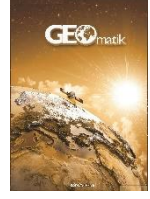




## GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



## Zayıf 01 Şubat 2017 jeomanyetik fırtınasının matematiksel modeli

Samed İnyurt\*<sup>1</sup> <sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye

## Anahtar Kelimeler

İyonosfer  
Jeomanyetik fırtına  
Modelleme

## ÖZ

Bu çalışma, 24. güneş döngüsünde meydana gelen 01 Şubat 2017 (DsT -45 nT) zayıf jeomanyetik fırtınasının matematiksel analizini amaçlamaktadır. NASA'dan alınan güneş rüzgarı parametreleri ( $B_z$ ,  $E$ ,  $P$ ,  $N$ ,  $v$ ,  $T$ ), zonal jeomanyetik indeksleri ( $Dst$ ,  $ap$ ,  $AE$ ) ve neden-sonuç ilişkisini göz önünde bulundurarak Şubat fırtınasının matematiksel modeli ortaya çıkarılmıştır. Makalede fırtına titizlikle analiz edilir ve nedensellik ilkesinin yönettiği modellerle özellikleri ortaya çıkarılmaya çalışılır. Bu çalışmada değişkenlerin değer aralığı ve standart sapmaları tanımlayıcı analiz ile tanımlanır, verilerin binary ilişkileri kovaryans matrisi ile gösterilir ve yine verilerin hiyerarşik kümeleri dendrogram ile tanıtılır. Faktör analizi, verilerin normal dağılımları yardımıyla gerçekleştirilir ve fenomenin gizemi lineer-nonlinear modellerle tartışılmaya çalışılır. Değişkenlerin ikili görünüşleri grafikler ile okuyucuya sunulur fırtınaya görsellik kazandırılır. Bu çalışma, literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunan zayıf seviyede manyetik fırtınanın modellenmesi konusuna katkı sağlamaktadır.

## Mathematical modeling of 01 February 2017 weak geomagnetic storm

## Keywords

Ionosphere  
Geomagnetic storm  
Modeling

## ABSTRACT

In this study it is aimed that the mathematical analysis of the weak geomagnetic storm on February 01, 2017 (DsT -45nT), which happened in the 24th solar cycle. It focuses on solar wind parameters ( $B_z$ ,  $E$ ,  $P$ ,  $N$ ,  $v$ ,  $T$ ), zonal geomagnetic indices ( $Dst$ ,  $ap$ ,  $AE$ ) from NASA, and examines the February storm by strictly obeying the cause-effect relationship. In the article, the storm is analyzed meticulously and its features are tried to be revealed with the models managed by the principle of causality. In this study, the value range and standard deviations of the variables are defined by descriptive analysis, the binary relationships of the data are represented by the covariance matrix, and the hierarchical clusters of the data are introduced by the dendrogram. Factor analysis is carried out with the help of normal distributions of data and the mystery of the phenomenon is tried to be discussed with linear-nonlinear models. The binary views of the variables are presented to the reader with graphics, and the storm is visualized. This study contributes to the modeling of magnetic storm at weak level, of which there is a limited number of studies in the literature.

## 1. GİRİŞ

Bir jeomanyetik fırtına genellikle, plazma yoğun dinamik yapıya sahip güneşten kopan proton ve elektron yüklü parçacıkların, güneş rüzgarı vasıtasıyla dünyanın manyetik alanının yönünde ve büyüklüğünde önemli değişiklikler yapması ile başlar. Ani bir başlangıç (sudden commencement) fazı, ana faz ve iyileşme (recovery) fazı olmak üzere üç evreli jeomanyetik fırtınalarda, ilk tetikleme dinamik basınçta ani bir artış ile ilişkilidir (Akasofu, 1964; Burton ve ark., 1975). Dinamik basınçtaki ani artış, güneş rüzgarı ile gezegenler arası ortama doğru hidrodinamik şoklar (Ogilvie ve Burlaga, 1969) meydana getirir. Şokların, dünyanın manyetik alanında hasıl ettiği her rahatsızlık fırtına olarak adlandırılmamalıdır. Bir jeomanyetik fırtına, Koronal Kütle Atımı, Coronal Mass Ejection, (CME) bulutu dünyanın manyetosferini yutarken ve manyetik alanın  $B_z$  bileşeni negatif yöne (güneye doğru) yönlendirildiğinde meydana gelir. Yüklü parçacıklar güneşten ayrılır, koronadaki ışığın izotopları ve plazmalar güneş manyetik alanına yayılır. Bu parçacıklar dünyanın manyetik alanı ile etkileşime girerek manyetosferde ve iyonosferde ciddi bir rahatsızlığa neden olur (Fu ve ark., 2010; Zic ve ark., 2015; Manoharan ve ark., 2017; Subrahmanya ve ark., 2017). Fırtına sırasında, plazma ve parçacıklar, doğrusal olarak polarize edilmiş manyetosonik dalgalarla manyetik alan yoluyla güneş korona boyunca dağıtılır (Fu ve ark., 2014). Dinamik bir yapıya sahip olan CME, güneş rüzgarı parametrelerini değiştirme ve şekillendirme yeteneğine sahiptir (Gonzalez ve ark., 1999). CME patlaması sırasında, çok yüksek hızlara haiz plazma bulutları hareketleri ile manyetosferi etkileyen manyetik aktivite indekslerini yönetir. Jeomanyetik fırtınanın etkileri AE (auroral electrojet), ap ve Dst (Disturbance Storm Time) gibi indisler ile tespit edilir (Mayaud, 1980, Kamide ve ark., 1998, Joshi ve ark., 2011, Elliott ve ark., 2013).

Birçok araştırmacının yaptığı gibi, yazar, güneş rüzgarı parametreleri ve zonal jeomanyetik indekslere odaklanarak 01 Şubat 2017'deki fırtınayı anlamaya ve yorumlamaya çalışır. Zayıf fırtınaların zaman tepki süreleri, yoğun fırtınaların zaman tepki sürelerinin neredeyse yarısıdır. Yoğun bir fırtınada, güneş rüzgarı parametrelerinin tepki vermek için yeterli zamanı vardır, ancak zayıf fırtınaların böyle bir imkanı yoktur. Hızlı tepki vermeleri gerekir. Bu tartışmada, 01 Şubat 2017 zayıf jeomanyetik fırtınası (Dst = -45) matematiksel disiplinle analiz edilir ve orta, şiddetli fırtınalarda kanıtlanmış (Eroglu, 2018; 2019) modellerle modellenir. Çalışma boyunca neden sonuç ilişkisi tüm matematiksel yaklaşımları yönetmekte ve fiziksel gerçekler nedensellik (Eroglu, 2011; Eroglu ve ark., 2012a; 2012b) ilkesine sıkıca bağlı kalmaktadır. Amaç, okuyucunun lineer ve nonlineer modeller ile fırtınayı daha iyi tanıması ve grafikler yardımıyla karşılaştırma yapabilmesidir. Bütün veriler tüm analizlerde solar rüzgar parametreleri ve zonal jeomanyetik indekslerin değişkenler kümesinden oluşmaktadır.

