

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Manyetik Fırtına Kaynaklı İyonosferik Değişimlerin GNSS Ölçümleri Kullanılarak İrdelenmesi

Samed İNYURT<sup>1\*</sup>, Erman ŞENTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli  
(ORCID: 0000-0001-9339-7569)(ORCID: 0000-0002-0833-7113)

---

### Öz

08.09.2017 tarihinde gerçekleşen manyetik fırtınanın iyonosfer tabakasında sebep olduğu değişim, GNSS ölçümleri kullanılarak elde edilen TEC değerleri üzerinden analiz edilmiştir. Kuzey ve güney yarımkürede, iyonosferin farklı bölgelerinde bulunan GNSS istasyonlarına ait RINEX gözlemlerinden TEC değerleri elde edilmiştir. Manyetik fırtına kaynaklı TEC değişiminin ortaya çıkarılabilmesi için manyetik fırtına öncesi 10 gün, manyetik fırtına günü ve sonrası 1 gün olmak üzere her istasyona ilişkin toplam 12 günlük veri değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda manyetik fırtınanın olduğu gün, öncesi ve sonrasında pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda Türkiye’de bulunan GNSS istasyonları kullanılarak manyetik fırtına kaynaklı iyonosfer değişimlerinin tespit edilebileceği gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İyonosfer, GNSS, TEC.

---

## Investigation of Ionospheric Changes Caused by Magnetic Storm Using GNSS Measurements

### Abstract

Magnetic storm which occurred on 08.09.2017 was analyzed on the basis of the TEC values obtained by GNSS measurements. TEC values were obtained from the RINEX observations of GNSS stations in different regions of the ionosphere in the north and south poles. In order to reveal the magnetic storm-induced TEC change, a total of 12-day data for each station, 10 days before the magnetic storm, the magnetic storm day and after the day of magnetic storm were evaluated. As a result of the analysis, positive and negative anomalies were obtained before and after the magnetic storm. As a result of this study, it is shown that ionospheric variations caused by magnetic storm can be determined using GNSS observations.

**Keywords:** Ionosphere, GNSS, TEC.

---

### 1. Giriş

İyonosfer, yüksekliği 60 km-1000 km arasında değişim gösteren ve içerisinde çok sayıda serbest halde elektron bulunduran tabakaya verilen isim olarak ifade edilebilir. Bu tabaka kendi içerisinde farklı katmanlara ayrılmaktadır. Genel olarak D, E ve F ( $F_1$ ,  $F_2$ ) olarak isimlendirilen bu katmanların her biri gün içerisinde farklı davranış sergilemektedir. Bu katmanların içerisinde GNSS ölçümlerini en fazla etkileyen katman  $F_2$  katmanıdır, dolayısıyla GNSS ölçümlerine ilişkin iyonosfer modellemesi yapılırken bu tabaka dikkate alınır [1].

İyonosfer tabakası coğrafi konum, gece-gündüz, mevsim, solar aktivite, manyetik fırtına, deprem gibi etmenlere bağlı olarak değişim göstermekte, bu sebeple iyonosfer modellemesi yapılırken bu etkilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu etkilerden biri olan manyetik fırtınalar haberleşme ve navigasyon sistemlerini etkilemektedir. Manyetik fırtınanın oluş biçimi ve iyonosfer

---

\*Sorumlu yazar: [samed\\_inyurt@hotmail.com](mailto:samed_inyurt@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 23.04.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

tabakası üzerinde yarattığı düzensizliklerin net olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu zamana kadar yapılan teorik ve deneysel çalışmalar sayesinde manyetik fırtına kaynaklı iyonosferik bozulmaların anlaşılabilirliği adına önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde manyetik fırtına kaynaklı elektron değişiminin pozitif ve negatif anomali olarak kendini gösterdiği anlaşılmıştır [2]. Gün boyunca iyon kaybını azaltan ve iyon üretimini artıran termosferik rüzgarlar, elektriksel alan veya termosferik rüzgar kaynaklı plazma yükselmesi, nötr gazların aşağı doğru hareket etmesi (bu olay yeniden birleşmeyi zorlaştırır) vb. etmenlerden dolayı pozitif anomalilerin meydana geldiği düşünülmektedir. Negatif anomali ise  $N_2/O$  oranının artması ile meydana gelen plazma yoğunluğunun düşmesi ve bunun sonucunda artan iyon kaybı olarak adlandırılabilir. Manyetik fırtına boyunca, iyonosfer parametrelerinde önemli değişimler gözlenmektedir. Bu parametrelerden biri olan Toplam Elektron Miktarı (TEC), iyonosferdeki değişimin sürekli olarak izlenebilmesine olanak sağlamaktadır [3-5].

