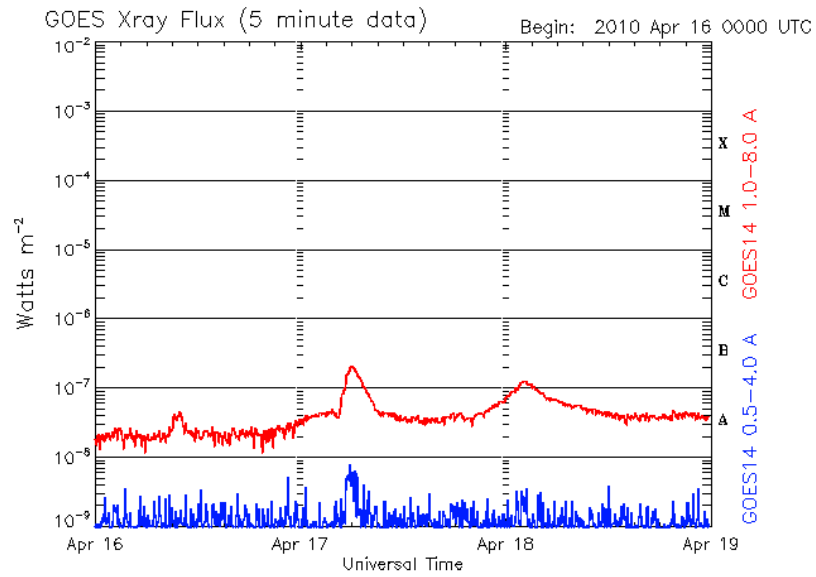
Updated 2010 Apr 15 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

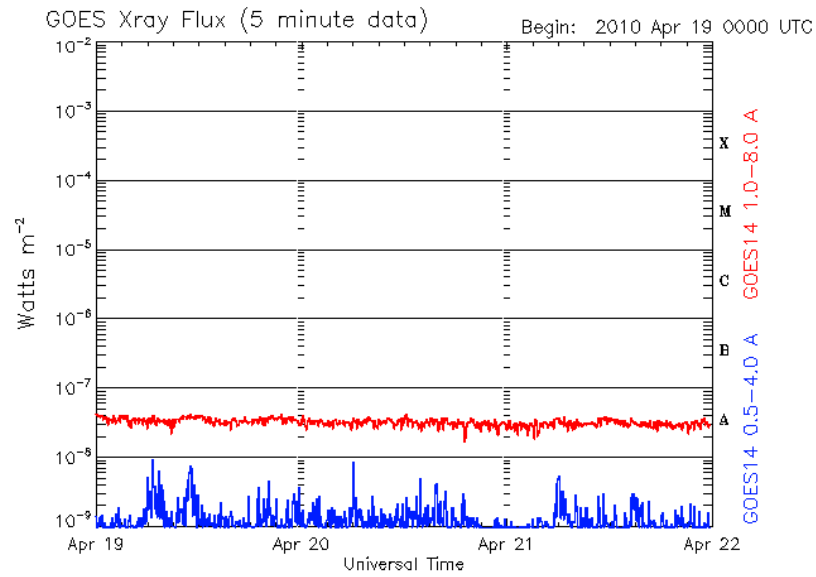


Updated 2010 Apr 16 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

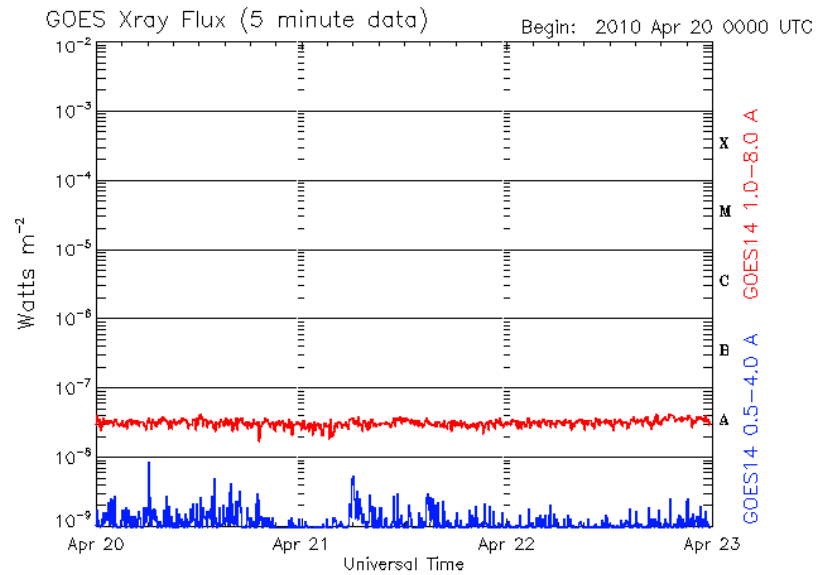


Updated 2010 Apr 17 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

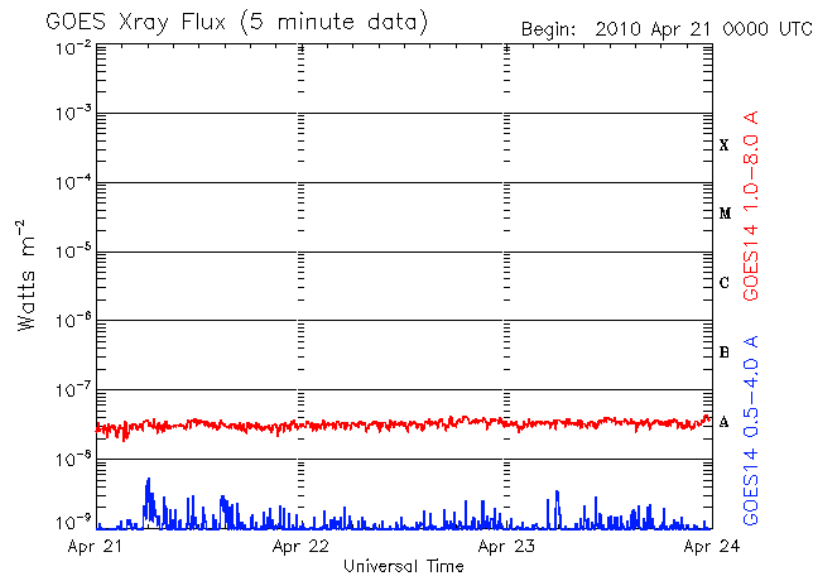




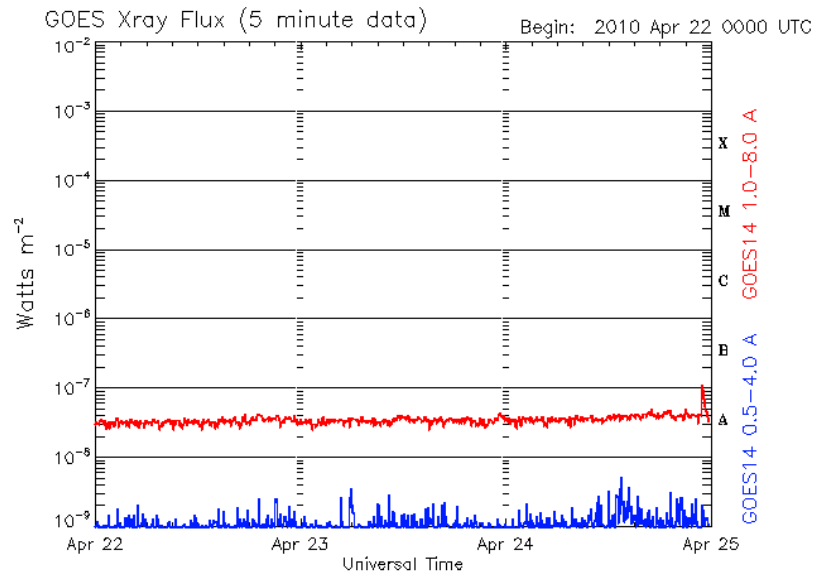
Updated 2010 Apr 21 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



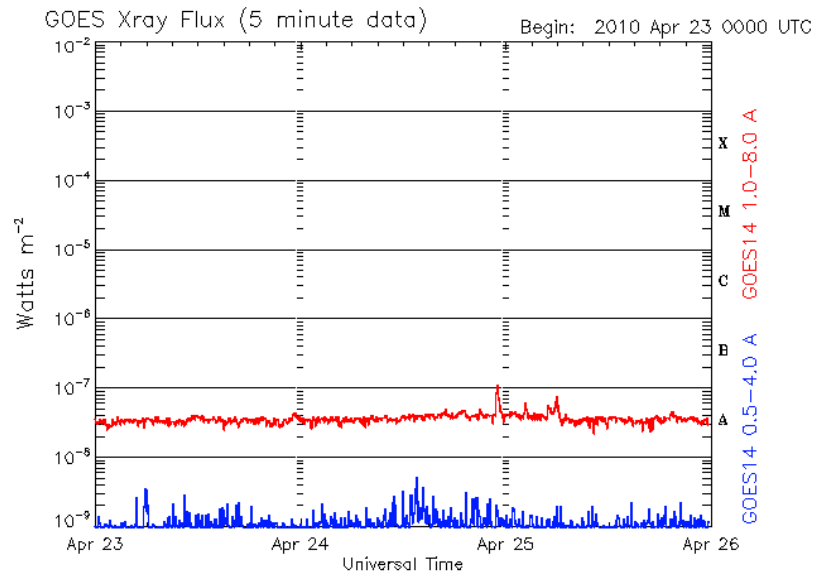
Updated 2010 Apr 22 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



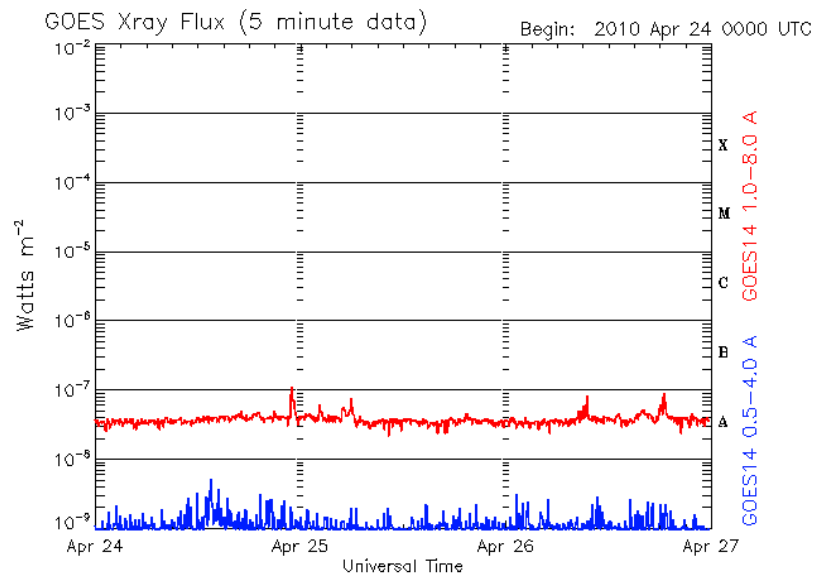
Updated 2010 Apr 23 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



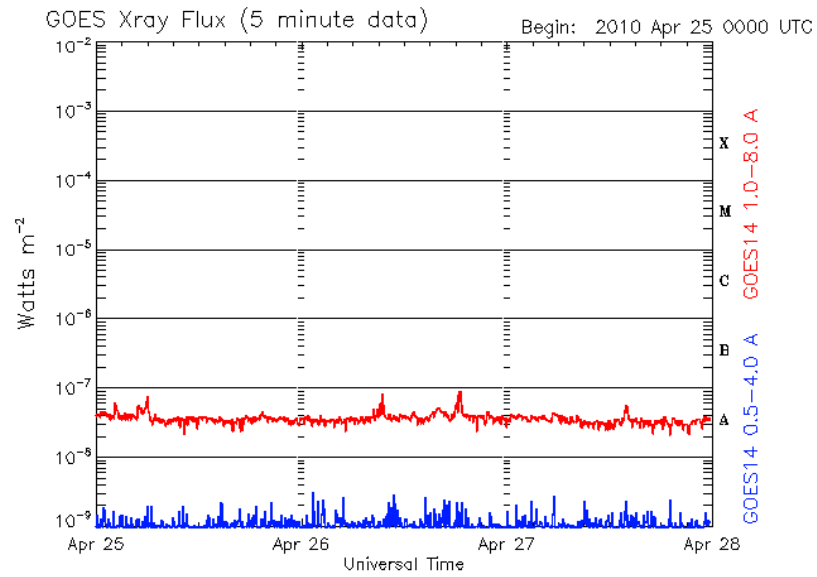
Updated 2010 Apr 24 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



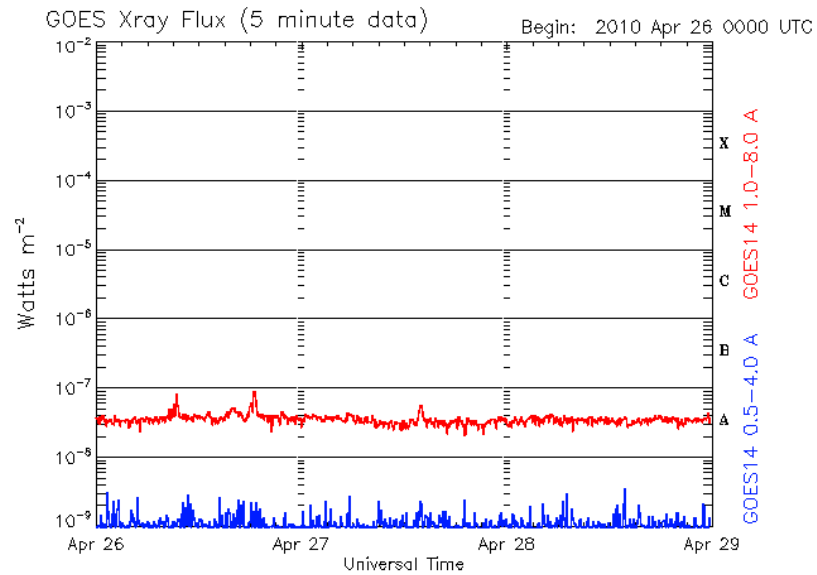
Updated 2010 Apr 25 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



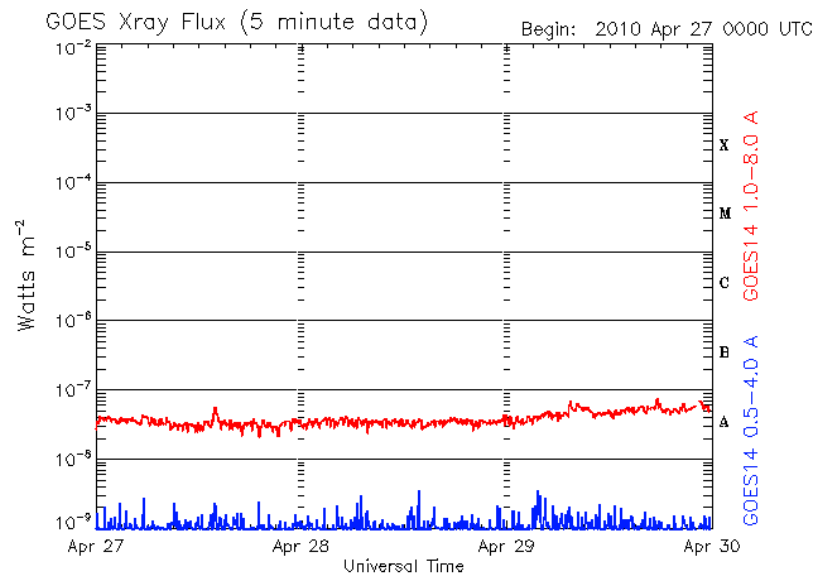
Updated 2010 Apr 26 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



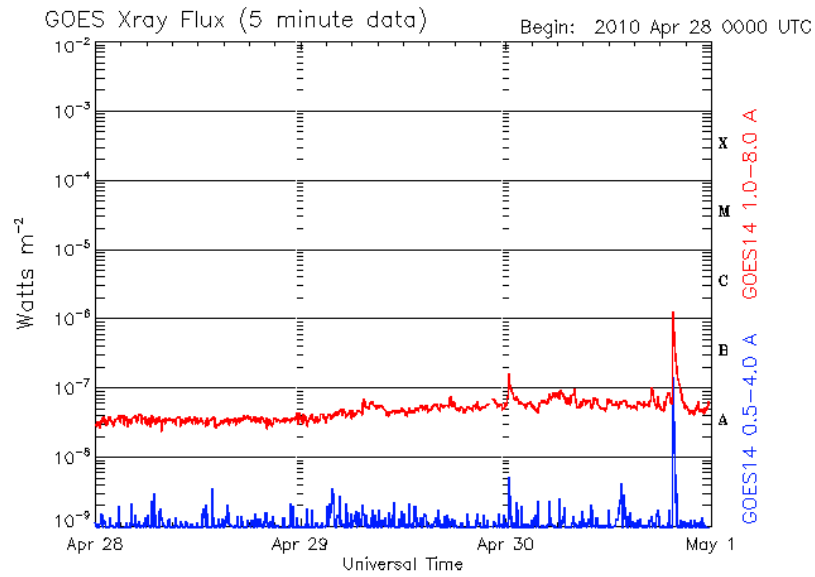
Updated 2010 Apr 27 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



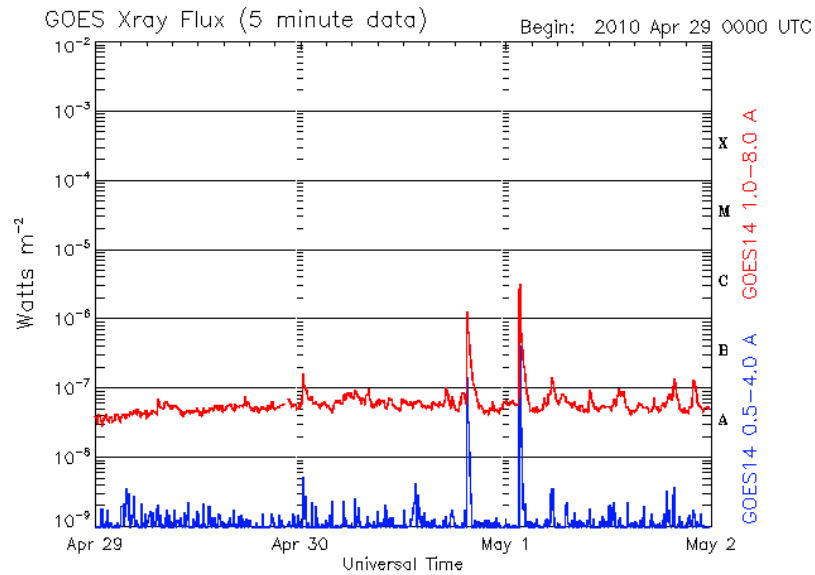
Updated 2010 Apr 28 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



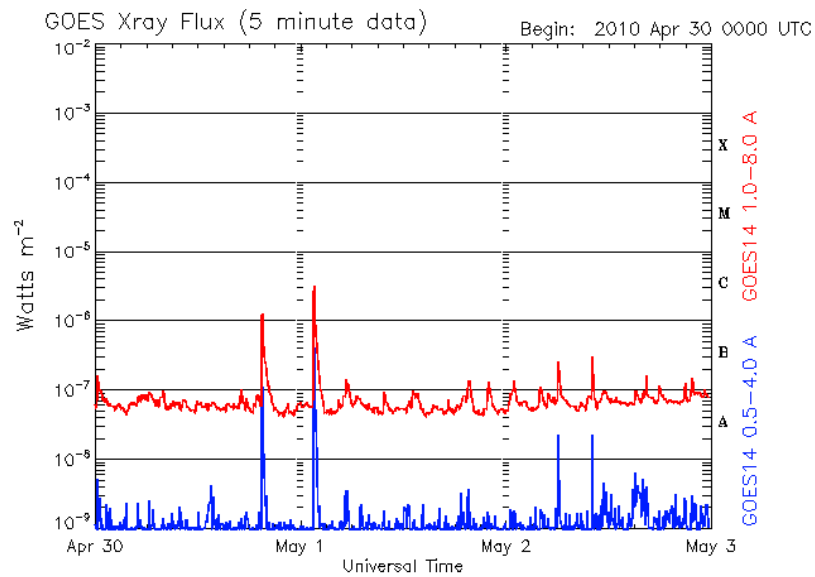
Updated 2010 Apr 29 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



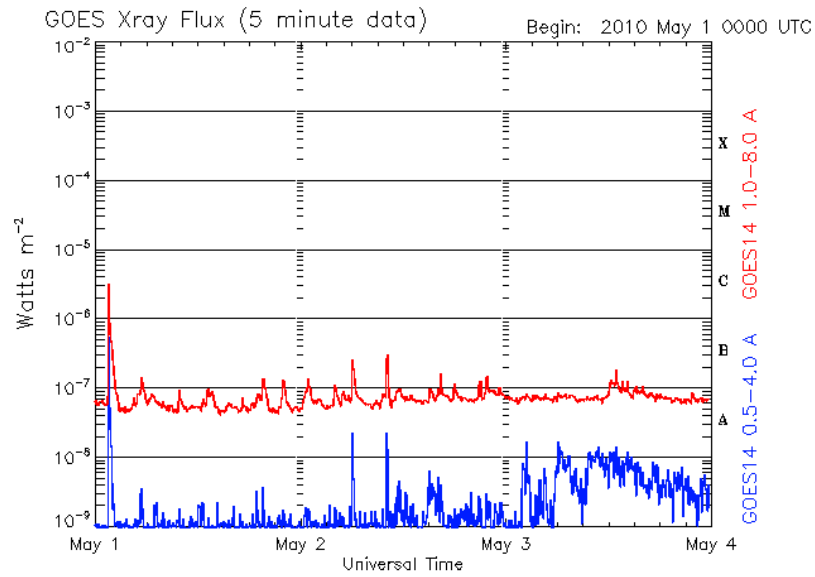
Updated 2010 Apr 30 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



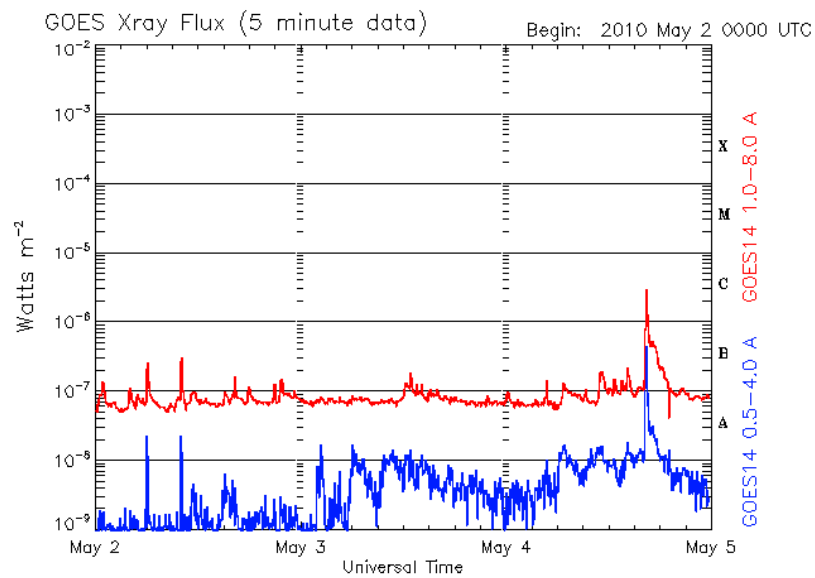
Updated 2010 May 1 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



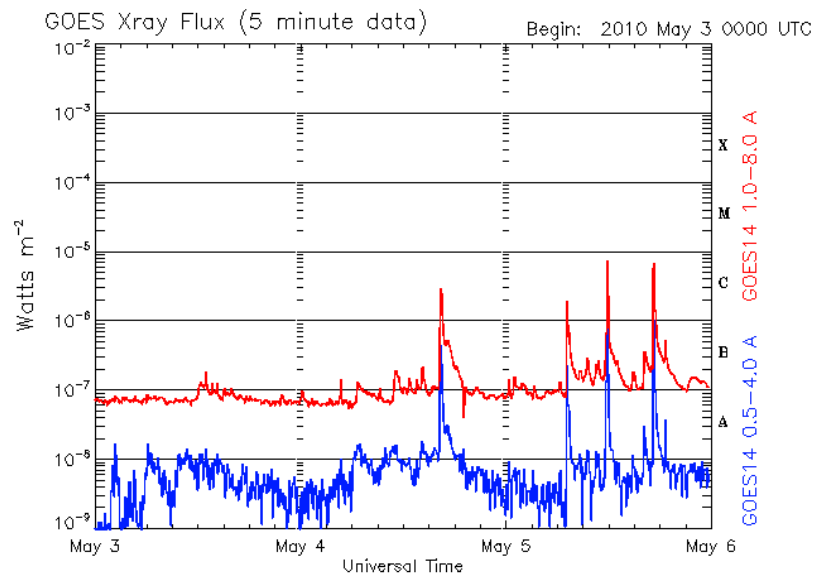
Updated 2010 May 2 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



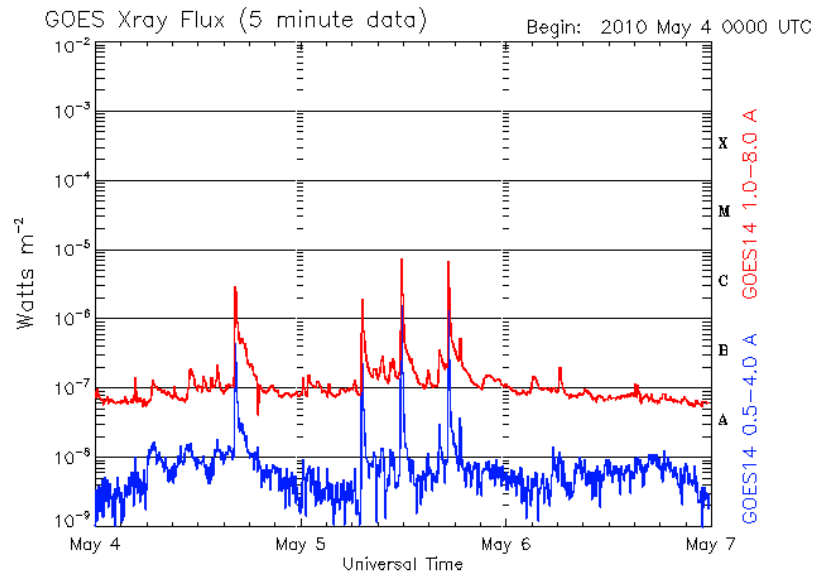
Updated 2010 May 3 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



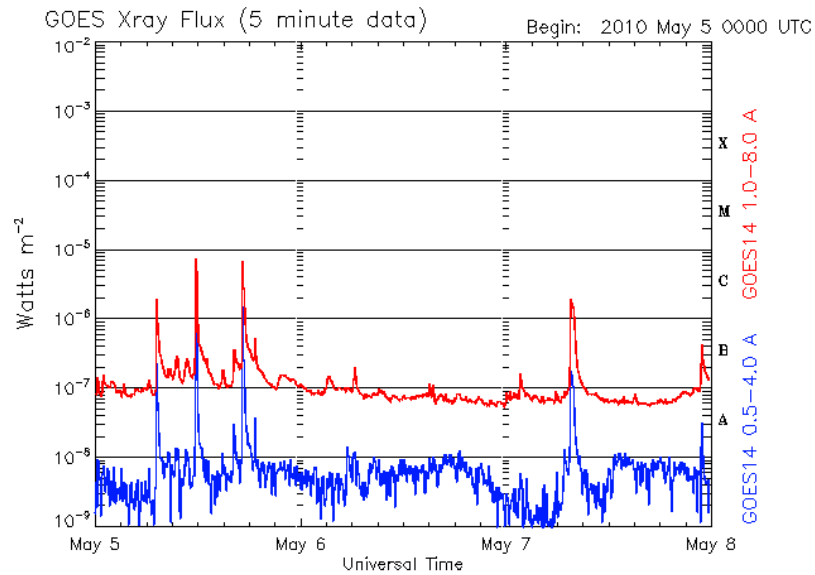
Updated 2010 May 4 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



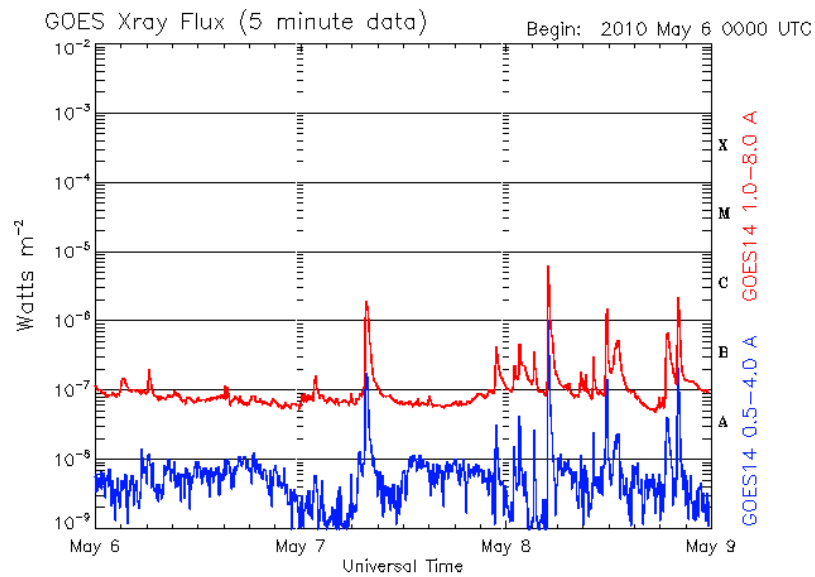
Updated 2010 May 5 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



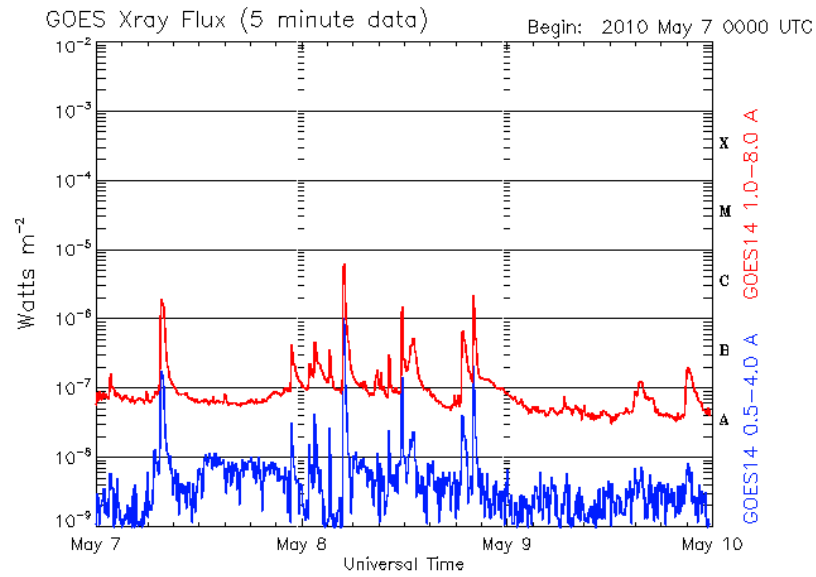
Updated 2010 May 6 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



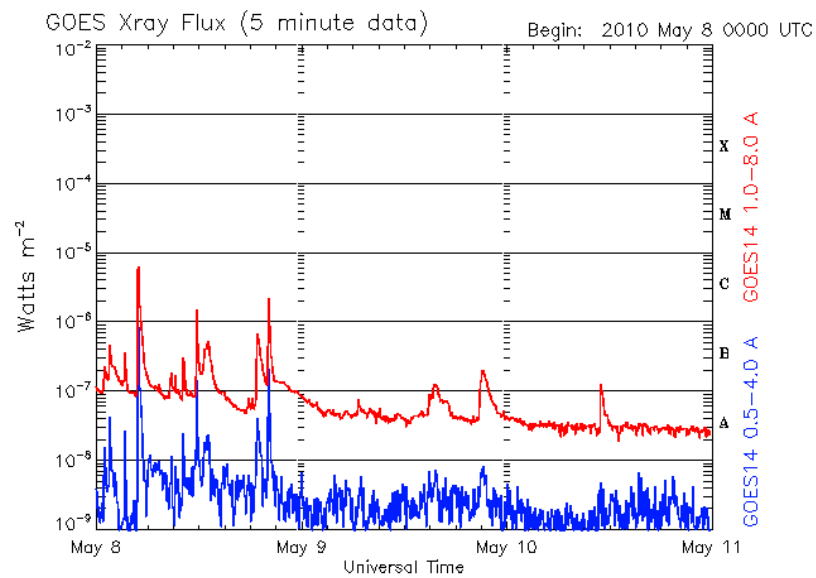
Updated 2010 May 7 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



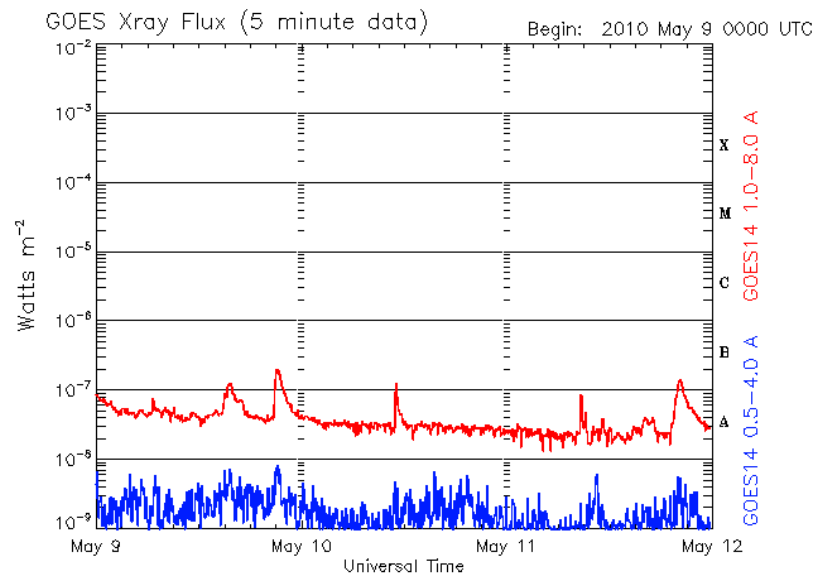
Updated 2010 May 8 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



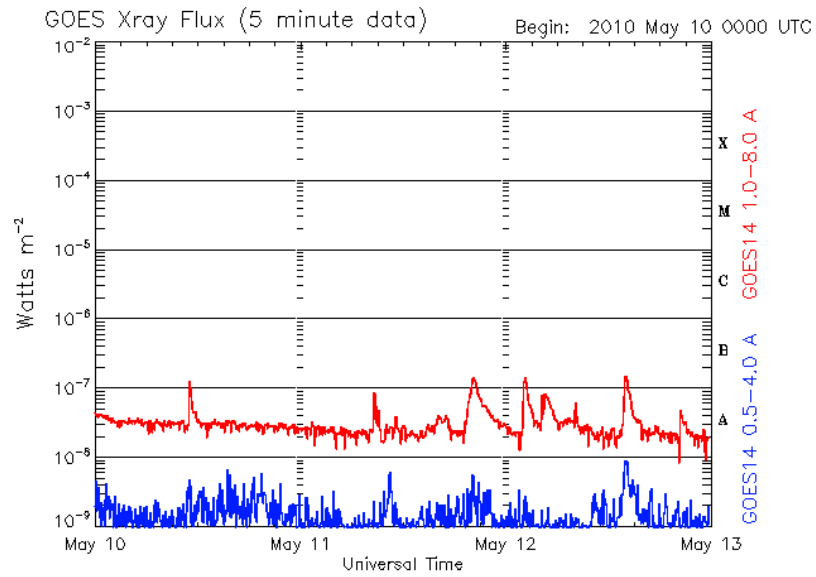
Updated 2010 May 9 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



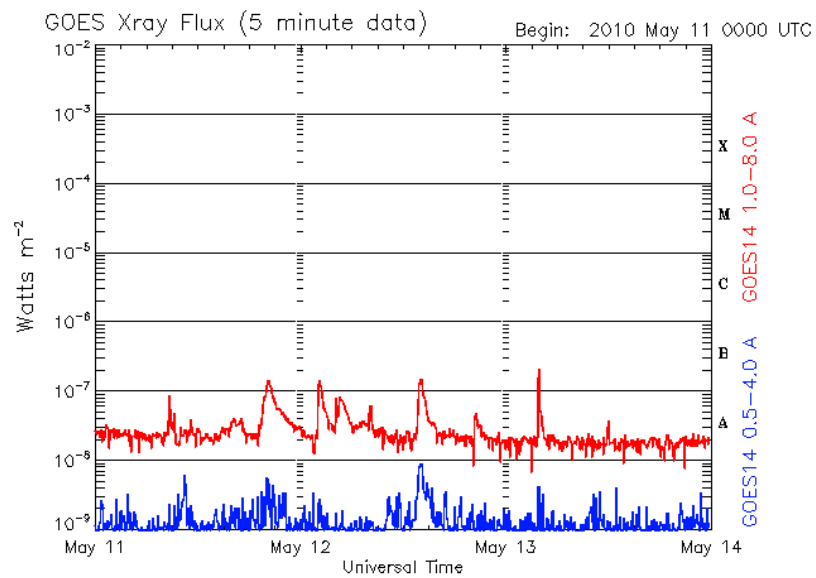
Updated 2010 May 10 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



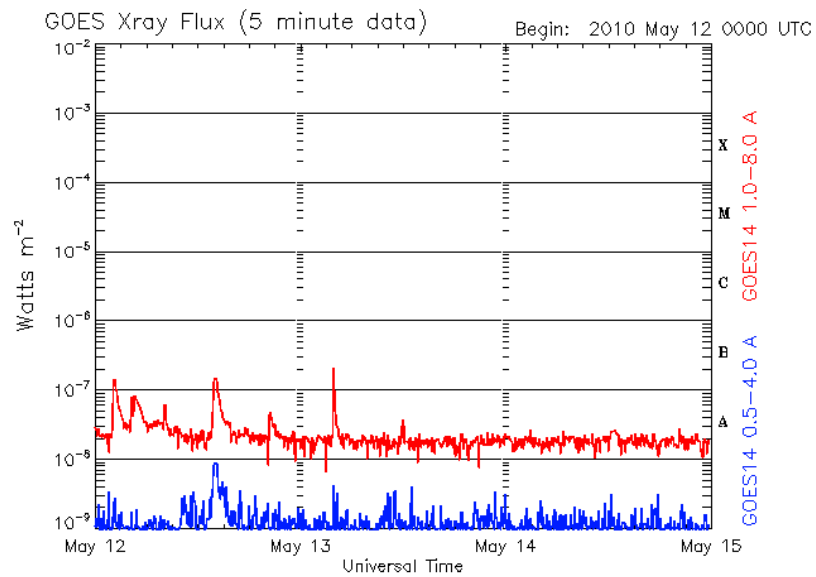
Updated 2010 May 11 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



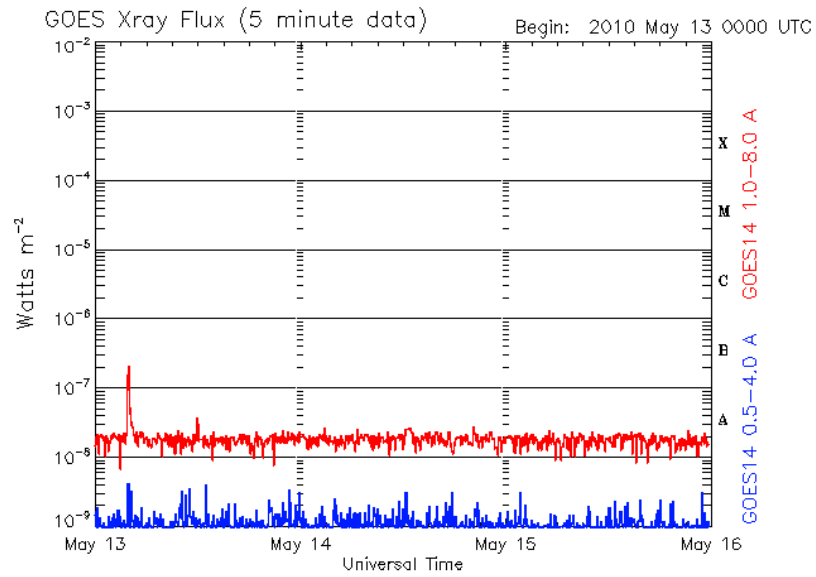
Updated 2010 May 12 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



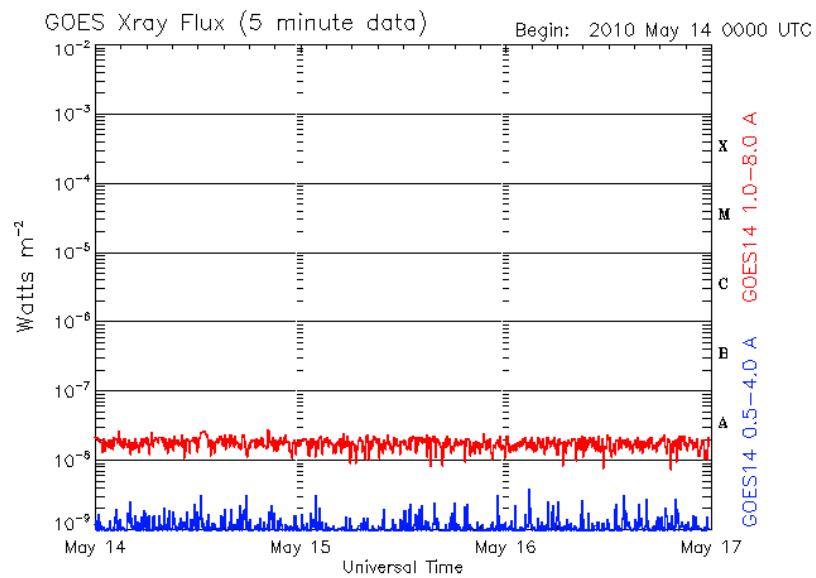
Updated 2010 May 13 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



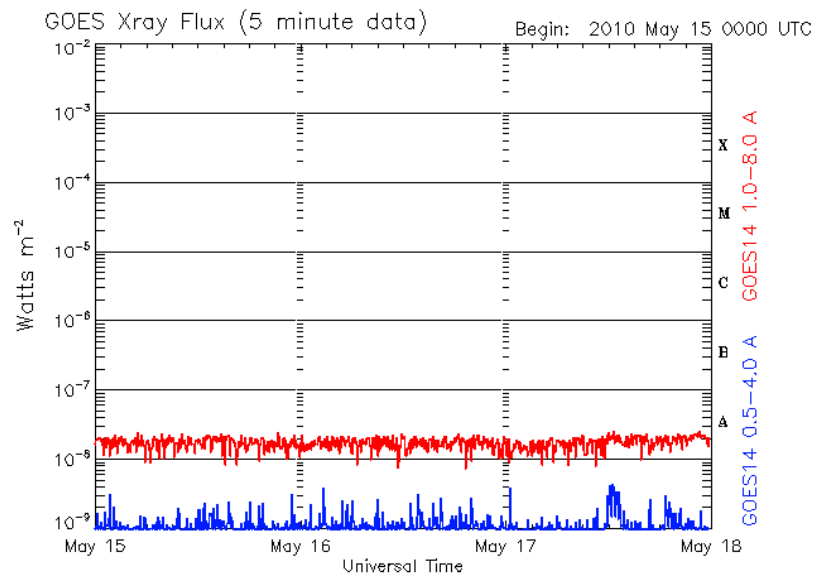
Updated 2010 May 14 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



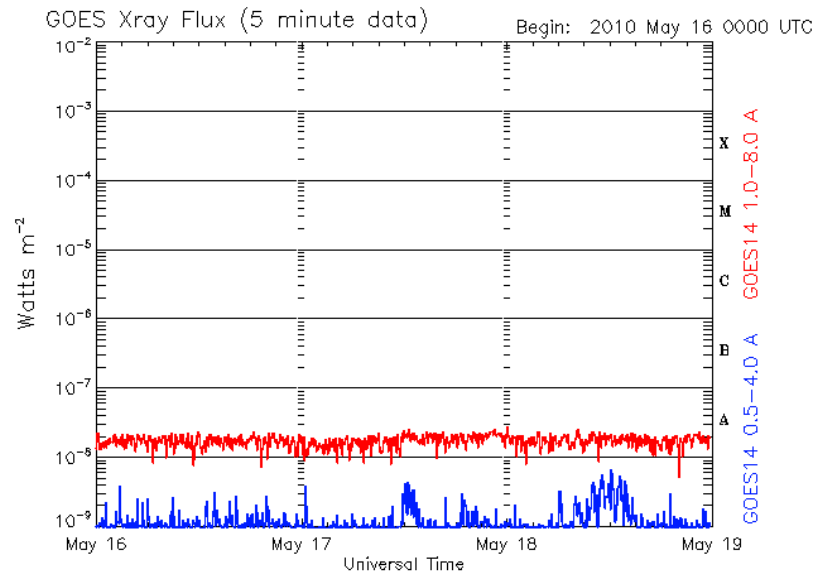
Updated 2010 May 15 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



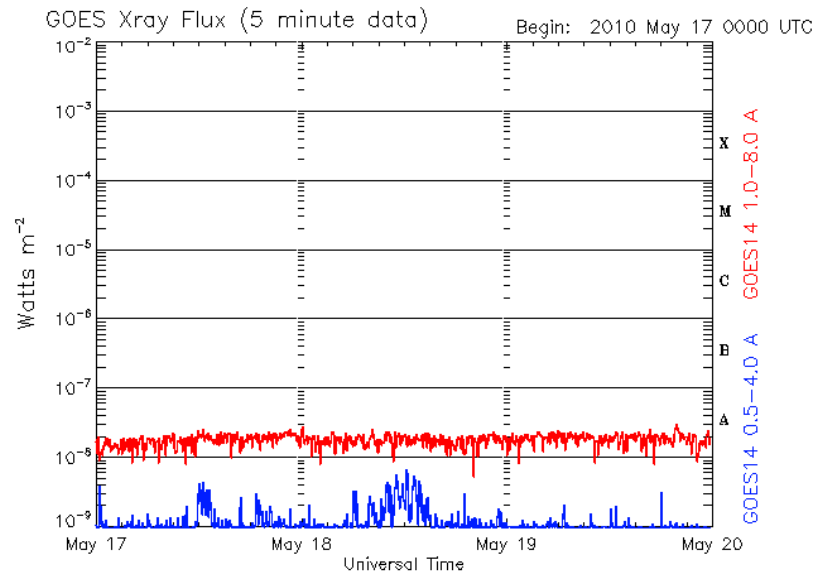
Updated 2010 May 16 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