2. Bölümde güneş parametreleri, zonal jeomanyetik indeksler ve beş günlük veri dağılımı sunulmaktadır.

Bölüm 3'te analizler tamamlanır. 4. Bölüm sonuç kısmıdır.

## 2. YÖNTEM

Tartışmada Uzay Fizik Çevre Data Analiz Yazılımı (SPEDAS) (IDL-Based kullanılır (URL-1)). Çalışmada kullanılan OMNI-2 Solar Rüzgar ve Zonal İndis verileri saatliktir. Tablo 1'de jeomanyetik fırtınalara ilişkin yapılan sınıflandırmayı gösterir (Loewe ve Prölss 1997).

**Tablo 1.** Jeomanyetik fırtına Dst indeksi

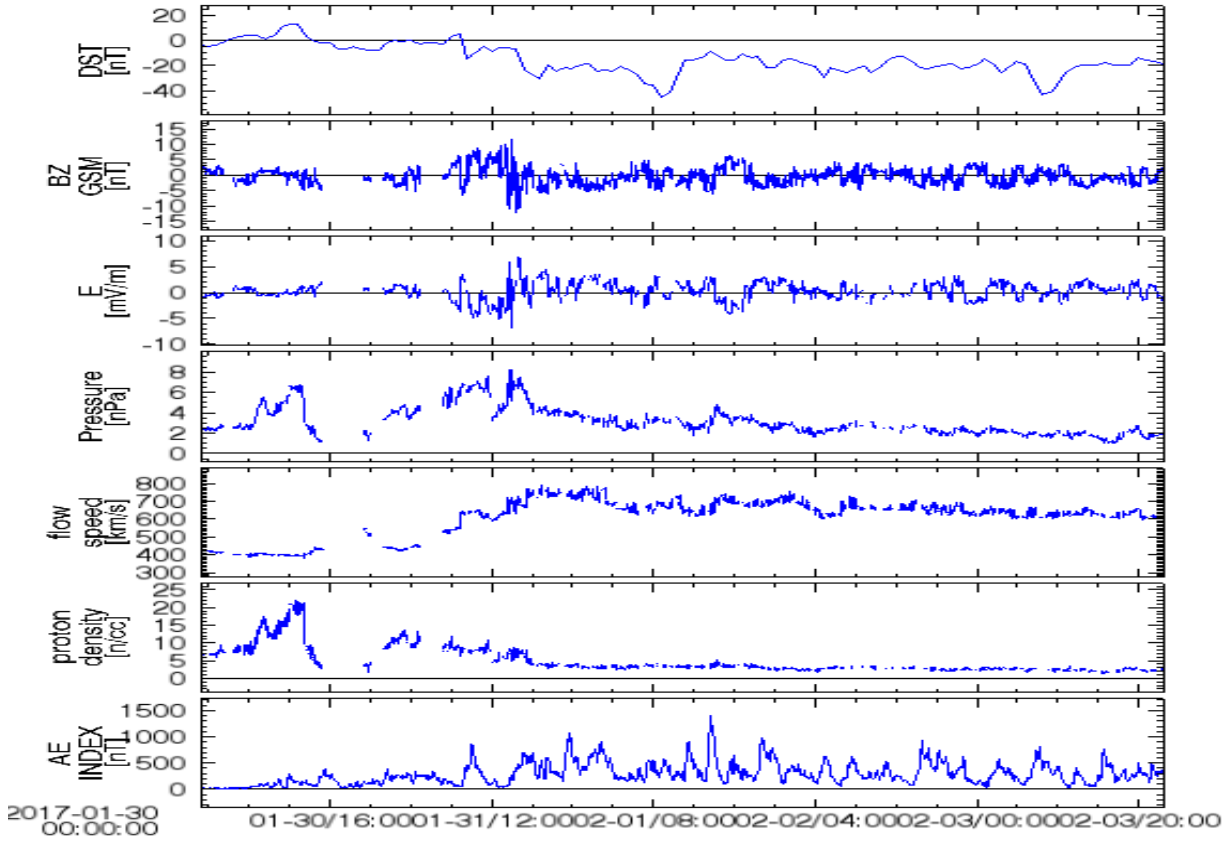
Sınıf	Adet	%	Dst Aralığı (nT)
Weak (Zayıf)	482	44	-30 - -50
Moderate (Orta)	346	32	-50 - -100
Strong (Şiddetli)	206	19	-100 - -200
Severe (Çok Şiddetli)	45	4	-200 - -350
Great (Olağanüstü)	6	1	< -350

01 Şubat 2017 zayıf fırtınasının tartışılması için manyetik alan, elektrik alanı, güneş rüzgarı dinamik basıncı, akış hızı, proton yoğunluğu ve sıcaklık OMNI saatlik verilerinden kullanılır. Şekil 1, 30 Ocak 2017'de 00:00 UT ile 03 Şubat 2017'de UT 23:59 UT arasındaki OMNI verilerini gösterir. Çalışma saat aralığı fırtına gününü (01 Şubat 2017), fırtınadan iki gün önce ve iki gün sonrasını inceler (120 saat). 30 Ocak ortasına doğru, güneş ortamı sakin ve güneş rüzgarı akış hızı 400 km/s ile 405 km/s arasında olduğunda, birkaç saat içinde dinamik basınç 3.43 nPa' dan 4.27 nPa' ya ve proton yoğunluğu 11.09 1/cm<sup>3</sup> değerlerine ulaşır. Şubat fırtınası böylece 30 Ocak 074:00 UT sularında ilk CME ile başlar. Ardından, saat 11:00 UT ikinci CME ile de proton yoğunluğu 22.8 1/cm<sup>3</sup> maksimumunu görür. Nihayetinde, 31 Ocak 15:00 UT de manyetik alan bileşeni ( $B_z$ ) güneye doğru yönlenerken minimum -5.0 nT değerine ulaşır. 01 Şubat 09:00'da -45 nT minimum değerine ulaşması 17 saat gibi uzun bir süre alır. Bu zaman geleneksel olarak zayıf fırtınaların tepki süresinden oldukça uzundur.