Manyetik fırtınalar genel olarak manyetik alanın değişmesi sonucu oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle dünyanın manyetik alanında meydana gelen geçici bozulma olarak adlandırılabilir. Güneş rüzgârlarının neden olduğu basıncın manyetosferi sıkıştırması sonucu içerisinde barındırdığı enerji artar ve bu sebeple manyetofere doğru artan plazmanın hareketi iyonosferdeki elektrik akımının artmasına neden olur. Manyetik fırtınalar esnasında iyonosferde var olan elektron miktarında birtakım değişimler meydana gelir ve bu değişimler GNSS sinyallerini olumsuz yönde etkiler. Manyetik fırtınanın şiddeti ve iyonosfer tabakasında yarattığı değişimler Disturbance Storm Time (Dst) ve The Estimated Planetary Index ( $K_p$ ) indisleri ile izlenmektedir.  $K_p$  gezegenin manyetik etkilerini belirleyen ve güneş ışınından kaynaklanan jeomanyetik alandaki düzensiz bozulmaların incelenmesinde kullanılan bir parametredir.  $K_p$  indisi  $0 \leq K_p \leq 9$  arasında değer almaktadır. Çalışmada  $K_p$  indisinin gösteriminin daha iyi yapılabilmesi için her bir değer on ile çarpılmış ve ( $K_p * 10$ ) şeklinde gösterilmiştir. Dst indisi ise jeomanyetik fırtınanın derecesi hakkında bilgi veren parametredir [6]. Dst indisi düşük enlem ölçüm istasyonlarında jeomanyetik alanın H bileşeni kullanılarak türetilmektedir. Birimi nanotesla (nT) olan bu indis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordaki azalmasını ifade etmektedir. Bu indis bir saat aralıklarla elde edilmektedir [7, 8].

**Tablo 1.** G Ölçeğine Göre İndislerin Gösterimi [16].

Ölçek	( $K_p * 10$ )	Dst
G5 En Büyük	$90 \geq K_p$	$Dst < -300$
G4 Şiddetli	$80 > K_p \geq 89$	$-100 \geq Dst > -250$
G3 Güçlü	$70 > K_p \geq 79$	$-50 \geq Dst > -100$
G2 Orta	$60 > K_p \geq 69$	$-20 \geq Dst > -50$
G1 Küçük	$\leq 50$	$Dst > -20$

Uydu bazlı iletişim çağının başlamasından bu yana iyonosfer tabakası günlük hayatımızda önemli bir yere sahiptir. İyonosfer tabakasının sahip olduğu sinyal yansıtma özelliği radyo iletişiminin temelini oluşturmaktadır. Bu sebeple iyonosferin günlük ve mevsimsel değişimi çok sayıda bilim insanı tarafından incelenmektedir. Diğer yandan uydu bazlı konumlama sistemlerinin günlük hayatta yaygın olarak kullanılması ve artan yüksek doğruluk gereksinimi iyonosfer tabakasının hassas şekilde modellenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. [9], yapmış olduğu çalışmada manyetik fırtınanın gerçekleştiği anda tam sayı faz belirsizliği çözümünün gerçekleşmediği sonucuna ulaşmıştır. [18] yapmış olduğu çalışmada 07-08.09.2017 tarihinde meydana gelen manyetik fırtına ROTI indeksi ile irdelenmiş, çalışma sonucunda güney yarımkürede meydana gelen TEC değişimlerinin kuzey yarımkürede meydana gelen TEC değişimlerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. [19] yapmış olduğu çalışmada farklı modellerden elde edilen TEC değerlerinin manyetik fırtına kaynaklı değişimi irdelenmiş ve GPS kullanılarak elde edilen TEC değerlerinin manyetik fırtına süresince önemli değişimler gösterdiği kaydedilmiştir.

Bu çalışmada 08.09.2017 yılında meydana gelen manyetik fırtınanın, iyonosferin farklı bölgelerinde göstermiş olduğu etki GNSS ölçüleri kullanılarak elde edilen TEC değerleri üzerinden yapılan istatistiksel test ile ele alınmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

GNSS iyonosfer çalışmaları için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak GNSS sistemlerinin konum doğruluğunun artırılması için iyonosferik düzeltmelerin yapılması gerekmektedir [22-26]. GPS sinyaline ilişkin iyonosferik gecikme frekans ( $f$ ) ve uydu-alıcı arasındaki Eğik Toplam Elektron Miktarı'na (STEC) bağlıdır. Bu ifadeye ilişkin denklem aşağıda gösterilmiştir.

$$I = \alpha \frac{STEC}{f^2} \quad (1)$$

Burada  $I$  iyonosferik gecikme,  $\alpha = 40.3 \text{ m}^3/\text{sn}^2$ , STEC eğik toplam elektron miktarı olarak ifade edilmektedir. Çift frekanslı alıcı kullanılarak iyonosferik gecikme ortaya çıkarılabilir [10-14]. Aynı zamana ait gözlemlerin birbirinden çıkarılmasıyla frekanstan bağımsız saat hatası, troposferik hata gibi hatalar elimine edilir, fakat iyonosferik ve diğer frekans bağımlı hatalar kalır.