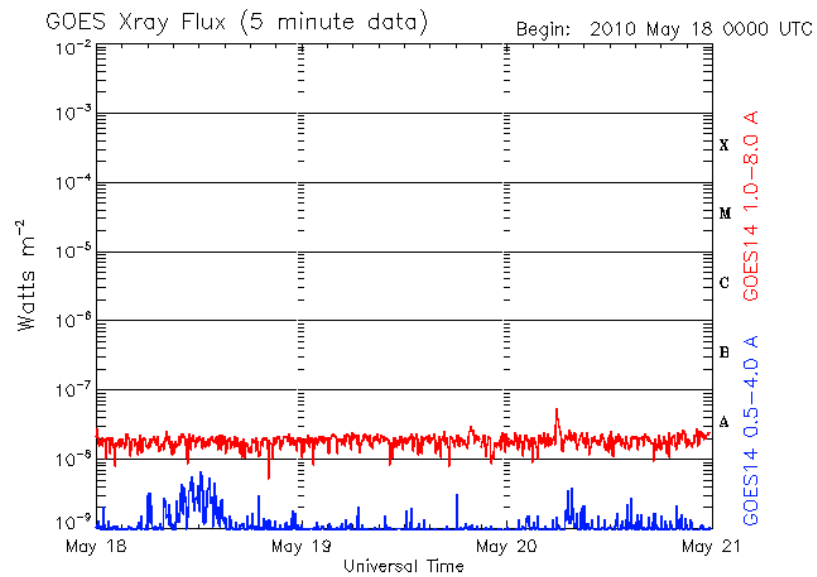
Updated 2010 May 17 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



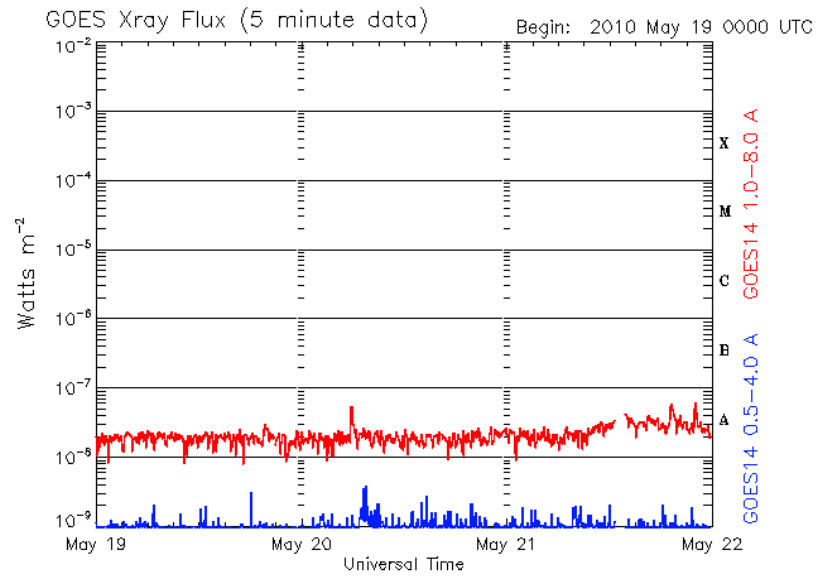
Updated 2010 May 18 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



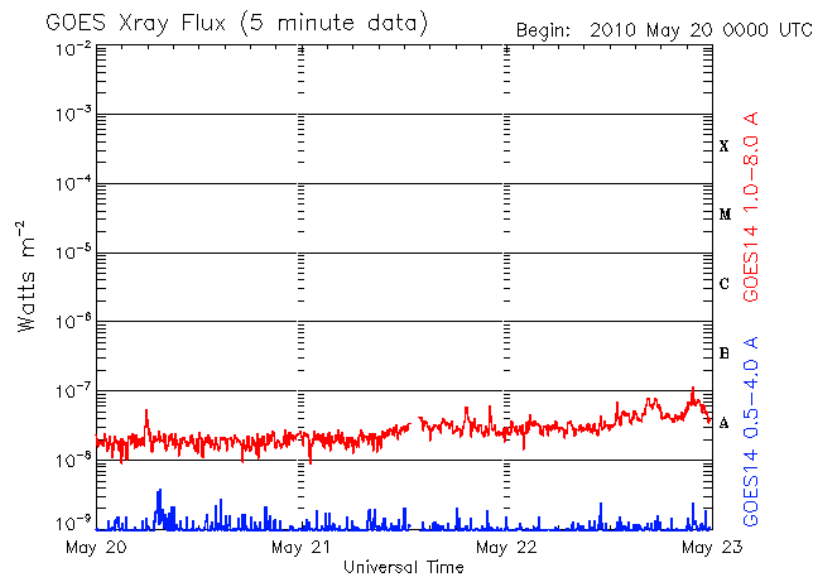
Updated 2010 May 19 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



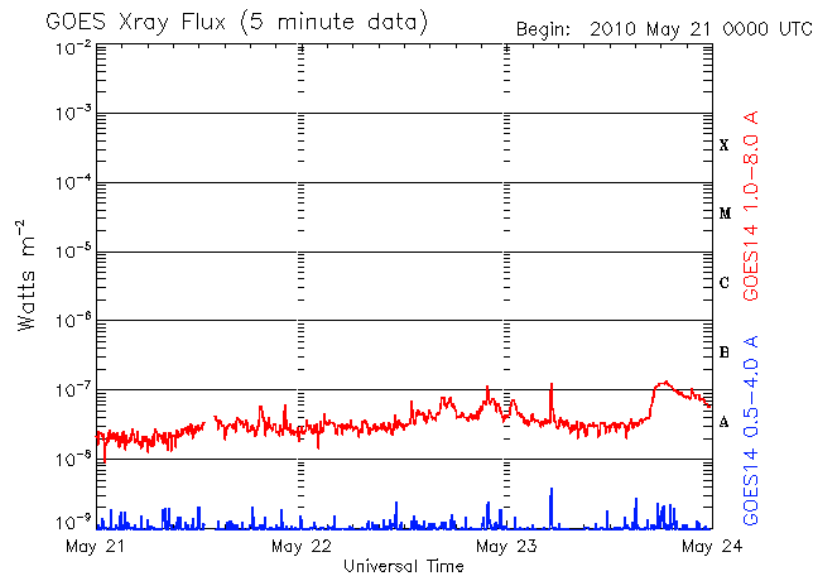
Updated 2010 May 20 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



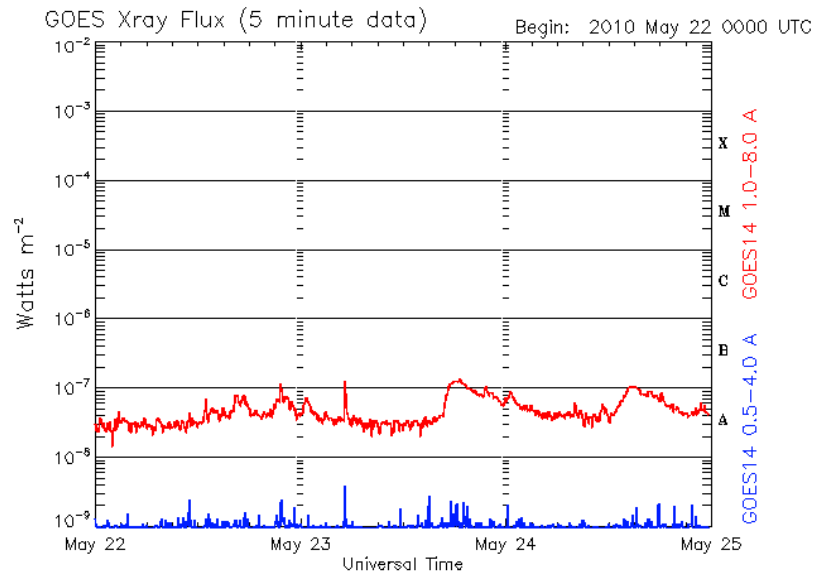
Updated 2010 May 21 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



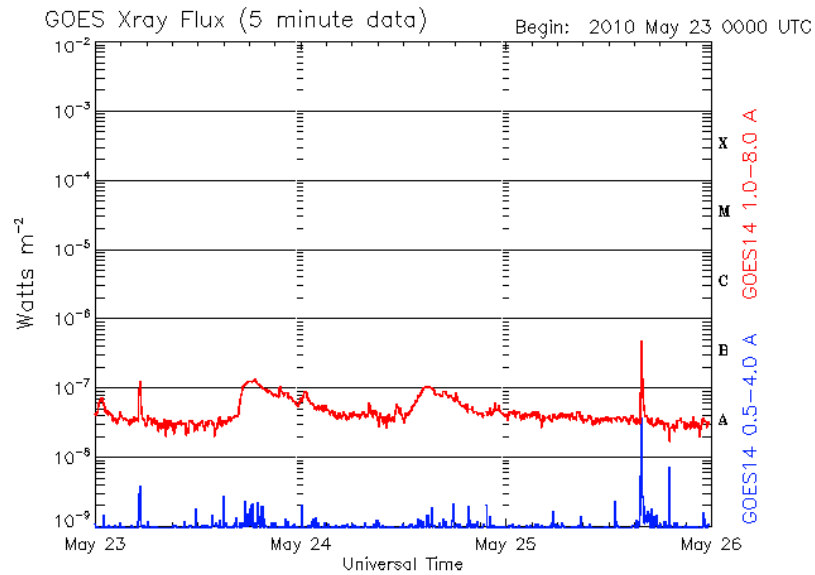
Updated 2010 May 22 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



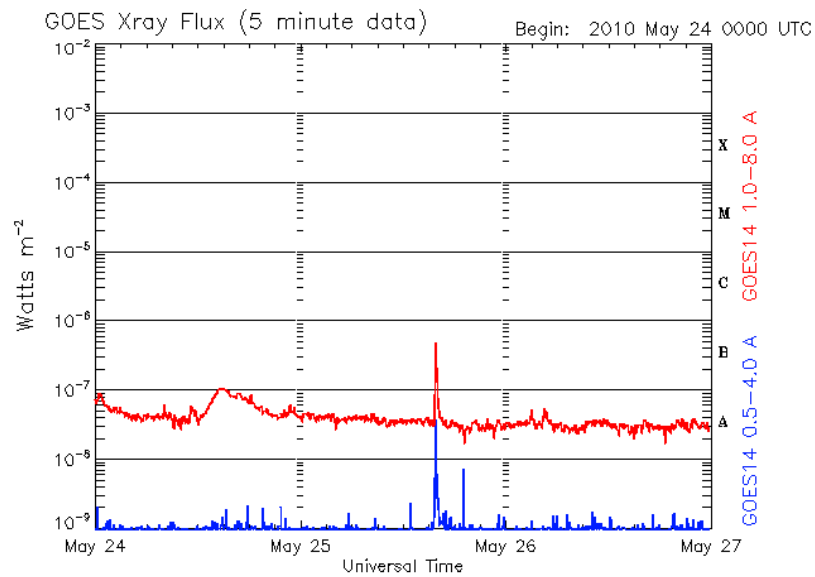
Updated 2010 May 23 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



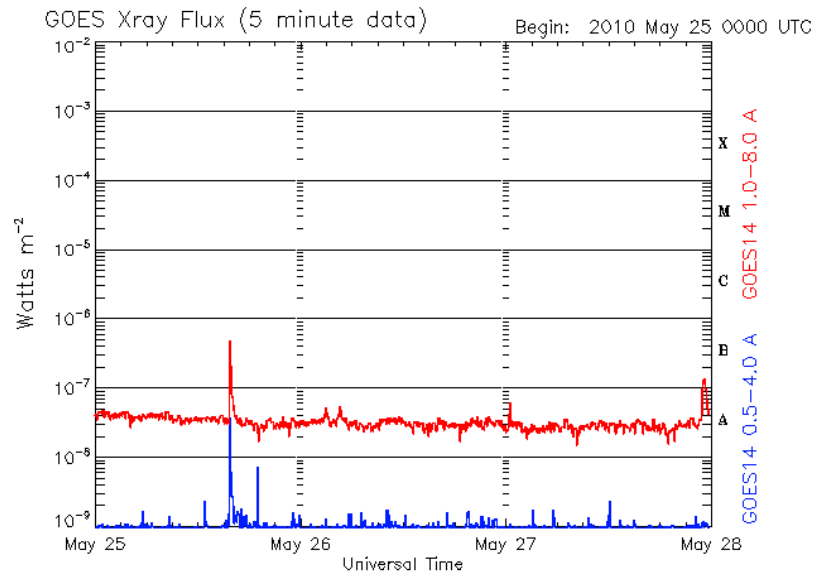
Updated 2010 May 24 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



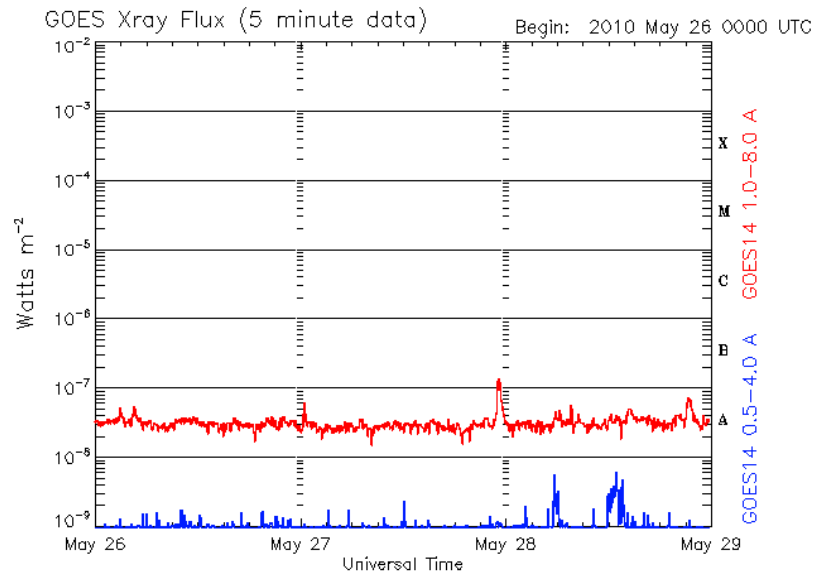
Updated 2010 May 25 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



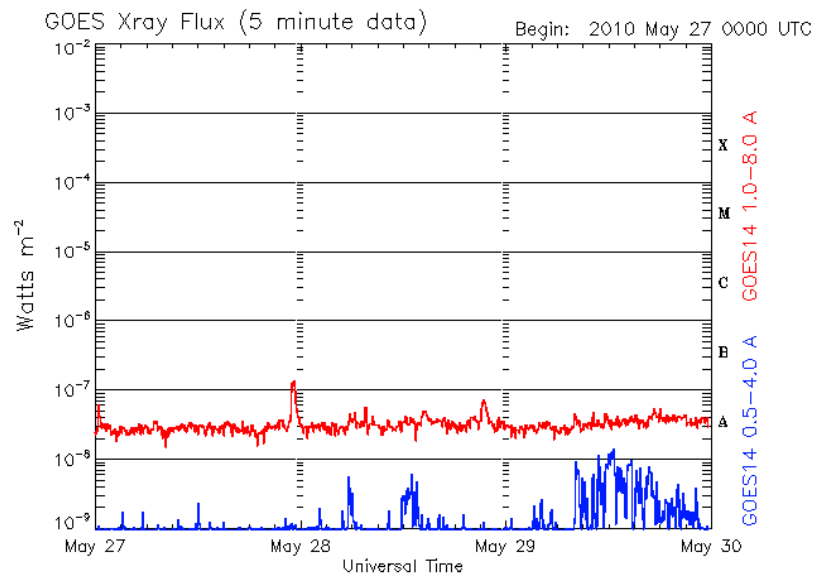
Updated 2010 May 26 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



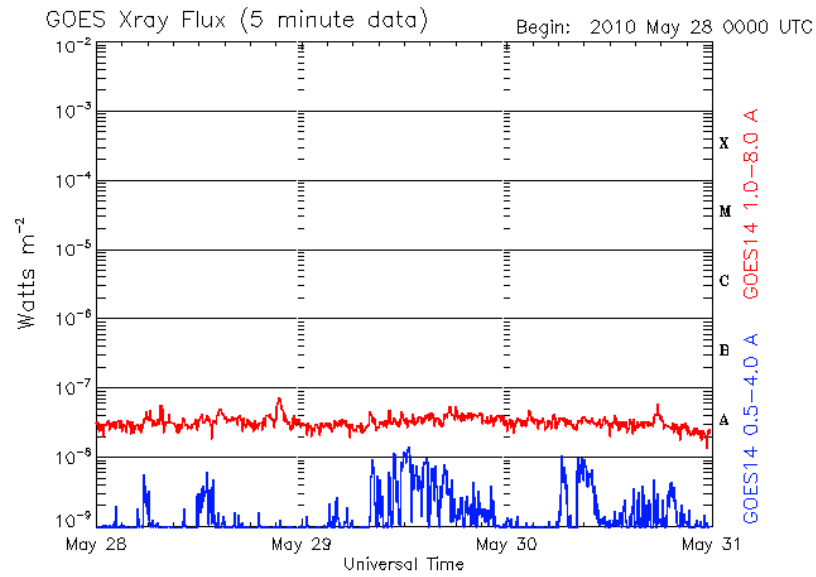
Updated 2010 May 27 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



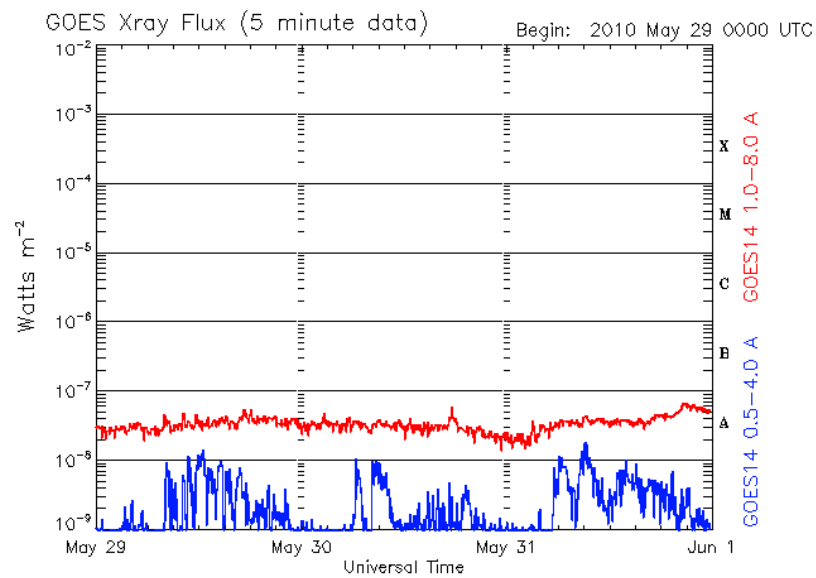
Updated 2010 May 28 23:55:15 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



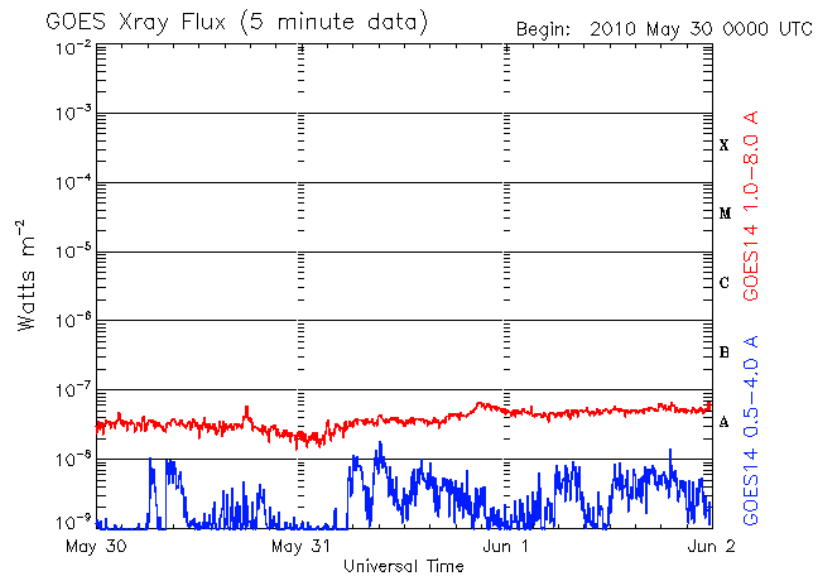
Updated 2010 May 29 23:55:14 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



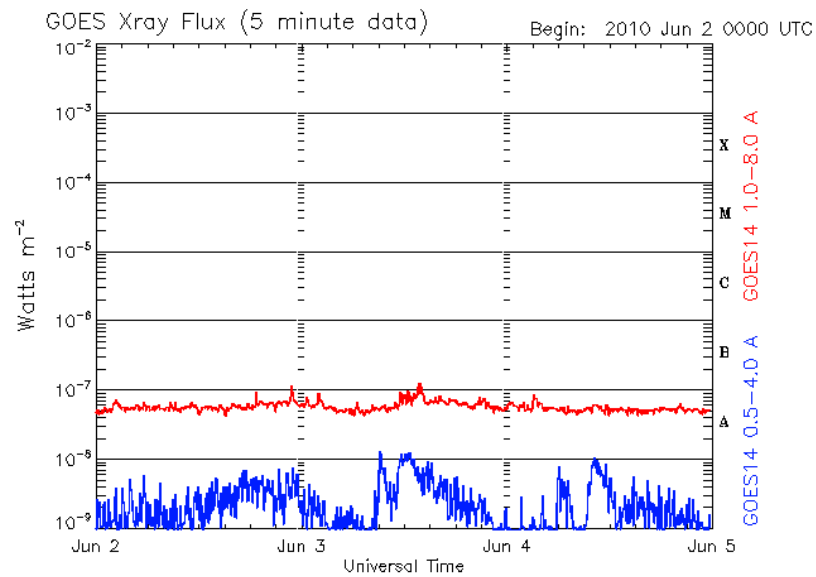
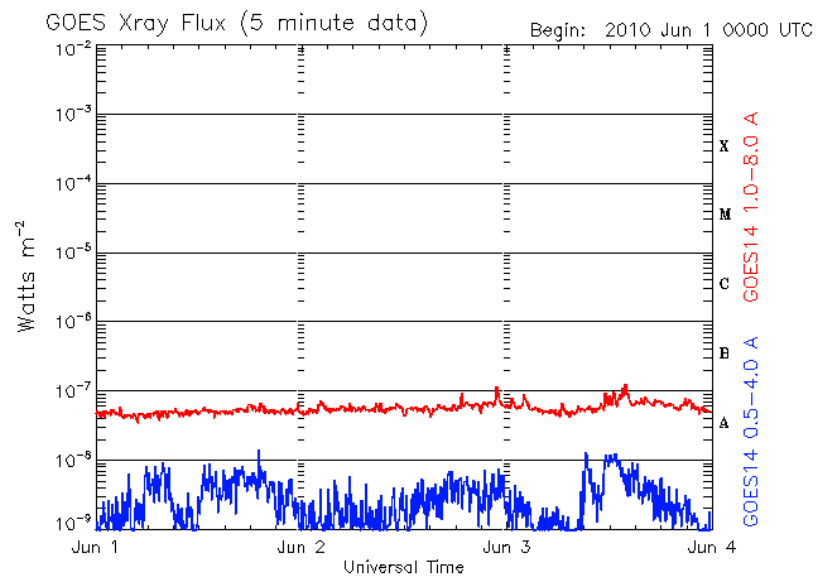
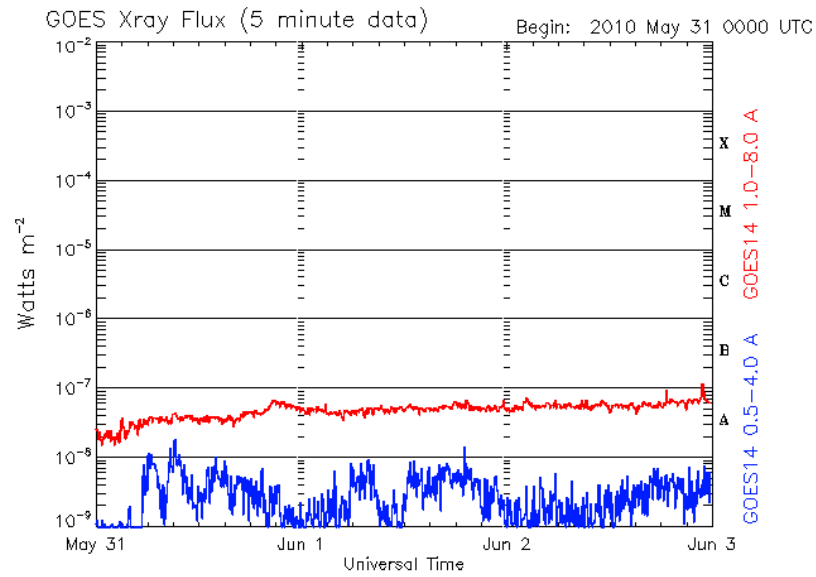
Updated 2010 May 30 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

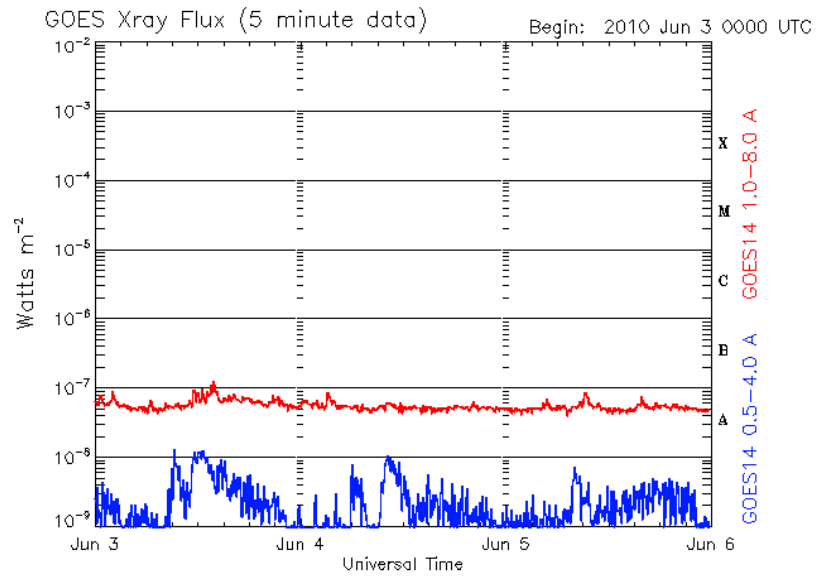


Updated 2010 May 31 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

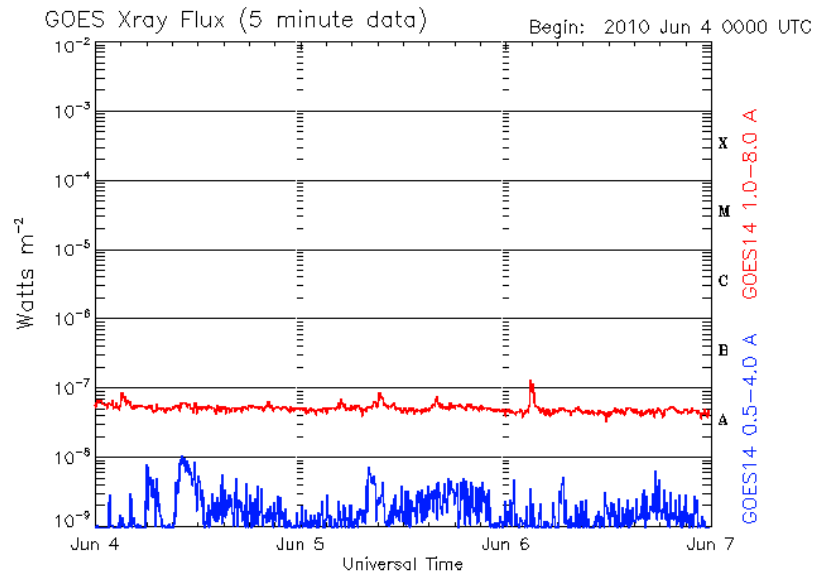


Updated 2010 Jun 1 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

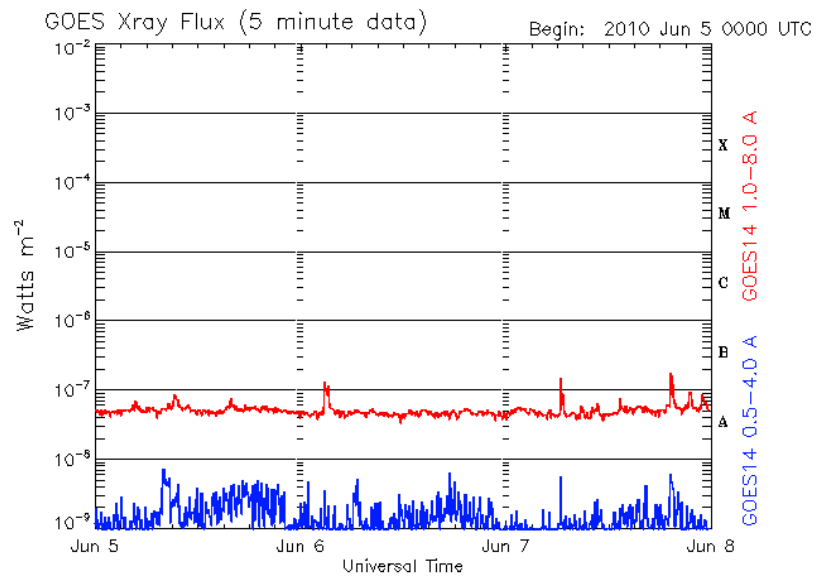




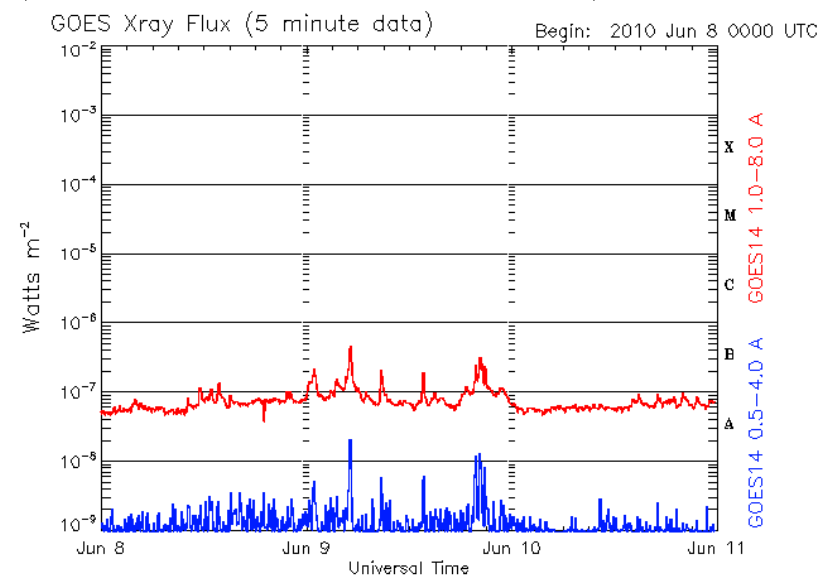
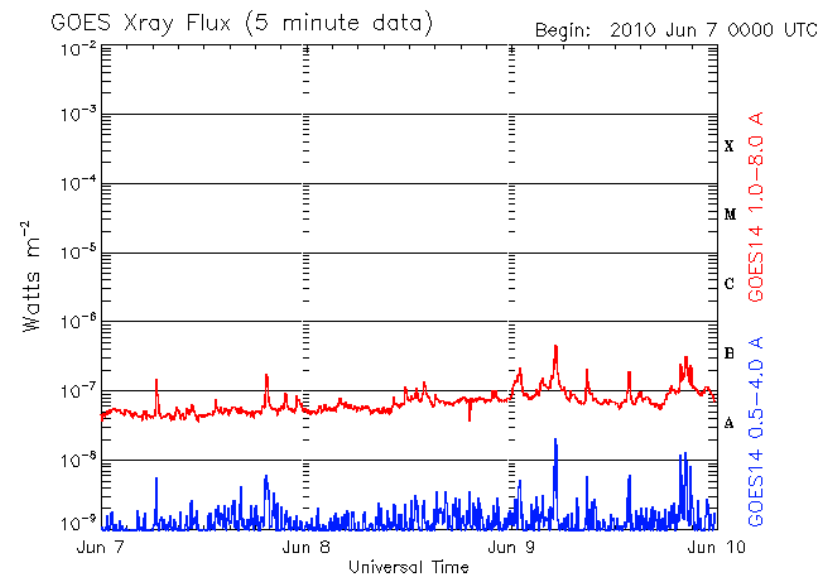
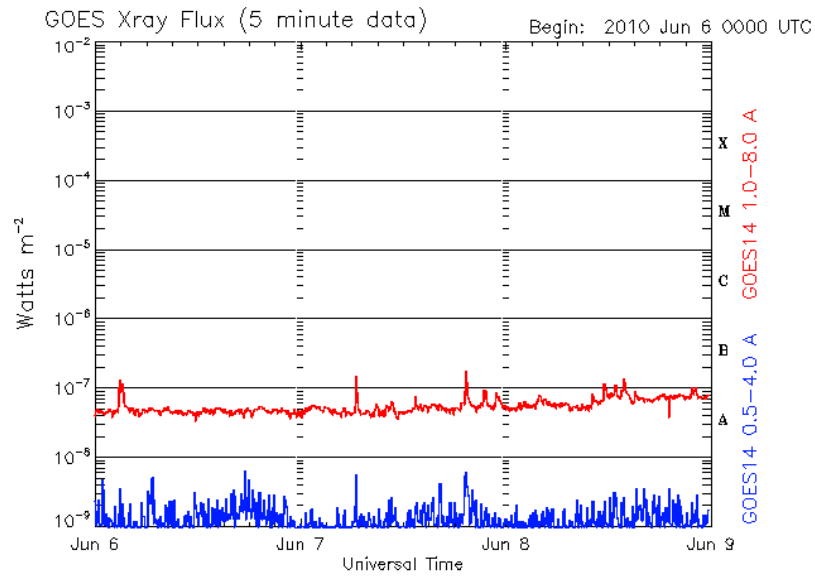
Updated 2010 Jun 5 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

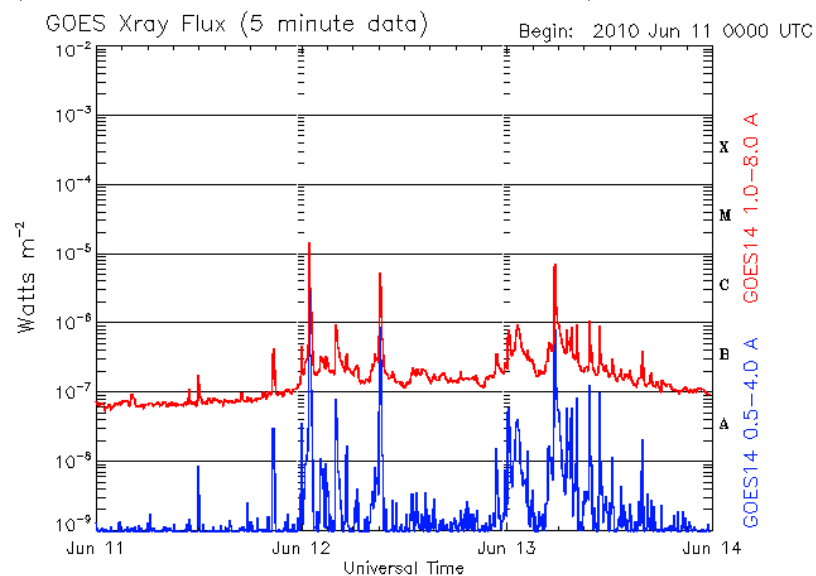
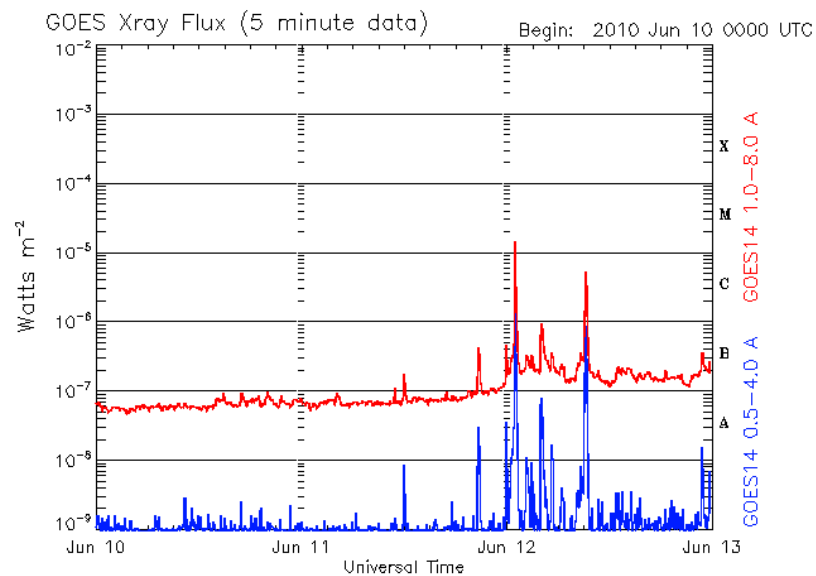
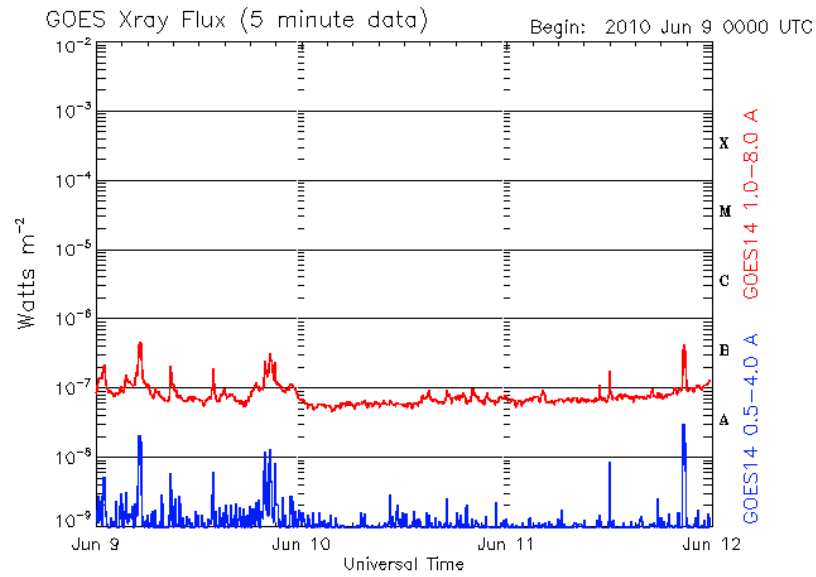


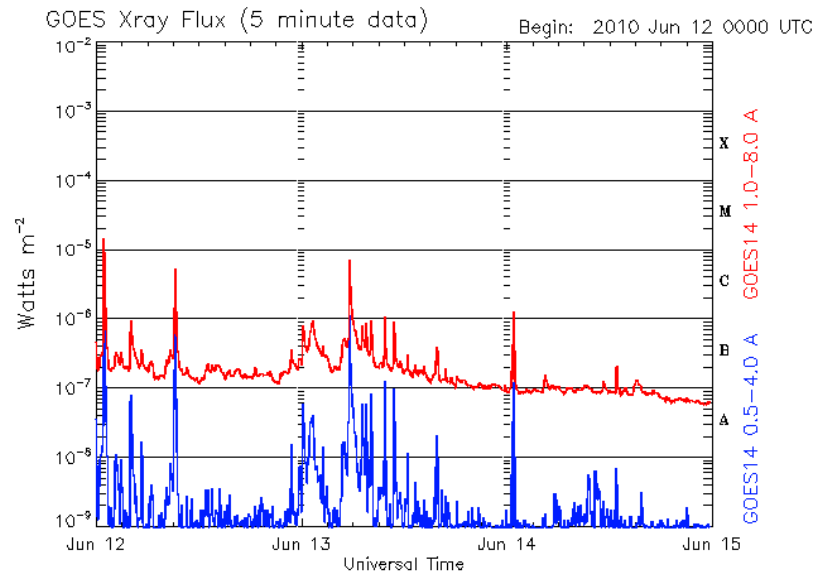
Updated 2010 Jun 6 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



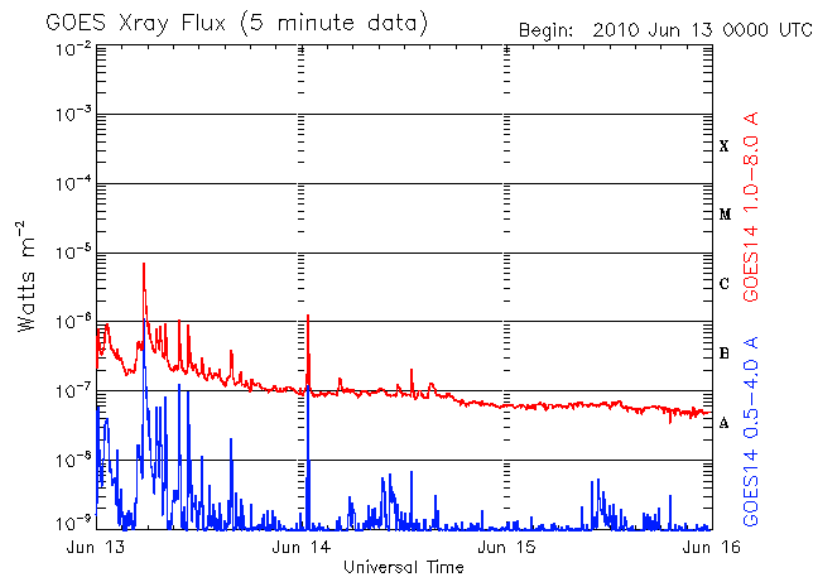
Updated 2010 Jun 7 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



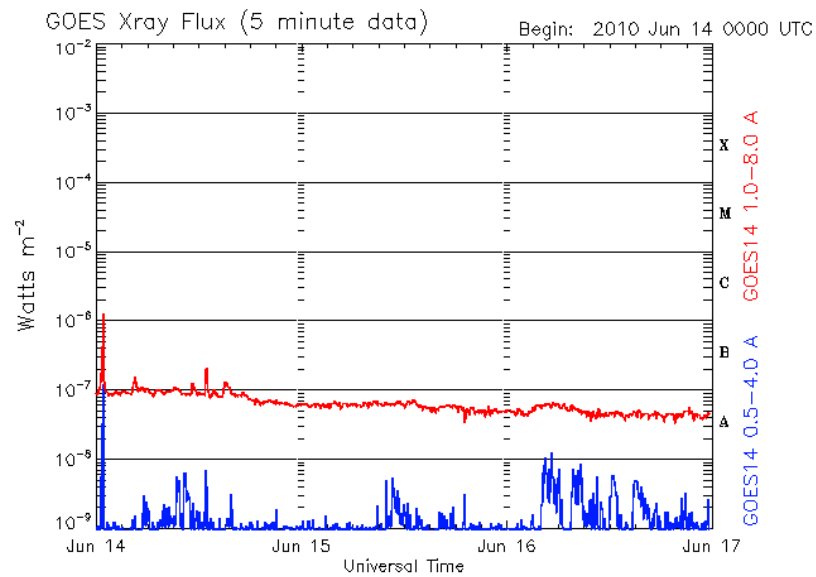




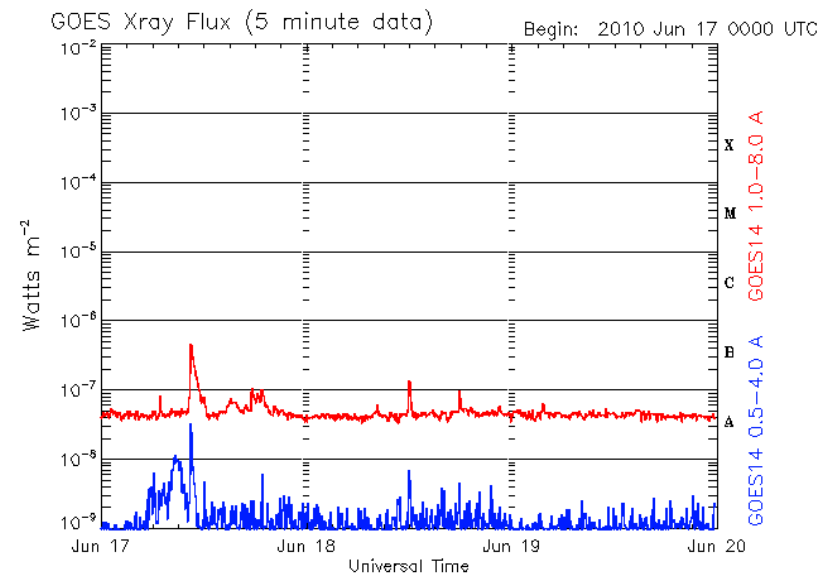
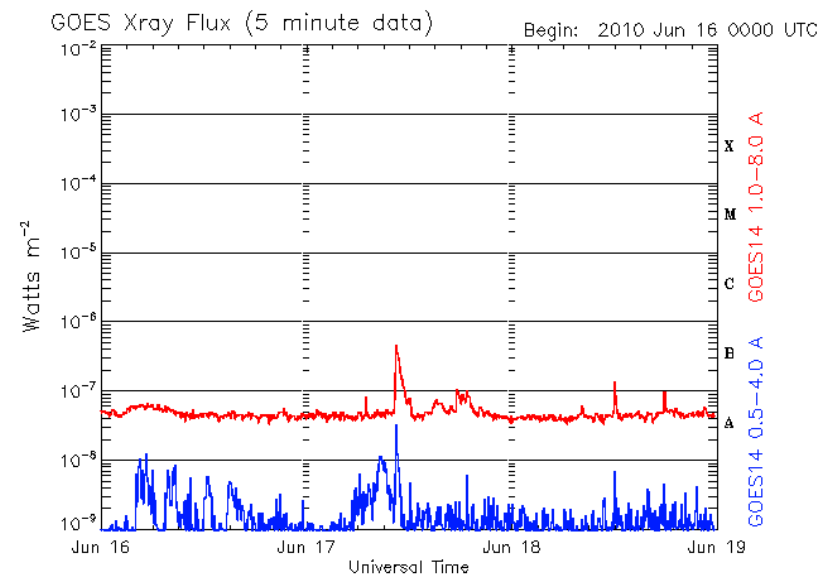
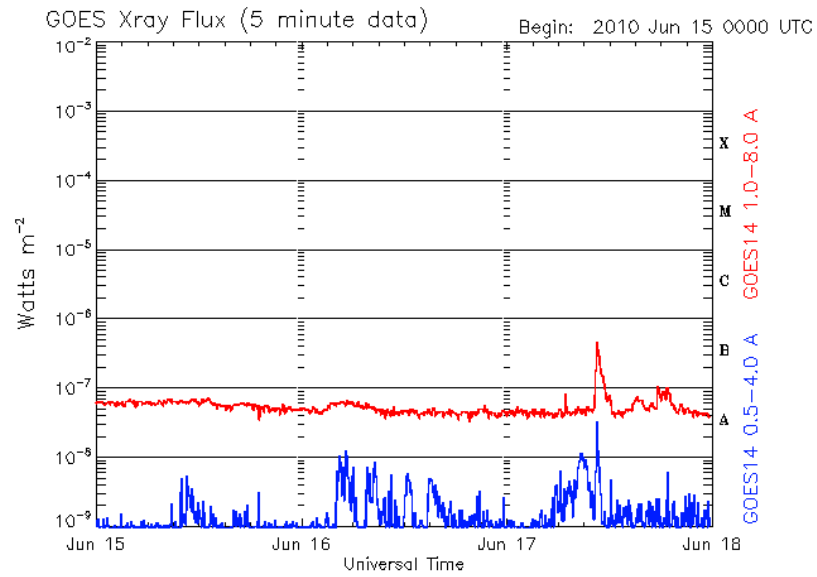
Updated 2010 Jun 14 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