Şekil 1'deki bileşenler kısaca aşağıdaki gibi tartışılabilir. 31.01.2017 tarihinde 15:00 UT'de  $B_z$  bileşeni minimum (-5.0 nT) olduğunda, Dst endeksi -7 nT'ye düşer (01 Şubat, 09:00 UT'de -45 nT tepe değerlerine ulaşır), E elektrik alanı maksimum değeri 3.44 mV/m'ye ulaşır. Bu arada, ap indeksi 32 nT'ye, proton yoğunluğu N 7.1 1/cm<sup>3</sup>'ü gösterir, plazma akış hızı v 689 km/s olur, AE indeksi 480 nT'yi yakalar. Sekiz saat sonra akış hızı maksimum 749 km/s değerini gösterir.

01.02.2017 tarihinde 09:00 UT'de Dst endeksi -45 nT minimum değerini gösterdiğinde,  $B_z$  bileşeni -0.2 nT'ye artar, E elektrik alanı 0.14 mV/m'ye ulaşır, AE indeksi 446 nT'yi işaret eder, ap indeksi 15 nT'ye gelir ve akışa ulaşır P basıncı 3.09 nPa alır.

31.02.2017 tarihinde 09:00 UT'de  $B_z$  bileşeni maksimum olduğunda (5.5 nT), elektrik alanı minimum değeri -3.54 mV/m'ye ulaşır, proton yoğunluğu N 7.8 1/cm<sup>3</sup> alır, AE indeksi 577 nT ve ap indeksini azaltır. Bu meydana, Dst endeksi -15 nT'ye ulaşır.



**Şekil 1.** Yukarıdan aşağı, Dst indeksi (nT),  $B_z$  manyetik alan (nT), E elektrik alan (mV/m), P solar rüzgar dinamik basıncı (nPa), v akış hızı (km/s), N proton yoğunluğu ( $1/\text{cm}^3$ ) ve AE aurora elektrojet AE (nT) indeksi, 30 Ocak 2017- 03 Şubat 2017 (NASA NSSDC OMNI data seti)

### 3. BULGULAR

Şubat jeomanyetik fırtınasının değişkenleri için tanımlayıcı analiz Tablo 2'de gösterilmektedir. Korelasyon katsayılarının tartışıldığı matris ise Tablo 3'te karşımıza çıkar. Tanımlayıcı analiz, verilerin değişim aralığını, standart sapmasını, varyansını ve ortancasını ifade eder. Standart sapma değeri arttıkça, değişkenlerin kararsızlığı artar ve olaydaki etkileri azalır. İstatistiksel olarak en güçlü değişkenlerin sırasıyla P, E, N,  $B_z$  olması beklenir (Tablo 2). Bu değişkenlerin dahil edildiği matematiksel modellerin, neden sonuç ilişkisinin dikkate

alınması şartıyla olayın açıklanmasında azami faydalı olması beklenir. Pearson korelasyon matrisi, değişkenlerin anlık korelasyonunu ve ikili ilişkilerinin gücünü gösterir. Katsayıların önündeki  $\pm$  işaretleri ilişkinin yönünü belirtir. Tablo 3'teki değerler  $\pm 1$ 'e yakınlıkta ikili ilişkiler güçlenir. Fiziksel olarak, bu fırtınada P, N, T ve  $B_z$ , E ve v, N ve N, Dst ilişkilerinin sağlamlığından bahsedilebilir. Basınç ve proton yoğunluğunun ciddi yakınlığı, çalışmada kendini ispatlamış (Eroglu, 2018; 2019) nonlineer bir matematiksel modelle desteklenir.

**Tablo 2.** Tanımlayıcı analiz

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Medyan	Standart Sapma
$B_z$ (nT)	120	-5.0	5.5	-4.79	-1.5	2.1587
T(K)	120	32181	500528	237643.82	211750	85714.394
N( $1/\text{cm}^3$ )	120	1.6	22.08	4.160	3.2	2.0387
v(km/s)	120	399	753	658.07	642	68.022
P(nPa)	120	1.2	7.2	3.480	5.5	1.3893
E(mV/m)	120	-3.5	3.4	.339	.96	1.4240
Dst(nT)	120	-45	13	-17.68	-16	9.874
ap(nT)	120	2	48	23.79	27	9.943
AE(nT)	120	17	937	352.25	671	184.328

**Tablo 3.** Pearson korelasyon matrisi

	B <sub>z</sub> (nT)	T(K)	Z	N(1/cm <sup>3</sup> )	v(km/s)	P(nPa)	E(mV/m)	Dst(nT)	ap(nT)	AE(nT)
B <sub>z</sub> (nT)	1	.108		.142	-.162	.129	-.995**	.023	-.161	-.288*
T(K)		1		.325**	.398**	.776**	-.080	.074	.116	.059
N(1/cm <sup>3</sup> )			1		-.641**	.791**	-.157	.708**	-.305**	-.276*
v(km/s)				1		-.073	.210	-.582**	.517**	.394**
P(nPa)					1		-.112	.471**	-.041	-.093
E(mV/m)						1		-.041	.185	.305**
Dst(nT)							1		-.138	-.292*
ap(nT)								1		.545**
AE(nT)									1	

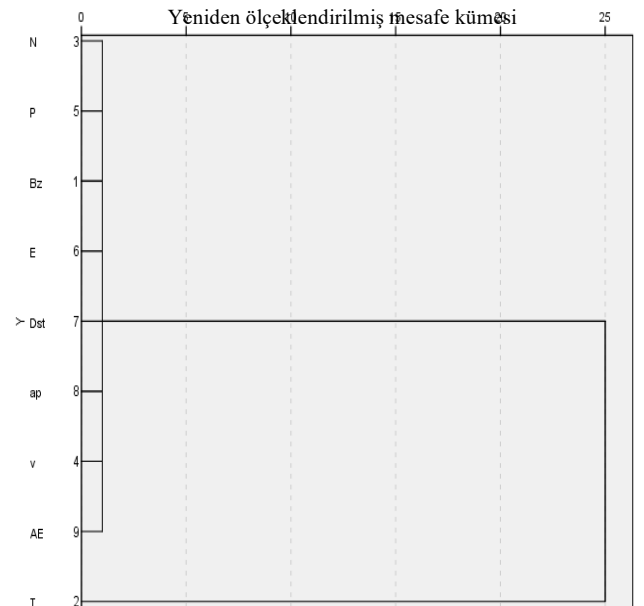
\* ve \*\*. Anlamlılık 0.05 seviyesi (2-kuyruklu) ve 0.01 seviyesi (2-kuyruklu), sırasıyla.