$$L_{1,yay} = L_1 - L_2 = I_1 - I_2 + c(\tau_{R1} - \tau_{R2}) + c(\tau_{S1} - \tau_{S2}) + \frac{c}{f_1} N_{1,yay} - \frac{c}{f_2} N_{2,yay} + \varepsilon \quad (2)$$

$L_{1,yay}$  sürekli olan taşıyıcı faz gözlemlerini,  $L_1, L_2$  mesafe biriminde taşıyıcı faz gözlemlerini,  $c$  boşluktaki ışık hızını,  $I_1$  and  $I_2$  mesafe biriminde iyonosferik gecikmeyi,  $\tau_R, \tau_S$  sırasıyla alıcı ve uyduya ilişkin donanımsal gecikmeyi,  $N_1, N_2$  tamsayı faz belirsizliğini;  $\varepsilon$  artık hatayı temsil etmektedir. (1) ve (2) denklemleri kullanılarak (3) denklemi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$L_{1,yay} = STEC + B_R + B_S + C_{arc} + \varepsilon_L \quad (3)$$

Burada  $B_R = \frac{c}{\beta} (\tau_{R1} - \tau_{R2})$  and  $B_S = \frac{c}{\beta} (\tau_{S1} - \tau_{S2})$  taşıyıcı faz gözlemleri için sırasıyla alıcı ve uydulara ilişkin donanımsal gecikmeyi,  $\beta = \alpha \left( \frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) \sim 0.1 \text{ m/TECU}$  metre biriminden, TECU birimine dönüştürmede kullanılan sabiti,  $C_{yay} = \frac{c}{\beta f_1} N_{1,yay} - \frac{c}{\beta f_2} N_{2,yay}$  iyonosferik gözlemlerdeki tamsayı faz belirsizliğini,  $\varepsilon_L = \frac{\varepsilon}{\beta}$  gürültü ve multipath hatasını ifade etmektedir. Bu denklem kod ölçüleri için yazılacak olursa;

$$P_1 = STEC + b_R + b_S + \varepsilon_P \quad (4)$$

Burada  $P_1$  kod gözlemlerini,  $b_R, b_S$  ise sırasıyla uydu ve alıcıya ait donanımsal kod gecikmesini,  $\varepsilon_P$  ise gürültü ve çoklu-yol (multipath) hatalarını temsil etmektedir. Kod gözlemlerinde  $b_R, b_S$  gecikmeleri faz gözlemlerinden farklıdır. Diğer yandan  $\varepsilon_P$  değeri faz gözlemlerindeki  $\varepsilon_L$  değerine göre kıyaslandığında 100 kat daha fazladır.

Faz ve kod gözlemlerinden elde edilen iyonosferik her bir gözlemlerin farkı faz gözlemlerindeki donanımsal gecikmenin sabit olarak düşünülerek alındığında aşağıdaki denklem elde edilir.

$$(L_1 - P_1)_{yay} = C_{yay} + B_R - b_R + B_S - b_S - \varepsilon_{P,yay} \quad (5)$$

(5) denklemi yukarıda bahsedildiği üzere faz gözlemlerine ait gürültü ve çoklu yol hataları ihmal edilerek elde edilmiştir. Bu ihmalin sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Çünkü kod gözlemlerindeki gürültü ve çoklu yol etkisi faz gözlemlerine göre 100 kat daha fazladır. (5) denkleminde (3) denklemi çıkarıldığında tamsayı faz belirsizliği faz gözlemlerinden giderilir ve aşağıdaki denklem ortaya çıkar.

$$\overline{L_{1,yay}} = L_{1,yay} - (L_{1,yay} - P_1)_{yay} = STEC + b_R + b_S + \varepsilon_{P_{yay}} + \varepsilon_L \quad (6)$$

$\overline{L_{1,yay}}$  burada yumuşatılmış kod gözlemini ifade etmektedir. Yumuşatılmış kod gözlemi elde edildikten sonra [15] yönteminde belirtildiği üzere her bir epok için STEC değeri elde edilir. STEC değeri elde edildikten sonra;