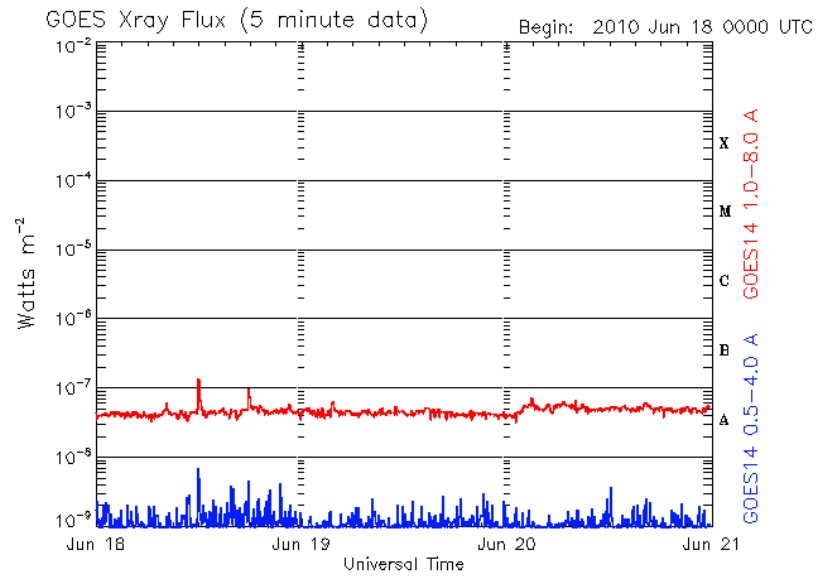


Updated 2010 Jun 15 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

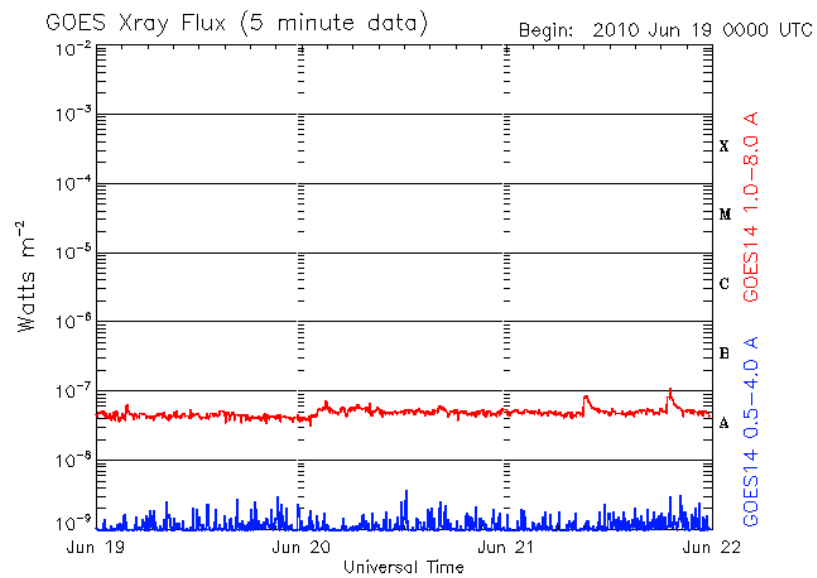


Updated 2010 Jun 16 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

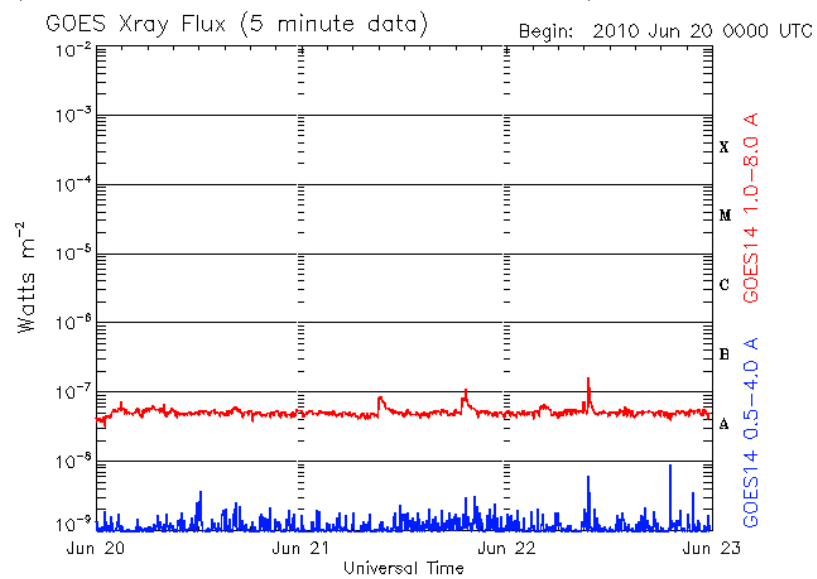




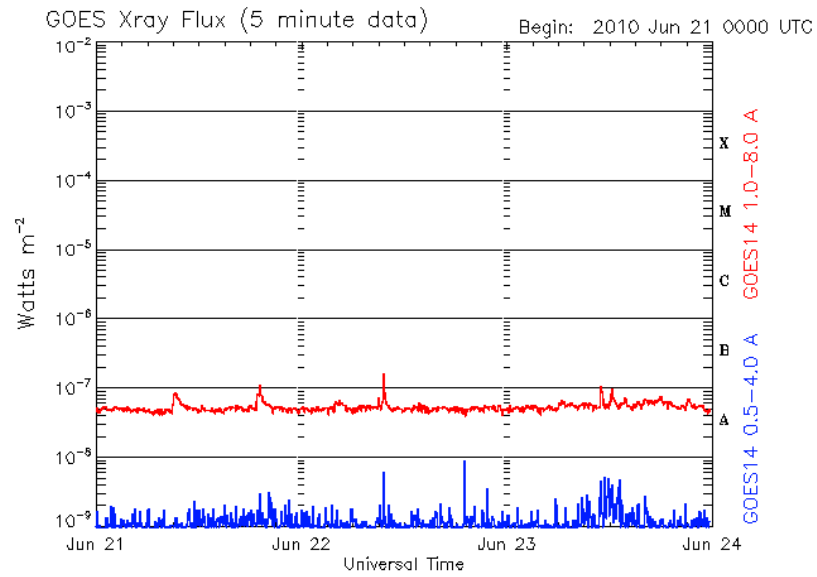
Updated 2010 Jun 20 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



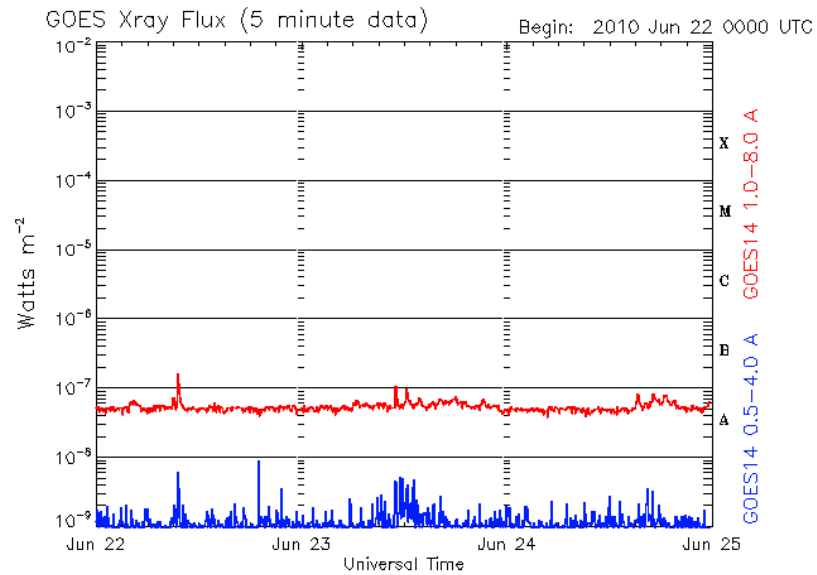
Updated 2010 Jun 21 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



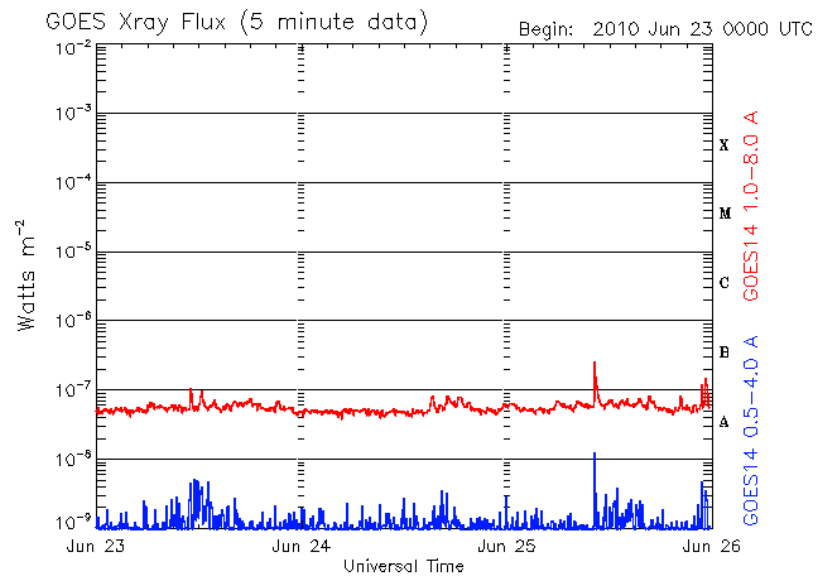
Updated 2010 Jun 22 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA



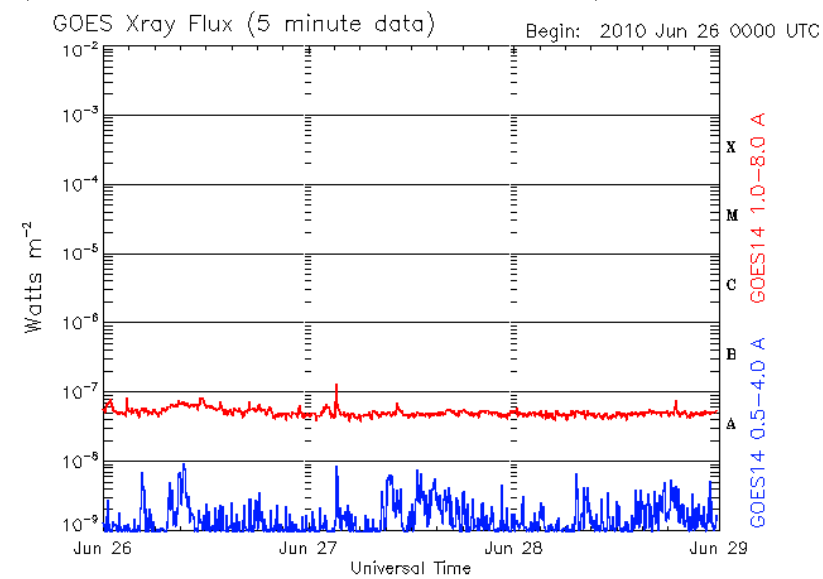
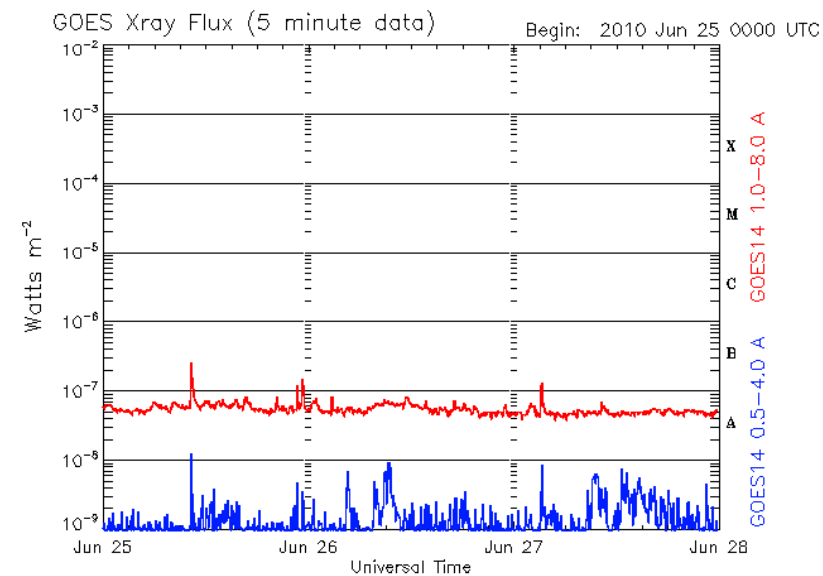
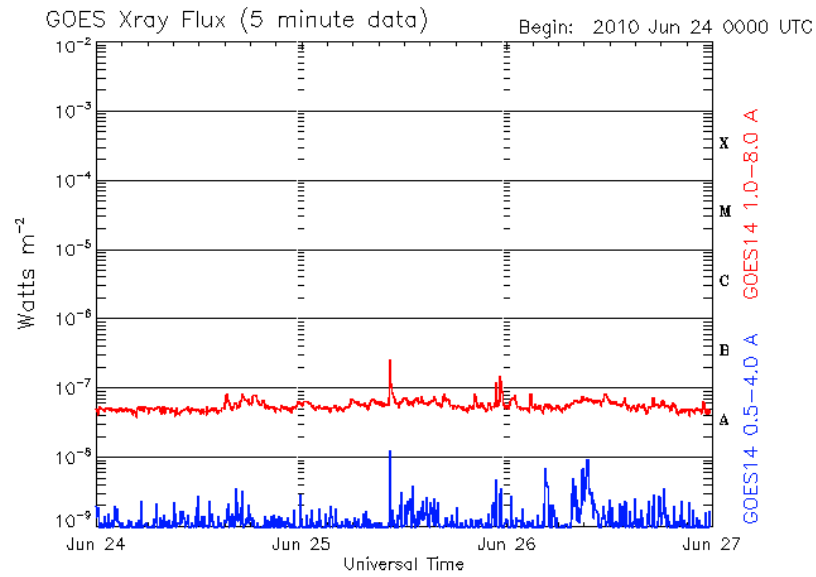
Updated 2010 Jun 23 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

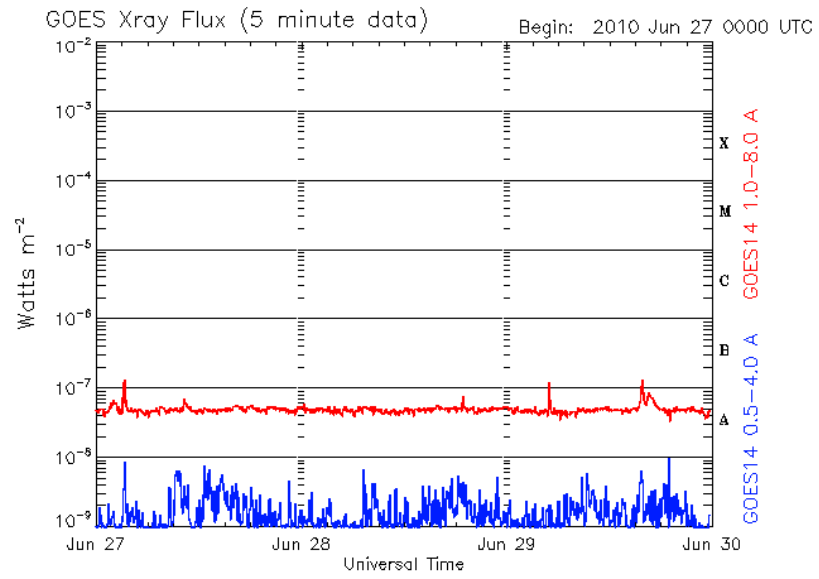


Updated 2010 Jun 24 23:55:13 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

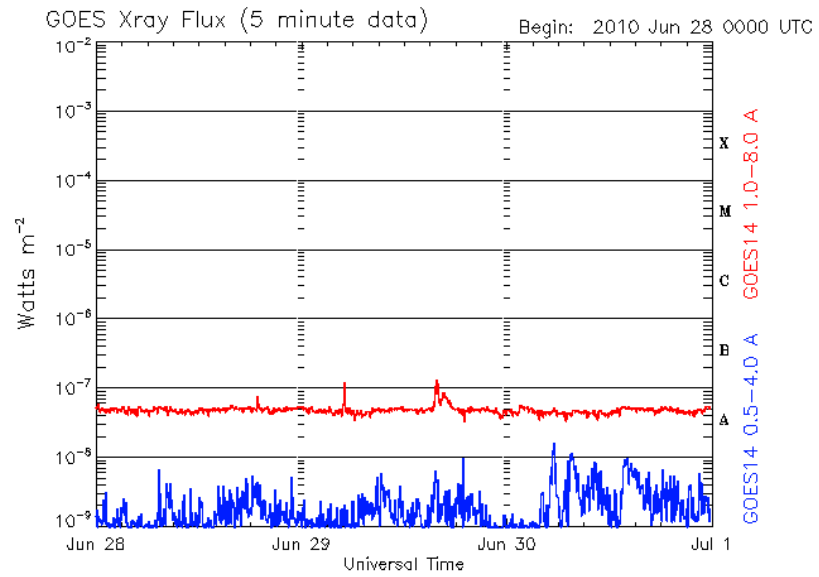


Updated 2010 Jun 25 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA





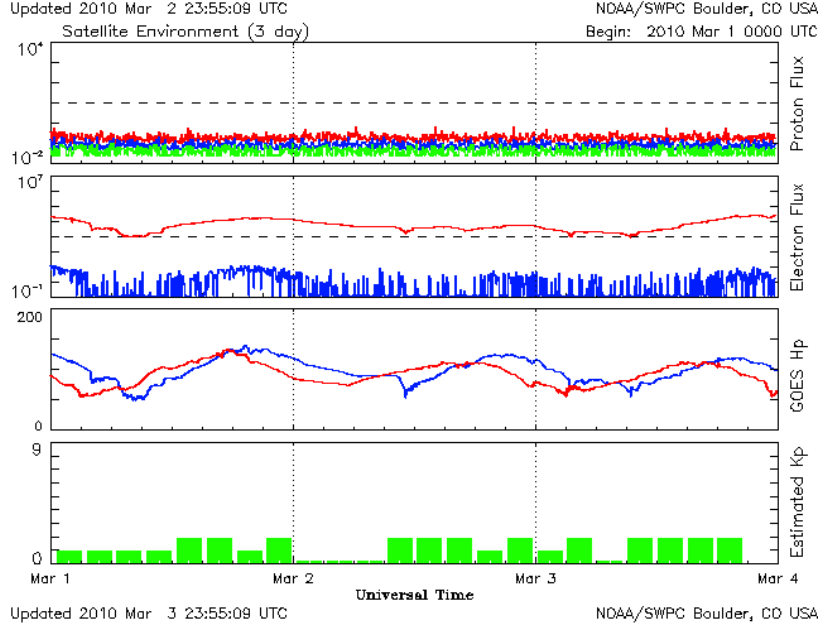
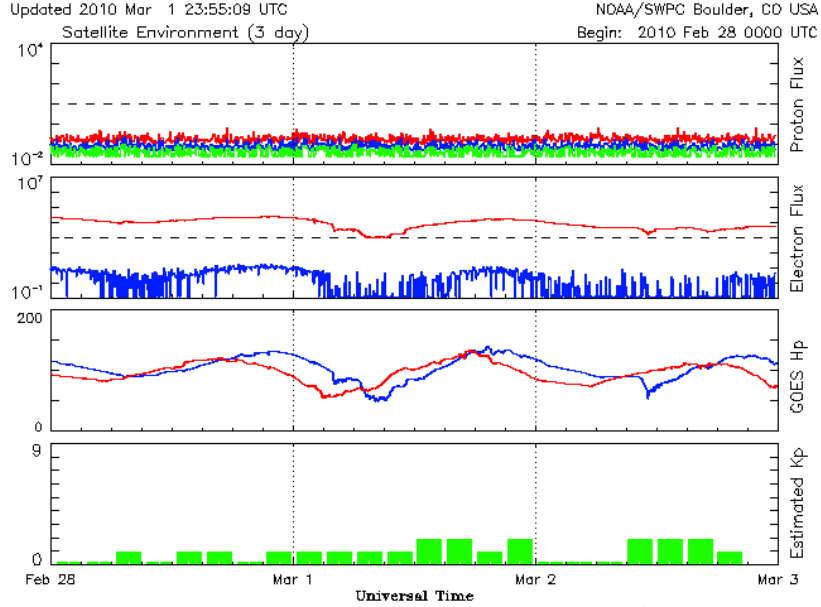
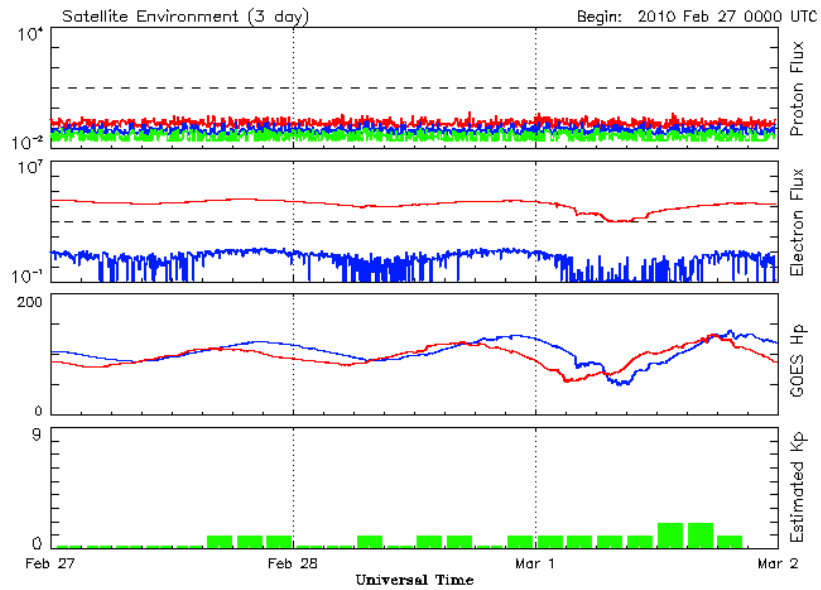
Updated 2010 Jun 29 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

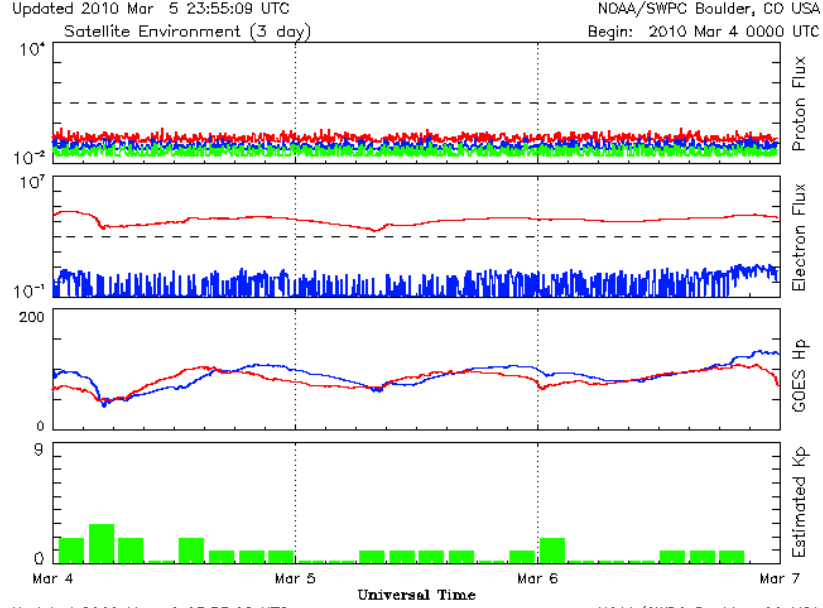
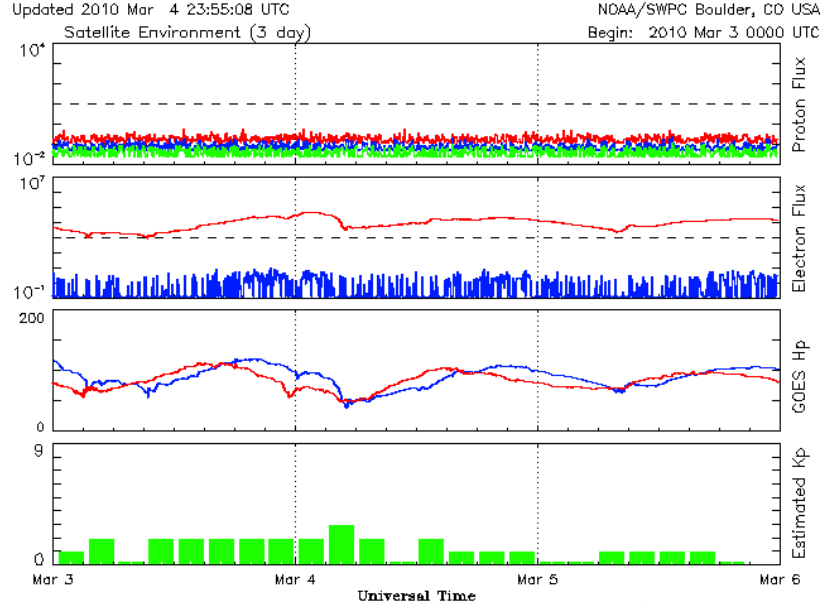
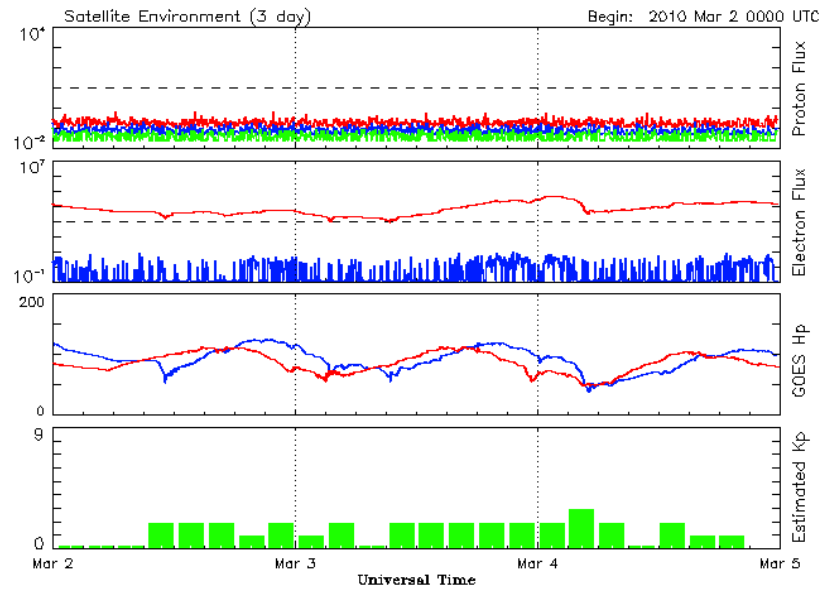


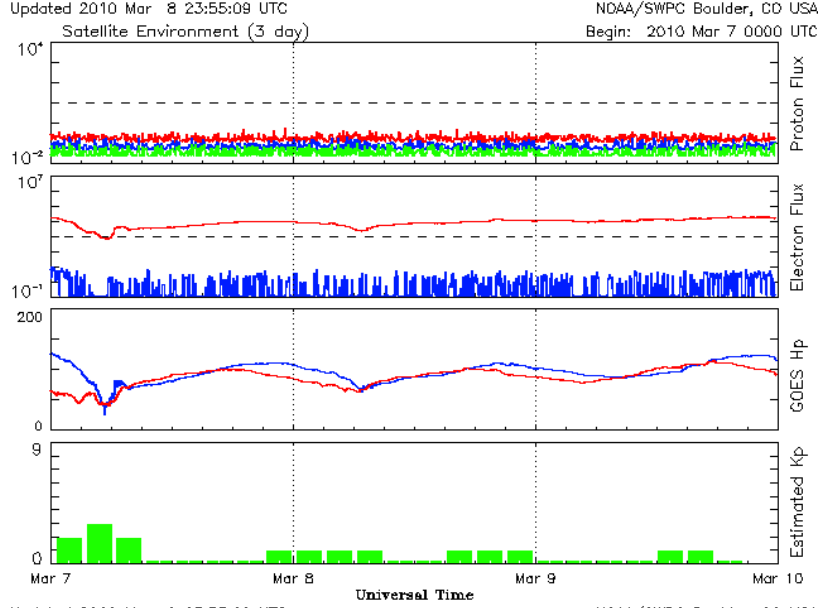
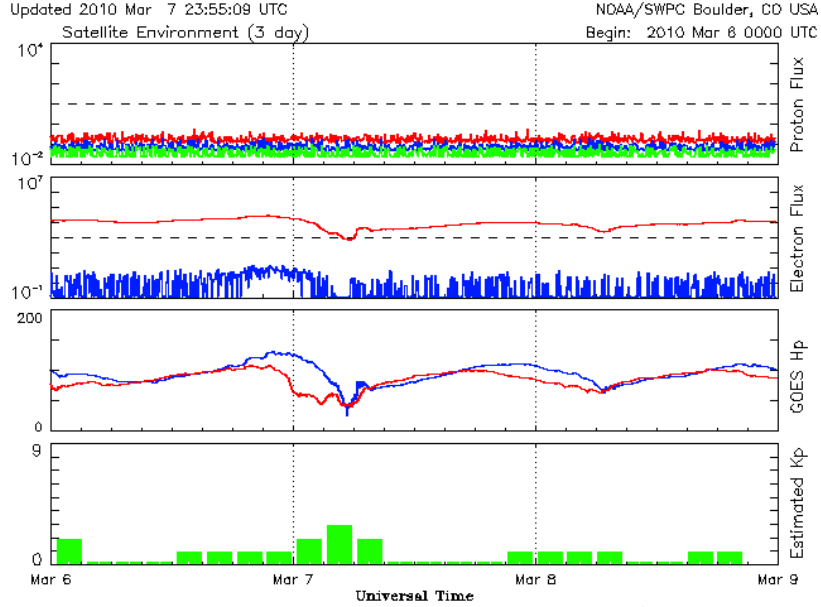
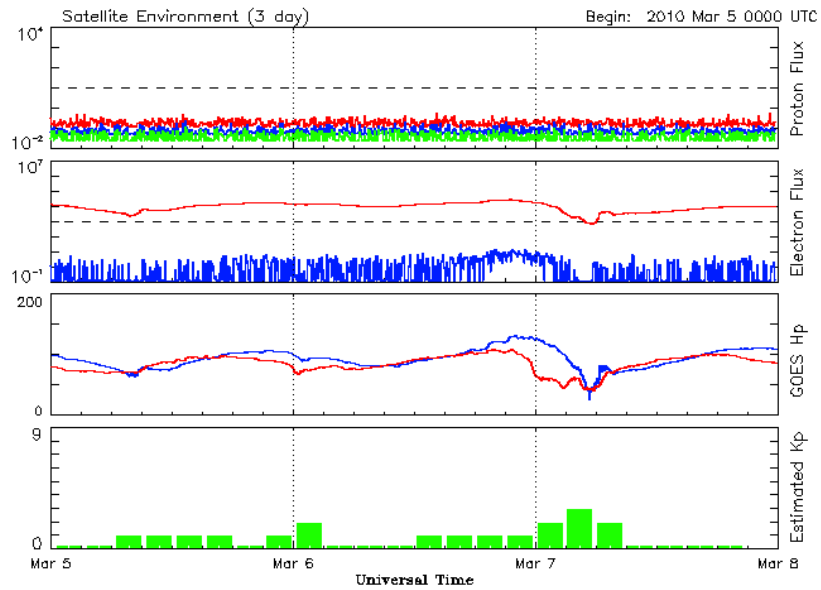
Updated 2010 Jun 30 23:55:12 UTC NOAA/SWPC Boulder, CO USA

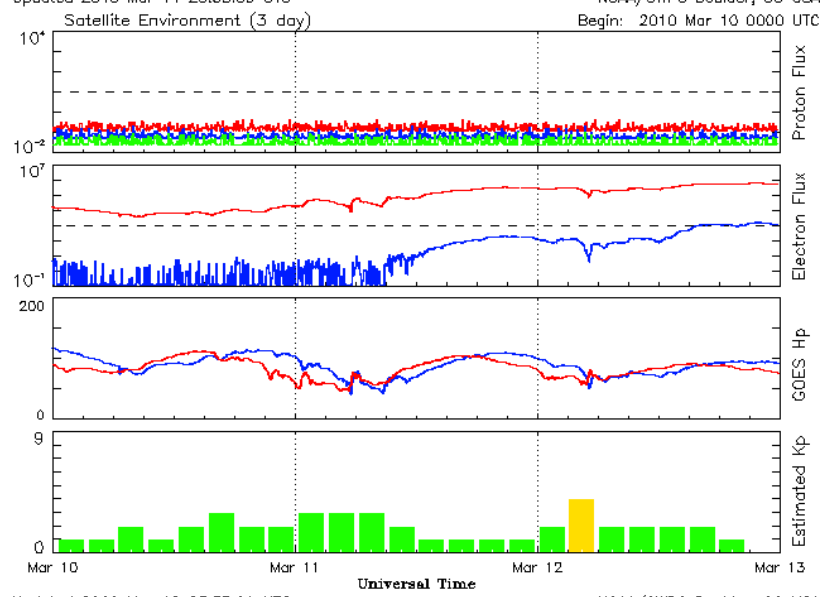
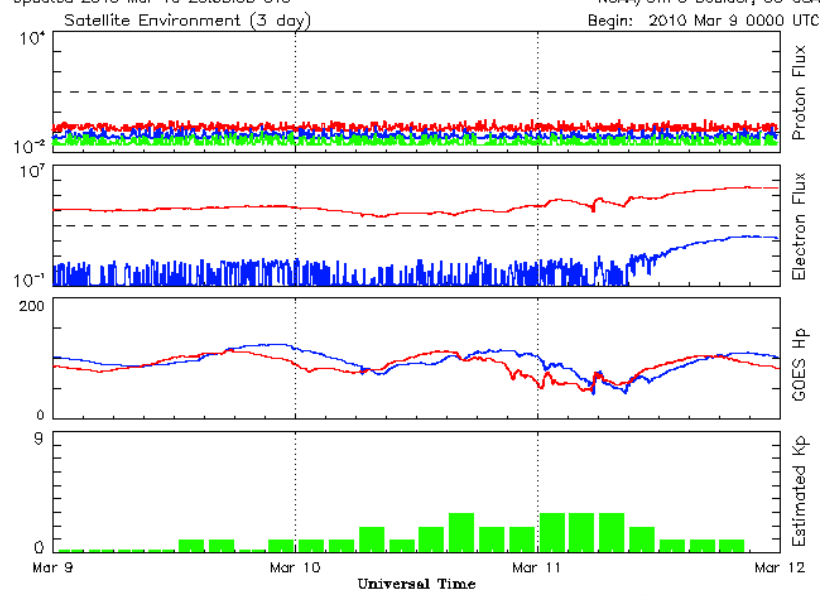
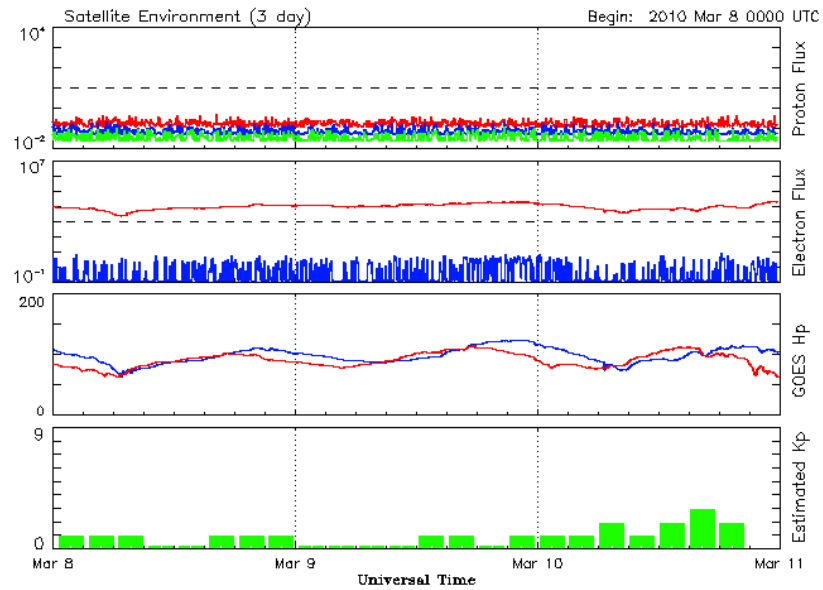
EK-3

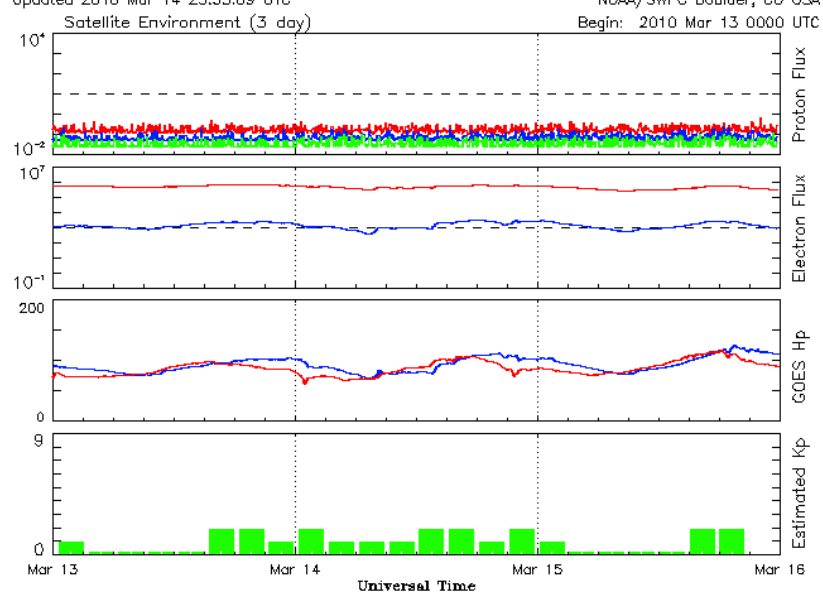
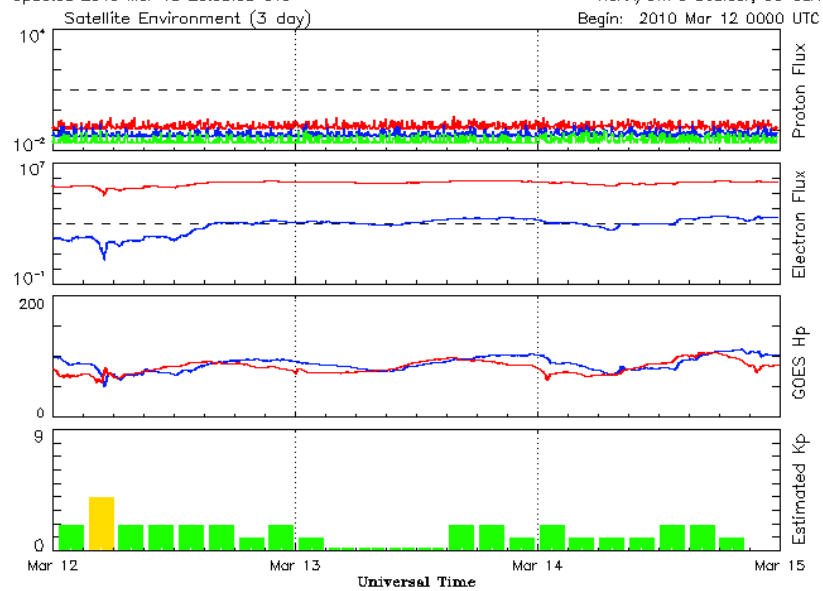
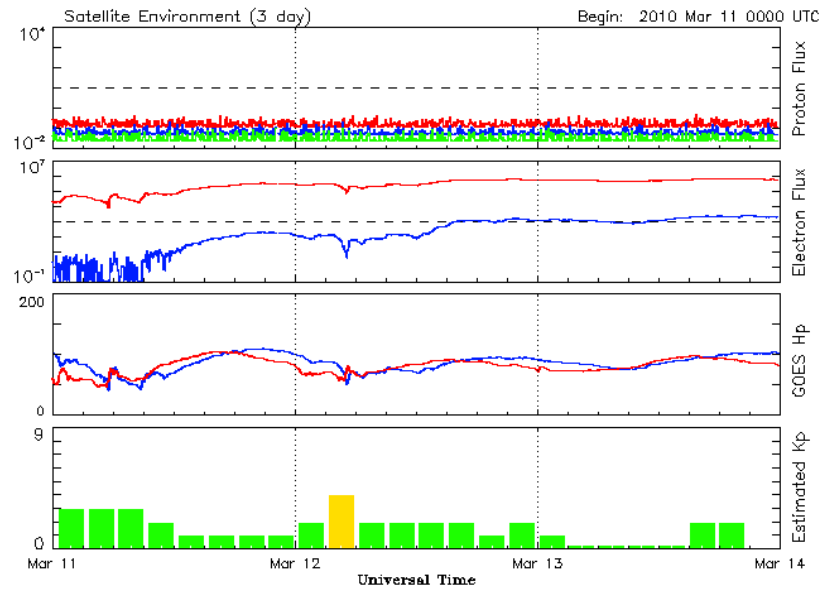
**MART-NİSAN-MAYIS-HAZİRAN 2010 TARİHLERİNE ELEKTRON AKISI,
PROTON AKISI, K_p, H_p KAYITLARI**

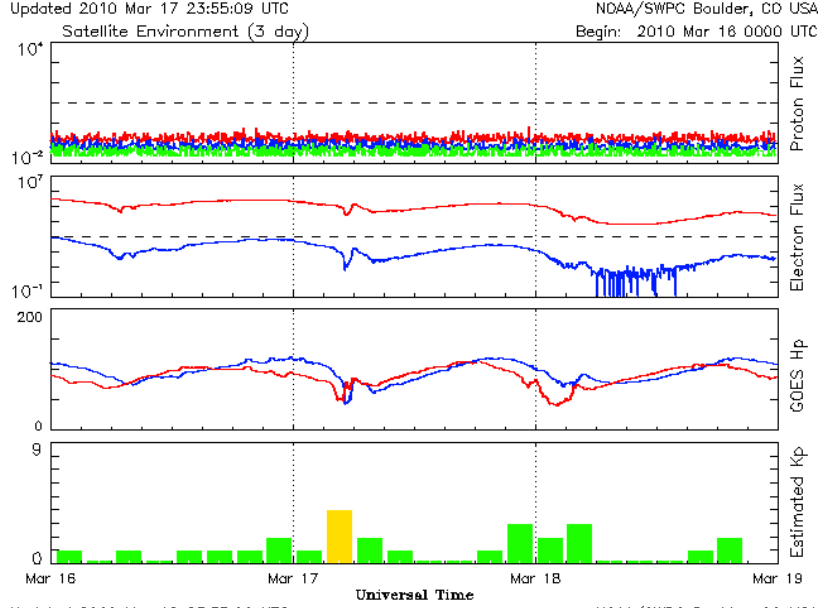
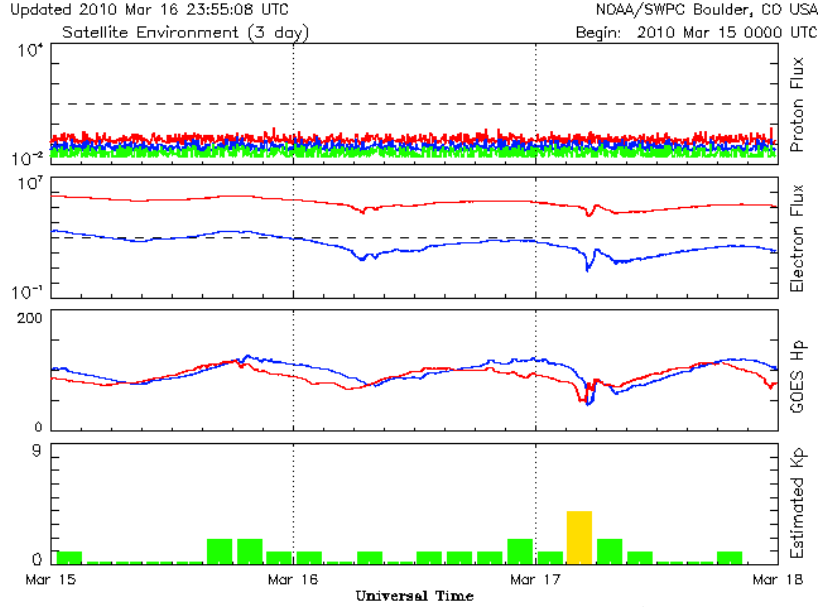
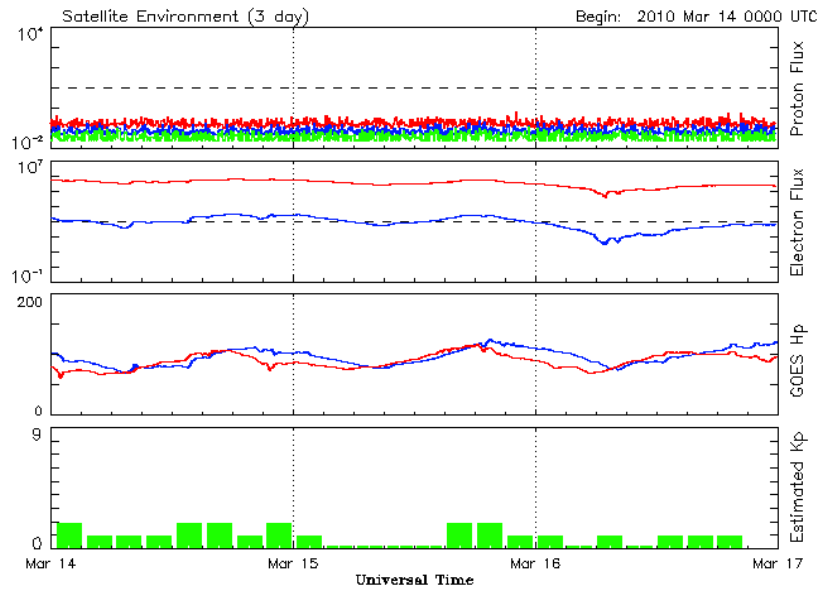