KMO ve Bartlett's Test, verilerin dağılımını ve faktör analizine uygunluğunu araştırır. Bire (1) yakın test değeri, verilerin faktör analizi yöntemi için uygun olduğunu gösterir. Bir tabiat olayında veriler serbestçe dağıldığından, verilerin olayla nasıl koordine edilmesi gerektiğini açıklar. Normal dağılımla etkileşen değişkenler faktör analizi yardımıyla modellenebilir. Şubat fırtınası verileri normal dağılım yoluyla modellenebilir.

**Tablo 4.** KMO ve Bartlett Testi

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.750
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1289.985
	df	55
	Sig.	.000

Fırtına verilerinin hiyerarşik küme tartışması Şekil 2'de verilmiştir. Bu şekilde iki ana blok vardır. İlk yığın P, E, Bz, N, ap, Dst, v, AE, ikinci yığın sadece (T) 'den oluşur.

**Şekil 2.** Hiyerarşik cluster analizin dendrogramı.**Tablo 5.** Açıklayıcı toplam varyans

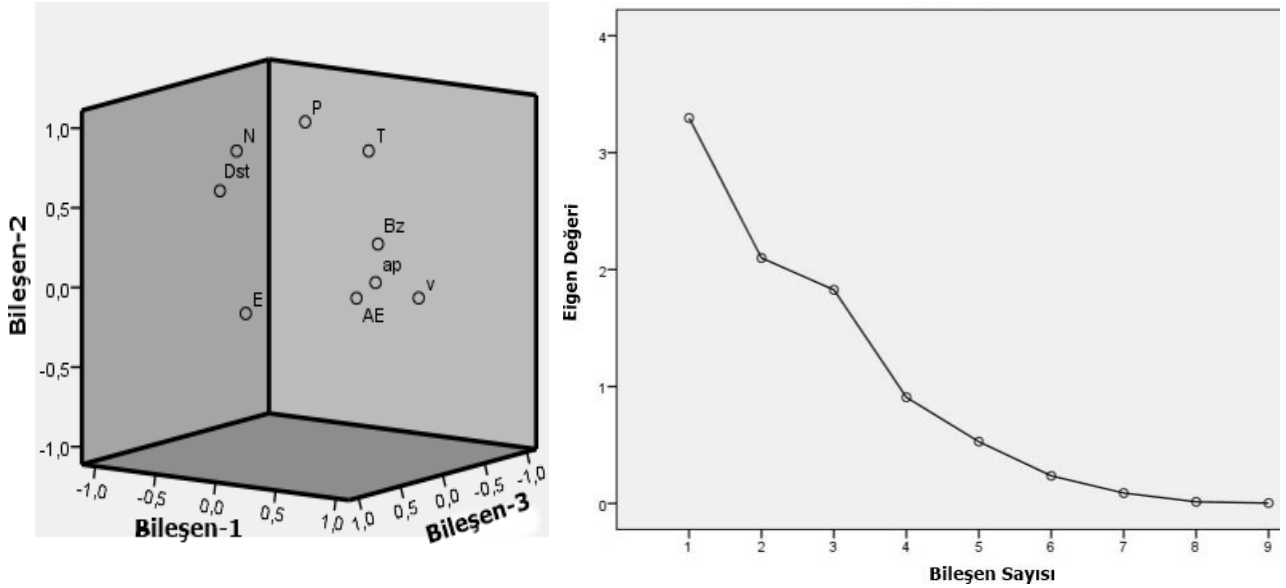
Bileşen	Özdeğerler			Karesel Yüklerin Dönme Toplamları		
	Toplam	% of Varyans	Kümülatif %	Toplam	% of Varyans	Kümülatif %
1	3.296	36.626	36.626	2.673	29.696	29.696
2	2.099	23.322	59.948	2.474	27.489	57.184
3	1.827	20.296	<b>80.244</b>	2.075	23.060	80.244

Kaiser Normalizasyonu ve Temel Bileşen Analizi, verilerin alt gruplara bölünmesi için uygun bir analizdir. Alt gruplara ayrılan değişkenler, azami özdeğerleri en yüksek katkı yaklaşımıyla gösterilir. Tablo 5'e göre, üç maksimum özdeğeri olan fenomenin değişiminin (evriminin) %80'i modellenebilir ve okuyucuya sunulabilir.

Bu değişkenlerin saçılma grafiği Şekil 3'te gösterilmektedir. Şekil 3, döndürülmüş alandaki tüm değişkenleri gösterir ve üç değişken arasındaki

maksimumdan sıralanır, her iki nokta arasında bir faktör gösterilir (sağ taraf).

Varimax Dönme Matrisi yöntemi, değişkenlerin lineer kümelenmesini inceler. Tablo 6'daki katsayılar, değişkenlerin (faktörlerin) ağırlıklı katkılarıdır. Tablo 6'da toplam varyansın iki ana eksenini görmek mümkündür. Bu Tablo, % **80** toplam varyansta verilen değişkenlerin ağırlıkla döndürülmüş matrisidir.



Şekil 3. Döndürülmüş uzayda bileşen ve üç özdeğerin gösterimi

Tablo 6. Döndürülmüş komponent matrisi

Component	B <sub>z</sub> (nT)	T(K)	N(1/cm <sup>3</sup> )	v(km/s)	P(nPa)	E(mV/m)	K <sub>p</sub>	Dst(nT)	ap(nT)	AE(nT)
1	-1.08	.390	-.604	.925	-.077	.151	-.635	.683	.625	-.108
2	.073	.827	.747	-.018	.975	-.057	.517	.078	-.005	.073

Tablo 6'da sunulan verilerin ağırlıkları ile hayat bulan lineer modeller aşağıdaki gibidir:

$$\text{Axes 1} = -(0.108)B_z + (0.390)T - (0.604)N + (0.925)v - (0.077)P + (0.151)E - (0.635)Dst + (0.683)ap + (0.625)AE$$

$$\text{Axes 2} = (0.073)B_z + (0.827)T + (0.747)N - (0.018)v + (0.975)P - (0.057)E + (0.517)Dst + (0.078)ap - (0.005)AE$$

Şekil 4, zonal rüzgar jeomanyetik indekslerinin solar rüzgar parametrelerine göre fiziksel saçılımını göstermektedir. Bu tartışmada yer istasyonlarından Dst, ap ve AE verileri kullanıldığından, yay şokundan Dünya'ya güneş rüzgarının yayılma süresi dikkate alınmamıştır. Şekil 4a, b, c, Dst, ap ve AE indekslerinin B<sub>z</sub>, E, P, N, v, T, üzerindeki dağılımlarını göstermektedir.