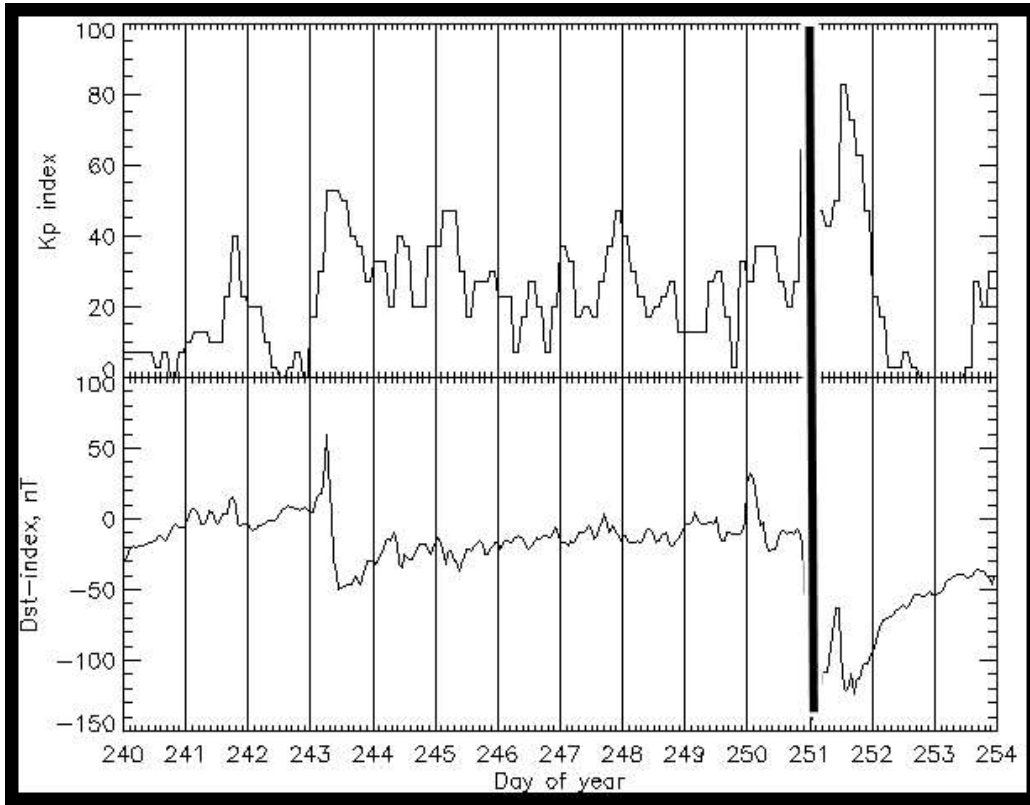
$$MF(z) = \cos\left(\arcsin\left(\frac{R}{R+H}\sin(\alpha z)\right)\right) \quad (7)$$

$$VTEC = MF(z) * STEC \quad (8)$$

(8) denklemleri kullanılarak Düşey Toplam Elektron Miktarı (VTEC) elde edilir. Bu çalışmada VTEC gözlemleri, alıcılara ait RINEX gözlemlerinden 30 saniye zamansal çözünürlükle elde edilmiştir.

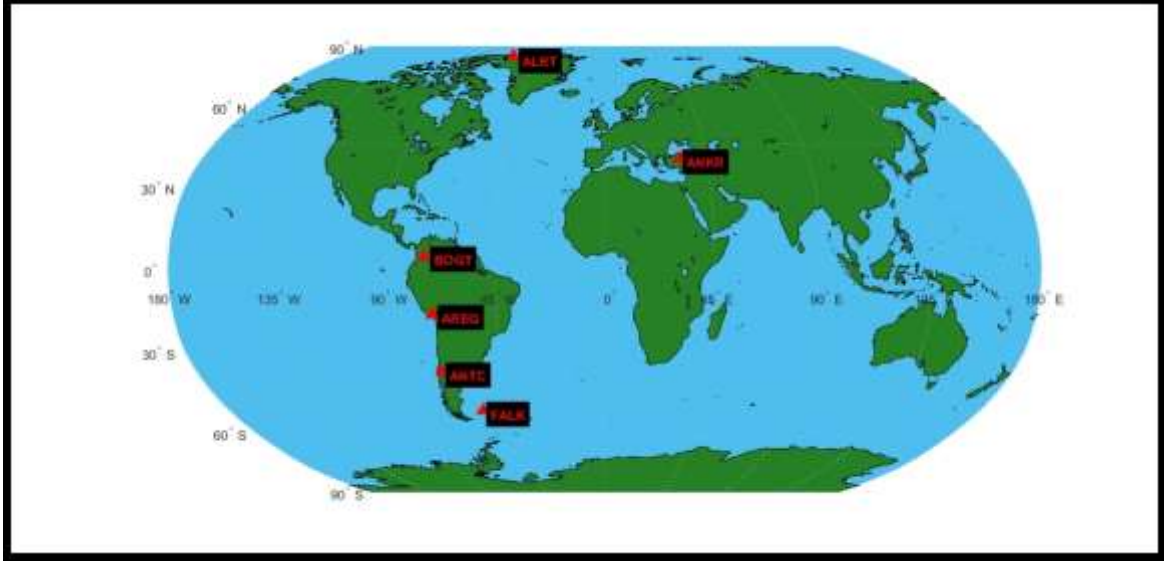
### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada 08.09.2017 tarihinde meydana gelen manyetik fırtınaya (Kp: 8, Dst:-142 nT) ilişkin bilgiler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Analizi yapılan günlere ilişkin Kp, Dst indislerinin gösterimi [16]