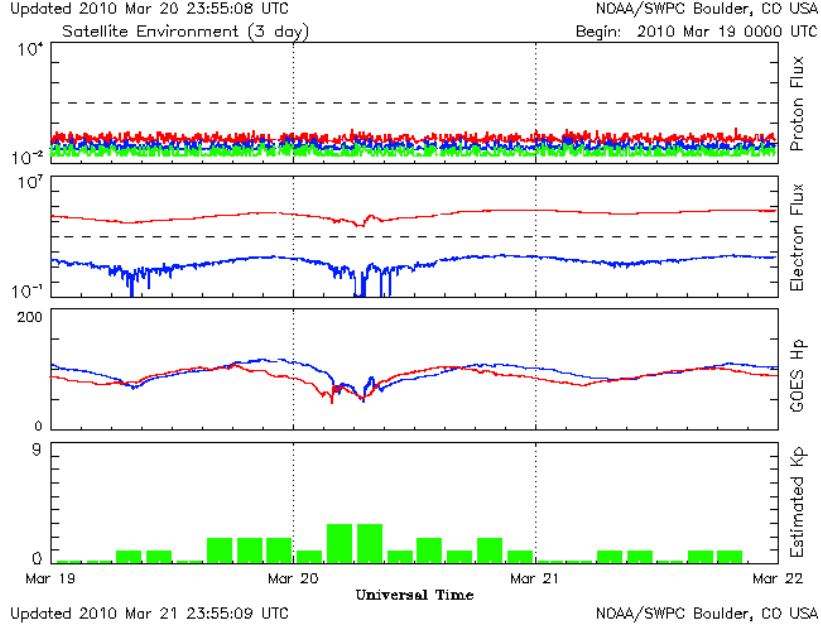
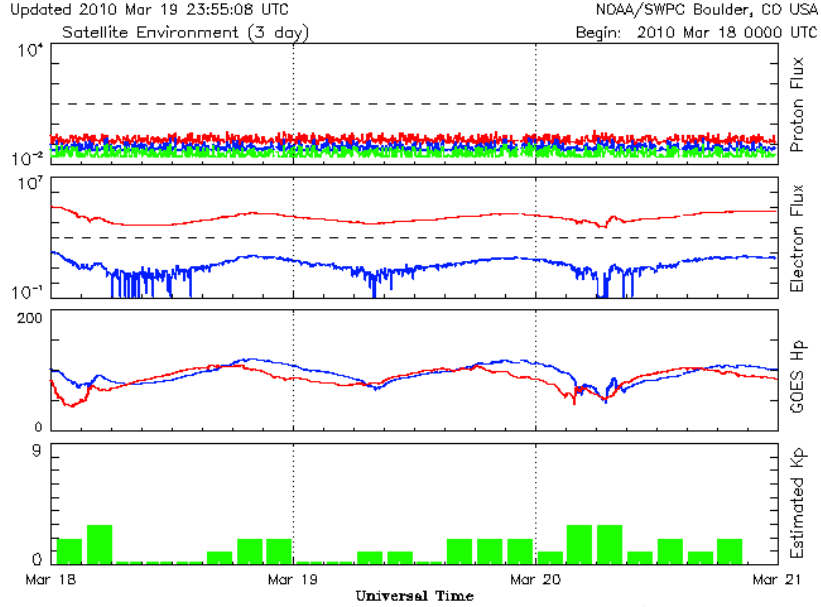
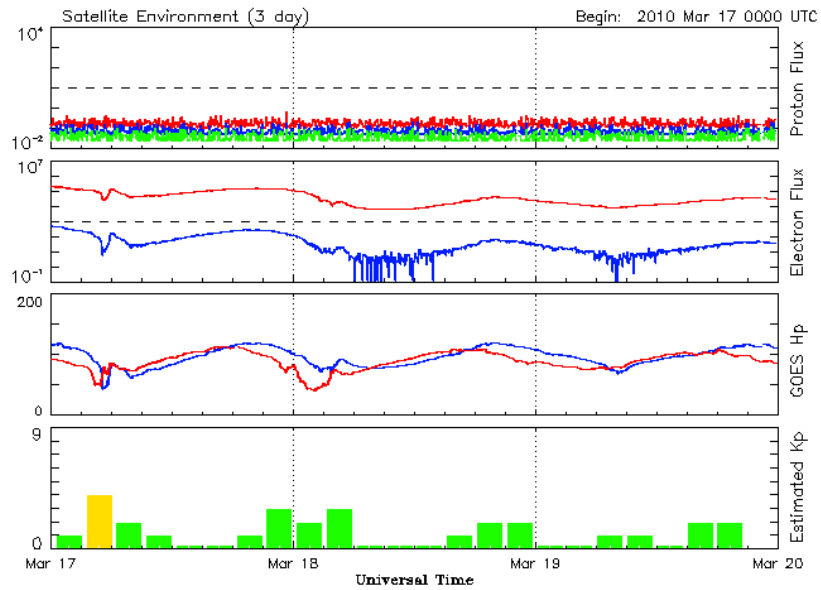


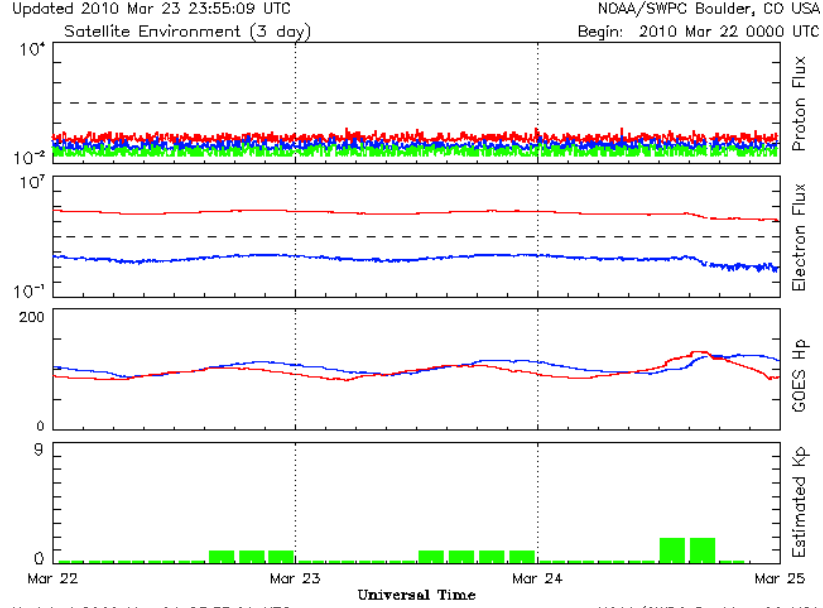
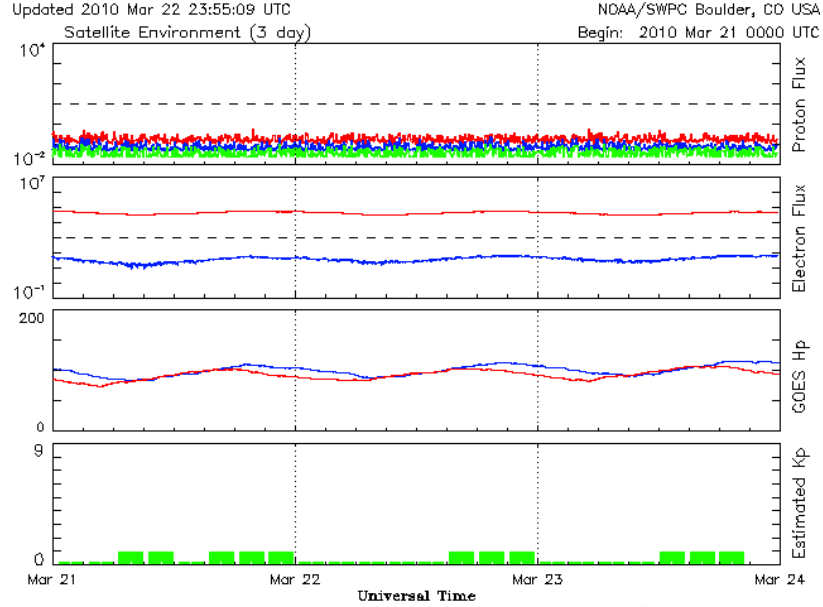
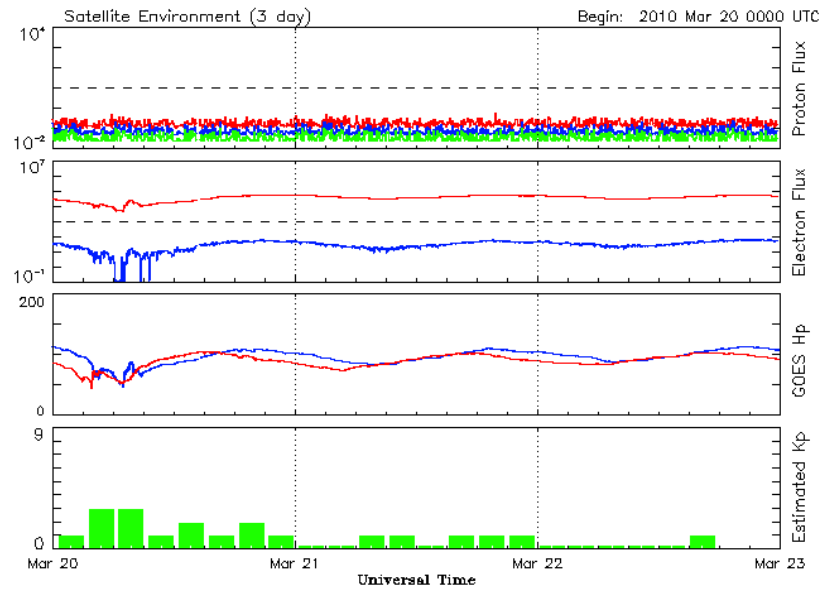


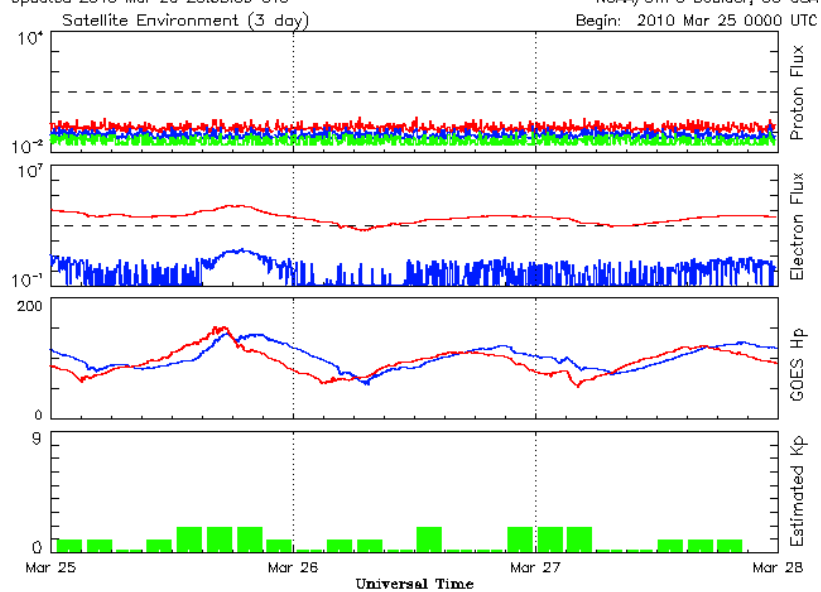
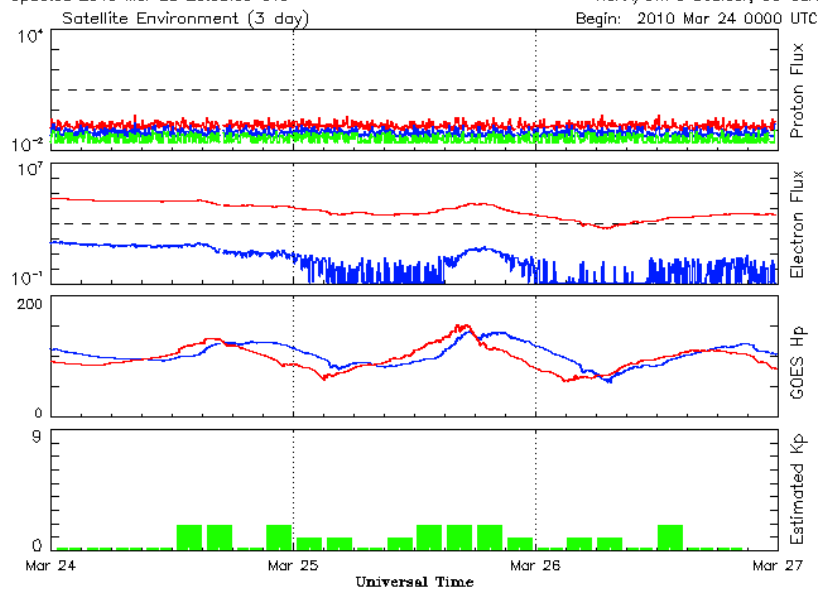
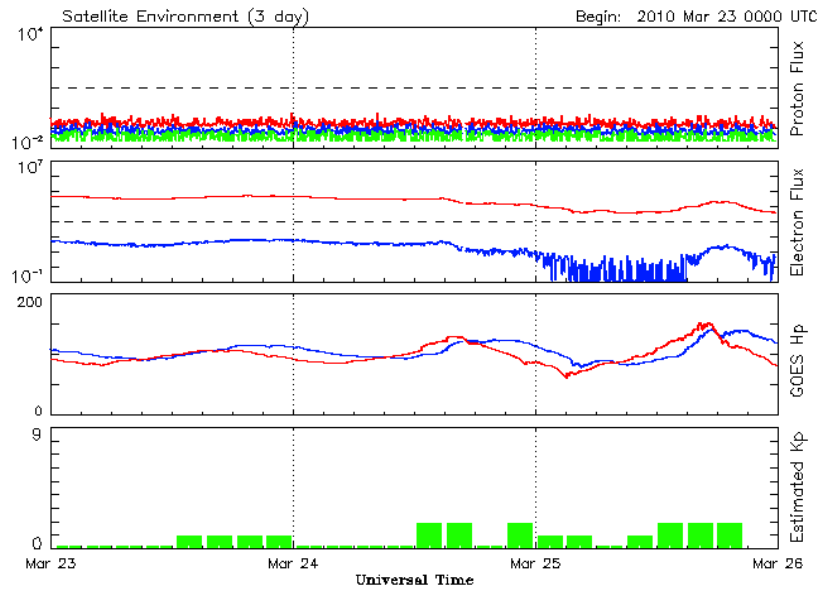


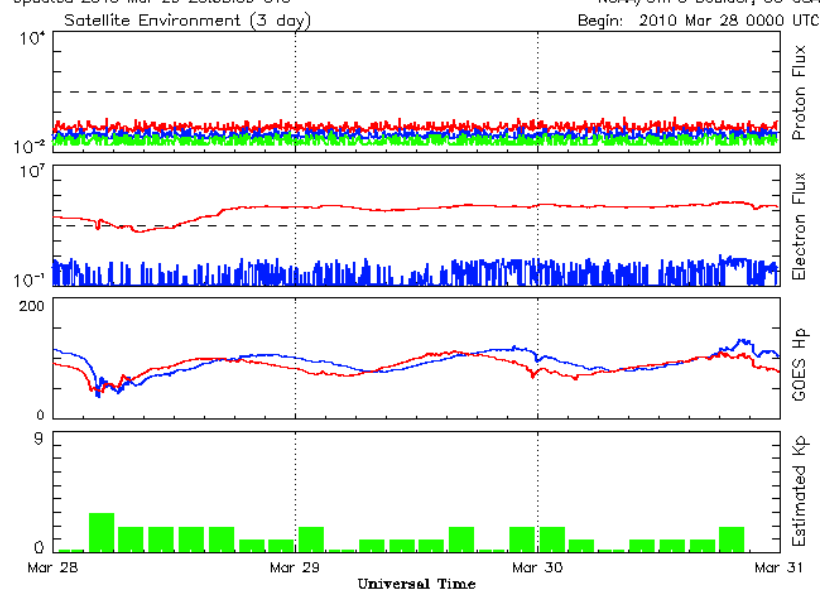
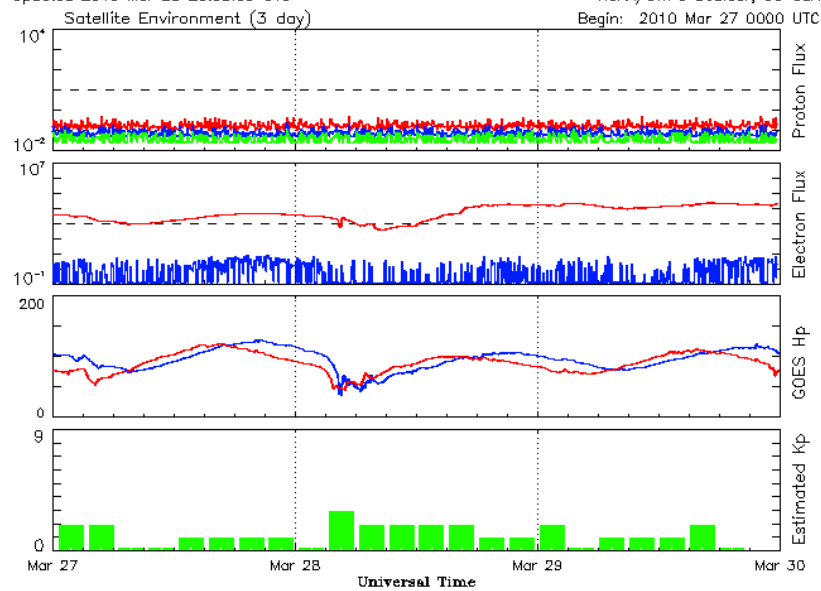
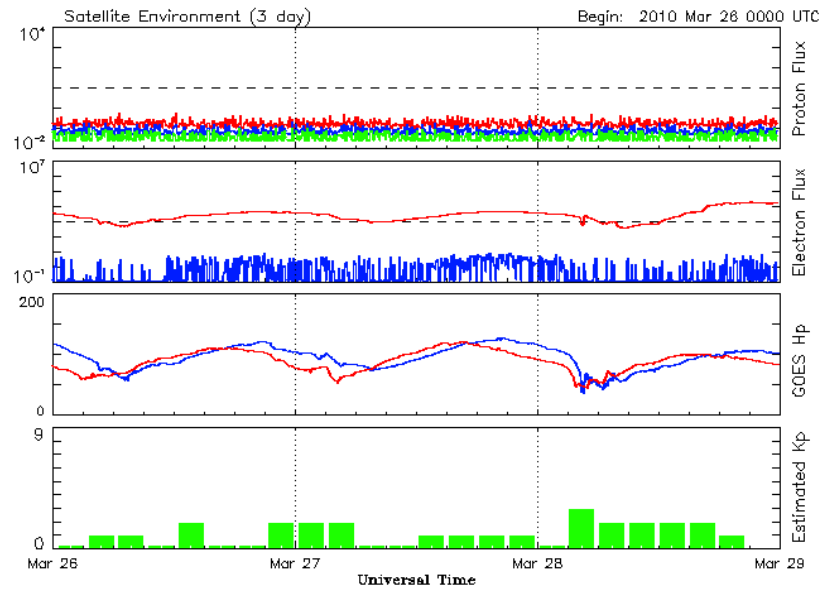


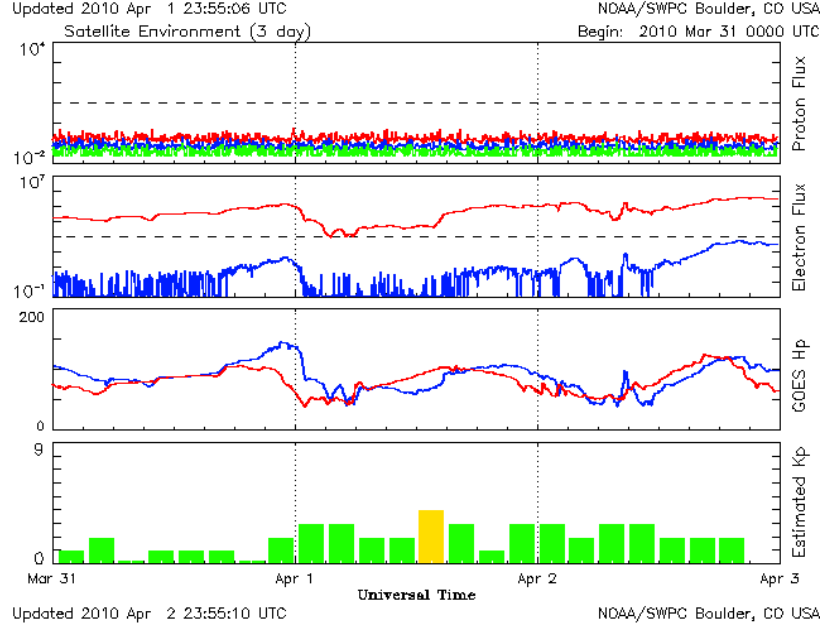
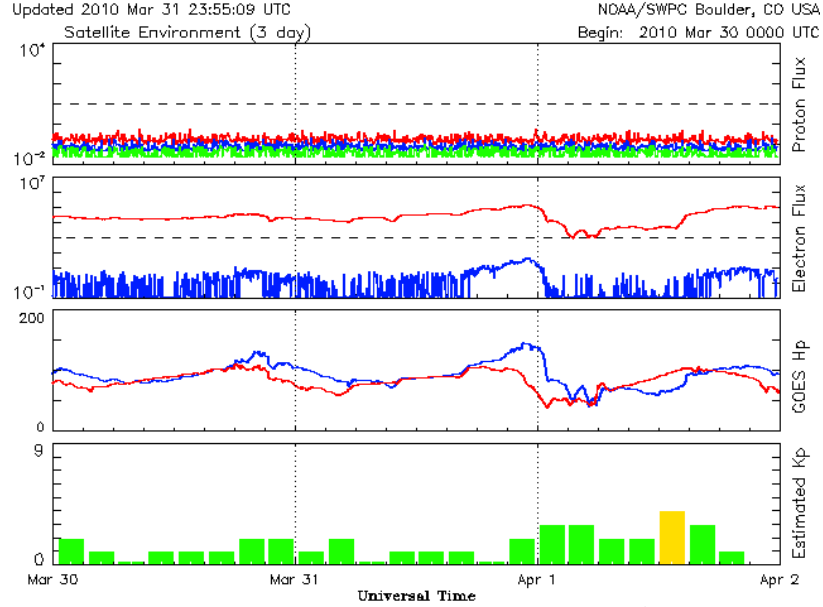
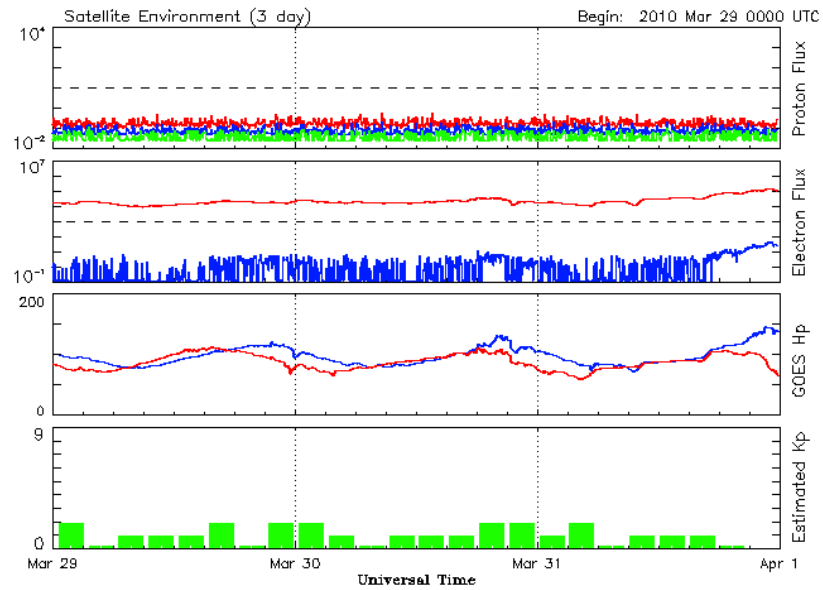


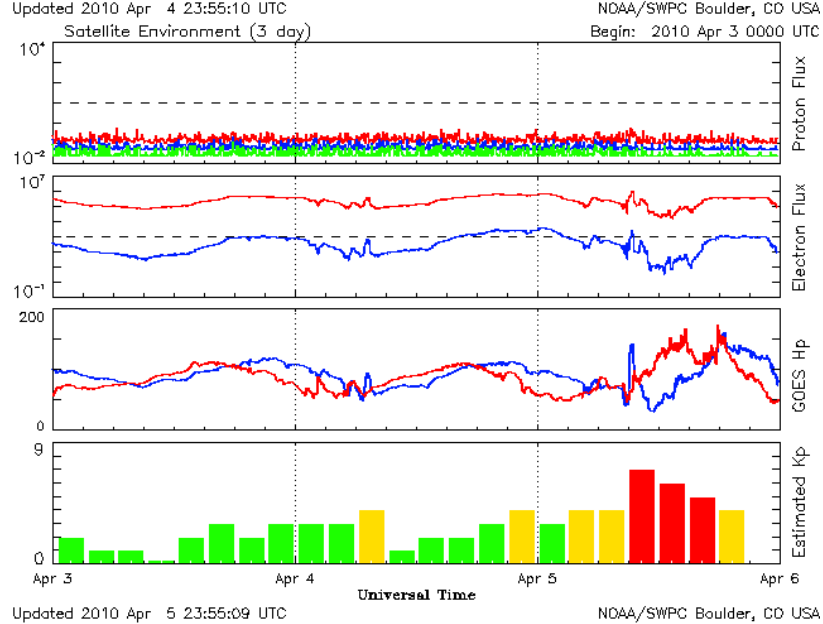
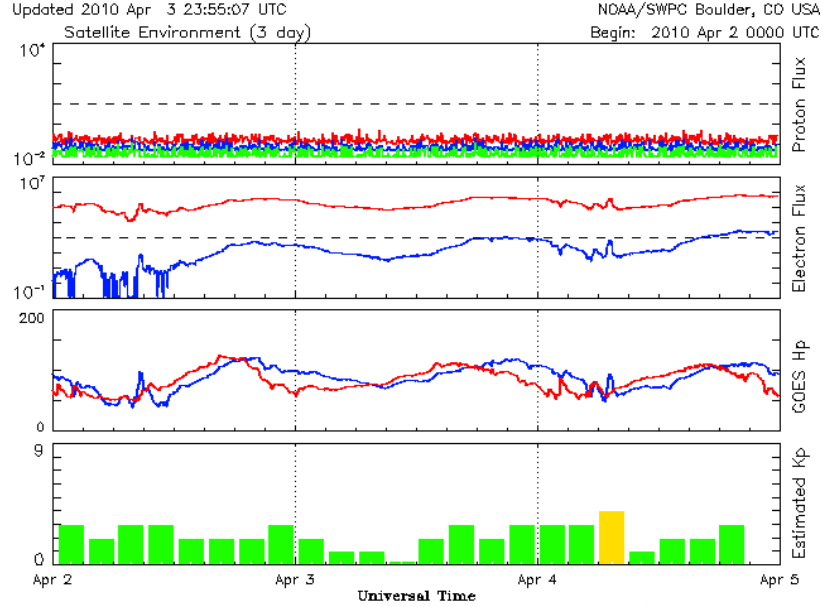
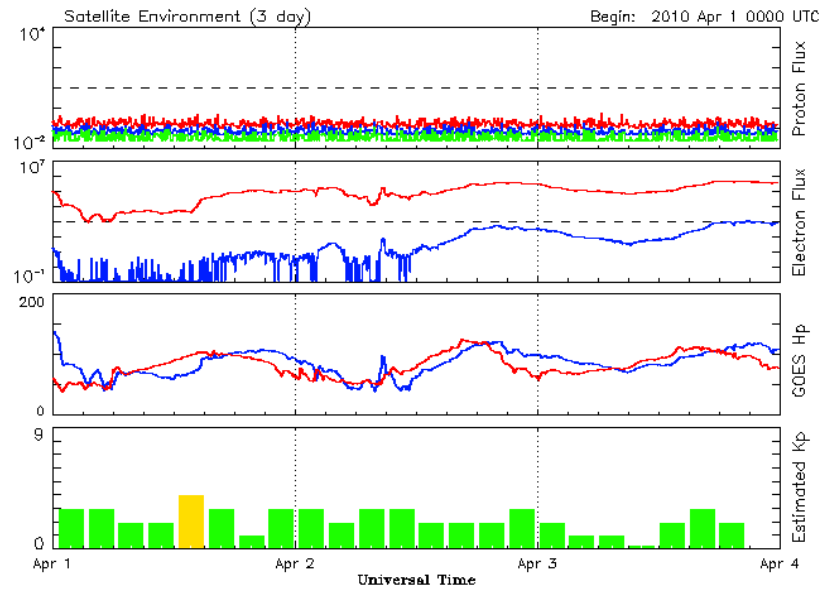


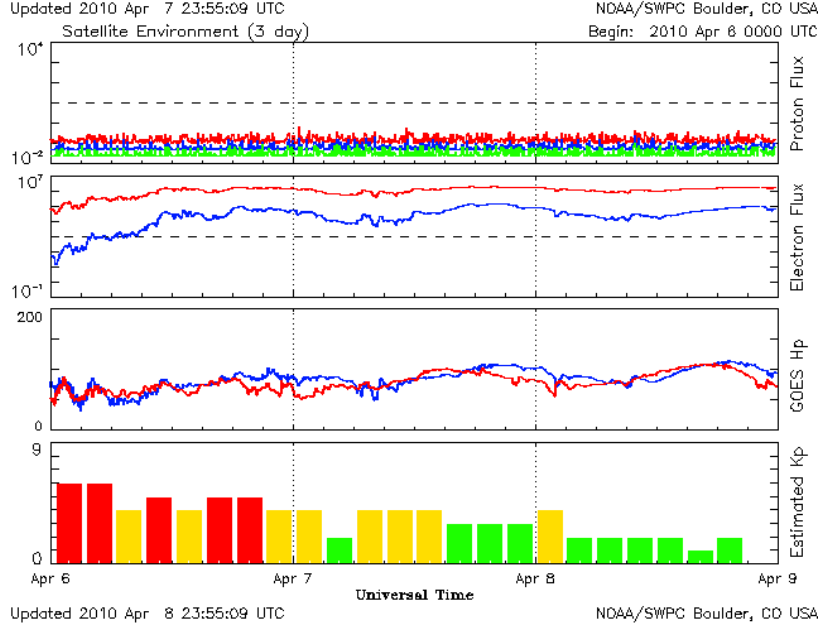
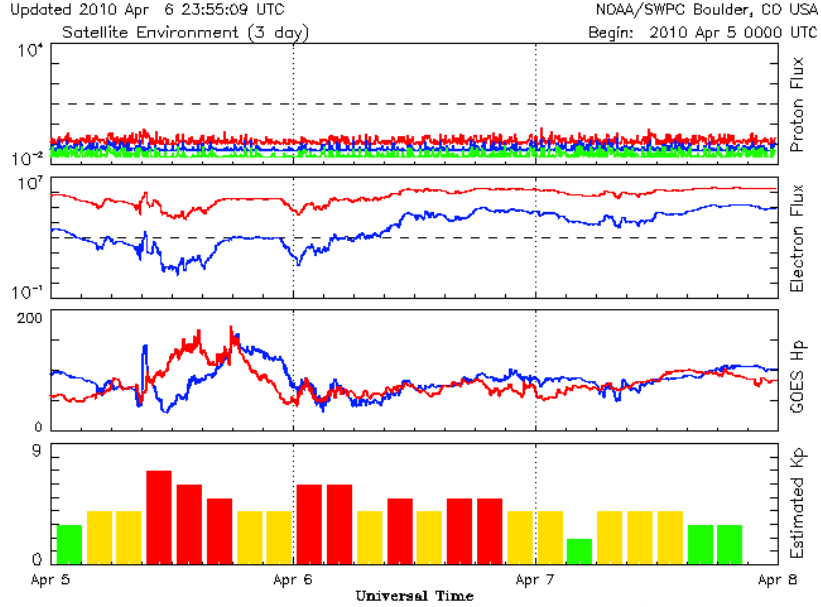
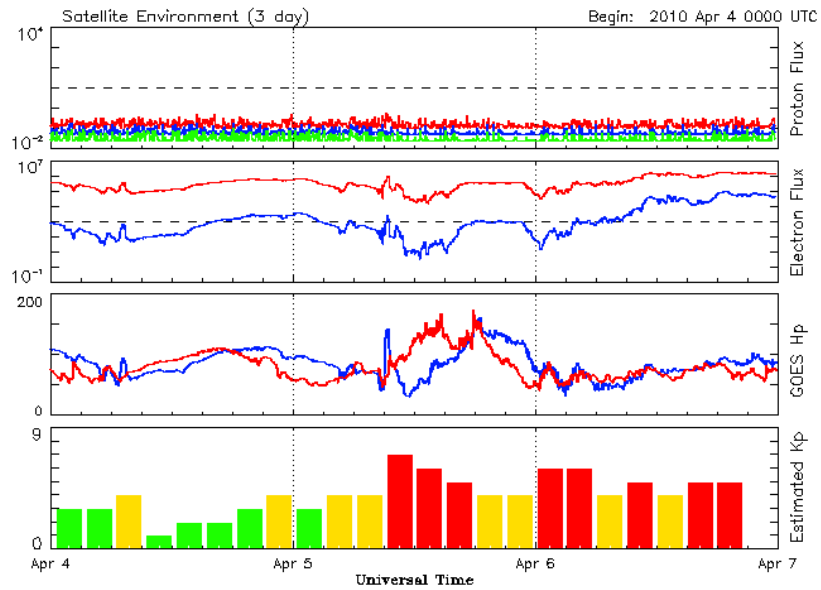


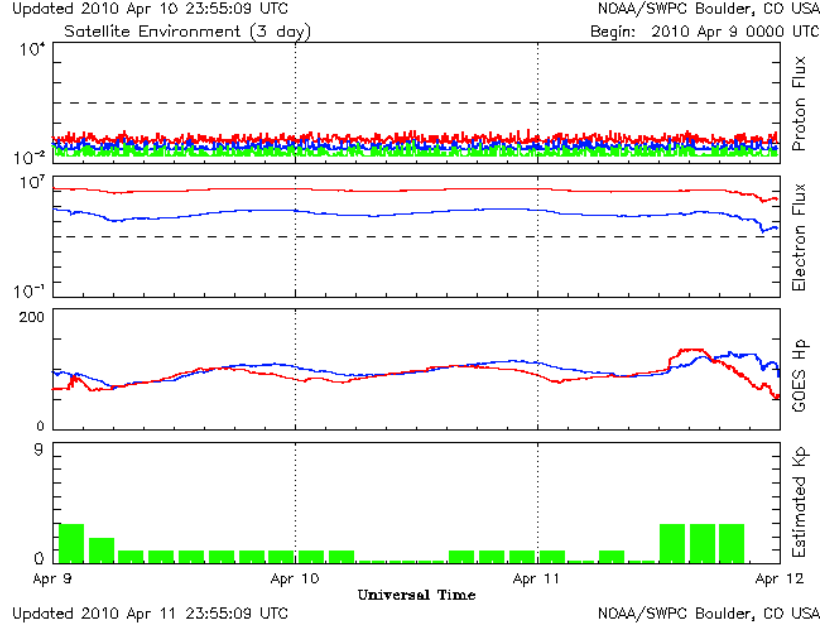
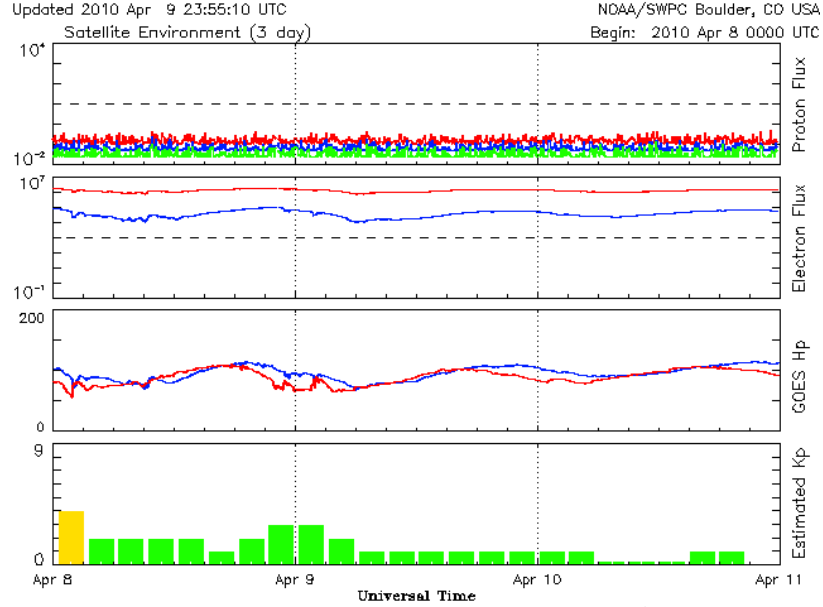
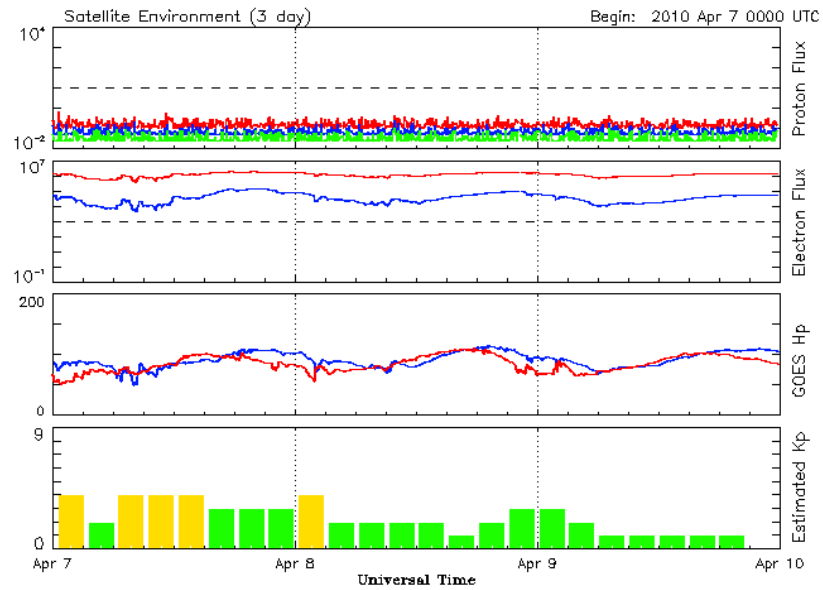


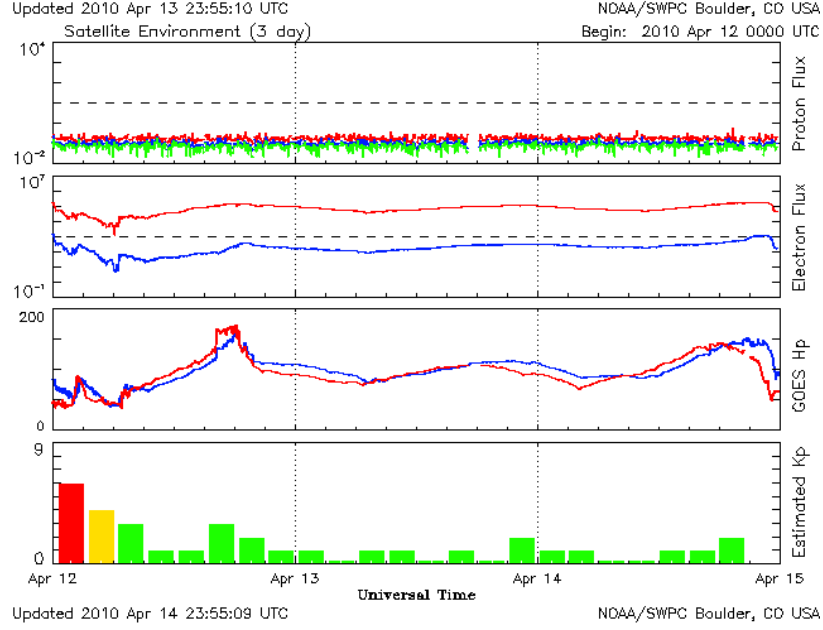
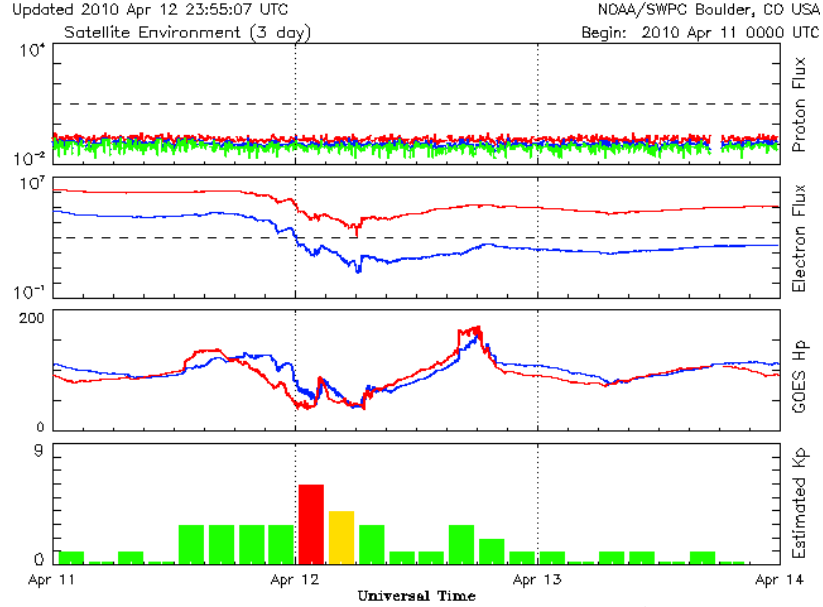
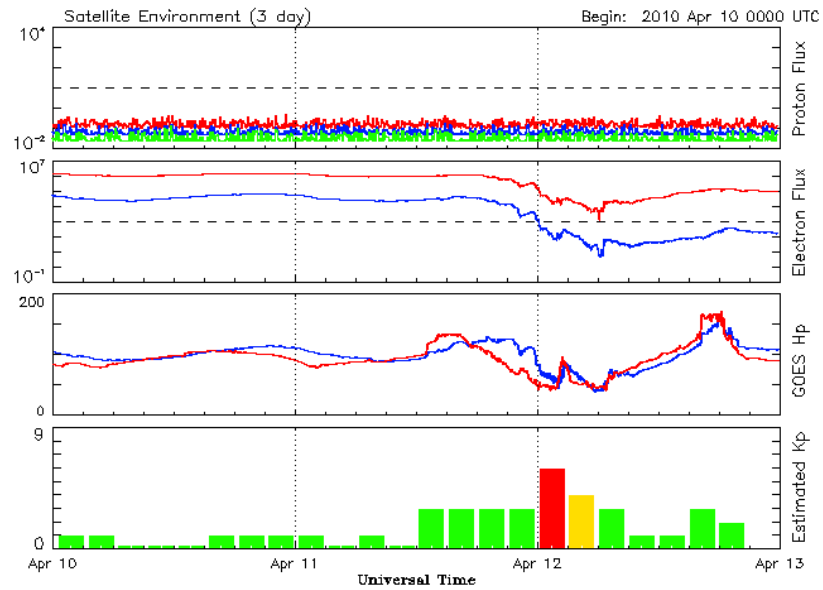


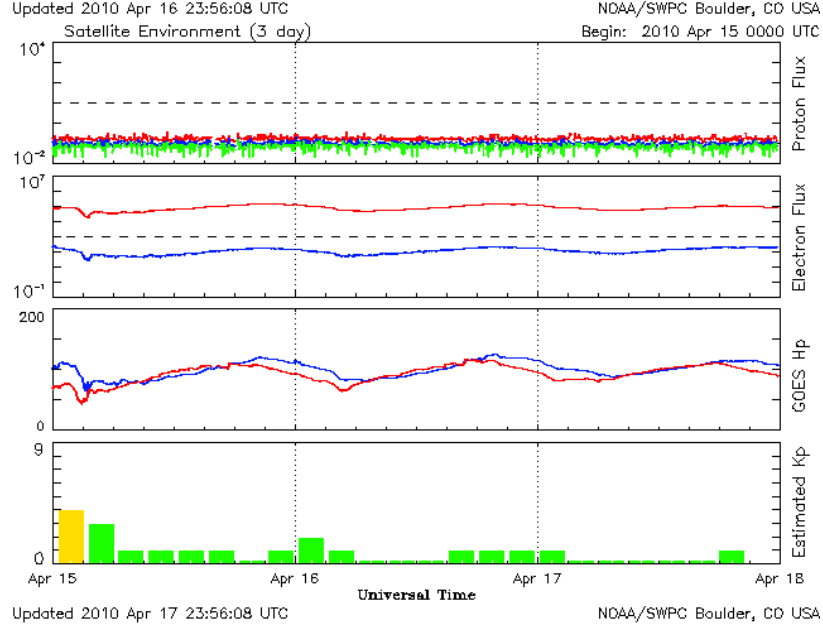
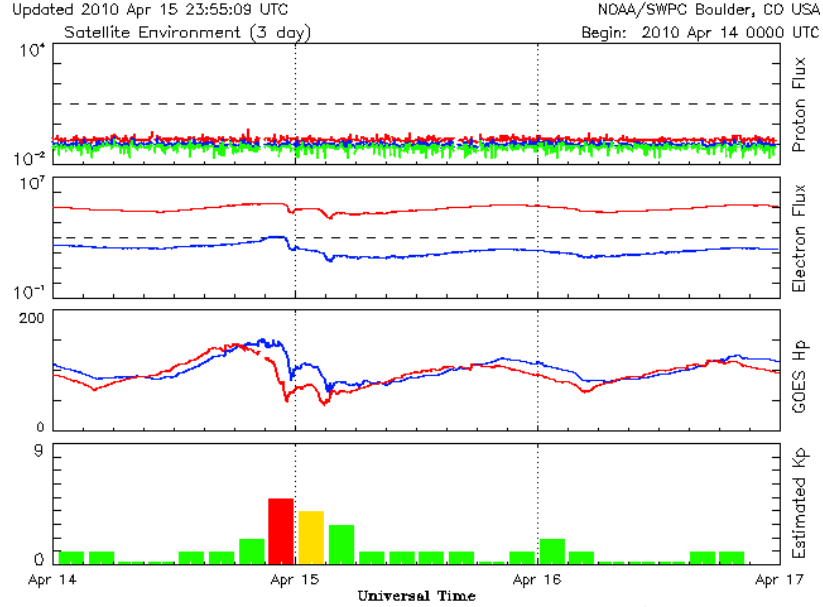
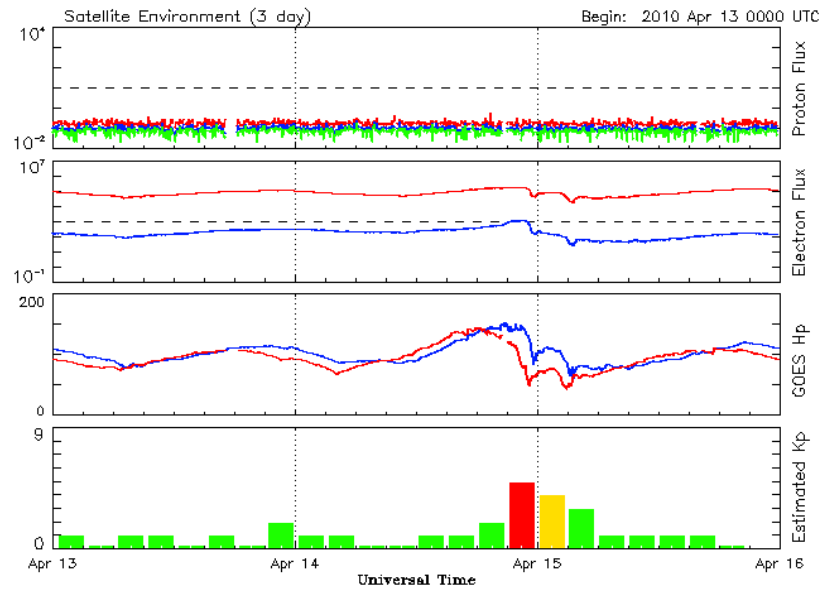