Tablo 7'den Tablo 12'ye kadar bakıldığında solar rüzgar parametreleri ile zonal jeomanyetik indislerin bazı lineer modelleri görülebilir. Elbette bütün solar parametreler ile birer birer zonal indislerin lineer modelleri de tartışılabilir. Fakat yazar nedensellik ilkesinin dışına çıkmadan ve istatistiksel olarak anlamlı bulmadığı modelleri eleyerek okuyucuya daha net (anlamlı) bakış sunmaya çalışır. Tablo 8 Dst indeksinin lineer modelini:  $Dst = -(8.343) + (2.751)N - (0.032)T$ , olarak gösterir. Burada korelasyon katsayısı R 0.727 dir.

Tablo 11 modelin anlamlı olduğunu gösterir. Tablo 12'ye göre AE indeksi:

$$AE = -(273.839) + (0.936)v + (30.066)E,$$

burada korelasyon katsayısı R 0.455 dir.

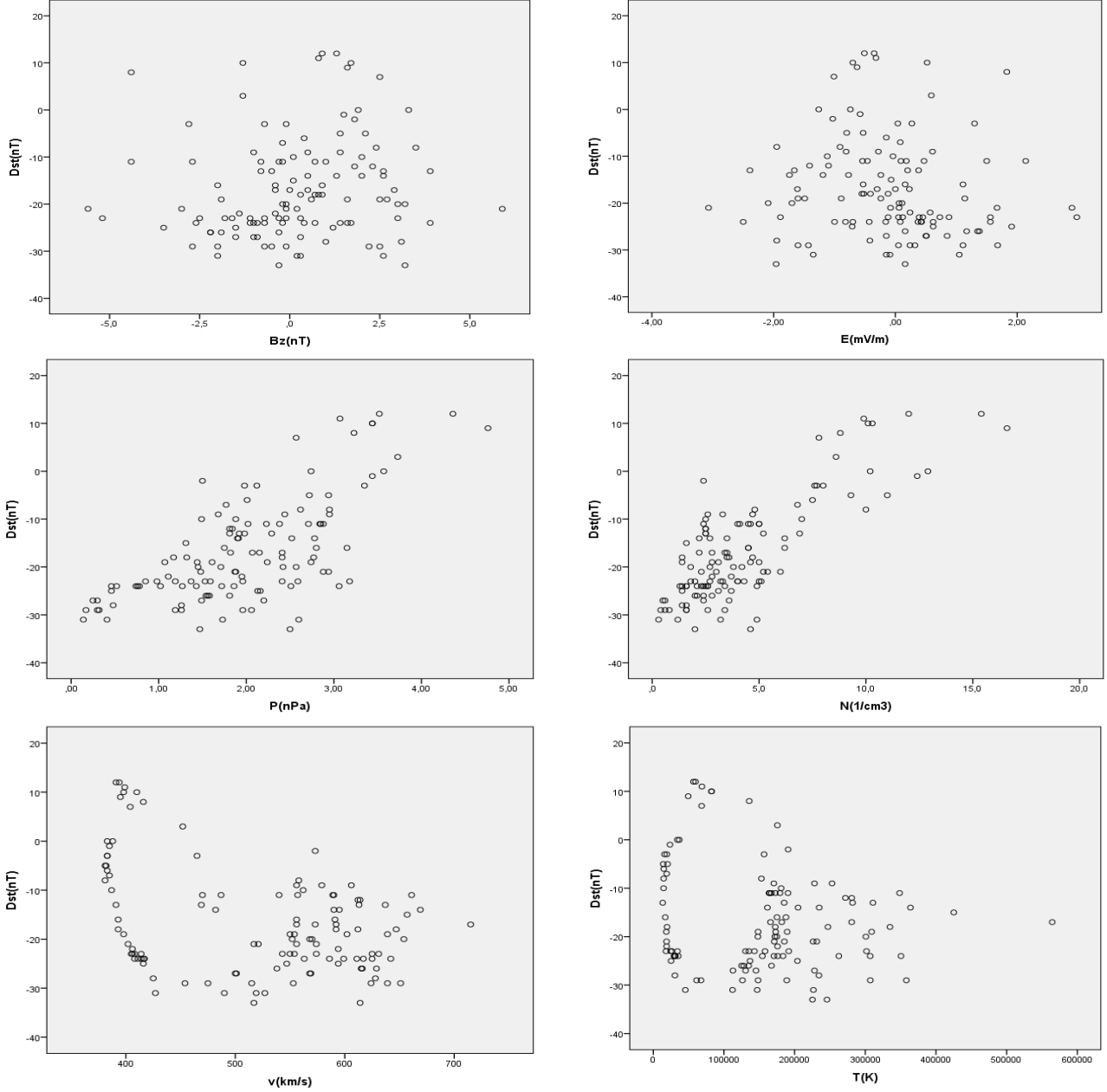
Plazma akış hızı, dinamik basınç için bir kontrol mekanizması olarak görülmesine rağmen (Burton ve ark., 1975), manyetik alan ve proton yoğunluğu da Dst indeksinin gerekli bir tahmin aracıdır. Fiziksel olarak, sıcak elektron dalgalanması ve saçılımı ile oluşturulan

koronal delikler, yüksek hızlı solar rüzgâr akımlarının kaynağıdır. Polarize olan manyetik alan güneş rüzgarının hızı ile saçılır (Tsurutani ve ark. 2006; Adhikari ve ark. 2019). Yüksek hızlı güneş rüzgarındaki nonlineer dalgalanmalar ve manyetik alan B<sub>z</sub> bileşenindeki negatif azalmalar (pikler), jeomanyetik aktivite için hayati önem taşır. Akış hızı ve B<sub>z</sub> bileşenindeki doğrusal olmayan hareket, Dst indeksinin pik yapma zamanının geldiğini gösterir. Bir jeomanyetik fırtınanın başlangıcında, proton yoğunluğu artar ve manyetosferi etkiler. Düşük hız ile yüksek yoğunluklu plazma basıncı manyetosferi sıkıştırır (Tsurutani ve ark. 2006). Bu, güneş rüzgarı tarafından yönlendirilen manyetosfer-iyonosfer için fırtınanın başladığı anlamına gelir (Borovsky ve Yakymenko, 2017). Bu sıkıştırma ve rahatsızlık Dst endeksi tarafından gösterildiğinden, araştırmacılar, hız parametresinin (Borovsky, 2012) seçilemez olduğu güneş rüzgarı parametreleri tarafından şekillendirilen bağlantı fonksiyonları ile Dst tahmin değerlerini artırmaya çalışırlar (Gonzalez ve ark., 1987; 1989). Manyetosferi sıkıştıran yüksek yoğunluklu plazma basıncı, ap indeksi ile aynı modelde tartışılabilir (Eroglu, 2018; 2019). Kanıtlanmış model dinamik basınç, proton yoğunluğu ve ap indeksinden oluşur. Fiziksel olarak, dinamik basınç (P) ve proton yoğunluğu (N) manyetik alandaki dalgalanmalardan doğrusal olarak etkilenirken, ap indeksinin bu dalgalanmalara yanıtı logaritmiktir. P, N ve ap içeren model Tablo 14 ve 15'te görülebilir.