İyonosferik değişimler güney kutbunda bulunan ANTC, AREQ, FALK ve kuzey yarımkürede bulunan ALRT, ANKR ve BOGT istasyonları üzerinden irdelenmiştir. İstasyonlara ilişkin genel bilgiler Tablo 2'de verilmiş ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Analizi yapılan istasyonların genel gösterimi

Söz konusu istasyonlar iyonosferin düşük, orta ve yüksek enlem bölgelerinde yer alacak şekilde belirlenmiş olup, bu sayede iyonosferin farklı bölgelerinde söz konusu manyetik fırtınanın meydana getirdiği değişimlerin izlenebilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 2. Analiz edilen istasyonlara ilişkin genel bilgiler

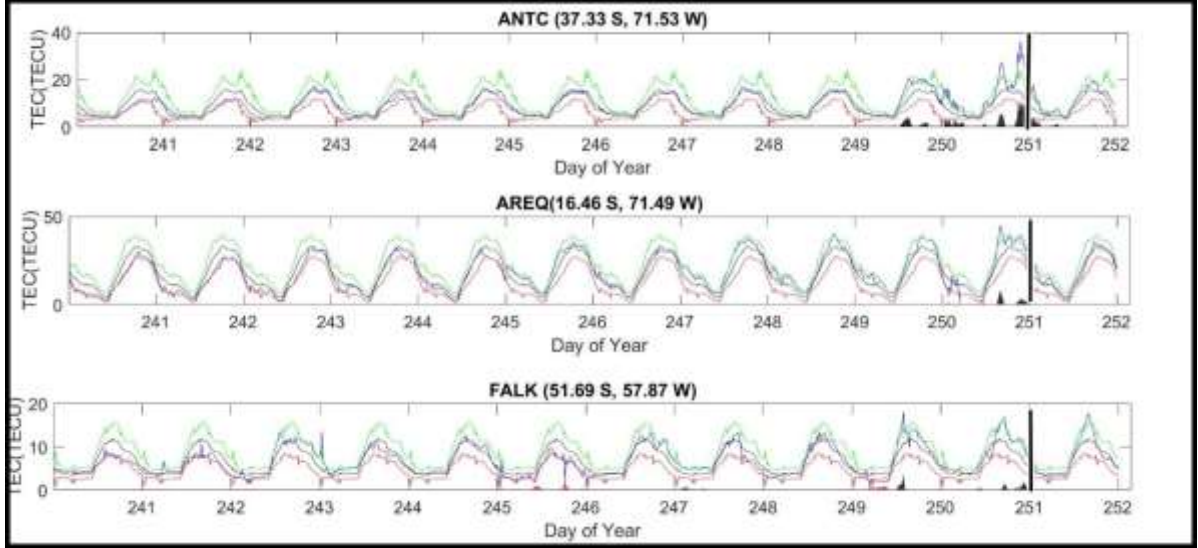
İstasyonlar	Enlem	Boylam
ANTC	37.33 S	71.53 W
AREQ	16.46 S	71.49 W
FALK	51.69 S	57.87 W
ALRT	82.49 N	62.34 W
ANKR	39.88 N	32.75 E
BOGT	4.64 N	74.08 W

Analizi yapılan istasyonlara ait RINEX gözlemleri ve navigasyon dosyaları [17] adresinden indirilmiştir. İlgili istasyonların analizi [10] yönteminde belirtildiği şekilde yapılmıştır. VTEC değerleri manyetik fırtına öncesi on gün, manyetik fırtına günü ve sonrası 1 gün olmak üzere her istasyona ait toplam 12 günlük veri değerlendirilmiştir. TEC değerleri elde edildikten sonra, her epok için alt sınır (LB) ve üst sınır (UB) TEC değerleri aşağıdaki denklemler aracılığıyla elde edilmiştir.

$$UB = M + 1.34\sigma \quad (9)$$

$$LB = M - 1.34\sigma \quad (10)$$

(9) ve (10) denklemlerinde yer alan UB, LB, M,  $\sigma$  sembolleri sırasıyla TEC değerlerinin üst sınır, alt sınır, ortalama ve standart sapmasını temsil etmektedir. GPS-TEC değerlerinin ortalama değeri (m) ve standart sapması ( $\sigma$ ) olan normal dağılımda oldukları varsayımı ile M, LB ve UB değerleri m ve  $1.34\sigma$  güvenle elde edilmiştir [20]. Her epok için bu değerler elde edildikten sonra, ilgili günde eğer gözlemlenen TEC değerleri 1/3 ve daha fazla sayıda üst sınırın üstüne veya alt sınırın altına iniyorsa o gün anomalili gün olarak ifade edilmektedir [21].