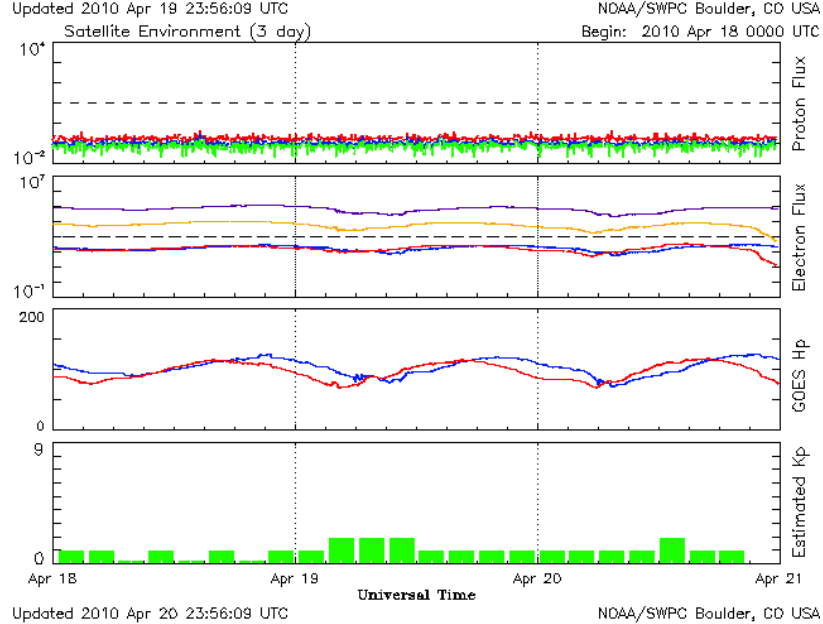
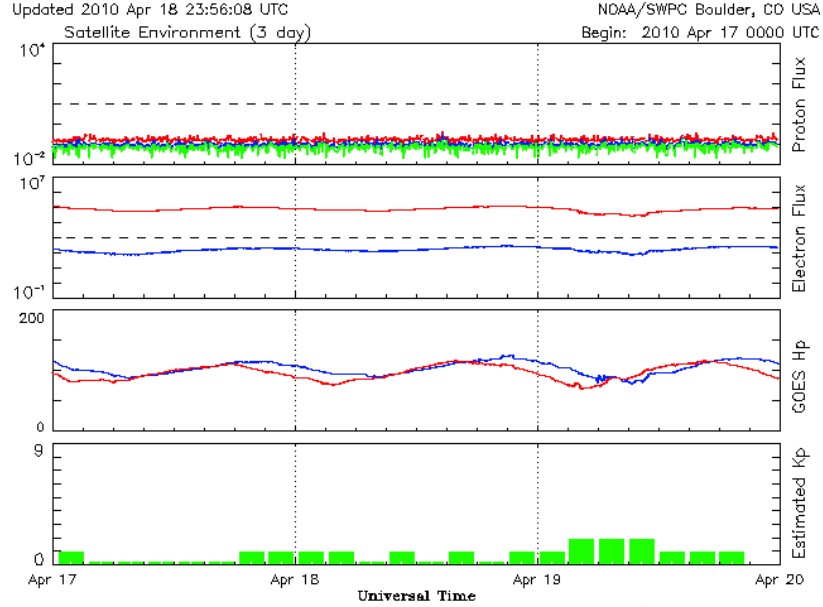
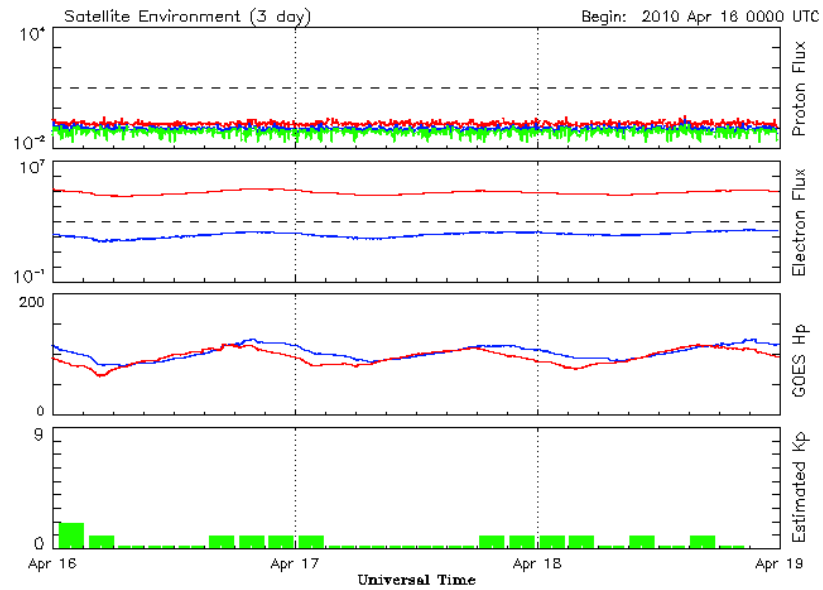


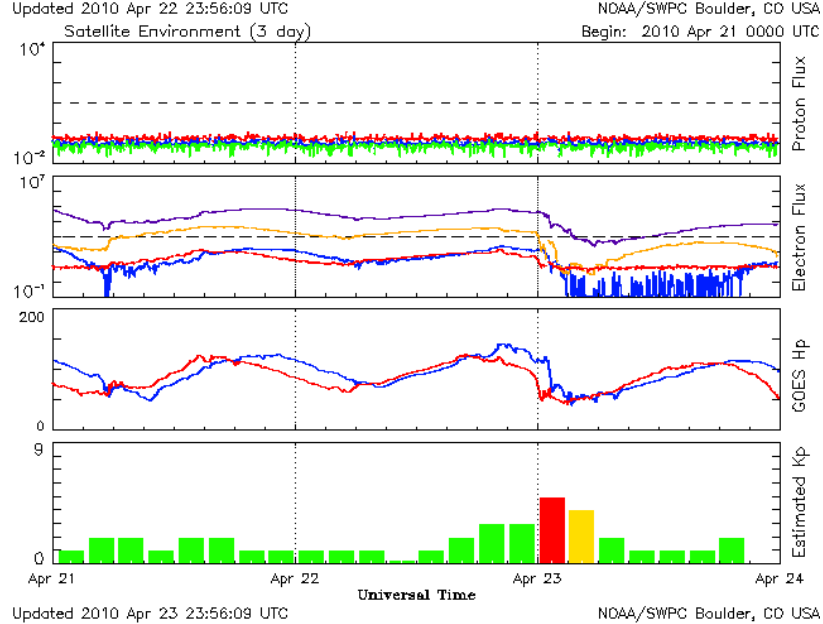
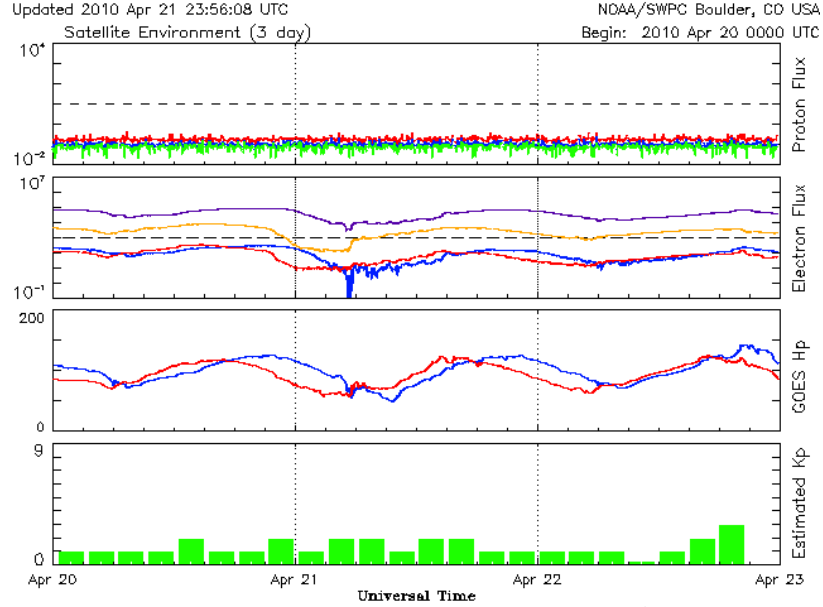
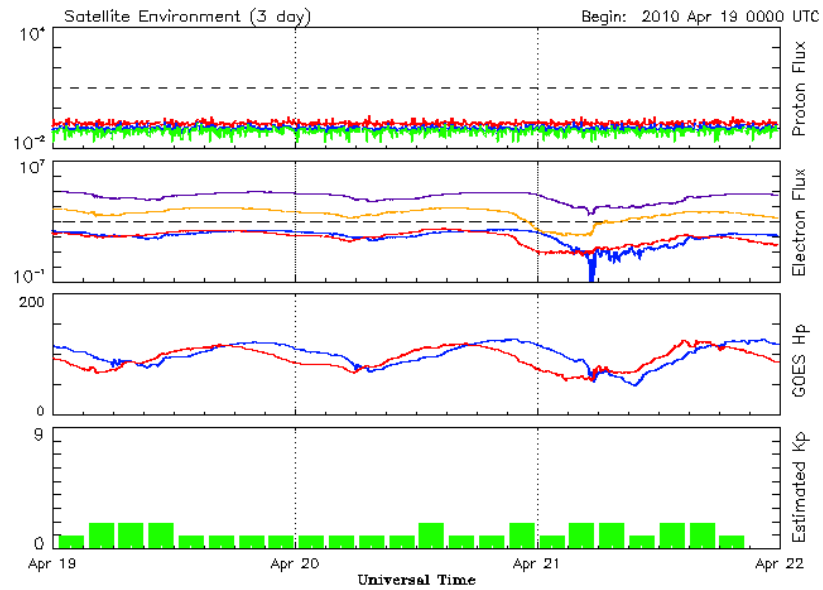


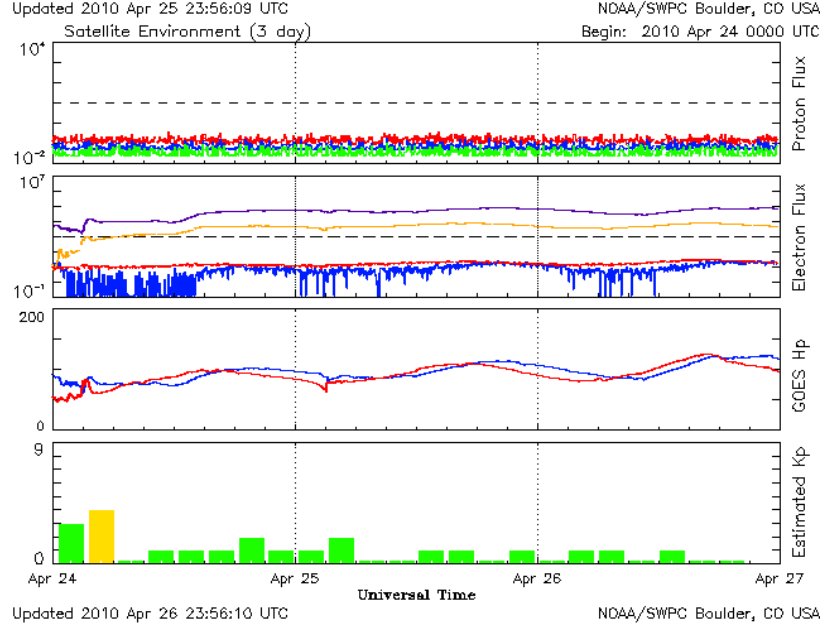
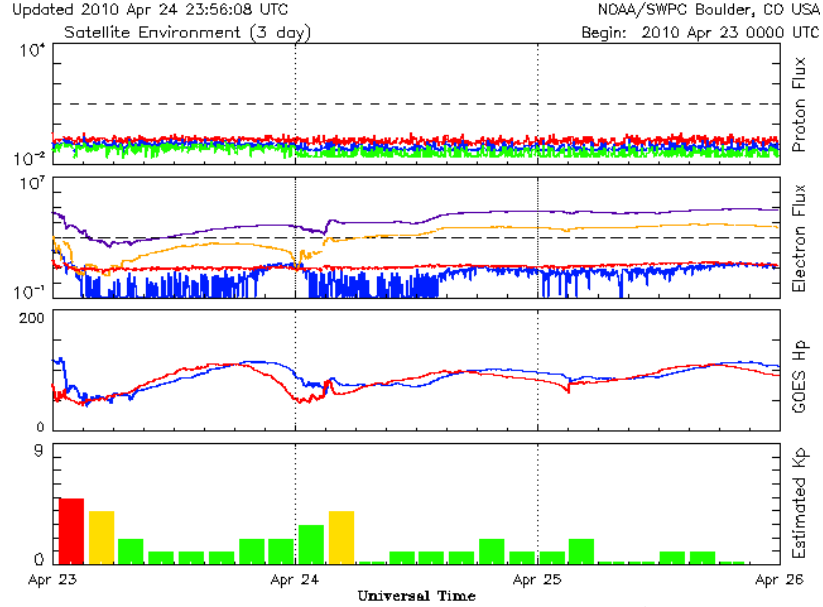
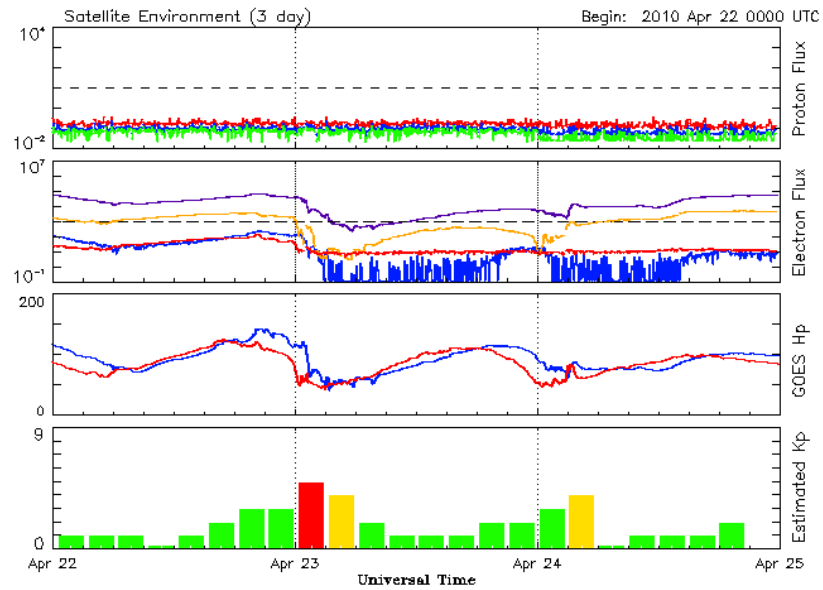


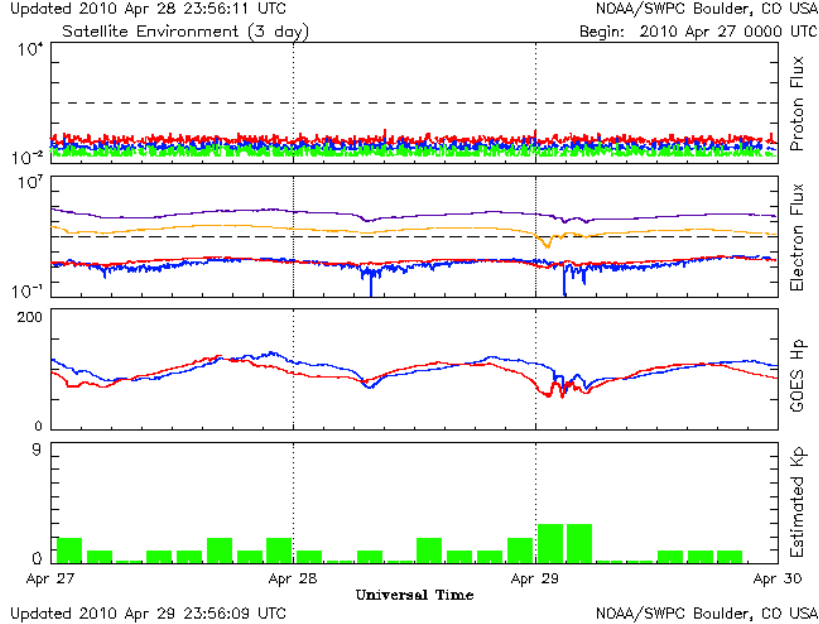
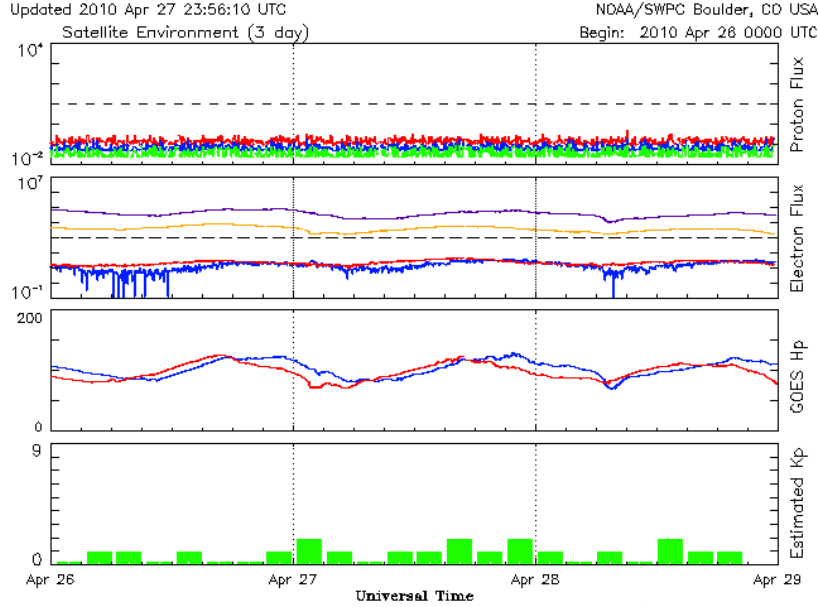
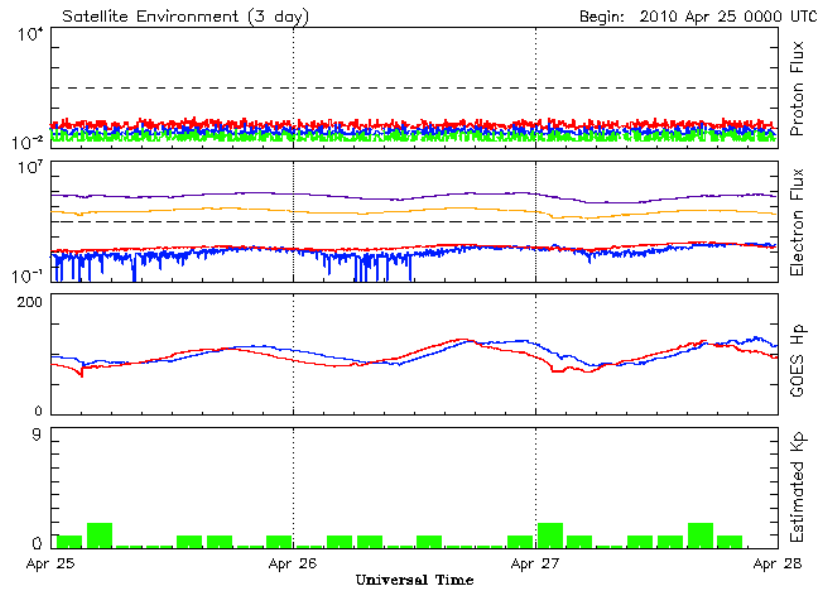


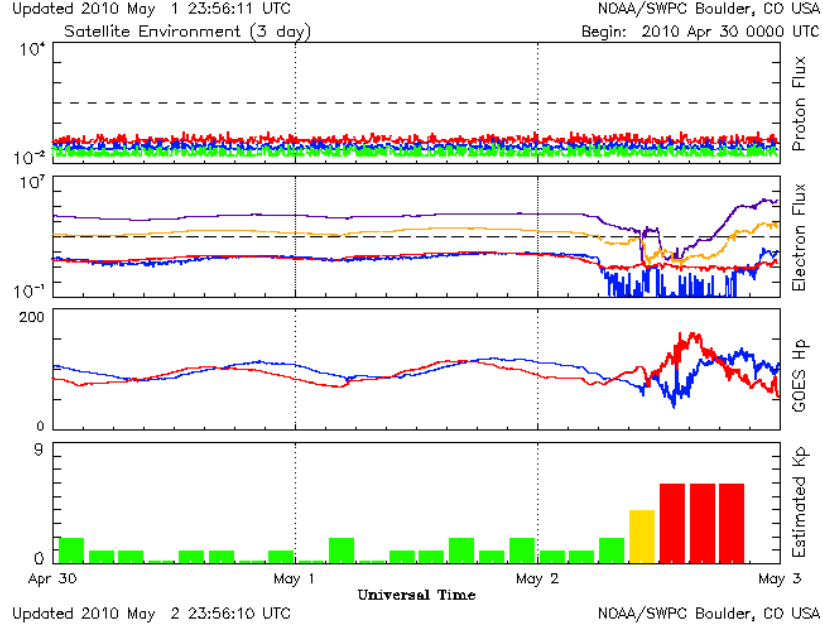
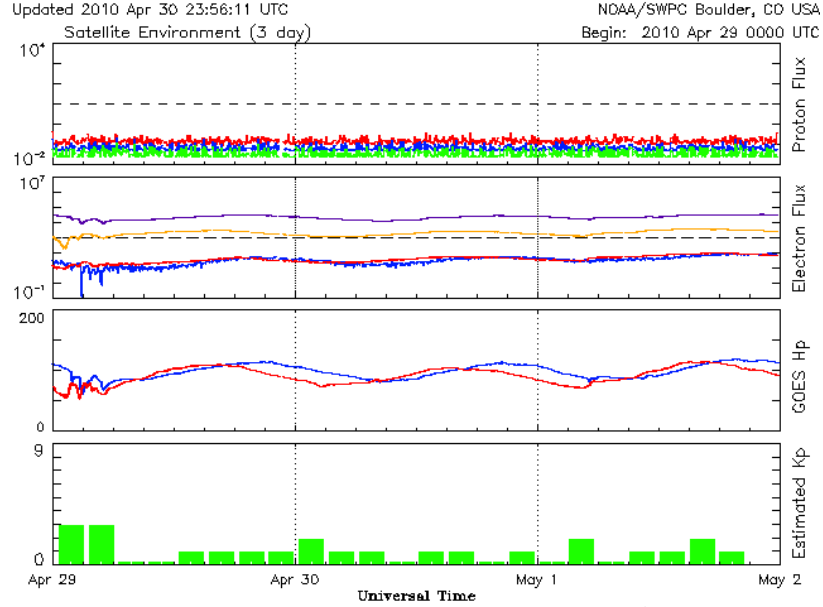
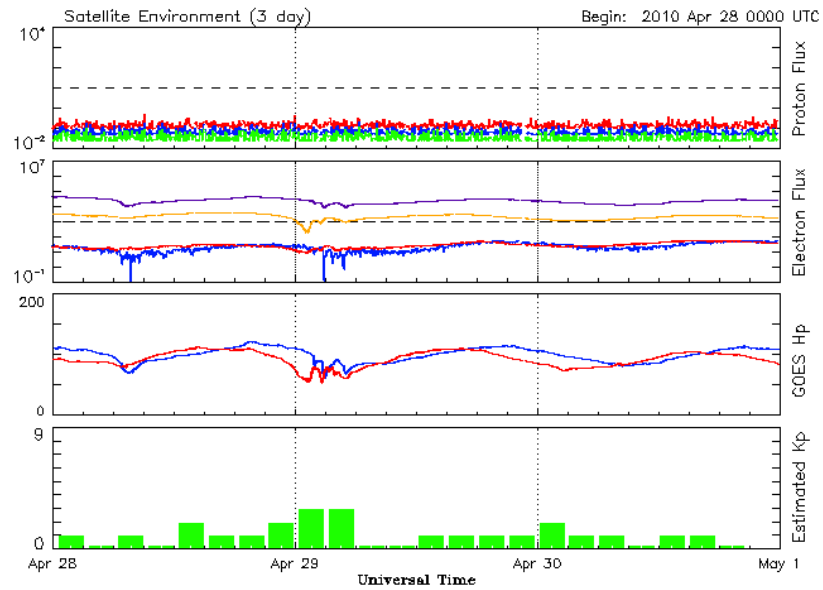


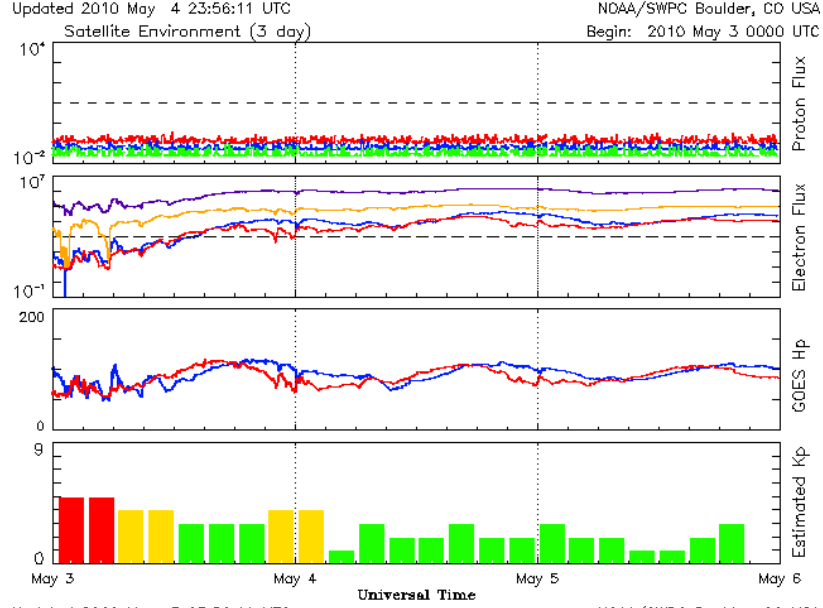
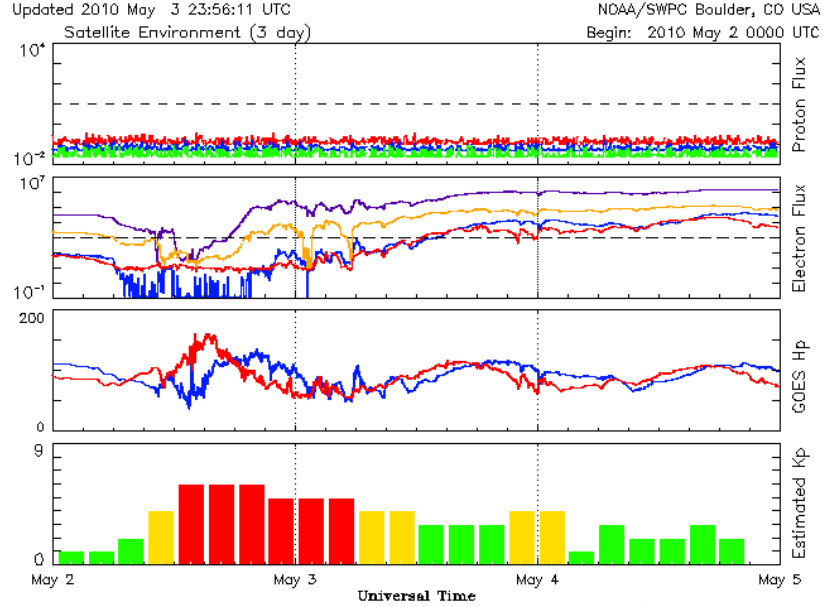
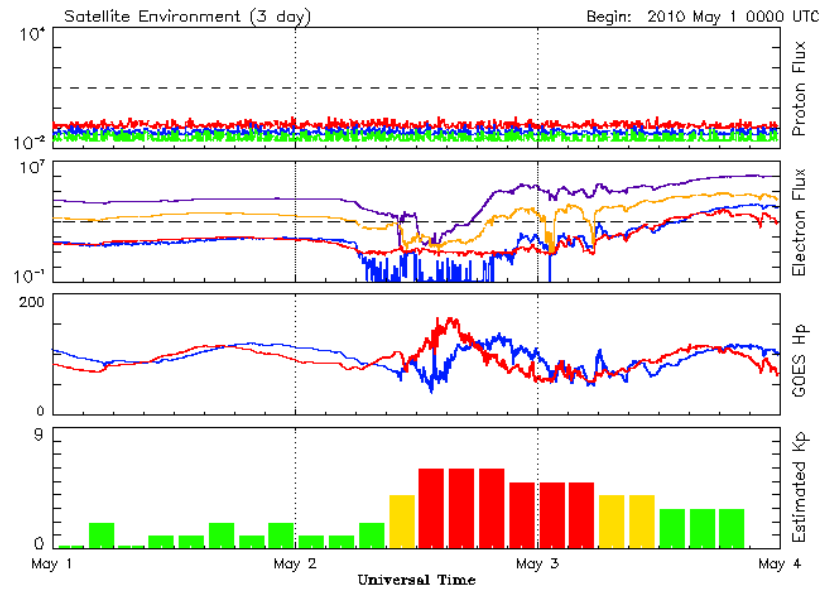


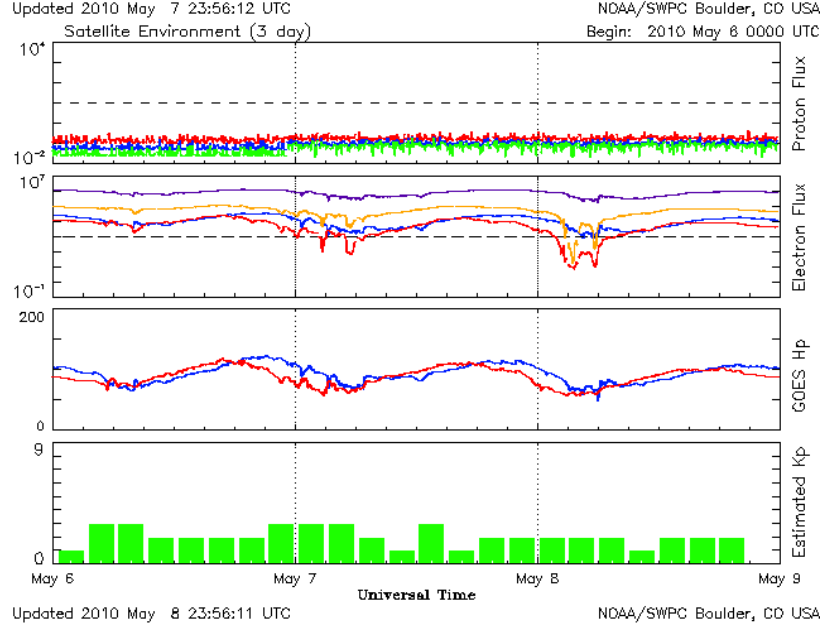
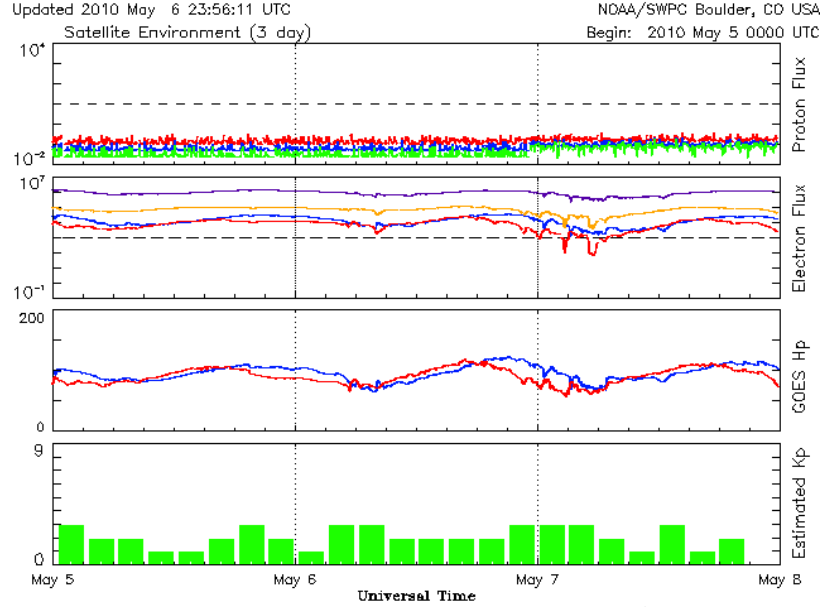
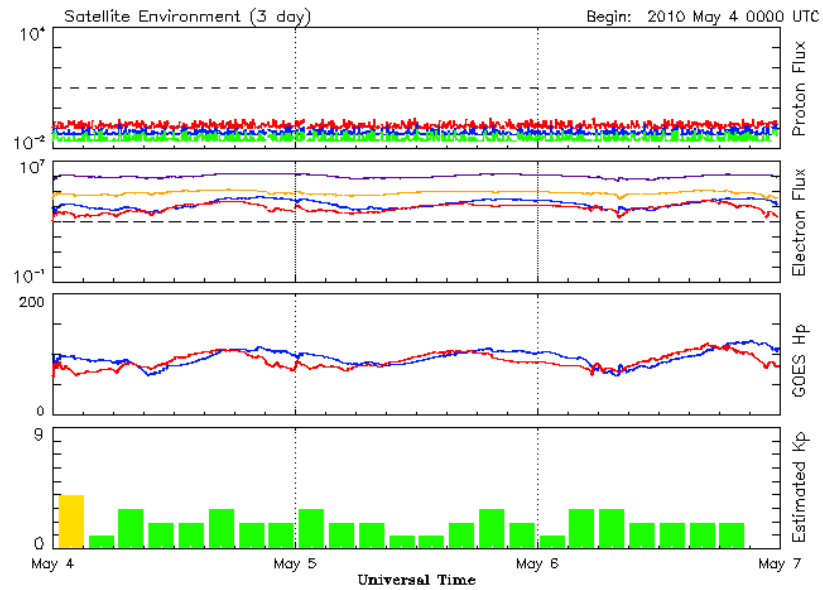


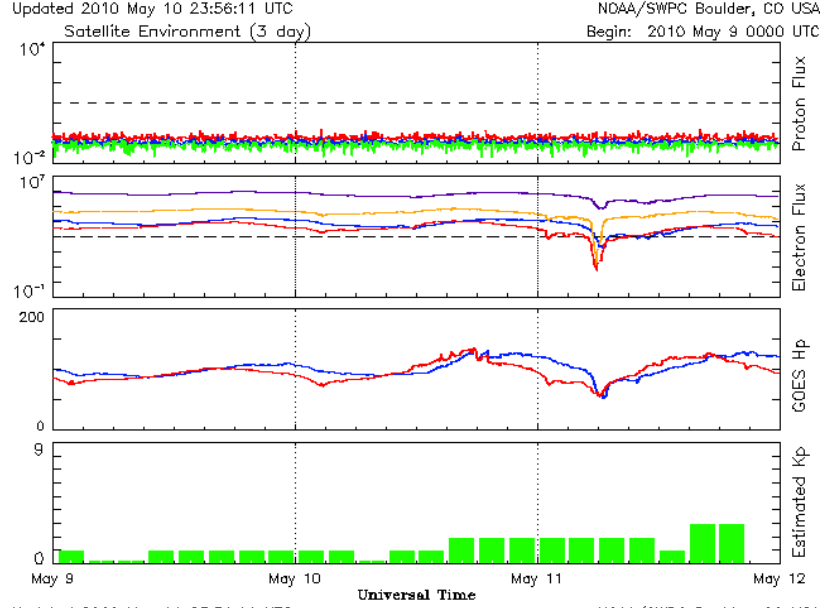
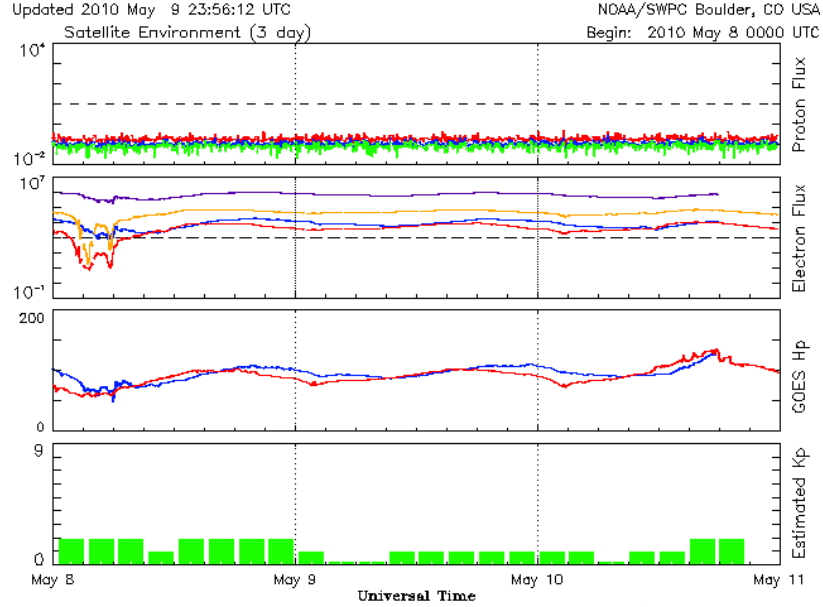
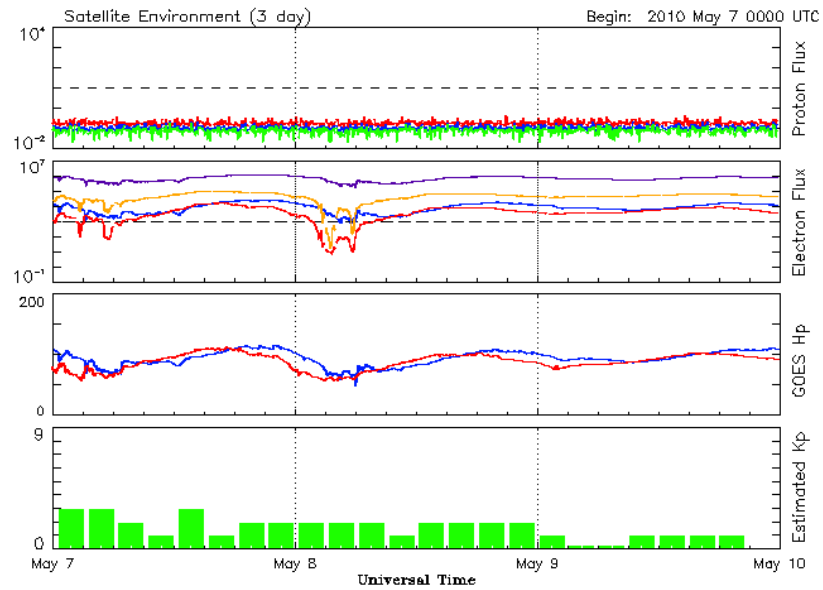


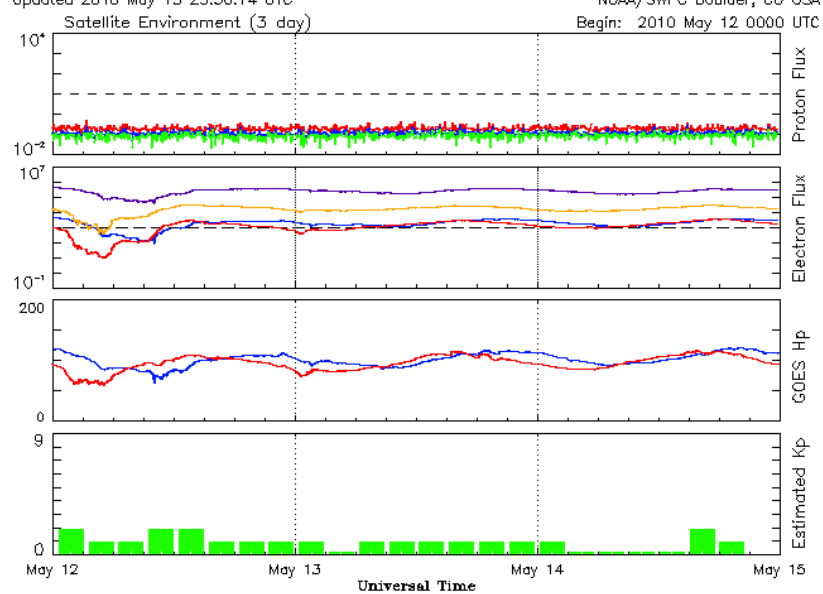
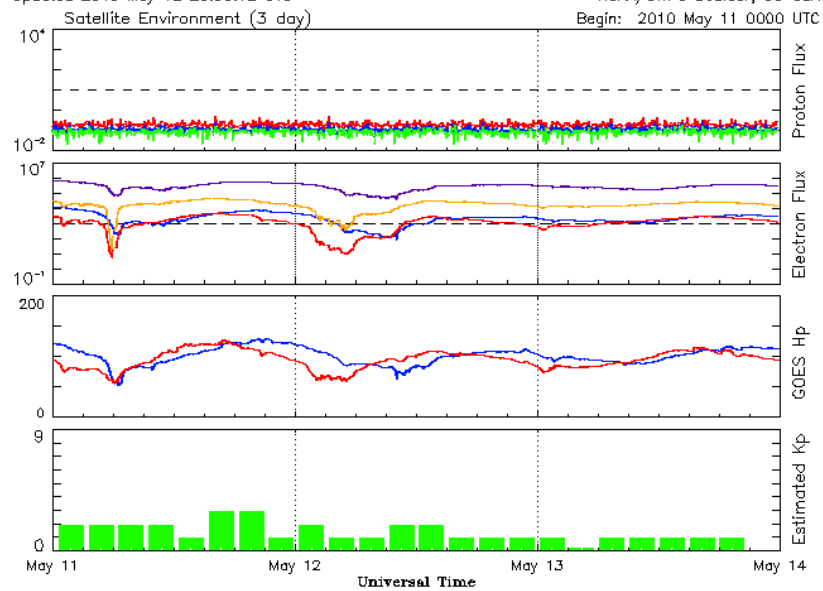
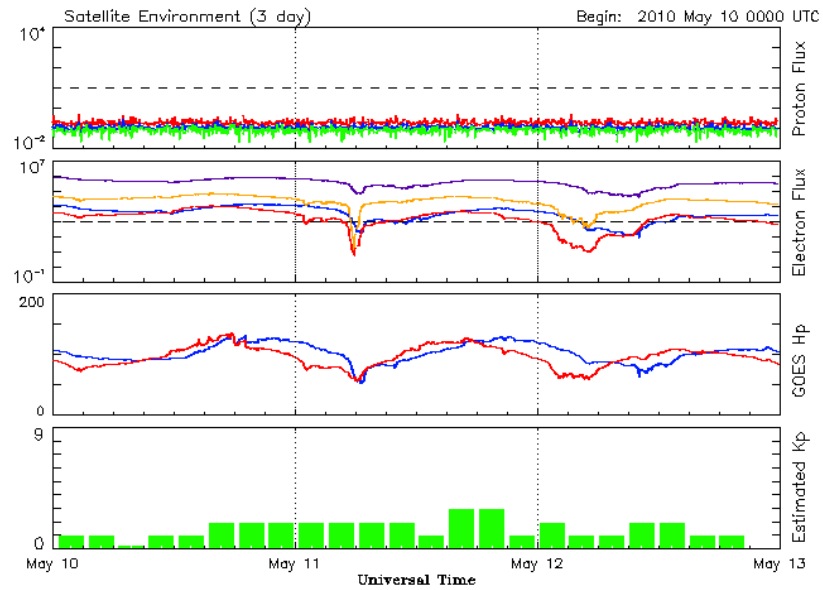