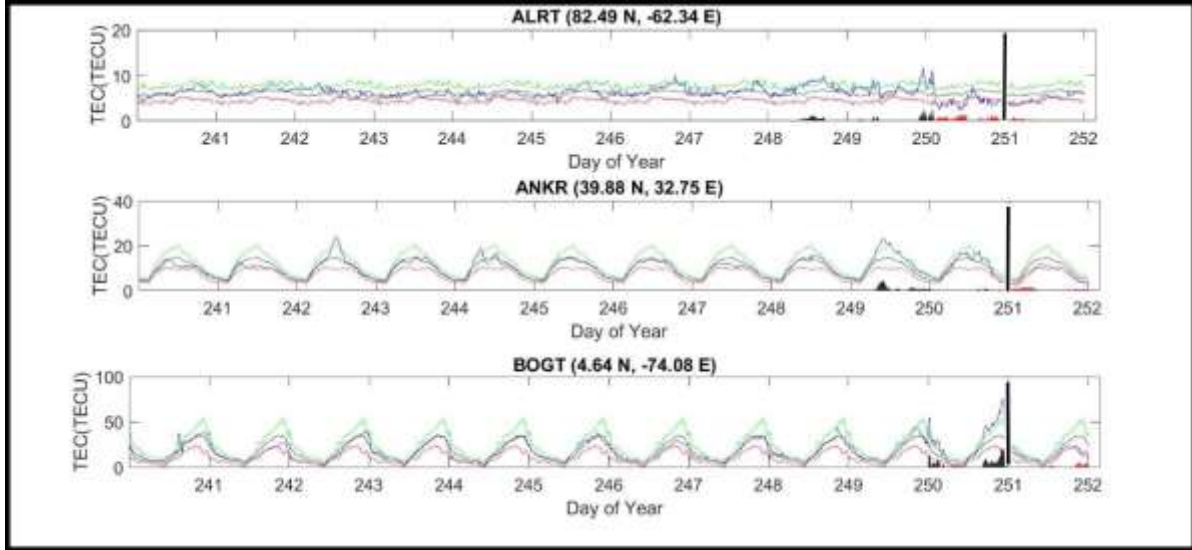
Şekil 3. ANTC, AREQ, FALK istasyonlarına ait TEC değişimlerinin gösterimi

Şekil 3’de ANTC, AREQ ve FALK istasyonlarına ait manyetik fırtına öncesi 10 gün ve sonrası 1 gün olmak üzere toplam 12 güne ait TEC değişimleri verilmiştir. Yeşil renk üst sınırı (UB), kırmızı renk alt sınırı (LB), mavi renk ortalama değeri, siyah renk ise gözlemlenen TEC değerini ifade etmektedir. Buna ek olarak siyah renk ile çizilen barlar pozitif anomaliyi ifade ederken, kırmızı bar negatif anomaliyi temsil etmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen anomalilerin miktarı ve türüne ilişkin sonuçlar Tablo 3’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Analizi yapılan istasyonlara ilişkin elde edilen anomalilerin miktarı ve türü

Gün/İstasyon	ANTC	AREQ	FALK
246	-	-	3.42 TECU (negatif)
249	-	-	-
250	3.98 TECU (pozitif)	-	3.67 TECU (pozitif)
251	12.00 TECU (pozitif)	8.20 TECU (pozitif)	1.84 TECU (pozitif)
252	10.76 TECU (pozitif)	-	-

Tablo 3 incelendiğinde manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün olan 251. günde FALK istasyonunda 1.84 TECU pozitif anomali, AREQ istasyonunda 8.20 TECU pozitif anomali, benzer şekilde ANTC istasyonunda 12.00 TECU pozitif anomali tespit edilmiştir. Manyetik fırtına öncesi (250. gün) ve sonrasında ortaya çıkan anomalilerin (252. gün) manyetik fırtınanın etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 246. güne ilişkin uzay iklim koşulları incelendiğinde, ilgili günde uzay iklim koşullarının oldukça sakin olduğu, dolayısıyla FALK istasyonunda ortaya çıkan anomalinin söz konusu manyetik fırtına kaynaklı olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 4. ALRT, ANKR, BOG istasyonlarına ait TEC değişimlerinin gösterimi