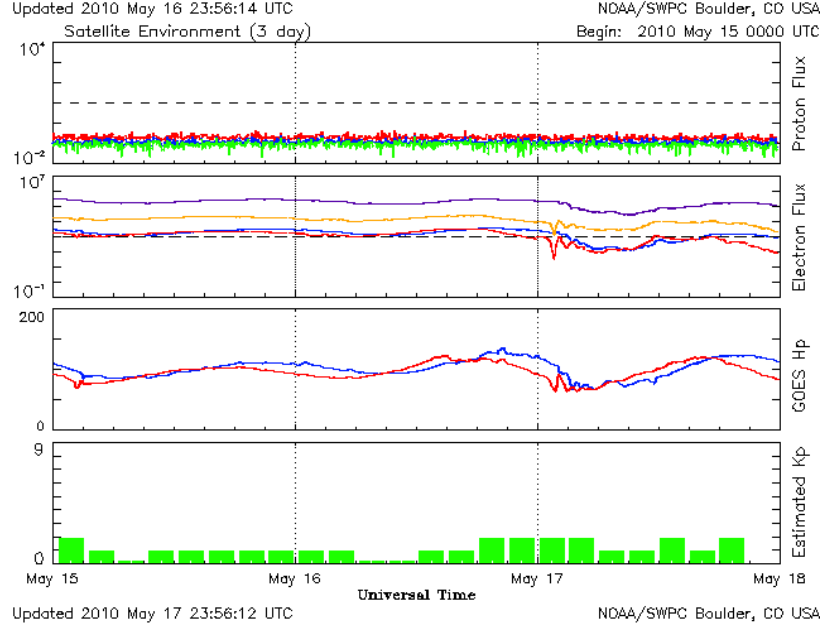
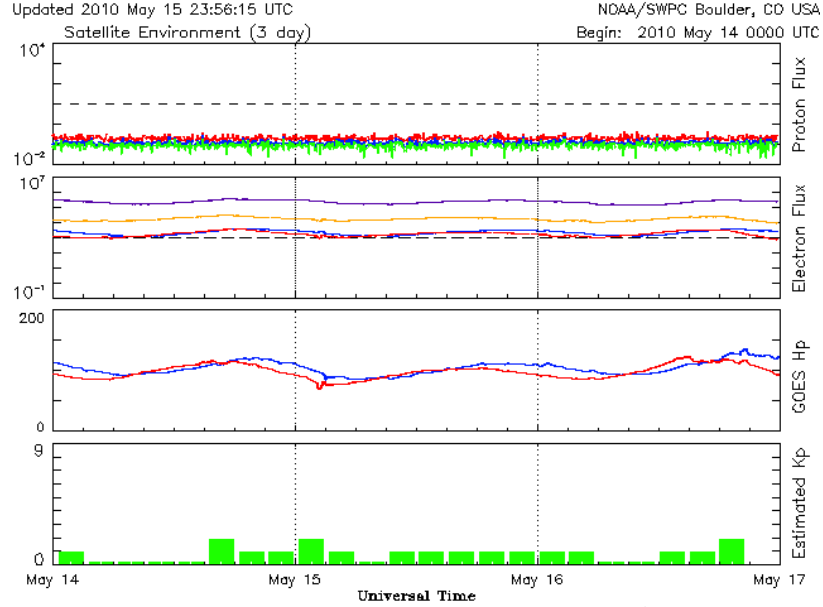
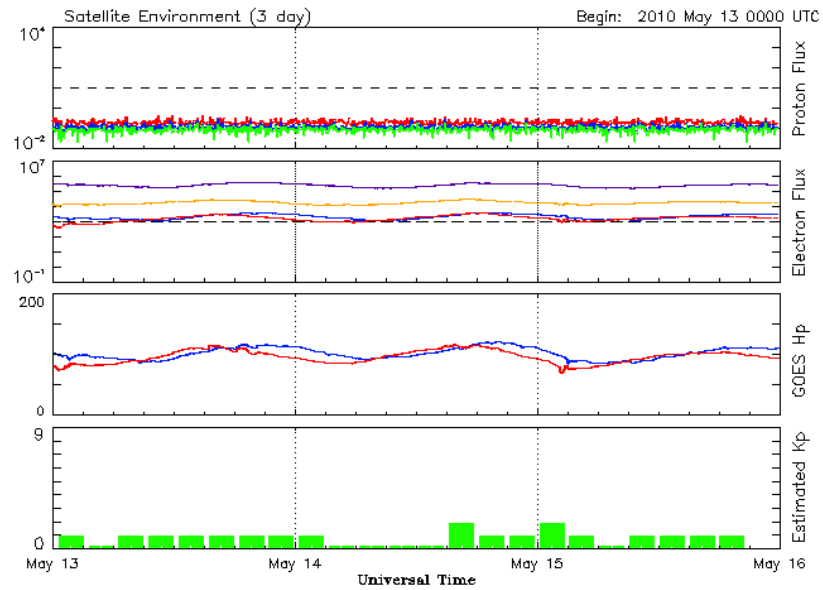


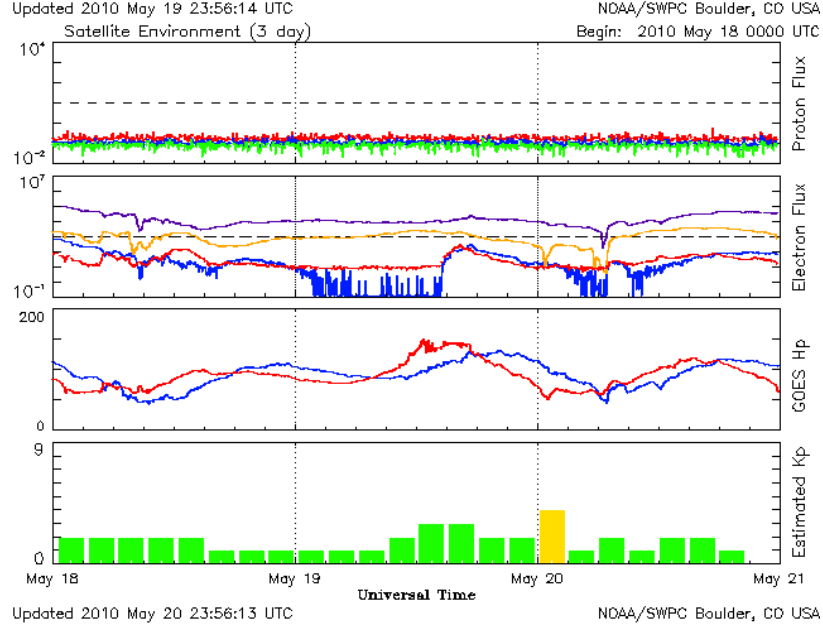
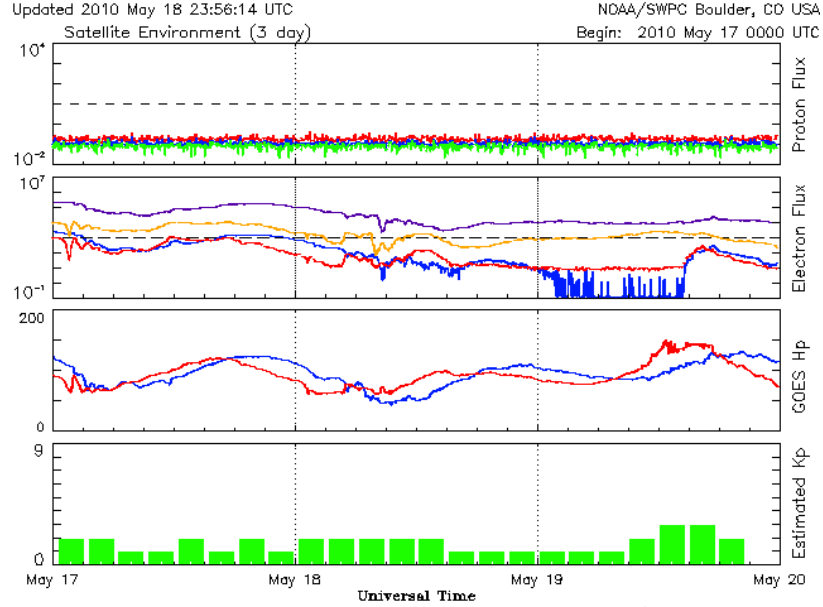
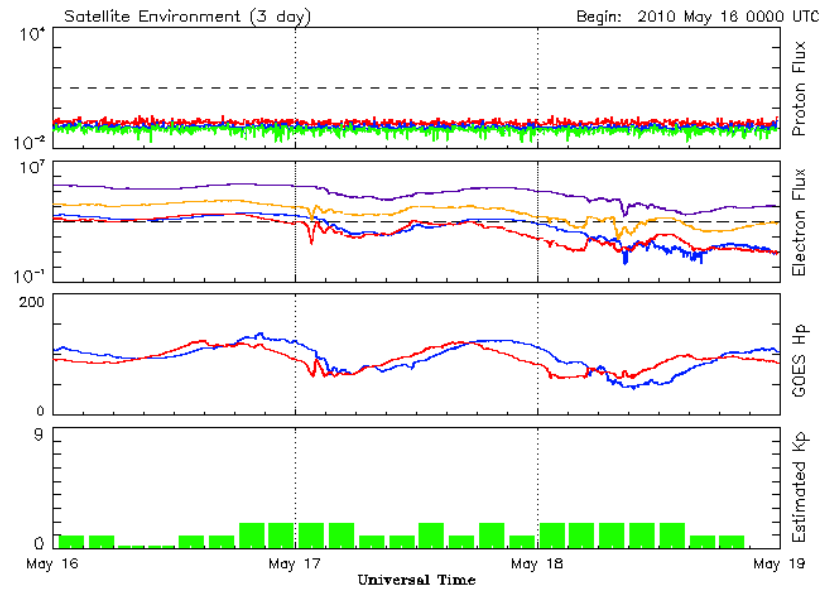


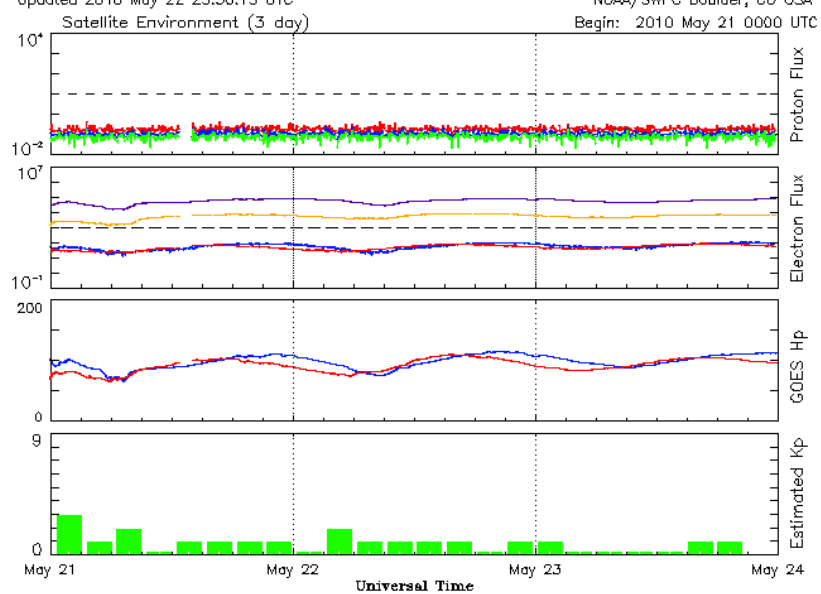
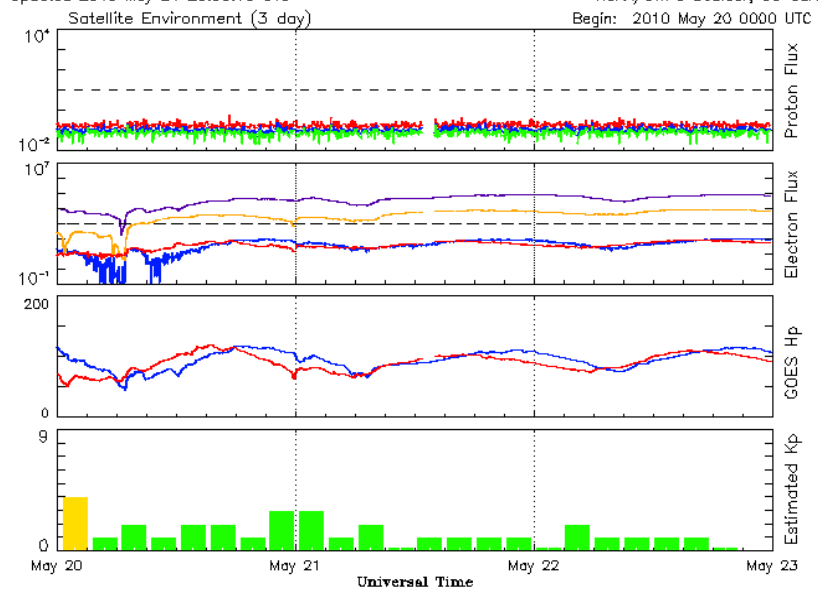
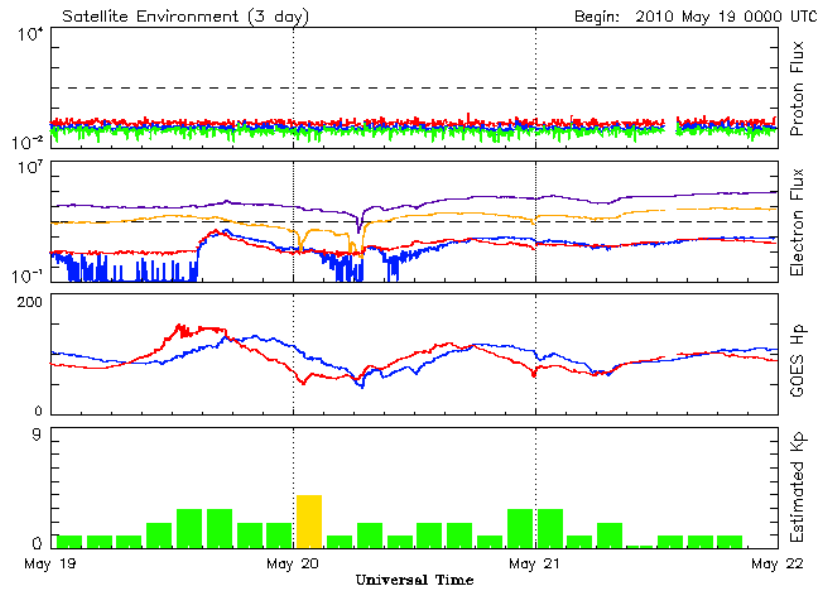


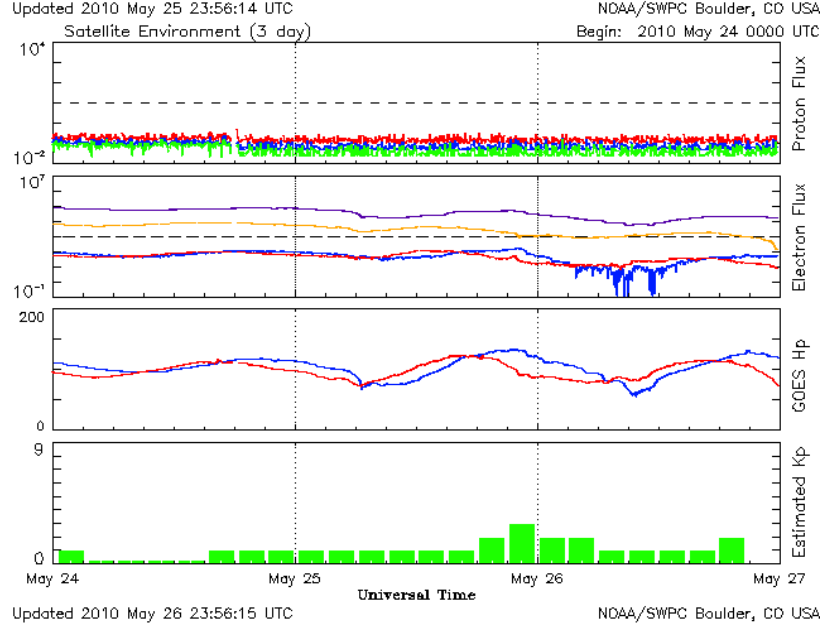
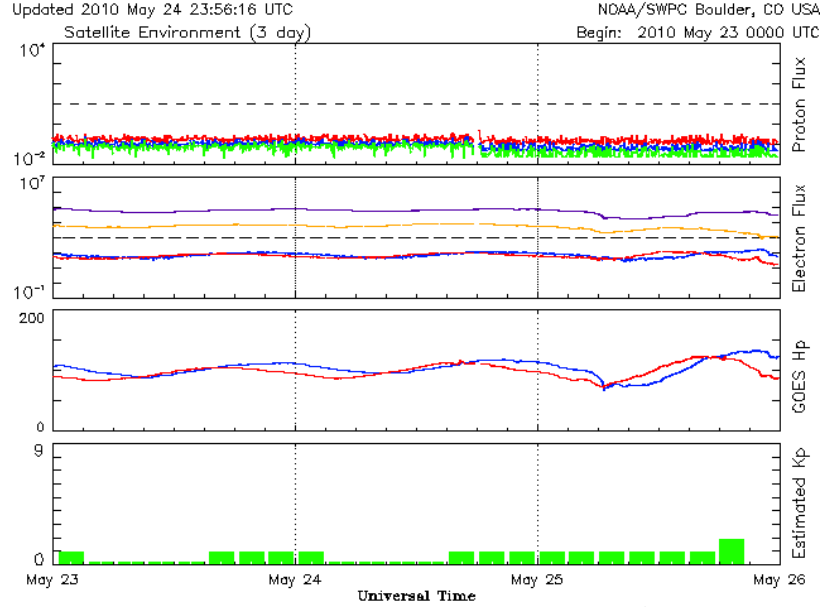
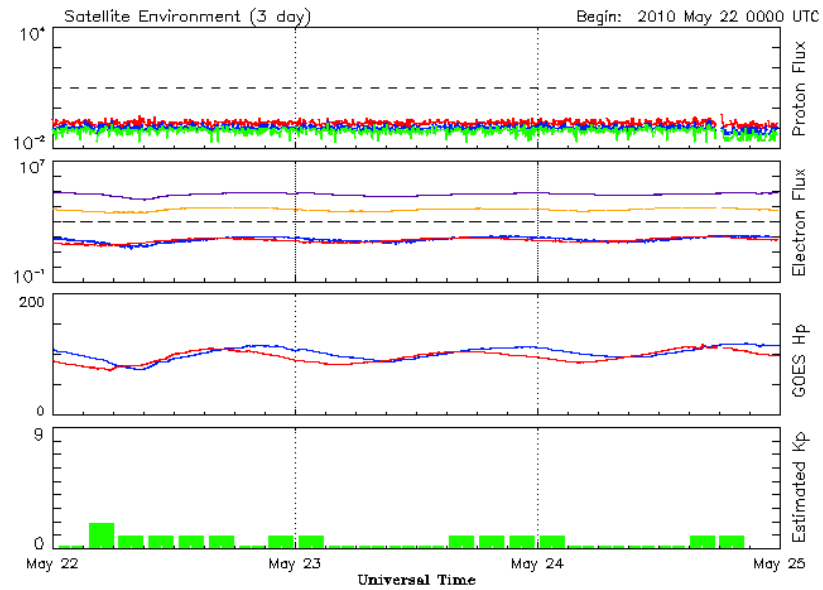


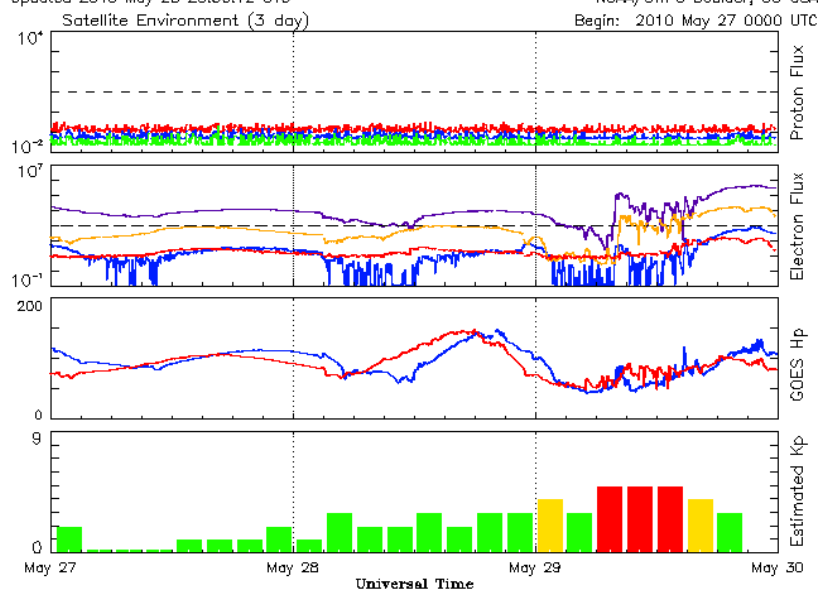
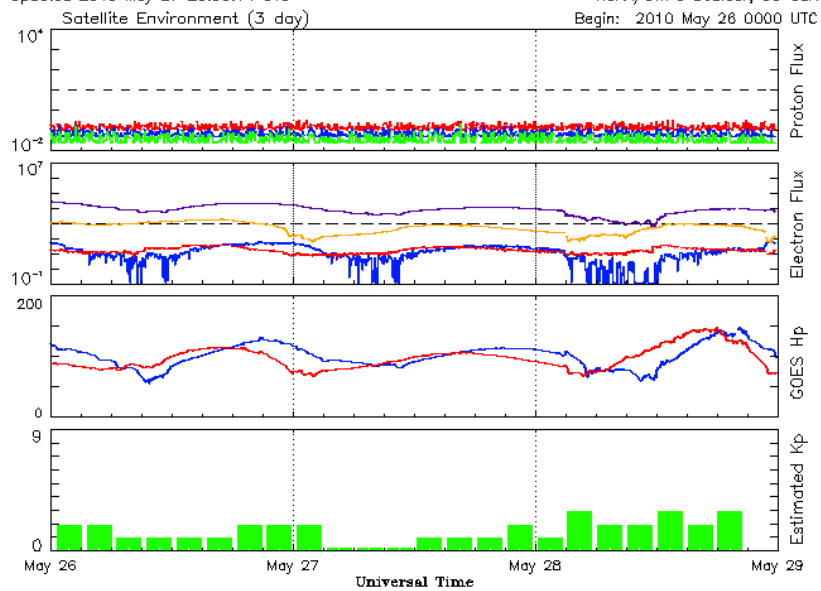
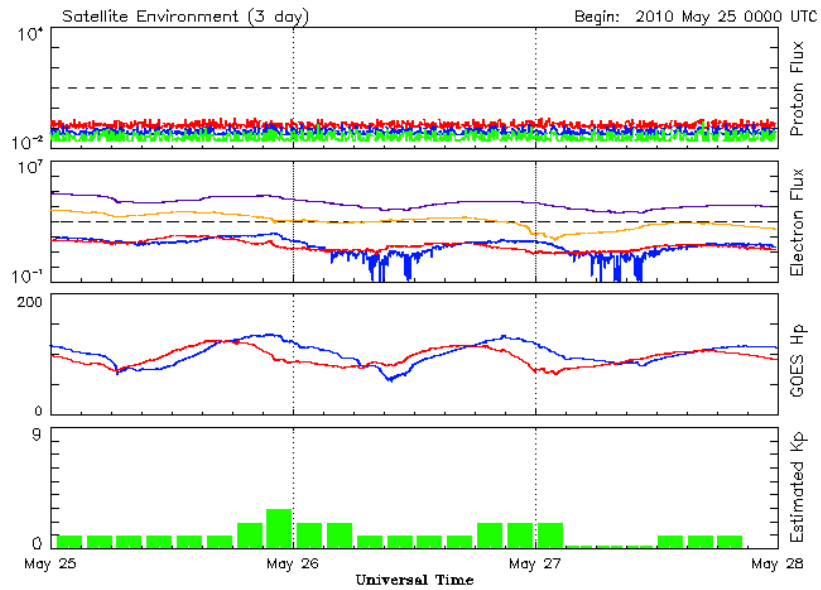


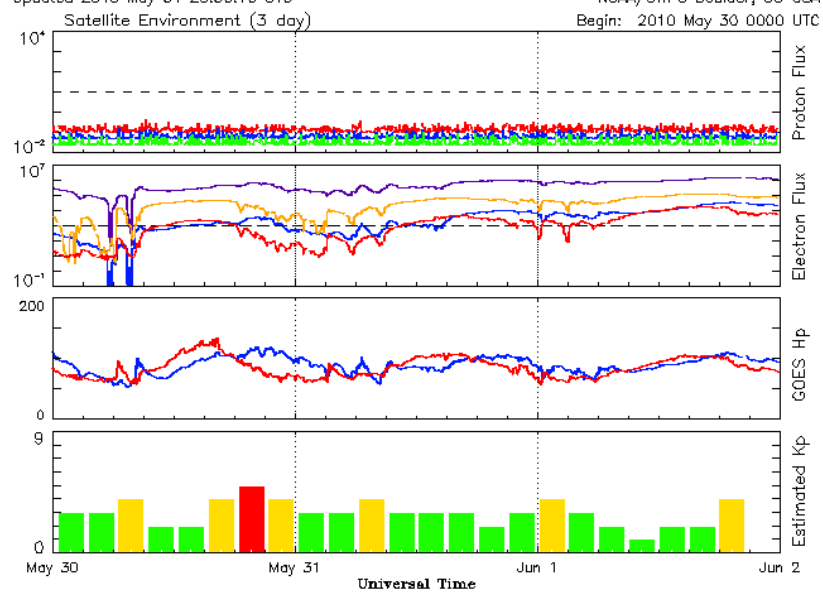
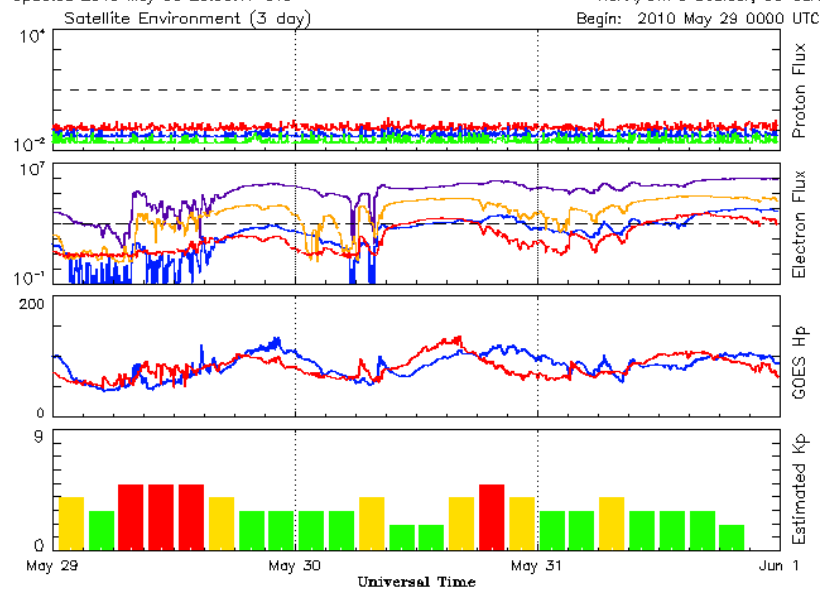
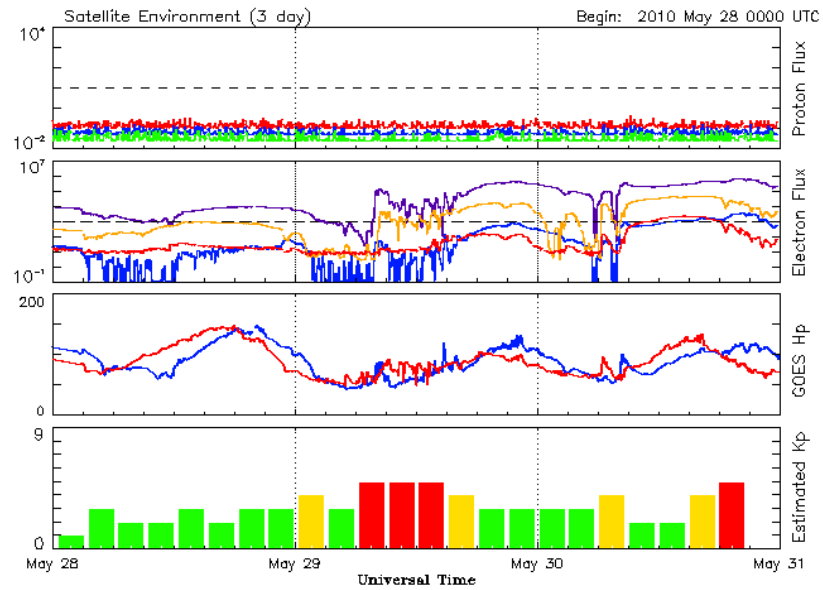


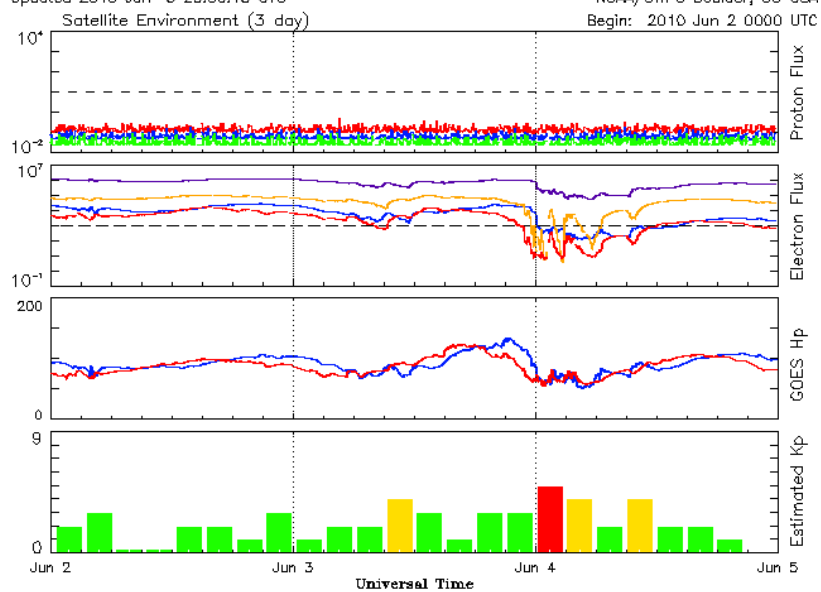
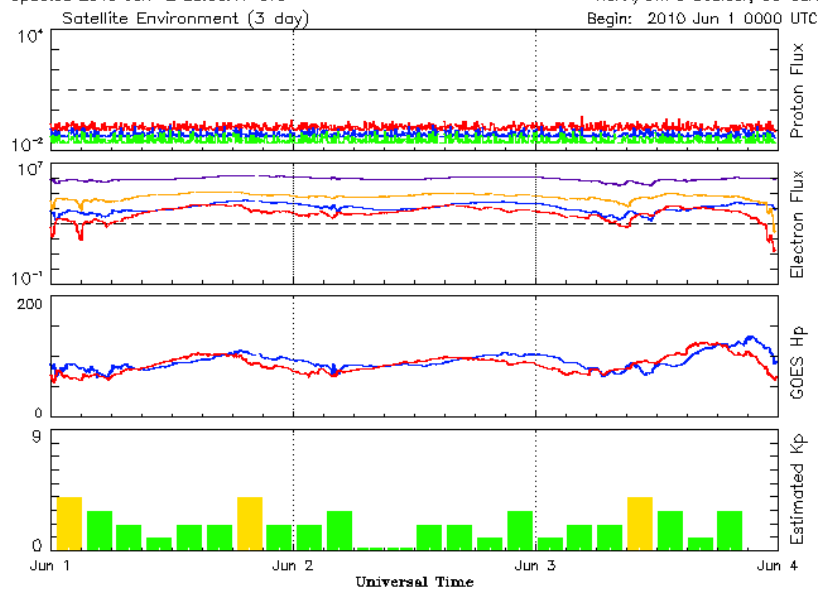
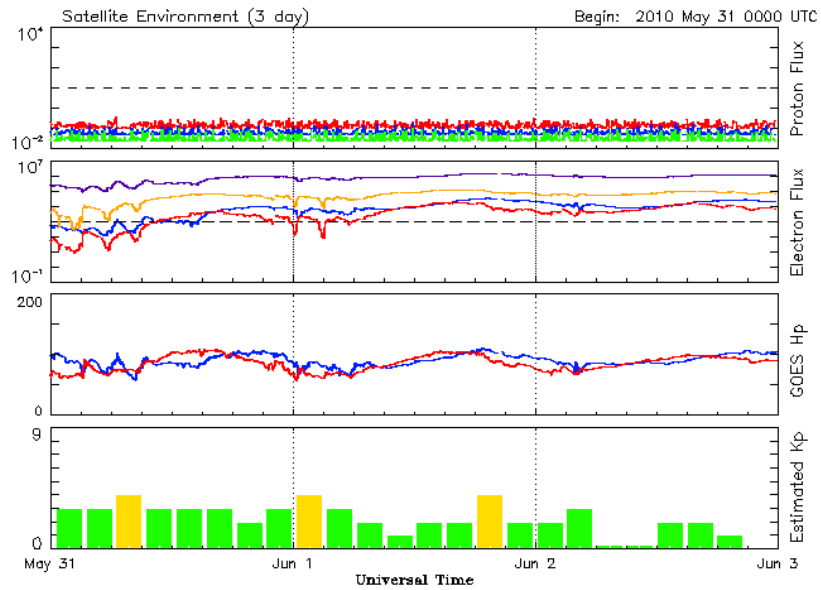


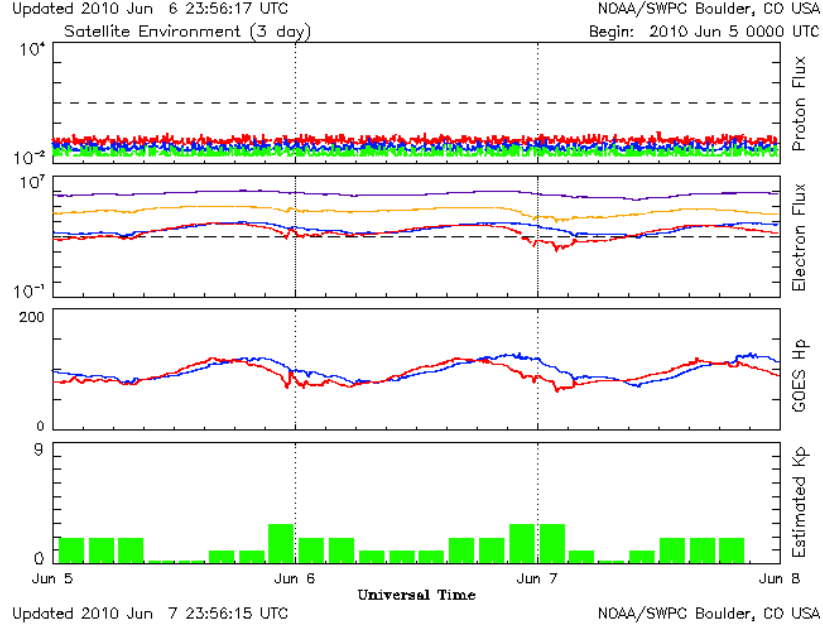
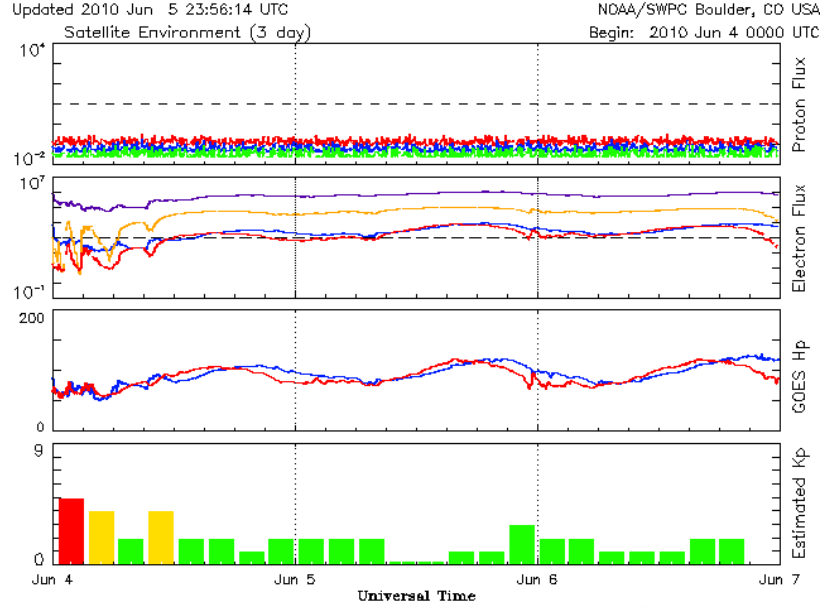
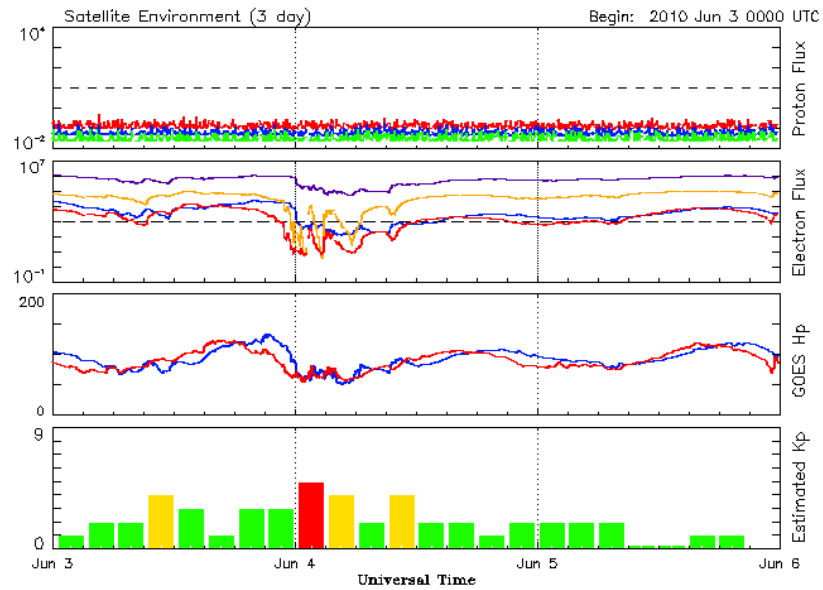


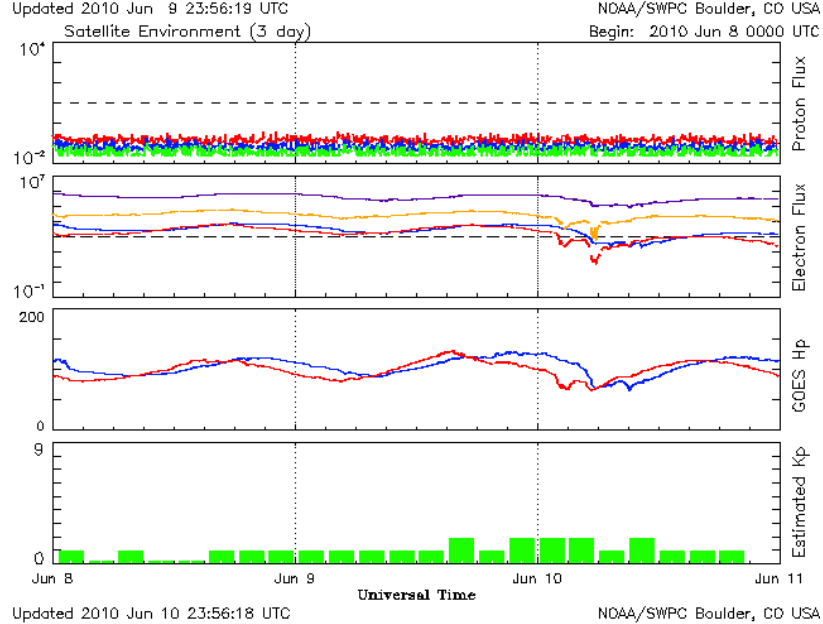
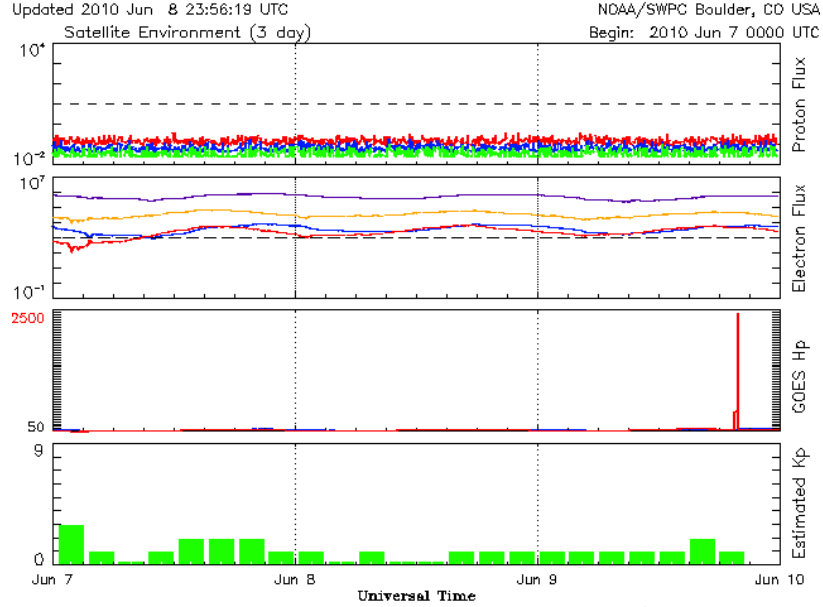
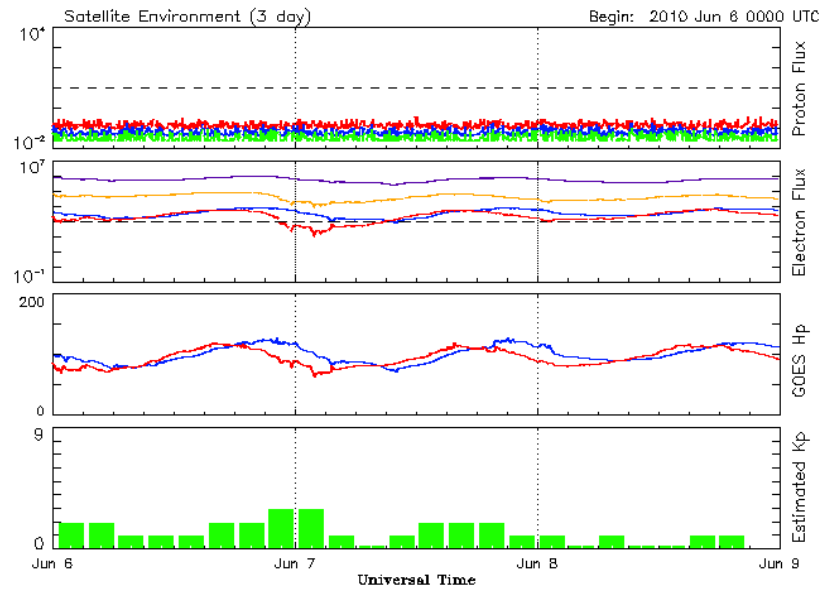


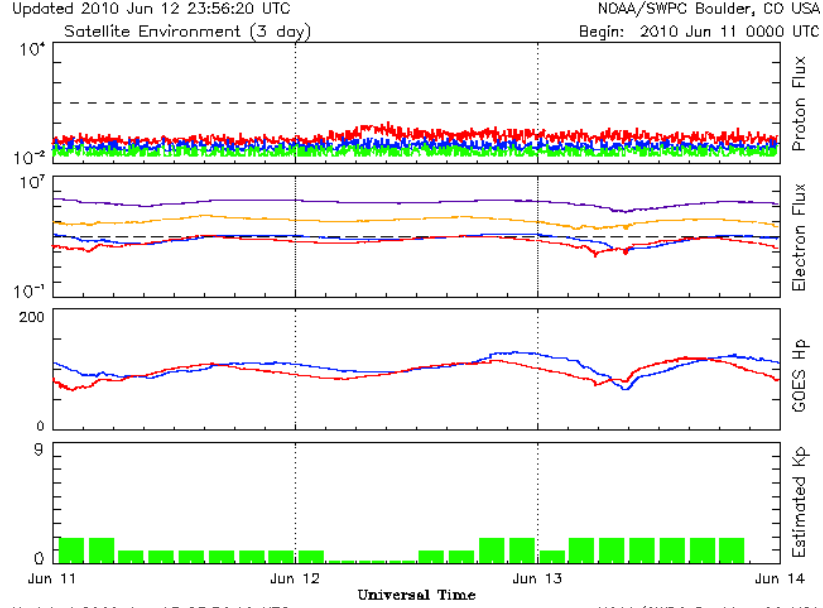
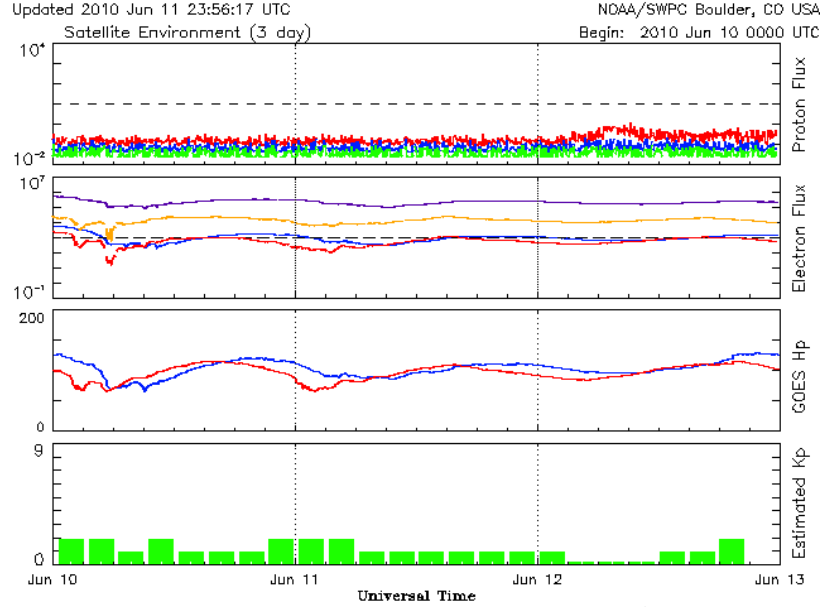
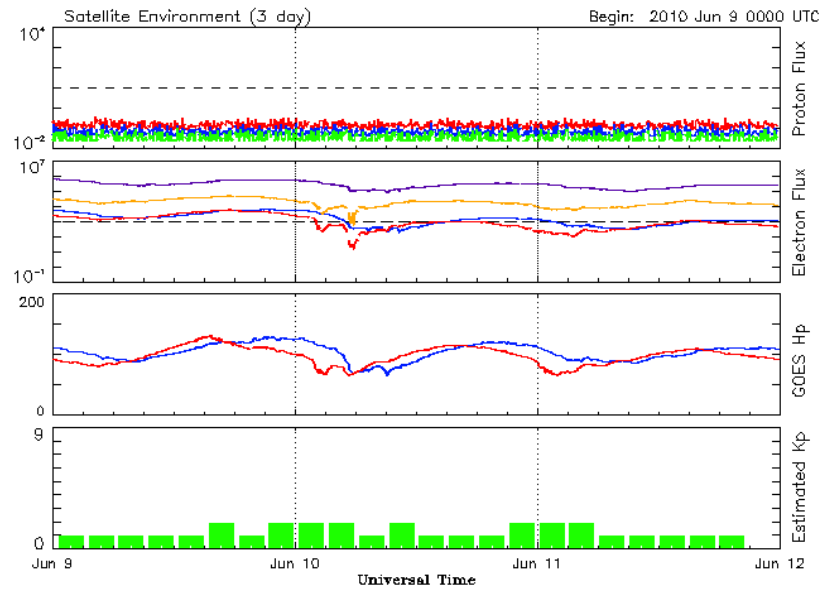


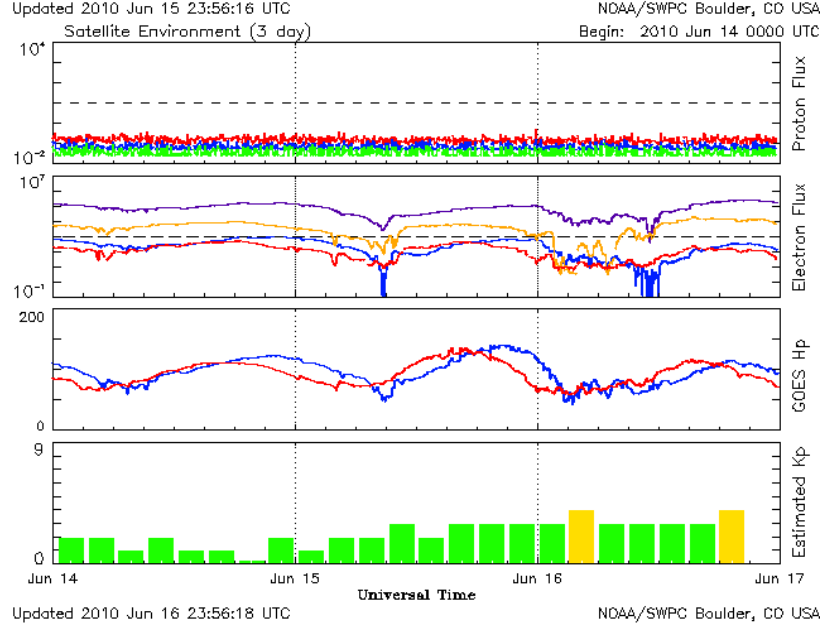
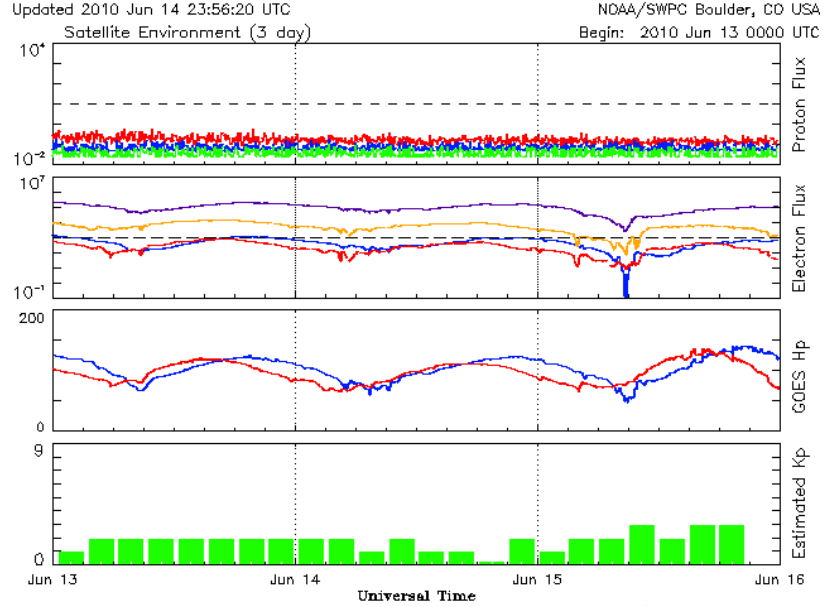
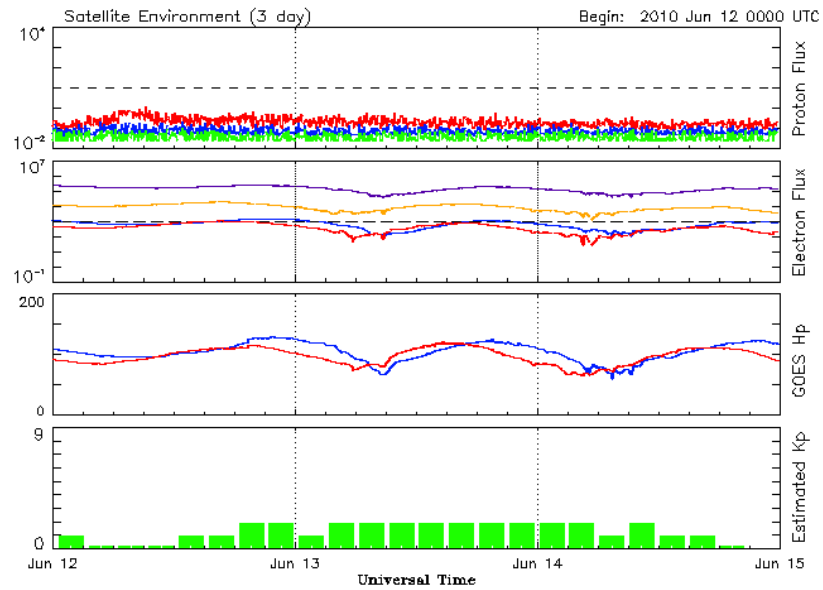


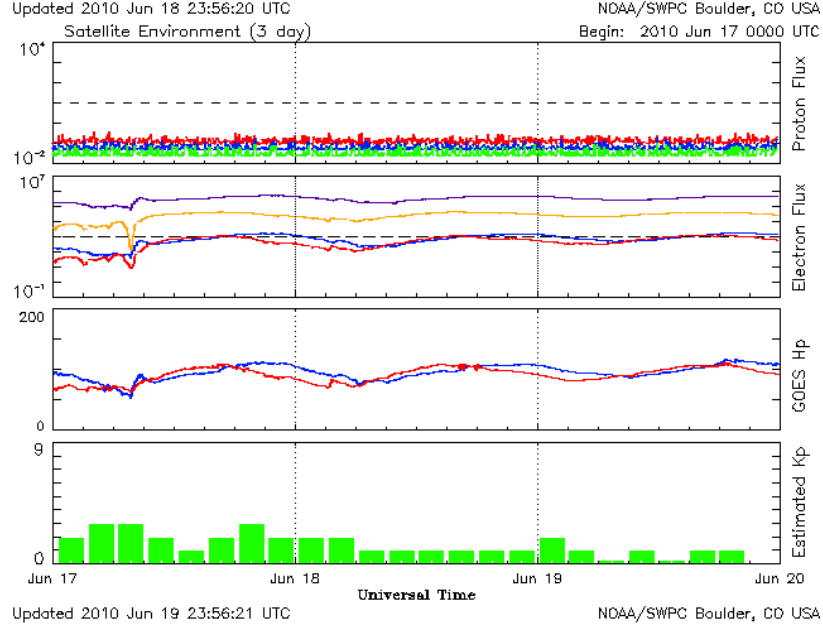
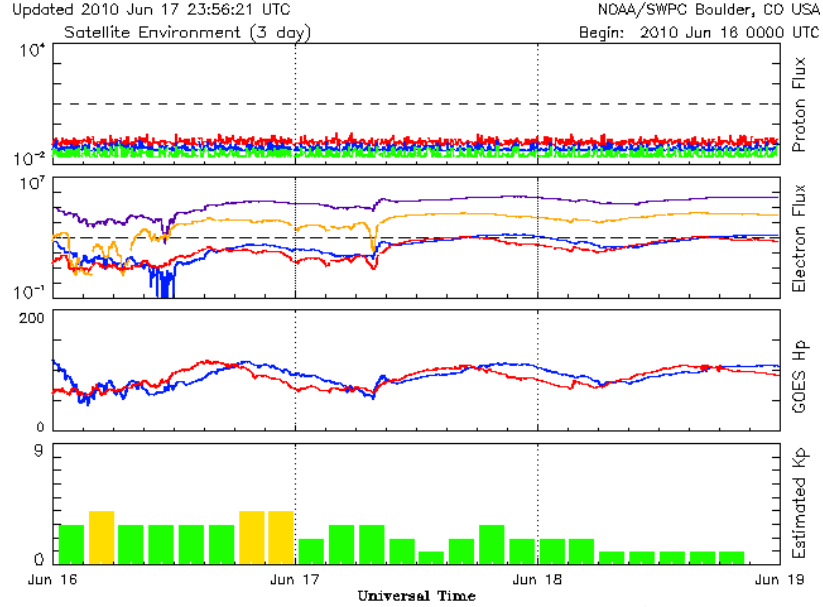
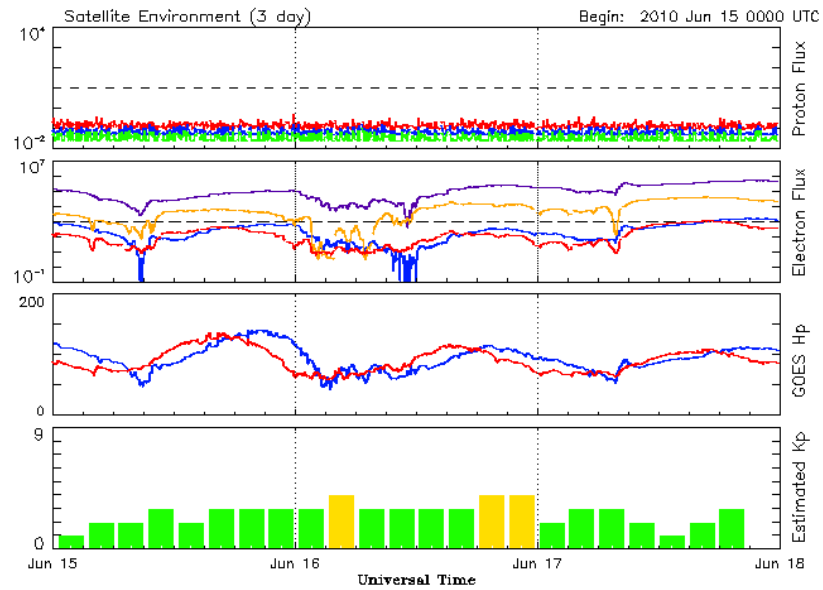


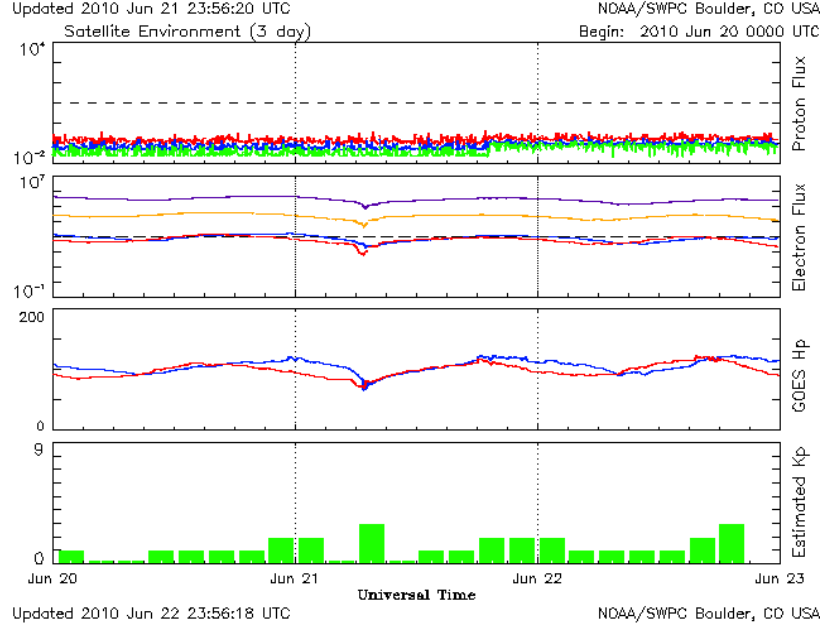
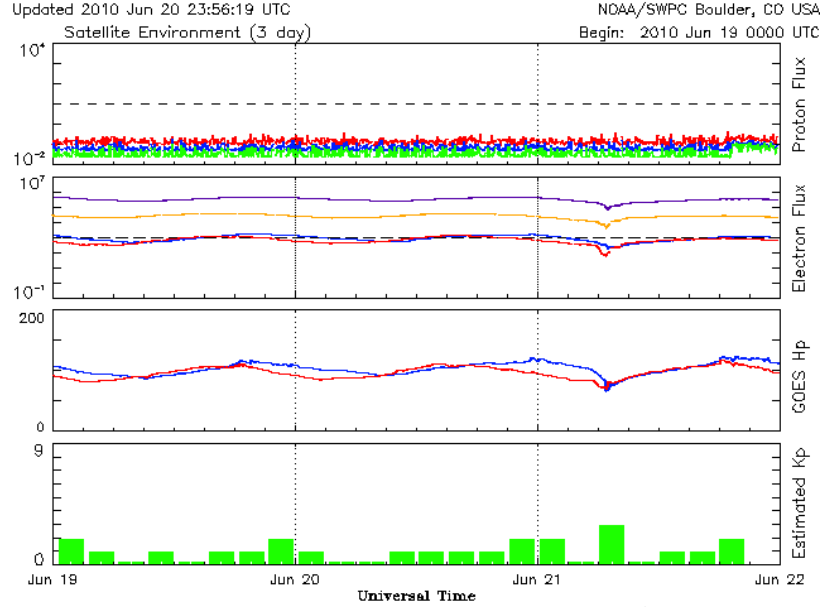
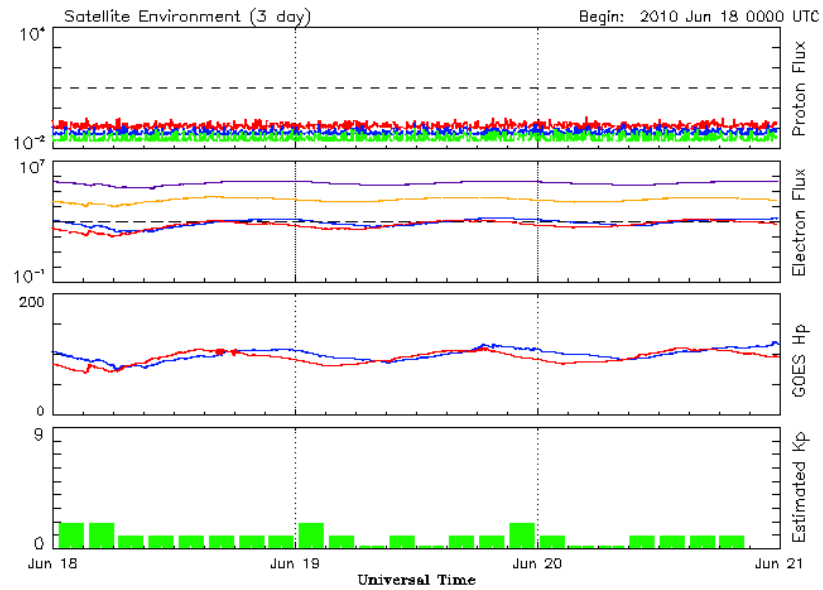


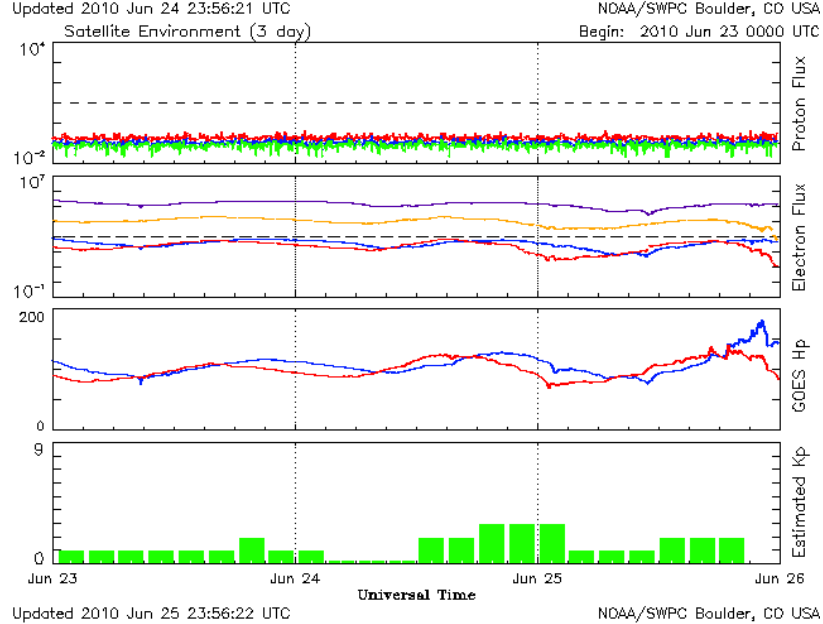
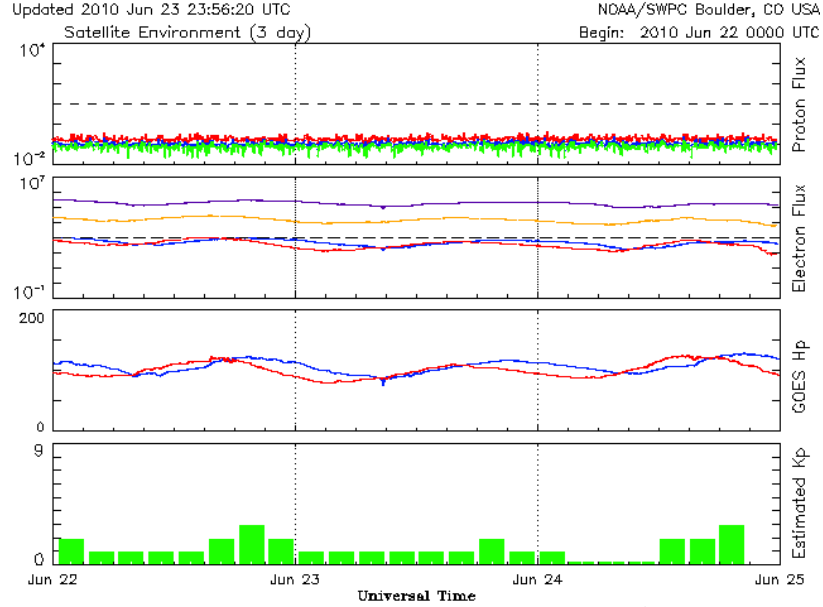
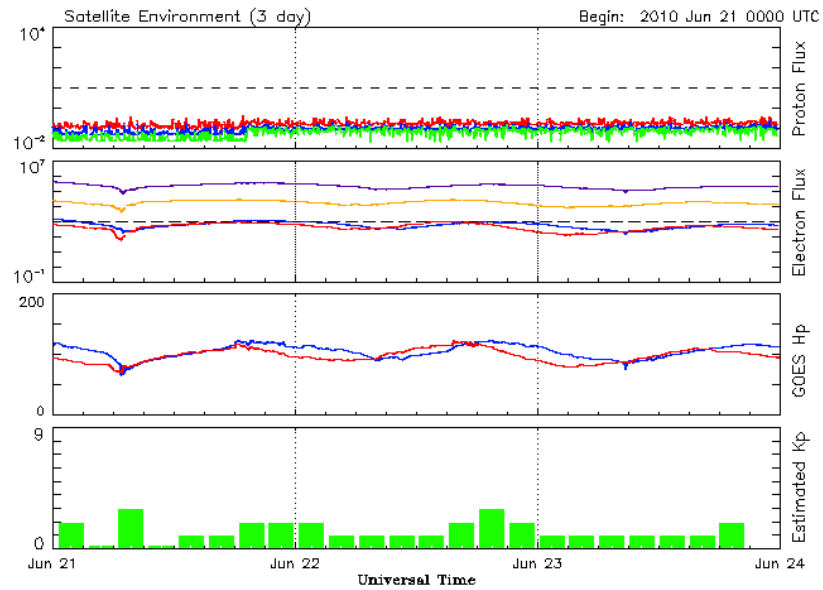


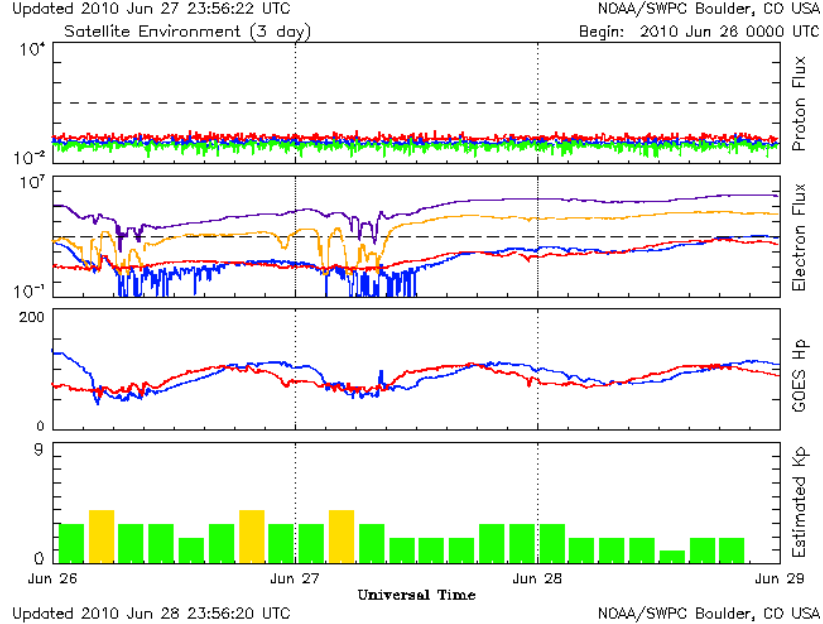
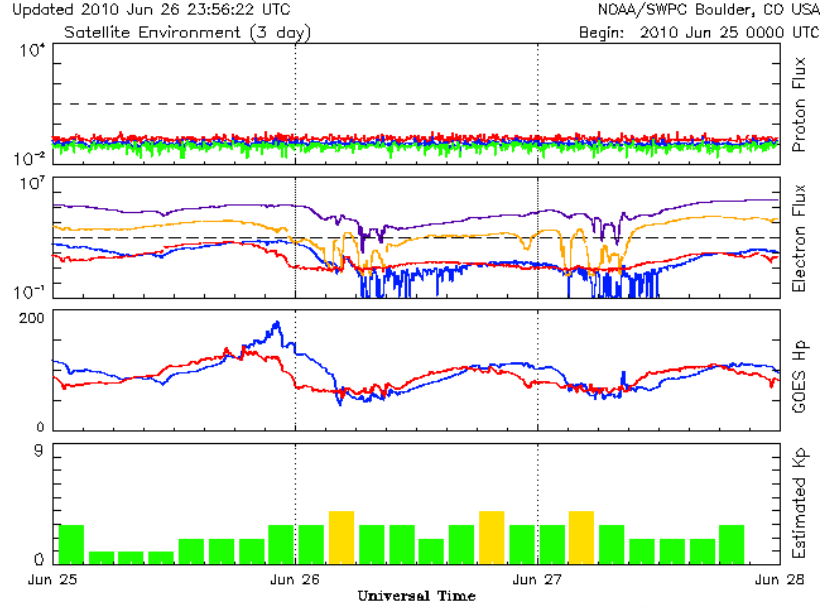
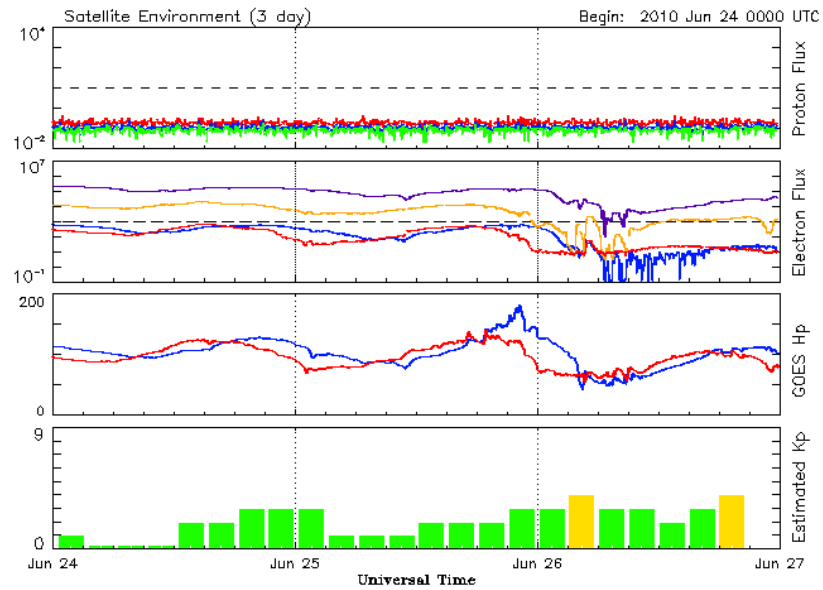


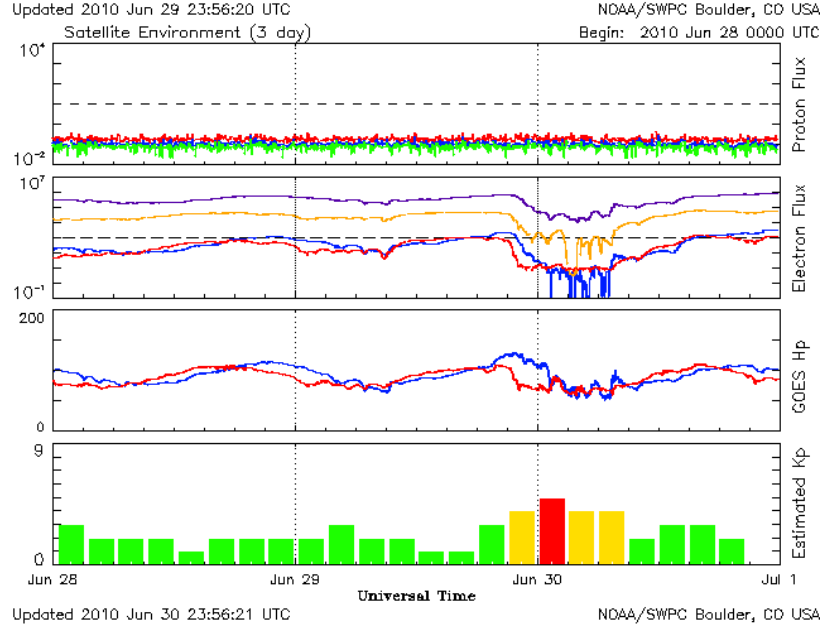
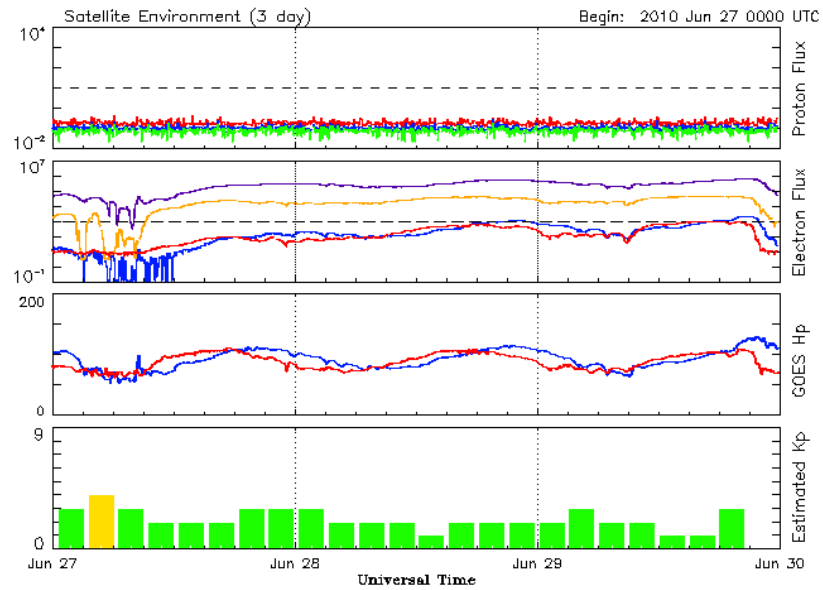












EK-4

**YER DEĞİŞİMİNİN HESAPLANMASINDA KULLANILAN GAMIT
PROGRAMINA AİT q file İÇİN BİR ÖRNEK**

01-03-2010 Izmit Satation

67*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0046 0.0226 0.2 N40:36:42.19557

68*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0000 0.0208 0.0 E029:57:03.36575

69*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0183 0.0245 0.7 6369.37587482

02-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0065 0.0224 0.3 N40:36:42.19563

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0042 0.0196 -0.2 E029:57:03.36557

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0234 0.0226 1.0 6369.37587992

03-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0041 0.0224 0.2 N40:36:42.19555

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0000 0.0195 0.0 E029:57:03.36575

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0174 0.0226 0.8 6369.37587387

04-03-2010

72 ISTN RADIUS km 6368.6903571388 0.0000

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0044 0.0223 0.2 N40:36:42.19556

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0035 0.0194 -0.2 E029:57:03.36560

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0264 0.0224 1.2 6369.37588291

05-04-2010

Data yok

06-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0061 0.0208 0.3 N40:36:42.19562

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0027 0.0182 0.1 E029:57:03.36587

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0033 0.0217 0.2 6369.37585981

07-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0052 0.0207 0.3 N40:36:42.19559

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0020 0.0179 -0.1 E029:57:03.36567

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0002 0.0206 0.0 6369.37585673

08-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0043 0.0223 0.2 N40:36:42.19556

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0038 0.0194 -0.2 E029:57:03.36559

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0260 0.0225 1.2 6369.37588248

09-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0041 0.0223 0.2 N40:36:42.19555

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0010 0.0193 -0.1 E029:57:03.36571

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0126 0.0222 0.6 6369.37586904

10-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0019 0.0208 0.1 N40:36:42.19548

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0009 0.0181 -0.0 E029:57:03.36572

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0048 0.0211 -0.2 6369.37585168

11-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0013 0.0224 0.1 N40:36:42.19546

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0083 0.0194 -0.4 E029:57:03.36540

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0093 0.0227 0.4 6369.37586582

12-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0048 0.0223 0.2 N40:36:42.19557

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0008 0.0193 -0.0 E029:57:03.36572

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0110 0.0222 0.5 6369.37586749

13-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0058 0.0208 0.3 N40:36:42.19561

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0001 0.0180 0.0 E029:57:03.36575

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0054 0.0211 0.3 6369.37586186

14-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0037 0.0208 0.2 N40:36:42.19554

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0015 0.0180 -0.1 E029:57:03.36569

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0055 0.0209 0.3 6369.37586202

15-03-2010

Data yok

16-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0108 0.0229 0.5 N40:36:42.19577

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0096 0.0244 -0.4 E029:57:03.36534

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0137 0.0274 0.5 6369.37587017

17-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0099 0.0224 0.4 N40:36:42.19574

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0016 0.0196 -0.1 E029:57:03.36569

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0221 0.0226 1.0 6369.37587862

18-03-2010

61*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0041 0.0223 0.2 N40:36:42.19555

62*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0015 0.0193 -0.1 E029:57:03.36569

63*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0109 0.0222 0.5 6369.37586740

19-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0063 0.0223 0.3 N40:36:42.19562

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0003 0.0193 0.0 E029:57:03.36576

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0173 0.0222 0.8 6369.37587376

20-03-2010

Data yok

21-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0020 0.0223 0.1 N40:36:42.19548

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0014 0.0192 0.1 E029:57:03.36581

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0100 0.0222 0.4 6369.37586645

22-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0039 0.0223 0.2 N40:36:42.19554

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0051 0.0192 -0.3 E029:57:03.36553

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0181 0.0221 0.8 6369.37587458

23-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 -0.0025 0.0223 -0.1 N40:36:42.19534

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0075 0.0192 -0.4 E029:57:03.36543

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0119 0.0220 0.5 6369.37586833

24-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0026 0.0223 0.1 N40:36:42.19550

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0022 0.0192 -0.1 E029:57:03.36566

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0204 0.0222 0.9 6369.37587690

25-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0028 0.0223 0.1 N40:36:42.19551

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0035 0.0192 -0.2 E029:57:03.36560

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0186 0.0223 0.8 6369.37587505

26-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0053 0.0224 0.2 N40:36:42.19559

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0060 0.0193 -0.3 E029:57:03.36550

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0150 0.0223 0.7 6369.37587148

27-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0045 0.0224 0.2 N40:36:42.19557

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0017 0.0192 0.1 E029:57:03.36582

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0260 0.0223 1.2 6369.37588251

28-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0015 0.0224 0.1 N40:36:42.19547

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0032 0.0195 -0.2 E029:57:03.36562

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0154 0.0231 0.7 6369.37587184

29-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0043 0.0224 0.2 N40:36:42.19556

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0072 0.0193 -0.4 E029:57:03.36544

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0098 0.0224 0.4 6369.37586627

30-03-2010

67*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0072 0.0224 0.3 N40:36:42.19565

68*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0022 0.0194 -0.1 E029:57:03.36566

69*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0117 0.0228 0.5 6369.37586819

31-03-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0038 0.0224 0.2 N40:36:42.19554

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0086 0.0193 -0.4 E029:57:03.36538

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0166 0.0224 0.7 6369.37587308

01-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0059 0.0224 0.3 N40:36:42.19561

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0042 0.0196 -0.2 E029:57:03.36557

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0160 0.0232 0.7 6369.37587249

02-04-2010

67*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0088 0.0224 0.4 N40:36:42.19570

68*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0044 0.0193 -0.2 E029:57:03.36556

69*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0161 0.0225 0.7 6369.37587260

03-4-2010

67*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0099 0.0223 0.4 N40:36:42.19574

68*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0030 0.0192 -0.2 E029:57:03.36562

69*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0213 0.0222 1.0 6369.37587777

04-04-2010

67*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0079 0.0223 0.4 N40:36:42.19567

68*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0006 0.0192 -0.0 E029:57:03.36573

69*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0186 0.0221 0.8 6369.37587508

05-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0060 0.0224 0.3 N40:36:42.19561

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0079 0.0193 -0.4 E029:57:03.36541

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0136 0.0224 0.6 6369.37587006

06-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0076 0.0224 0.3 N40:36:42.19567

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0092 0.0196 -0.5 E029:57:03.36536

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0170 0.0231 0.7 6369.37587344

07-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0080 0.0224 0.4 N40:36:42.19568

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0044 0.0193 -0.2 E029:57:03.36557

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0104 0.0224 0.5 6369.37586687

08-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0069 0.0224 0.3 N40:36:42.19564

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0019 0.0193 -0.1 E029:57:03.36567

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0157 0.0224 0.7 6369.37587223

09-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0073 0.0224 0.3 N40:36:42.19565

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0099 0.0194 -0.5 E029:57:03.36533

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0121 0.0224 0.5 6369.37586855

10-04-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0078 0.0223 0.3 N40:36:42.19567

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0057 0.0192 -0.3 E029:57:03.36551

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0134 0.0221 0.6 6369.37586988

11-04-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0060 0.0223 0.3 N40:36:42.19561

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0037 0.0192 -0.2 E029:57:03.36560

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0048 0.0222 0.2 6369.37586130

12-04-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0064 0.0223 0.3 N40:36:42.19563

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0048 0.0192 -0.3 E029:57:03.36555

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0147 0.0221 0.7 6369.37587113

13-04-2010

Data yok

14-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0064 0.0223 0.3 N40:36:42.19562

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0042 0.0192 -0.2 E029:57:03.36557

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0157 0.0221 0.7 6369.37587222

15-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0084 0.0223 0.4 N40:36:42.19569

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0012 0.0192 -0.1 E029:57:03.36570

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0174 0.0221 0.8 6369.37587385

16-04-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0068 0.0223 0.3 N40:36:42.19564

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0017 0.0193 0.1 E029:57:03.36582

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0135 0.0222 0.6 6369.37586994

17-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0063 0.0223 0.3 N40:36:42.19562

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0006 0.0193 -0.0 E029:57:03.36573

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0084 0.0224 0.4 6369.37586489

18-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0109 0.0223 0.5 N40:36:42.19577

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0058 0.0193 0.3 E029:57:03.36600

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0206 0.0224 0.9 6369.37587704

19-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0057 0.0224 0.3 N40:36:42.19560

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0040 0.0193 -0.2 E029:57:03.36558

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0148 0.0225 0.7 6369.37587129

20-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0036 0.0224 0.2 N40:36:42.19553

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0028 0.0197 0.1 E029:57:03.36587

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0144 0.0235 0.6 6369.37587091

21-04-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0053 0.0224 0.2 N40:36:42.19559

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0001 0.0195 -0.0 E029:57:03.36575

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0161 0.0229 0.7 6369.37587258

22-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0037 0.0224 0.2 N40:36:42.19554

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0013 0.0193 0.1 E029:57:03.36581

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0076 0.0224 0.3 6369.37586403

23-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0058 0.0223 0.3 N40:36:42.19561

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0052 0.0192 0.3 E029:57:03.36597

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0119 0.0221 0.5 6369.37586835

24-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0044 0.0223 0.2 N40:36:42.19556

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0044 0.0192 0.2 E029:57:03.36594

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0046 0.0221 0.2 6369.37586106

25-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0103 0.0223 0.5 N40:36:42.19575

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0008 0.0193 -0.0 E029:57:03.36572

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0140 0.0224 0.6 6369.37587043

26-04-2010

Data yok

27-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0076 0.0223 0.3 N40:36:42.19567

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0029 0.0193 -0.2 E029:57:03.36563

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0104 0.0223 0.5 6369.37586690

28-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0036 0.0208 0.2 N40:36:42.19554

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0028 0.0180 0.2 E029:57:03.36587

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0132 0.0209 -0.6 6369.37584325

29-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0014 0.0208 0.1 N40:36:42.19546

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0005 0.0181 0.0 E029:57:03.36577

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0090 0.0213 -0.4 6369.37584753

30-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0066 0.0223 0.3 N40:36:42.19563

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0022 0.0193 0.1 E029:57:03.36584

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0094 0.0221 0.4 6369.37586590

01-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0060 0.0223 0.3 N40:36:42.19561

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0041 0.0193 0.2 E029:57:03.36593

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0189 0.0222 0.9 6369.37587539

02-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0043 0.0223 0.2 N40:36:42.19556

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0005 0.0192 -0.0 E029:57:03.36573

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0089 0.0221 0.4 6369.37586542

03-05-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0045 0.0223 0.2 N40:36:42.19556

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0024 0.0191 0.1 E029:57:03.36586

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0057 0.0217 0.3 6369.37586222

73*KABR GEOC LAT dms N41:09:22.83248 0.0025 0.0221 0.1 N41:09:22.83256

09-04-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0088 0.0224 0.4 N40:36:42.19570

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0012 0.0195 -0.1 E029:57:03.36570

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0050 0.0229 0.2 6369.37586147

10-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0055 0.0224 0.2 N40:36:42.19560

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0009 0.0193 0.0 E029:57:03.36579

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0129 0.0224 0.6 6369.37586937

11-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0069 0.0223 0.3 N40:36:42.19564

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0004 0.0193 -0.0 E029:57:03.36573

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0171 0.0222 0.8 6369.37587362

12-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0070 0.0223 0.3 N40:36:42.19565

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0040 0.0193 0.2 E029:57:03.36592

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0111 0.0221 0.5 6369.37586756

13-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0065 0.0223 0.3 N40:36:42.19563

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0006 0.0193 0.0 E029:57:03.36578

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0114 0.0224 0.5 6369.37586790

14-05-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0095 0.0224 0.4 N40:36:42.19573

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0013 0.0195 -0.1 E029:57:03.36570

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0187 0.0229 0.8 6369.37587520

15-05-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0110 0.0225 0.5 N40:36:42.19578

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0020 0.0197 0.1 E029:57:03.36584

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0282 0.0237 1.2 6369.37588469

16-05-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0056 0.0227 0.2 N40:36:42.19560

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0053 0.0201 -0.3 E029:57:03.36553

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0053 0.0240 0.2 6369.37586175

17-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0098 0.0224 0.4 N40:36:42.19574

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 -0.0041 0.0194 -0.2 E029:57:03.36558

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0110 0.0227 0.5 6369.37586744

18-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0058 0.0208 0.3 N40:36:42.19560

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0023 0.0181 0.1 E029:57:03.36585

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0138 0.0214 -0.6 6369.37584265

19-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0020 0.0224 0.1 N40:36:42.19548

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0014 0.0193 0.1 E029:57:03.36581

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0114 0.0225 -0.5 6369.37584505

20-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0075 0.0225 0.3 N40:36:42.19566

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0012 0.0195 0.1 E029:57:03.36580

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0023 0.0229 0.1 6369.37585878

21-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0072 0.0225 0.3 N40:36:42.19565

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0009 0.0196 0.0 E029:57:03.36579

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0063 0.0230 0.3 6369.37586275

22-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0046 0.0225 0.2 N40:36:42.19557

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0026 0.0196 0.1 E029:57:03.36586

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0032 0.0232 -0.1 6369.37585326

23-05-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0094 0.0226 0.4 N40:36:42.19572

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0028 0.0200 0.1 E029:57:03.36587

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0023 0.0244 -0.1 6369.37585419

24-05-2010

70*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0016 0.0226 0.1 N40:36:42.19547

71*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0006 0.0197 0.0 E029:57:03.36578

72*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0079 0.0233 0.3 6369.37586436

25-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0066 0.0225 0.3 N40:36:42.19563

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0007 0.0195 0.0 E029:57:03.36578

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0011 0.0229 0.0 6369.37585753

26-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0025 0.0225 0.1 N40:36:42.19550

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0026 0.0194 0.1 E029:57:03.36586

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0030 0.0229 -0.1 6369.37585345

27-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0104 0.0225 0.5 N40:36:42.19575

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0061 0.0194 0.3 E029:57:03.36601

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0157 0.0230 0.7 6369.37587217

28-05-2010

67*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0069 0.0225 0.3 N40:36:42.19564

68*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0043 0.0195 0.2 E029:57:03.36593

69*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0164 0.0230 0.7 6369.37587288

29-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0033 0.0225 0.1 N40:36:42.19553

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0026 0.0196 0.1 E029:57:03.36586

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0190 0.0233 0.8 6369.37587548

30-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0049 0.0225 0.2 N40:36:42.19558

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0003 0.0195 0.0 E029:57:03.36577

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0117 0.0230 0.5 6369.37586820

31-05-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0051 0.0225 0.2 N40:36:42.19558

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0042 0.0194 0.2 E029:57:03.36593

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0107 0.0228 0.5 6369.37586717

01-06-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0078 0.0226 0.3 N40:36:42.19567

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0005 0.0199 0.0 E029:57:03.36577

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0127 0.0241 0.5 6369.37586916

02-06-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0069 0.0225 0.3 N40:36:42.19564

74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0008 0.0197 0.0 E029:57:03.36578

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 -0.0001 0.0234 -0.0 6369.37585638

03-06-2010

73*IZMT GEOC LAT dms N40:36:42.19542 0.0081 0.0225 0.4 N40:36:42.19568

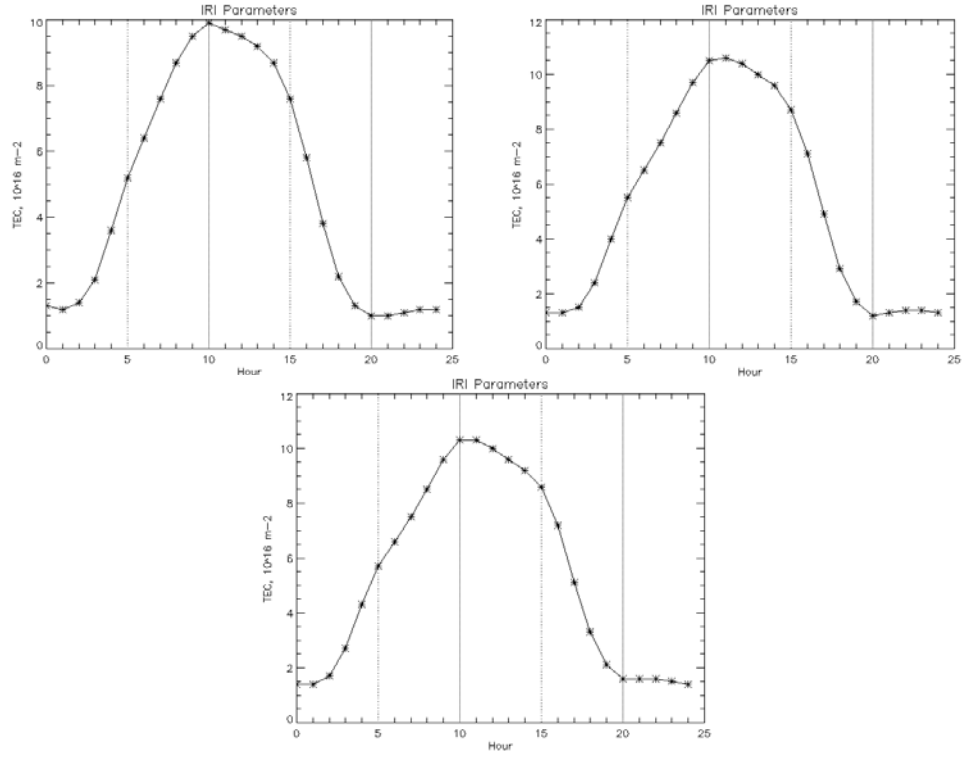
74*IZMT GEOC LONG dms E029:57:03.36575 0.0032 0.0196 0.2 E029:57:03.36589