Şekil 4’de ALRT, ANKR ve BOGT istasyonlarına ait manyetik fırtına öncesi ve sonrası olmak üzere toplam 12 güne ait TEC değişimleri verilmiştir. Yeşil renk üst sınırı (UB), kırmızı renk alt sınırı (LB), mavi renk ortalama değeri, siyah renk ise gözlemlenen TEC değerini ifade etmektedir. Buna ek olarak siyah renk ile çizilen barlar pozitif anomaliyi ifade ederken, kırmızı bar negatif anomaliyi temsil etmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen anomalilerin miktarı ve türüne ilişkin sonuçlar Tablo 4’te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Analizi yapılan istasyonlara ilişkin elde edilen anomalilerin miktarı ve türü

Gün/İstasyon	ALRT	ANKR	BOGT
249	1.19 TECU (pozitif)	-	5.44 TECU (negatif)
250	2.82 TECU (pozitif)	4.38 TECU (pozitif)	8.00 TECU (pozitif)
251	1.37 TECU (negatif)	1.15 TECU (pozitif)	21.84 TECU (pozitif)
252	1.03 TECU (negatif)	1.56 TECU (negatif)	-

Tablo 4’te analizi yapılan istasyonlarda anomali görülen günlere ilişkin anomali miktarı ve türü bilgisi yer almaktadır. Manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün olan 251. günde BOGT istasyonunda 21.84 TECU pozitif anomali, ANKR istasyonunda 1.15 TECU pozitif anomali, ALRT istasyonunda 1.37 TECU negatif anomali tespit edilmiştir. Manyetik fırtına öncesi (250. gün) ve sonrasında ortaya çıkan anomalilerin (252. gün) manyetik fırtınanın etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan 249. günde ALRT ve BOGT istasyonlarında tespit edilen pozitif ve negatif anomalilerin manyetik fırtına kaynaklı olmadığı düşünülmektedir. Manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün ve sonraki gün dikkate alındığında (251 ve 252) güney yarımkürede meydana gelen toplam TEC anomalilerinin (32.74 TECU), kuzey yarımküreden daha fazla olduğu görülmektedir (26.95 TECU). Bu sonuç [18] çalışmasında elde edilen sonuçla uyum göstermektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 08.09.2017 tarihinde gerçekleşen şiddetli manyetik fırtınanın iyonosferin farklı bölgelerinde meydana getirdiği değişim GNSS ölçülerinden elde edilen TEC değerleri üzerinden irdelenmiştir. Güney ve kuzey yarımküre bölgelerinde iyonosferin düşük, orta ve yüksek enlem bölgelerinde meydana gelen değişimlerin irdelenebilmesi için ANTC, AREQ, FALK, ALRT, ANKR ve BOGT istasyonlarına ait RINEX gözlemleri değerlendirilmiştir. Manyetik fırtına kaynaklı değişimin ortaya çıkarılabilmesi için manyetik fırtına öncesi on gün, manyetik fırtına günü ve sonrası 1 gün olmak

üzere her istasyona ait toplam 12 günlük veri değerlendirilmiştir. 30 saniye zamansal çözünürlüklü TEC değerlerinin elde edildiği çalışmada her epoğa ilişkin üst sınır, alt sınır elde edilmiş ve istatistiksel teste tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda 251. günde FALK istasyonunda 1.84 TECU pozitif anomali, AREQ istasyonunda 8.20 TECU pozitif anomali, benzer şekilde ANTC istasyonunda 12.00 TECU pozitif anomali tespit edilmiştir. Buna ek olarak manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün olan 251. günde BOGT istasyonunda 21.84 TECU pozitif anomali, ANKR istasyonunda 1.15 TECU pozitif anomali, ALRT istasyonunda 1.37 TECU negatif anomali tespit edilmiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Yazarlardan Samed İNYURT veri analizi, yöntem ve sonuçların yorumlanmasında; Erman ŞENTÜRK figürlerin çizilmesi ve makalenin genel kontrolünde katkı sağlamıştır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Etik Kurallar**

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Nwankwo V.U., Chakrabarti S.K. 2013. Effects of Plasma Drag on Low Earth Orbiting Satellites due to Heating of Earth's Atmosphere by Coronal Mass Ejections. arXiv preprint arXiv:1305.0233.
- [2] Stankov S.M., Jakowski N., Tsybulya K., Wilken V. 2006. Monitoring the generation and propagation of ionospheric disturbances and effects on Global Navigation Satellite System positioning. *Radio science*, 41 (06): 1-14.
- [3] Rios V.H., Kim V.P., Hegai V.V. 2004. Abnormal perturbations in the F2 region ionosphere observed prior to the great San Juan earthquake of 23 November 1977. *Advances in Space Research*, 33 (3): 323-327.
- [4] Saroso S., Liu J.Y., Hattori K., Chen C.H. 2008. Ionospheric GPS TEC Anomalies and Mw 5.9 Earthquakes in Indonesia during 1993-2002. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 19 (5): 481-488.
- [5] Spogli L., Alfonsi L., Cilliers P.J., Correia E., De Franceschi G., Mitchell C.N., Cabrera M.A. 2013. GPS scintillations and total electron content climatology in the southern low, middle and high latitude regions. *Annals of Geophysics*, 56 (2): 02-20.
- [6] Jakowski N., Stankov S.M., Klaehn D. 2005. Operational space weather service for GNSS precise positioning. In *Annales Geophysicae*, 23 (9): 3071-3079.
- [7] Rao P.R., Niranjan K., Prasad D.S.V.V.D., Krishna S.G., Uma G. 2006. On the validity of the ionospheric pierce point (IPP) altitude of 350 km in the Indian equatorial and low-latitude sector. In *Annales Geophysicae*, 8: 2159-2168.
- [8] Sharma K., Dabas R.S., Sarkar S.K., Das R.M., Ravindran S., Gwal A.K. 2010. Anomalous enhancement of ionospheric F2 layer critical frequency and total electron content over low latitudes before three recent major earthquakes in China. *Journal of Geophysical Research*, 115 (A11): 4-9.
- [9] Masci F. 2013. Brief communication" Further comments on the ionospheric precursor of the 1999 Hector Mine earthquake". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13 (1): 193-196.
- [10] Oikonomou C., Haralambous H., Muslim B. 2016. Investigation of ionospheric TEC precursors related to the M7. 8 Nepal and M8. 3 Chile earthquakes in 2015 based on spectral and statistical analysis. *Natural Hazards*, 83 (1): 97-116.
- [11] Occhipinti G., Rolland L., Lognonné P., Watada S. 2013. From Sumatra 2004 to Tohoku-Oki 2011: the systematic GPS detection of the ionospheric signature induced by tsunamigenic earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 118 (6): 3626-3636.



- [12] Perrone L., Korsunova L.P., Mikhailov A. 2010. Ionospheric precursors for crustal earthquakes in Italy. In *Annales Geophysicae*, 4: 941-950.
- [13] Plotkin V.V. 2003. GPS detection of ionospheric perturbation before the 13 February 2001, El Salvador earthquake. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3 (3/4): 249-253.
- [14] Pulnets S.A., Leyva Contreras A., Bisiacchi-Giraldi G., Ciraolo L. 2003. Total electron content variations in the ionosphere before the Colima, Mexico, earthquake of 21 January 2003. *Geofísica Internacional*, 4: 369-377.
- [15] Ciraolo L., Azpilicueta F., Brunini C., Meza A., Radicella S.M. 2007. Calibration errors on experimental slant total electron content (TEC) determined with GPS. *Journal of Geodesy*, 81 (2): 111-120.
- [16] OmniWeb. <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.htmlx> (Erişim Tarihi: 04.03.2016).
- [17] NASA. <ftp://ftp.cddis.eosdis.nasa.gov/pub/gnss/data> (Erişim Tarihi: 06.04.2018).
- [18] Sağır S., Atıcı R., Dölek İ. 2018 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınanın Gece Yarısı İyonosfer Üzerindeki Etkisinin ROTI Aracılığıyla İncelenmesi. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2): 603-609.
- [19] Atıcı R. 2017. IRI ve IONOLAB Toplam Elektron İçeriğinin Şiddetli Jeomanyetik Fırtınalara Tepkisinin Karşılaştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29 (2): 231-240.
- [20] Klotz S., Johnson N.L. 1983. *Encyclopedia of Statistical Sciences*. John Wiley and Sons.
- [21] Liu J.Y., Chen Y.I., Chen C.H., Liu C.Y., Chen C.Y., Nishihashi M., Li J.Z., Xia Y.Q., Oyama K.I., Hattori K., Lin C.H. 2009. Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 M(w)7.9 Wenchuan earthquake. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 114 (A4): 1-10.
- [22] Nohutcu M., Karslioglu M.O., Schmidt M. 2010. B-Spline Modeling of VTEC over Turkey Using GPS Observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 72 (7-8): 617-624.
- [23] Tariq M.A., Shah M., Hernández-Pajares, M., Iqbala T. 2019. Pre-earthquake ionospheric anomalies before three major earthquakes by GPS-TEC and GIM-TEC data during 2015–2017. *Advances in Space Research*, 63 (7): 2088-2099.
- [24] Alcay S., Yigit C. O., Seemala G., Ceylan A. 2014. GPS-Based Ionosphere Modeling: A Brief Review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23 (3a): 815-824.
- [25] Rao S.S., Sharma S., Pandey R. 2019. Study of solar flux dependency of the winter anomaly in GPS TEC. *GPS Solutions*, 23 (1): 4.
- [26] Oluwadare T.S., Thai C.N., Akala A.O.O., Heise S., Alizadeh M., Schuh H. 2019. Characterization of GPS-TEC over African equatorial ionization anomaly (EIA) region during 2009–2016. *Advances in Space Research*, 63 (1): 282-301.