75*IZMT RADIUS km 6369.3758564802 0.0038 0.0233 0.2 6369.37586029

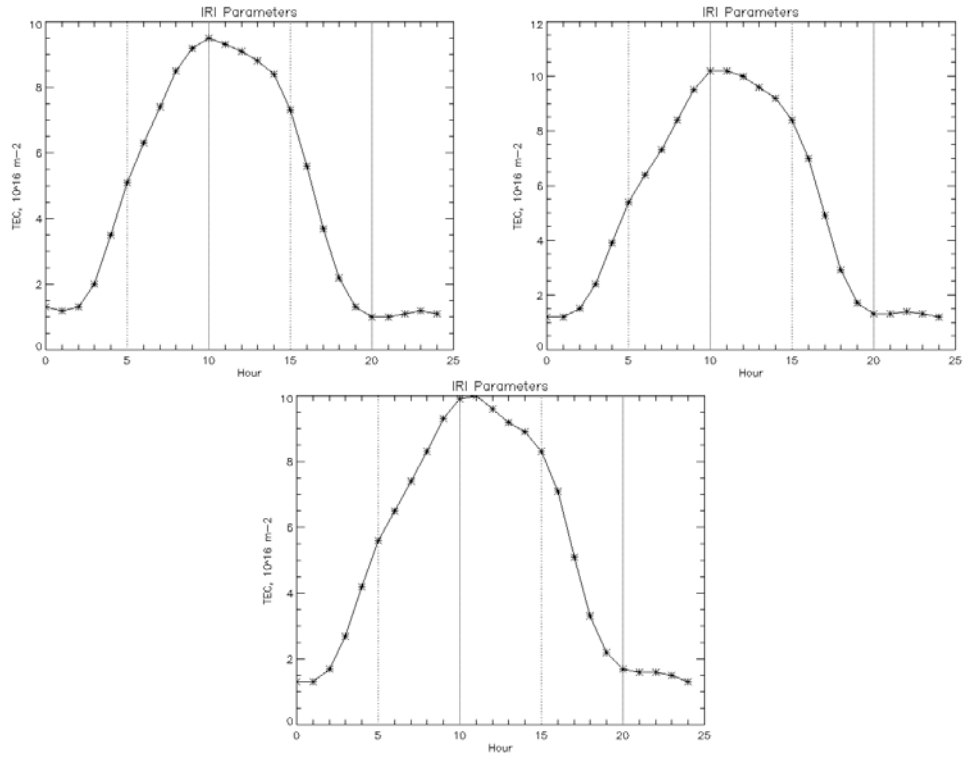
EK 5

**IRI PROGRAMI İLE TEC DEĞİŞİM HESABI (CORS-TR İSTASYONLARI
İÇİN BAZI ÖRNEKLER)**

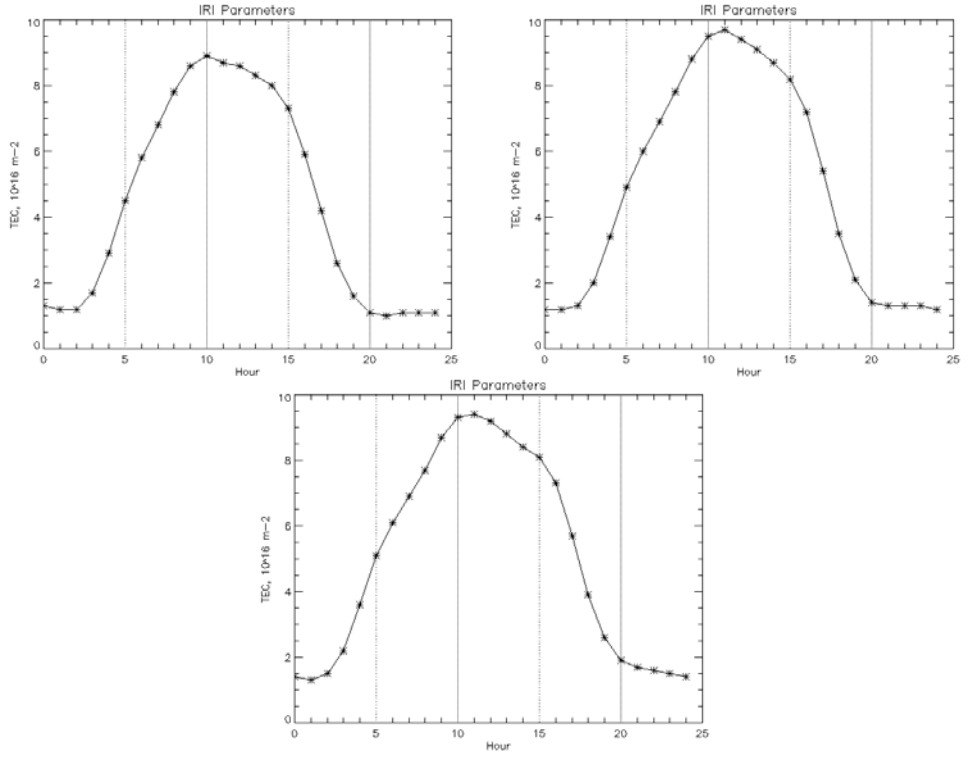
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ADAN İstasyonu TEC Değişimi



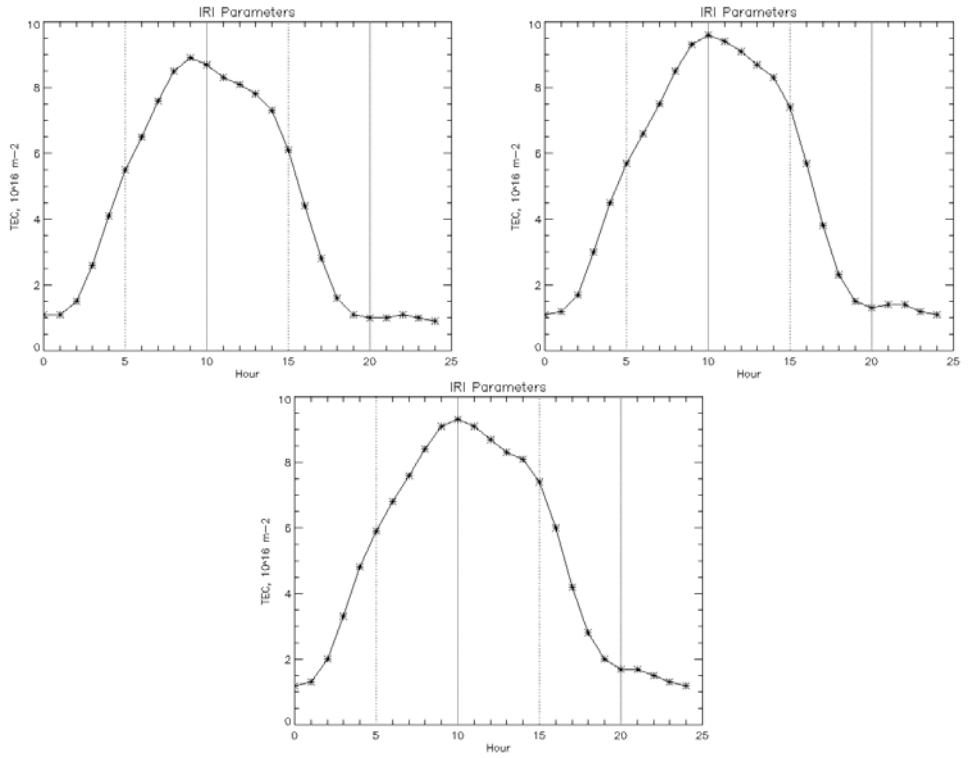
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ADIY İstasyonu TEC Değişimi



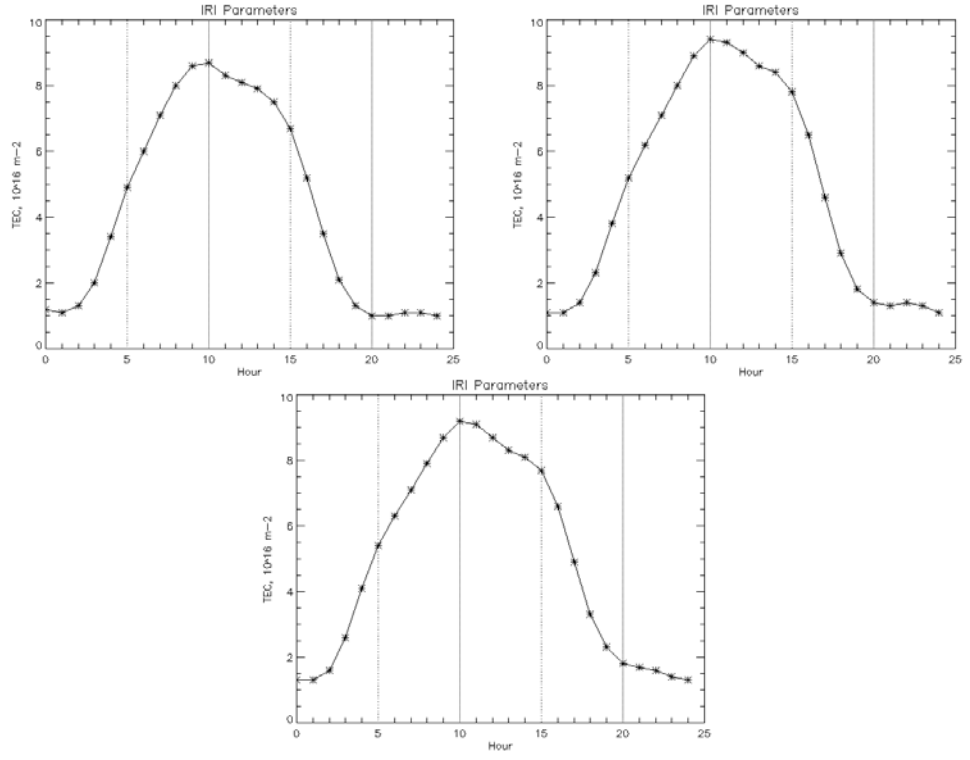
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AFYN İstasyonu TEC Değişimi



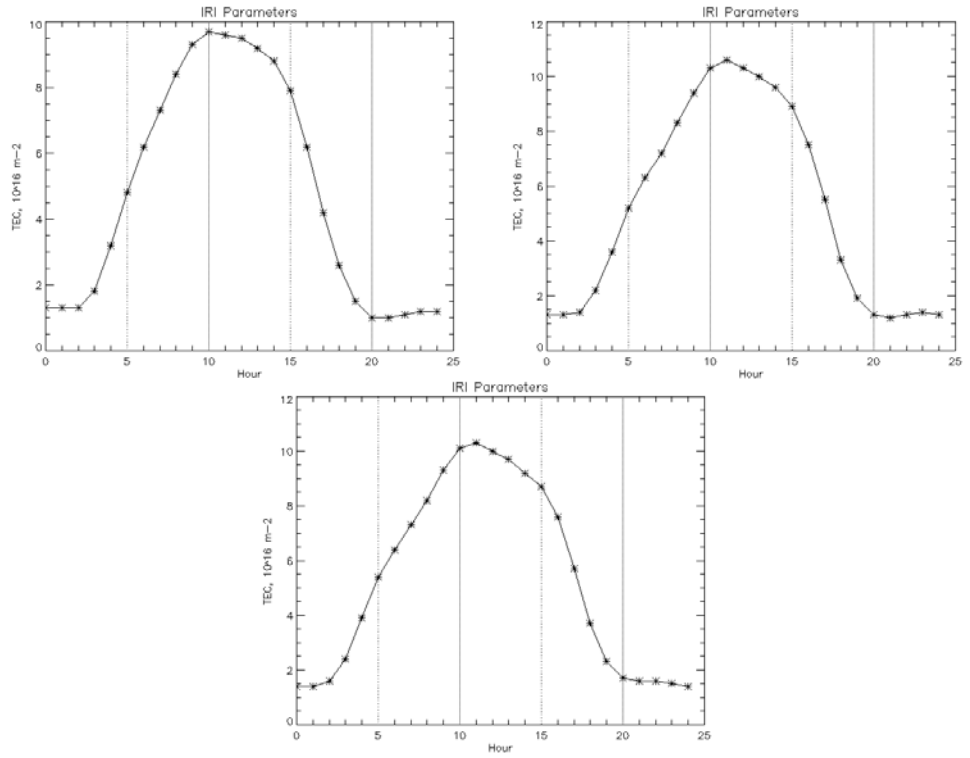
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AGRD İstasyonu TEC Değişimi



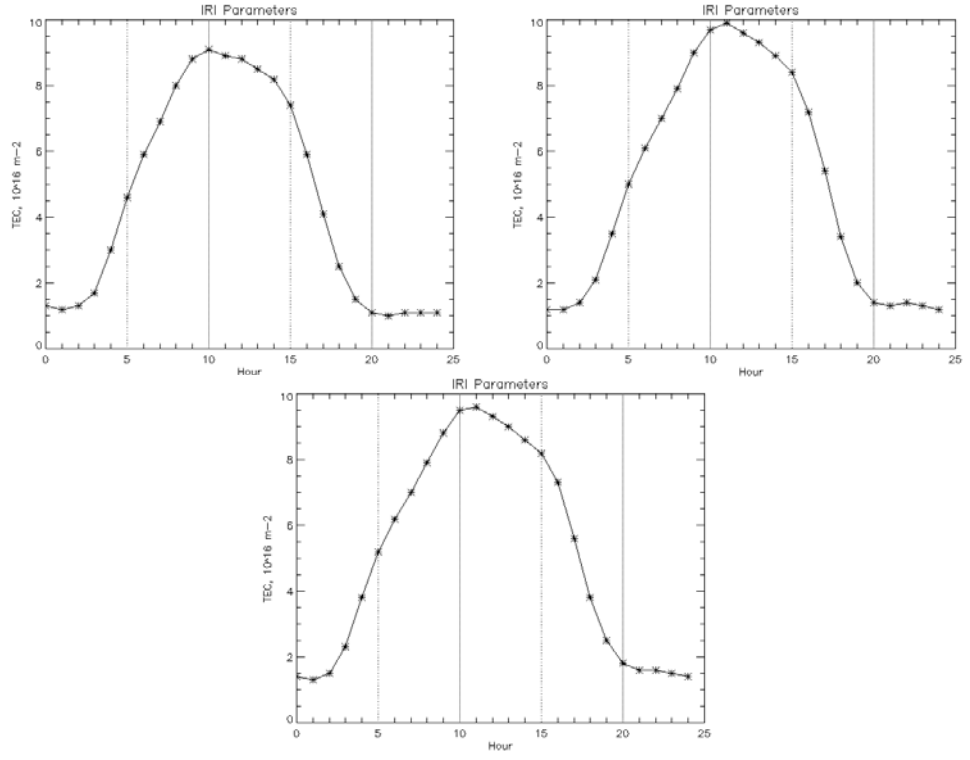
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AKDG İstasyonu TEC Değişimi



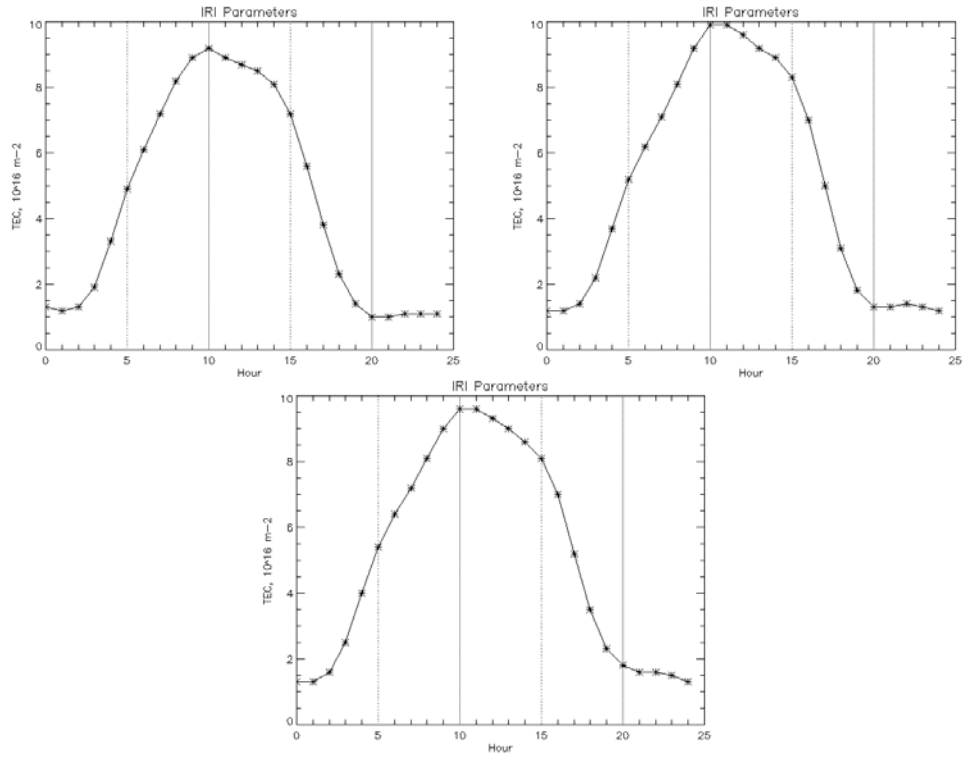
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AKSI İstasyonu TEC Değişimi



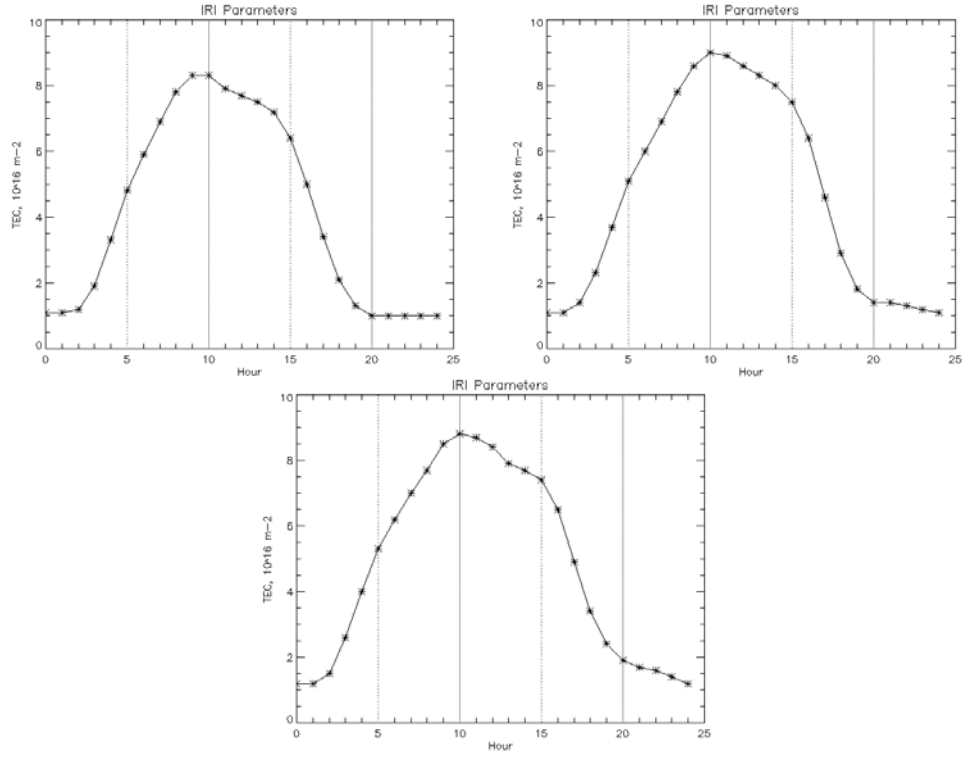
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AKHR İstasyonu TEC Değişimi



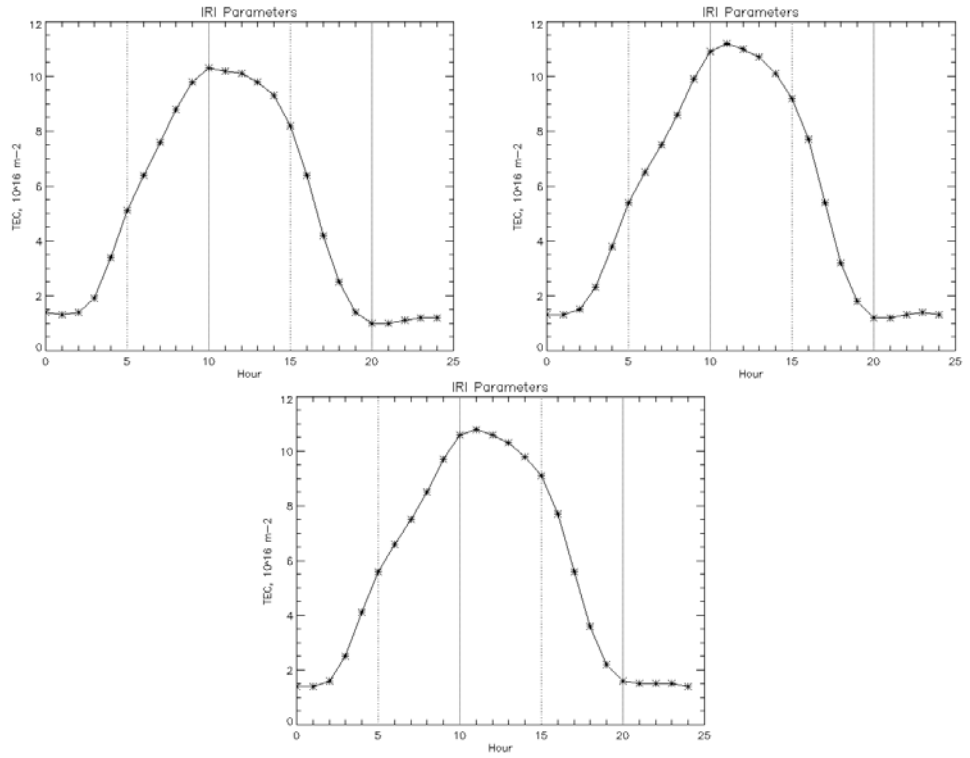
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AKSR İstasyonu TEC Değişimi



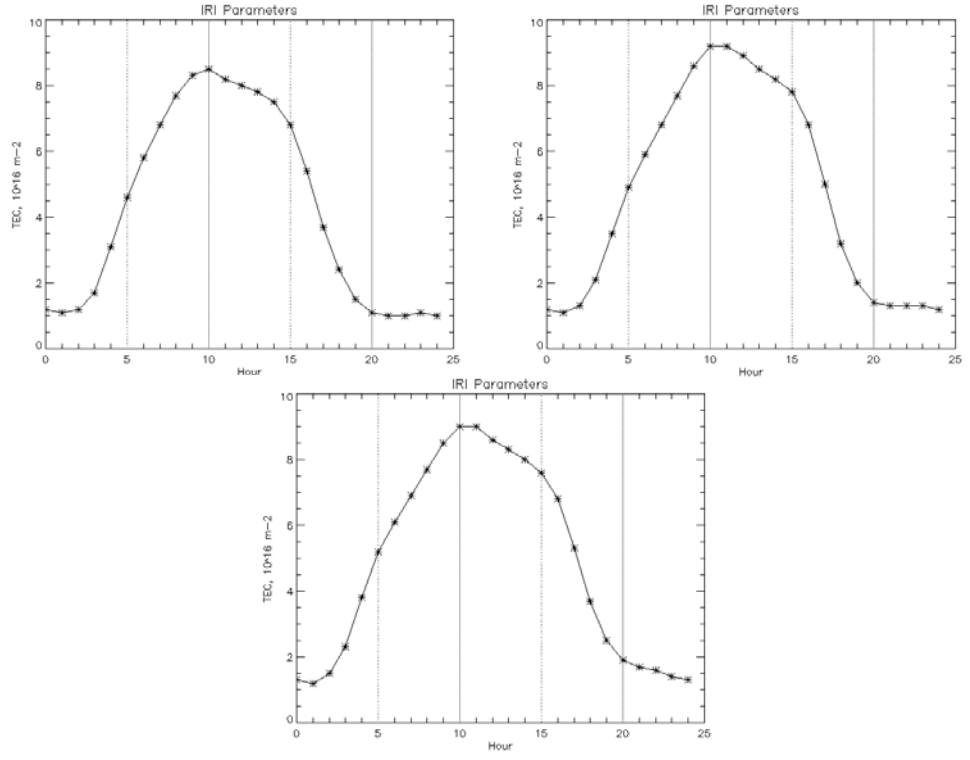
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AMAS İstasyonu TEC Değişimi



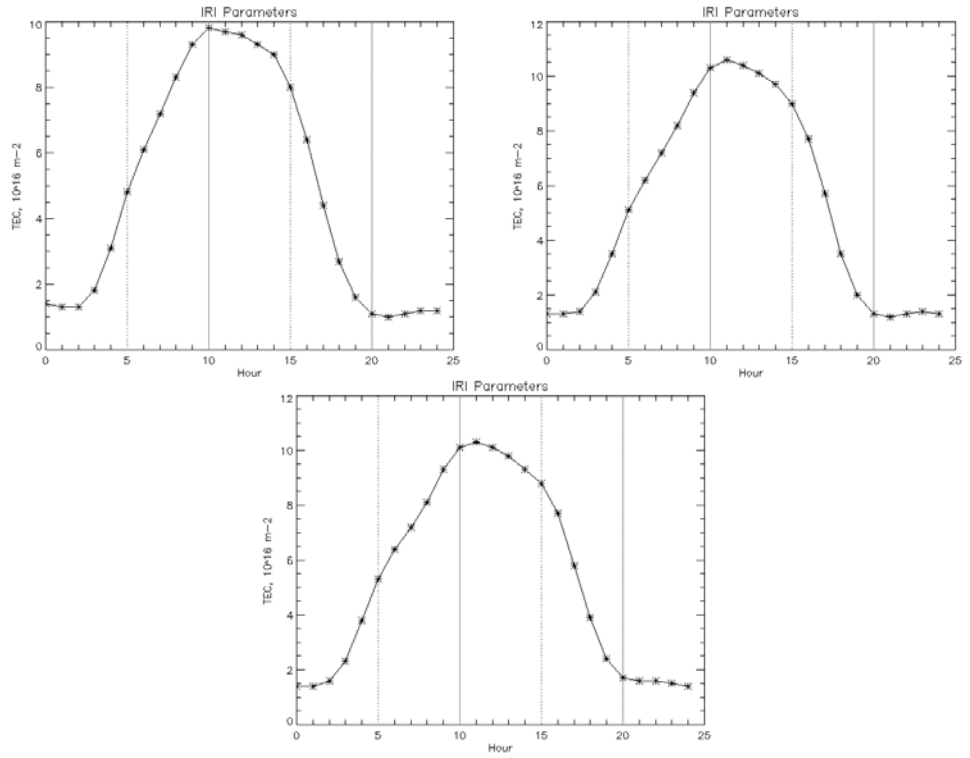
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ANMU İstasyonu TEC Değişimi



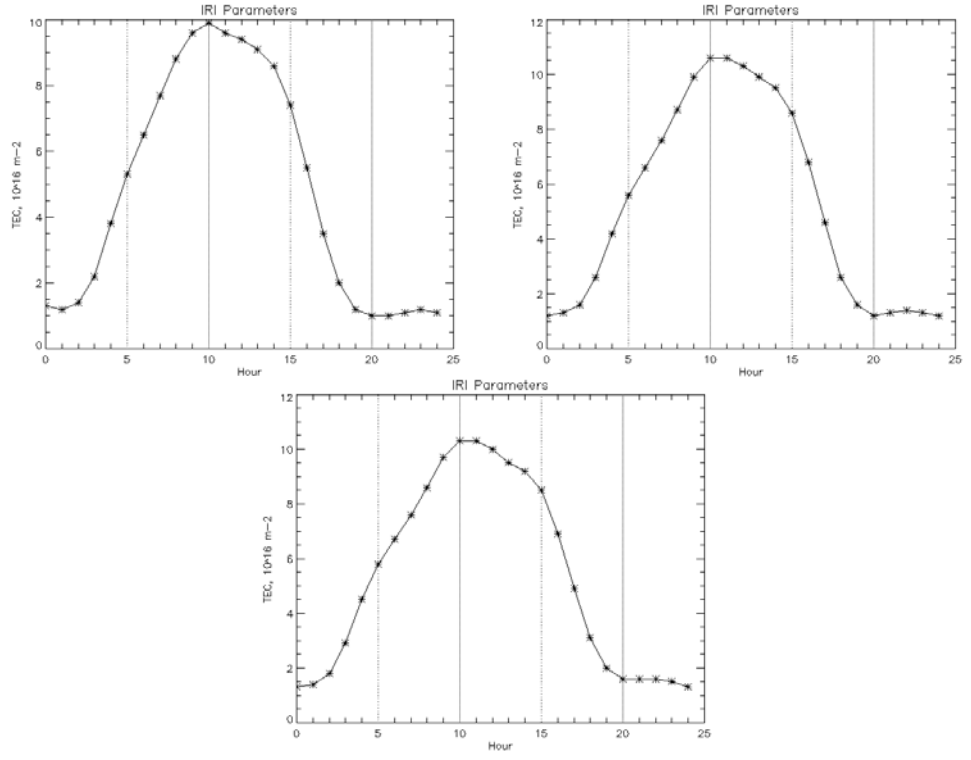
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ANRK İstasyonu TEC Değişimi



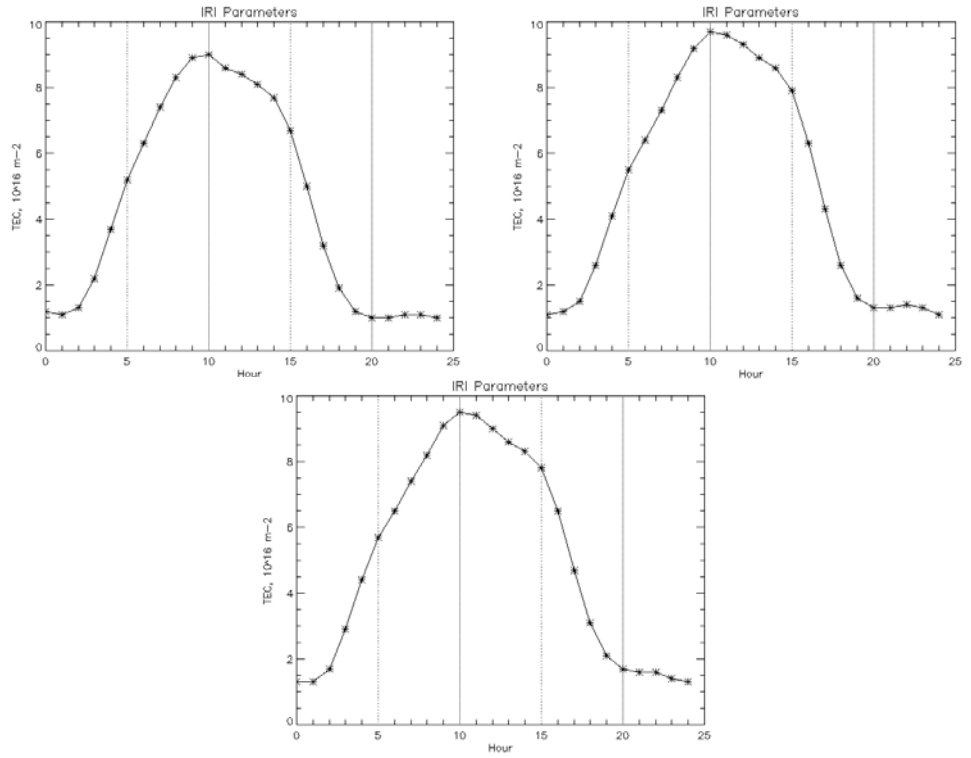
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ANTL İstasyonu TEC Değişimi



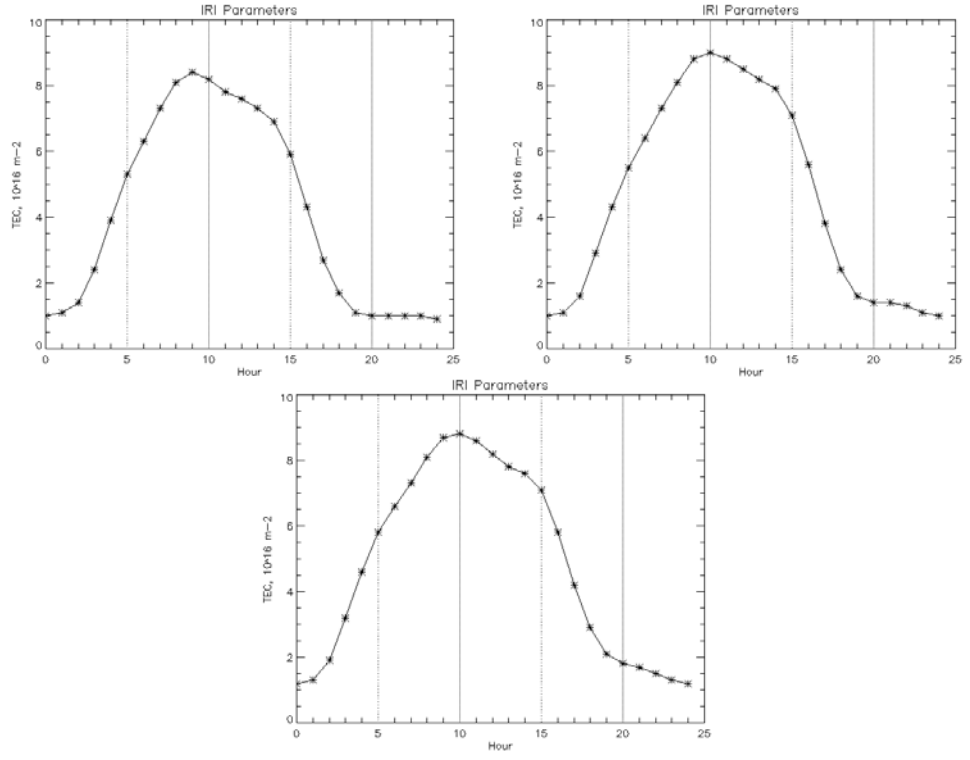
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ANTE İstasyonu TEC Değişimi



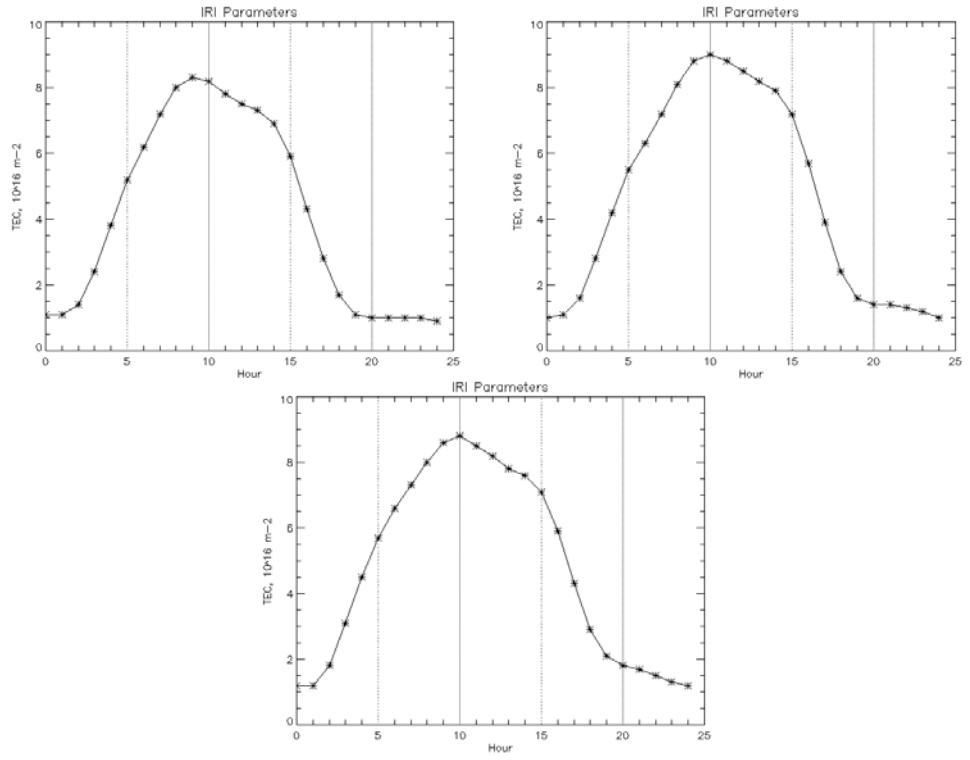
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ARPK İstasyonu TEC Değişimi



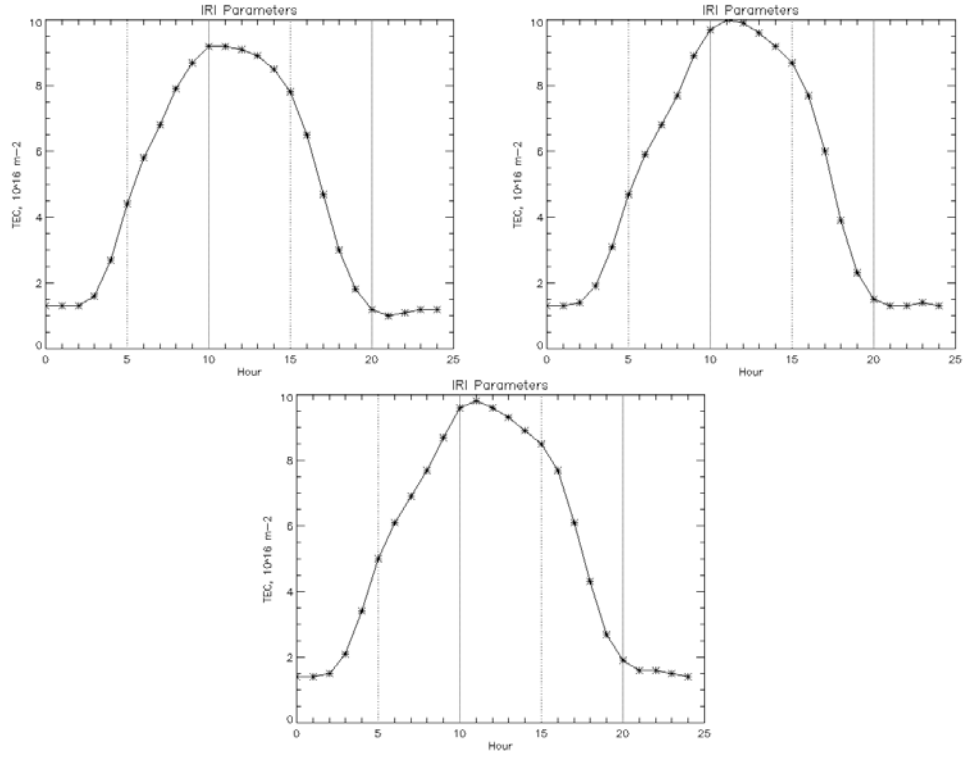
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ARDH İstasyonu TEC Değişimi



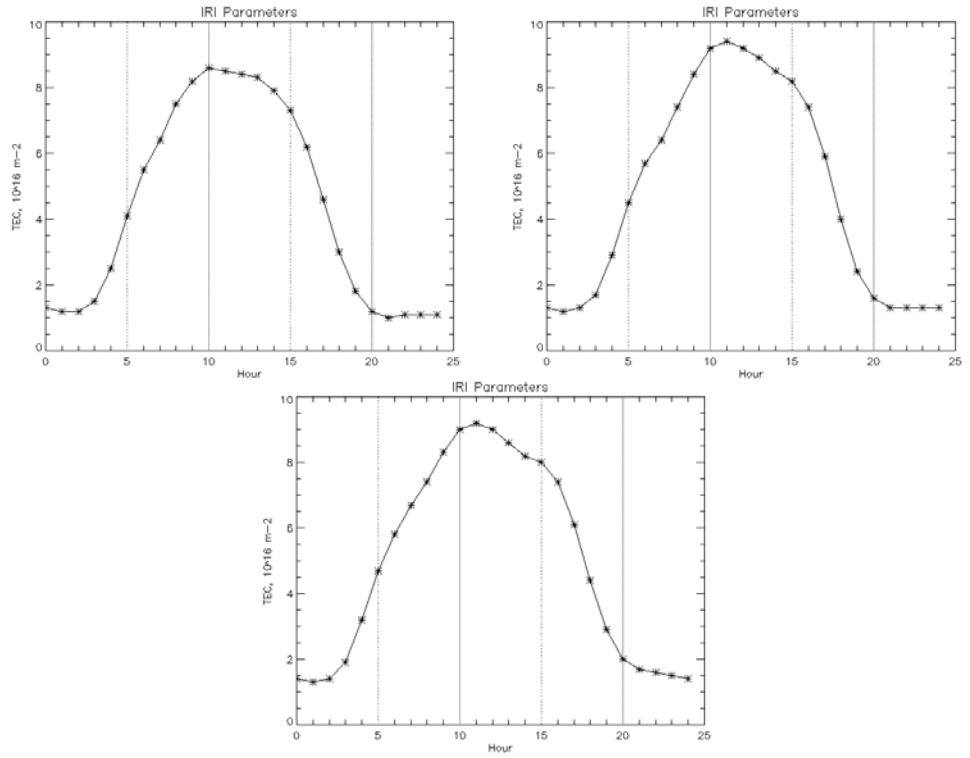
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 ARTV İstasyonu TEC Değişimi



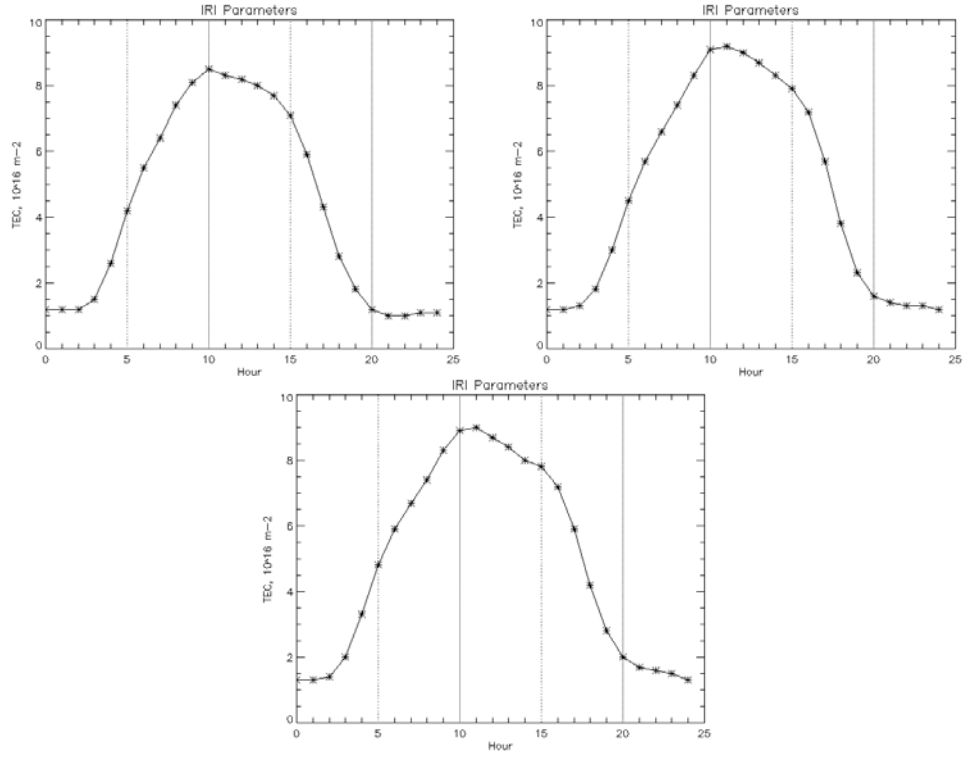
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AYD1 İstasyonu TEC Değişimi



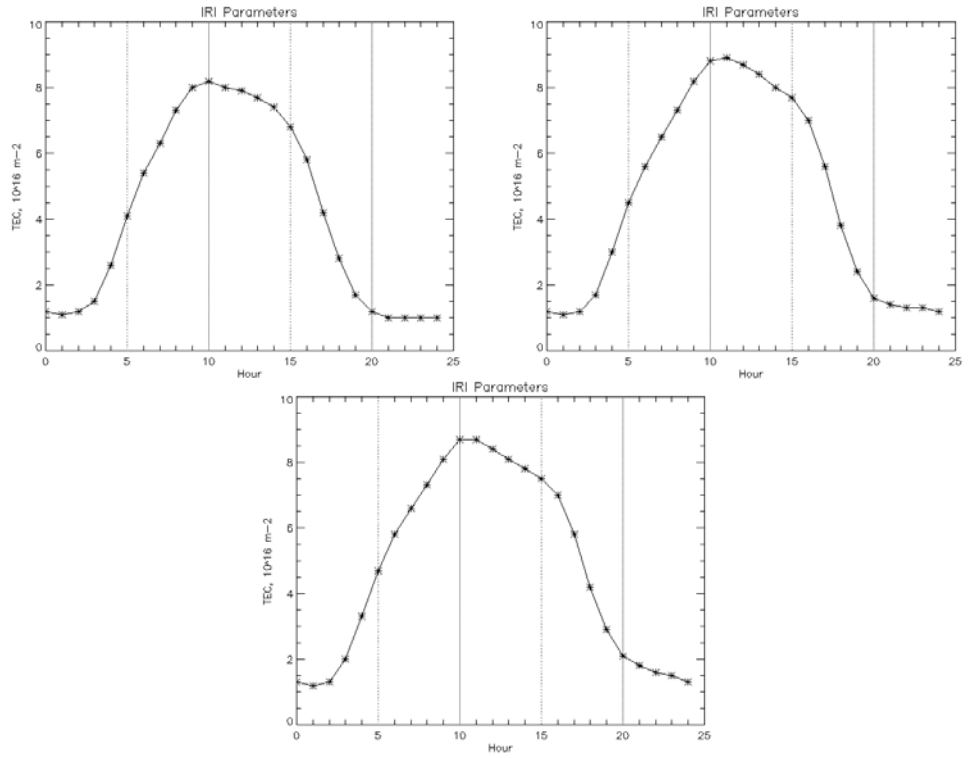
Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 AYVL İstasyonu TEC Değişimi



Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 BALK İstasyonu TEC Değişimi



Sırasıyla 5-15-23 Nisan 2010 BAND İstasyonu TEC Değişimi



ÖZGEÇMİŞ

Sawsan BAŞPINAR

Adres: İstanbul Kültür Üniversitesi Fizik Bölümü Ataköy Kampüsü

Telefon: 0212 498 49 81

E-Posta: s.baspinar@iku.edu.tr

D. Tarihi/Yeri: 10.05.1971/Kerkük

İş Deneyimleri

Sektör/Pozisyon/Bölüm: Eğitim/Öğretim Görevlisi/Fizik Bölümü

İşin Tanımı: Fizik Bölümünde Öğretim Görevlisi

Başlama/Bitiş Tarihi: 15.05.1997/-

Eğitim Bilgileri

Lise: Kerkük Cumhuriyet Lisesi

Lisans: Newcastle Üniversitesi Fizik Mühendisliği/1993

Yüksek Lisans: İstanbul Üniversitesi Fizik Bölümü/1998

Akademik Çalışmalar

2006-2009 CORS-TR Projesi (Araştırmacı)

Yayınlar

-Optical And Electrochromic Properties Of Sol-Gel Deposited Electrochromic Ti-Doped Vanadium Oxide Films, Proc. 5th International Symposium on Advanced Materials (1997), pp.328-333

-Preparation And Characterization Of Sol-Gel Deposited Electrochromic Ti-Doped Vanadium Pentoxide Films, Thin Solid Films (1998)

-Electrochromic Properties Of Sol-Gel Deposited Ti-Doped Vanadium Oxide Film, Thin Solid Films 338 (1999) 201-206