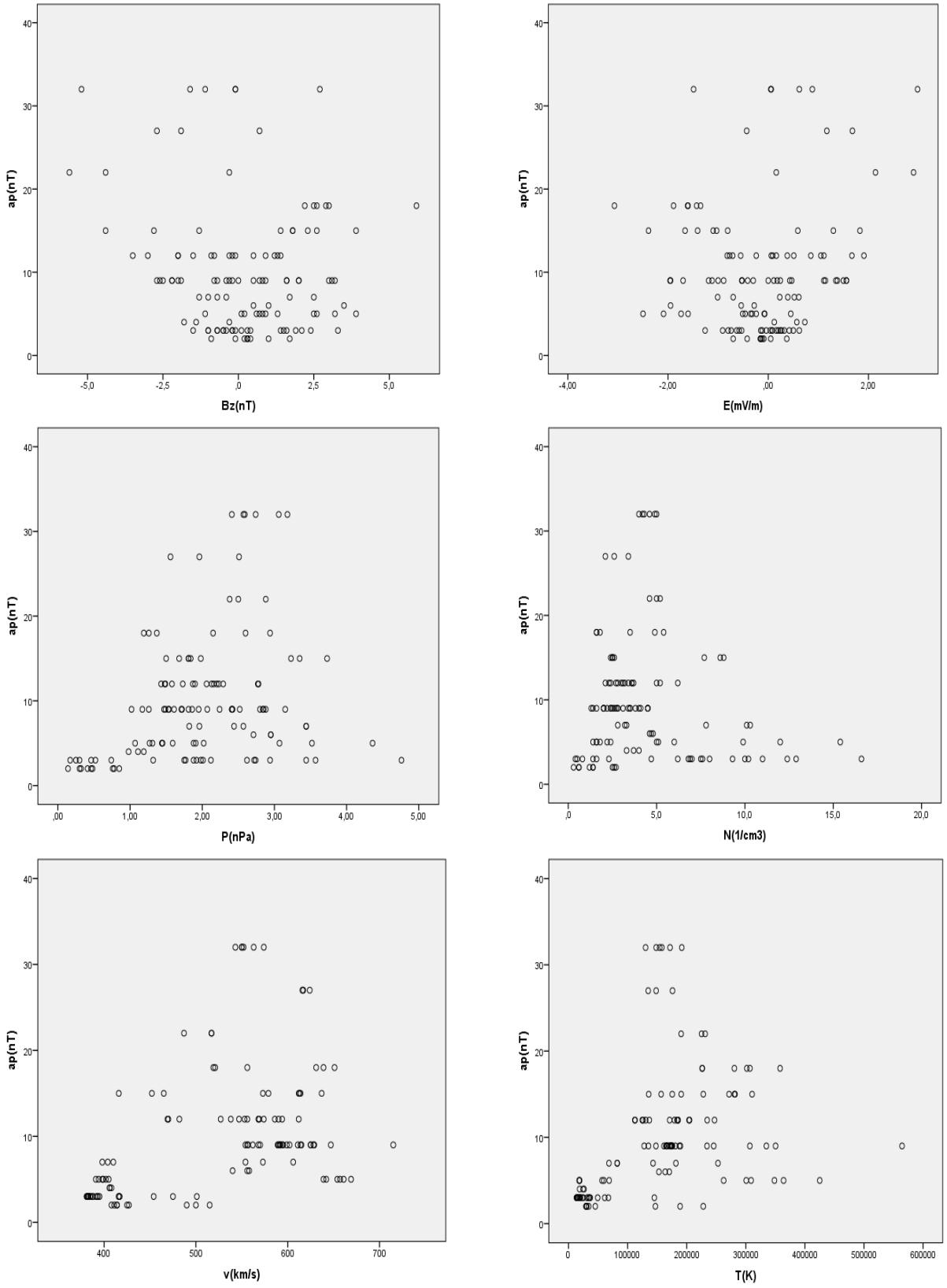
Doğrusal olmayan model  $P = a + b \ln(ap) + cN$  dir; burada  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sabittir. Varyans değerlerinin analizi Tablo 14'te gösterilmiştir. Katsayılar  $a = -2.144$  ve  $b = 1.006$ ,  $c = 0.604$ 'dir. Tablo 15, tüm parametre tahminlerinin % 95 güven aralığında olduğunu göstermektedir. Bu model fırtınaya 69.1% oranında izah getirir:

$$P = -(2.144) + (1.006)\ln ap + (0.604)N.$$

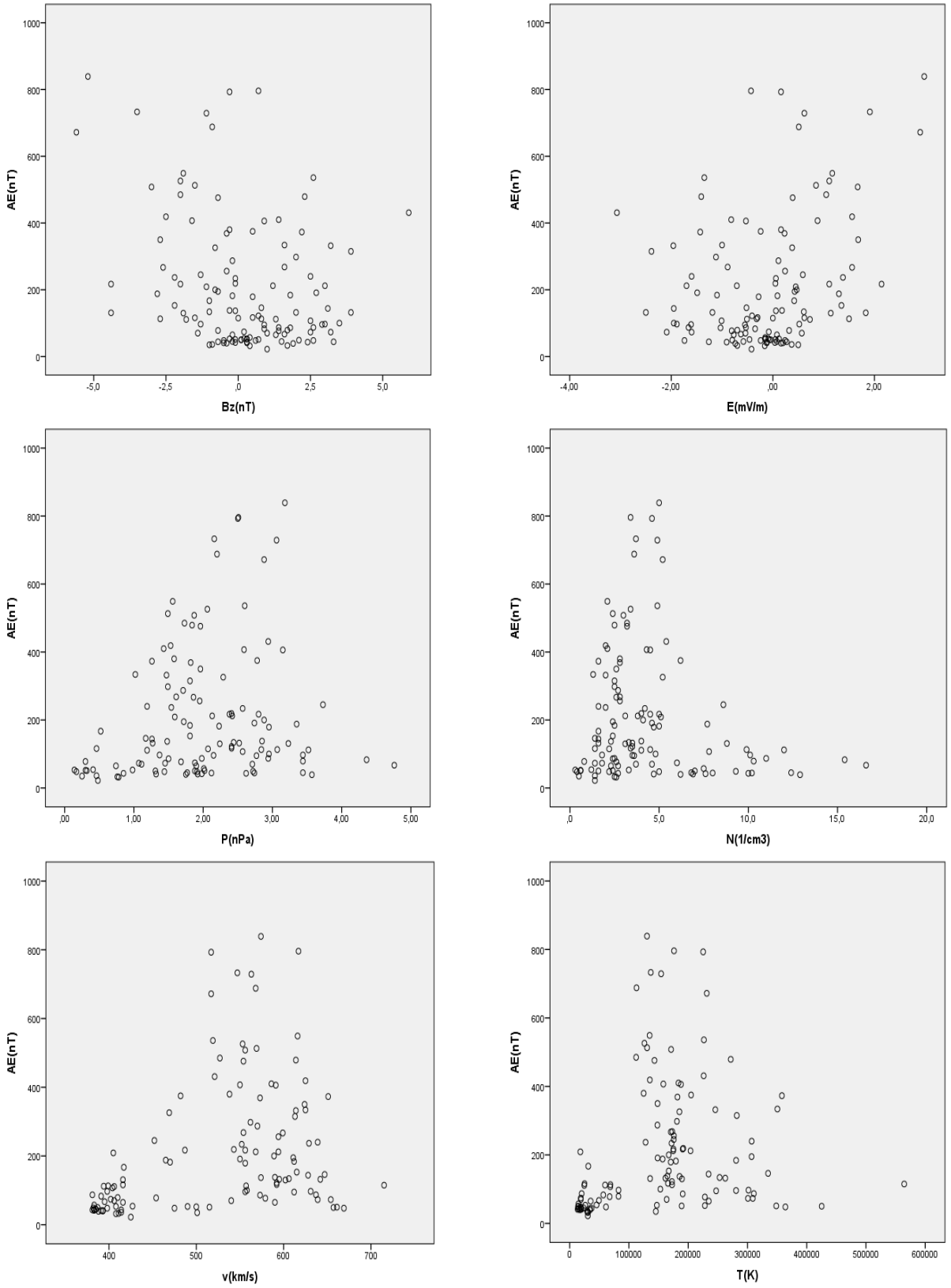
Tablo 9 modelin anlamlı olduğunu gösterir. Tablo 10'a göre  $ap$  indeksi:  $ap = -(25.989) + (0.076)v$ , burada korelasyon katsayısı  $R$  0.517 dir.



**Şekil 4a.** Dst indeksine karşı  $B_z$ ,  $E$ ,  $P$ ,  $N$ ,  $v$ ,  $T$  solar rüzgar parametrelerinin saçılımı



Şekil 4b. ap indeksine karşı  $B_z$ ,  $E$ ,  $P$ ,  $N$ ,  $v$ ,  $T$  solar rüzgar parametrelerinin saçılımı



Şekil 4c. AE indeksine karşı B<sub>z</sub>, E, P, N, v, T solar rüzgar parametrelerinin saçılımı



**Tablo 7.** Varyans analizi

Model	Kareleri Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Regression	3658.298	2	1829.149	38.675	.000
Residual	3263.354	117	47.295		
Total	6921.653	119			

**Tablo 8.** Regresyon sabitleri

Model	Standart hale getirilmemiş katsayılar		Standart Katsayılar	t	Sig.
	B	Std. Hata	Beta		
(Constant)	-8.343	11.824		-.706	.004
N(1/cm <sup>3</sup> )	2.751	.522	.568	5.275	.000
v(km/s)	-.032	.016	-.218	-2.020	.007

**Tablo 9.** Varyans analizi

Model	Karelerin Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Regression	1879.887	1	1879.887	25.602	.000
Residual	5139.988	118	73.428		
Total	7019.875	119			

**Tablo 10.** Regresyon sabitleri

Model	Standart hale getirilmemiş katsayılar		Standart Katsayılar	t	Sig.
	B	Std. Hata	Beta		
(Sabit)	-25.989	8.980		-2.628	.011
v(km/s)	.076	.015	.517	5.060	.000

**Tablo 11.** Varyans analizi

Model	Karelerin Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Regression	499154.192	2	249577.096	9.001	.000
Residual	1913205.308	117	27727.613		
Total	2412359.500	119			

**Tablo 12.** Regresyon katsayıları

Model	Standart hale getirilmemiş katsayılar		Standart Katsayılar	t	Sig.
	B	Std. Hata	Beta		
(Constant)	-273.839	195.574		-1.400	.066
v(km/s)	.936	.297	.345	3.150	.002
E(mV/m)	30.066	14.194	.232	2.118	.008

**Tablo 13.** Varyans analizi

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regrasyon	966.702	3	322.234
Artık değer	42.289	117	.613
Düzeltilmemiş Toplam	1008.991	120	
Düzeltilmiş Toplam	137.042	119	

**Tablo 14.** Parametre tahmini

Parametre	Tahmin	Std. Hata	95% Güven Aralığı	
			Alt Sınır	Üst Sınır
a	-2.144	.905	-3.949	-.339
b	1.006	.262	.484	1.527
c	.604	.049	.507	.701

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma, 01 Şubat 2017 jeomanyetik fırtınasını fiziksel bağlamından koparmadan, neden-sonuç ilişkisine sıkıca bağlı kalarak matematiksel olarak analiz eder. Veriler, solar rüzgâr parametreler ve zonal jeomanyetik indekslerdir. Bu değişkenler analiz edilirken, tanımlayıcı analiz, korelasyon matrisi ve dendrogramdan yararlanılarak bir yol haritası çıkarılır. Değişkenler maksimum katkı ilkeleri ile alt gruplara ayrılır ve fenomeni yönlendirebilecek değişken modelleri okuyucuya tanıtılır. Modeller, nedensellik prensibine bağlı kalarak olayın fiziksel arka planını ortaya çıkarır. Tartışma gösterir ki, Şubat (zayıf) fırtınası, ılımlı ve yoğun fırtınalarla aynı davranışları sergiler. Tepki süresi çok kısa olmasına rağmen, bu benzerlik oldukça dikkat çekicidir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda bu benzerlikler, fırtına tahmini için anahtar niteliğinde olacaktır. Diğer yandan söz konusu çalışma ile, iyonosfer tabakasında meydana gelen zayıf seviyede manyetik fırtınaların izlenebilmesinin oldukça zor olduğu düşünüldüğünde ve bu model aracılığıyla iyonosferde yarattığı etkinin tasviri ortaya konmuştur.

#### BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Yazar NASA'ya, Kyoto Üniversitesi'ne ve Dünya Data Merkezi'ne teşekkür eder.

#### ÇATIŞMA BEYANI

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### KAYNAKÇA

Adhikari B, Adhikari N, Aryal B, Chapagain N P, Horvath I (2019). Impacts on Proton Fluxes Observed During Different Interplanetary Conditions, *Sol. Phys.*, 294: 61, <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1450-6>

Akasofu S I (1964). The Development of the Auroral Substorm. *Planet. Space Sci.*, 12 (4): 273, [https://doi.org/10.1016/0032-0633\(64\)90151-5](https://doi.org/10.1016/0032-0633(64)90151-5)

Borovsky J E (2012). The velocity and Magnetic Field Fluctuations of the Solar Wind at 1 AU: Statistical Analysis of Fourier Spectra and Correlations with Plasma Properties, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 117 (A5), A05104, doi:10.1029/2011JA017499

Borovsky J E & Yakymenko K (2017). Systems Science of the Magnetosphere: Creating Indices of Substorm Activity, of the Substorm-Injected Electron Population, and of the Electron Radiation Belt, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122 (10): 10012, doi:10.1002/2017JA024250

Burton R K, McPherron R L, Russell C T (1975). An empirical relationship between interplanetary conditions and Dst. *J. Geophys. Res.*, 80, 4204, <https://doi.org/10.1029/JA080i031p04204>

Elliott H A, Jahn J M, David J M C (2013). The Kp index and solar wind speed relationship: Insights for improving space weather forecasts, *Sp. Weather*, 11(6), 339, doi: <https://doi.org/10.1002/swe.20053>

Eroglu E (2011). Dalga Kılavuzları Boyunca Geçici Sinyallerin Transferi, Gebze Yüksek Teknoloji

Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Gebze.

Eroglu E, Aksoy S, Tretyakov O A (2012). Surplus of energy for time-domain waveguide modes, *Energy Educ. Sci. Tech.*, 29(1), 495.

Eroglu E, Ak N, Koklu K, Ozdemir Z, Celik N, Eren N (2012). Special functions in transferring of energy; a special case: "Airy function", *Energy Educ. Sci. Tech.*, 30(1), 719.

Eroglu E (2018). Mathematical modeling of the moderate storm on 28 February 2008, *Newast*, 60, 33, <https://doi.org/10.1016/j.newast.2017.10.002>

Eroglu E (2019). Modeling the superstorm in the 24th solar cycle, *Earth Planets Spaces*, 71:26, doi: <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1002-1>

Fu H S, Tu J, Song P, Cao B, Reinisch B W, Yang B (2010). The nightside-to-dayside evolution of the inner magnetosphere: Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration Radio Plasma Imager observations, *J. Geophys. Res.*, 115, A04213, doi:10.1029/2009JA014668

Fu H S, Cao J B, Cully C M, Khotyaintsev Y V, Vaivads A, Angelopoulos V, Zong Q G, Santolík O, Macúšová E, André M, Liu W L, Lu H Y, Zhou M, Huang S Y, Zhima Z (2014). Whistler-mode waves inside flux pileup region: Structured or unstructured?, *J. Geophys. Res.*, 119, 9089, doi: 10.1002/2014JA020204

Gonzalez W D & Tsurutani B T (1987). Criteria of interplanetary parameters causing intense magnetic storms (Dst of less than -100 nT), *Planet Space Sci.*, 35(9), 1101, doi:10.1016/0032-0633(87)90015-8

Gonzalez W D, Tsurutani B T, Gonzalez A L C, Smith E J, Tang F, Akasofu S I (1989). Solar Wind-Magnetosphere Coupling During Intense Magnetic Storms (1978-1979), *J. Geophys. Res.*, 94 (A7): 8835, doi:10.1029/ja094ia07p08835

Gonzalez W D, Tsurutani B T, Gonzalez A L (1999). Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms, *Space Sci. Rev.*, 88: 529, <https://doi.org/10.1023/A:1005160129098>

Joshi N C, Bankoti N S, Pande S, Pande B, Pandey K (2011). Relationship Between Interplanetary Field/Plasma Parameters with Geomagnetic Indices and Their Behavior During Intense Geomagnetic Storms, *Newast*, 16 (6): 366, <https://doi.org/10.1016/j.newast.2011.01.004>

Kamide Y, Baumjohann W, Daglis L A, Gonzalez W D, Grande M, Joselyn J A, McPherron R L, Phillips J L, Reeves G D, Rostoker G, Shanna A S, Singer H J, Tsurutani B T, Vasyliuna V M (1998). Current Understanding of Magnetic Storms' Storm-Substorm Relationships *J. Geophys. Res.*, 103 (A8): 17705.

Loewe C A & Pröls G W (1997). Classification and Mean Behavior of Magnetic Storms, *J. Geophys. Res.*, 102 (A7): 14209.

Manoharan P K, Subrahmanya C R, Chengalur J N (2017). Space Weather and Solar Wind Studies with OWFA, *J. Astrophys. Astr.*, 38: 16, doi:10.1007/s12036-017-9435-z

Mayaud P N (1980). Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices, *Geophys. Monogr. Ser.*, 22: 154, doi: 10.1029/GM022

Ogilvie K W & Burlaga L F (1969). Hydromagnetic Shocks in the Solar Wind, *Sol. Phys.*, 8 (2): 422, doi: <https://doi.org/10.1007/BF00155390>

Subrahmanya C R, Prasad P, Girish B S, Somashekar R, Manoharan P K, Mittal A K (2017). The Receiver System for the Ooty Wide Field Array, *J. Astrophys. Astr.*, 38: 11, <https://doi.org/10.1007/s12036-017-9434-0>

Tsurutani B T, Gonzalez W D, Gonzalez A L C, Guarnieri F L, Gopalswamy N, Grande M, Kamide Y, Kasahara Y, Lu G, Mann I, McPherron R, Soraas F, Vasyliunas V (2006). Corotating Solar Wind Streams and Recurrent

Geomagnetic Activity: A review, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 111 (A7), <https://doi.org/10.1029/2005JA011273>

Zic T, Vrsnak B, Temmer M (2015). Heliospheric Propagation of Coronal Mass Ejections Drag-Based Model Fitting, *Ap. J.S.*, 218, 32, doi:10.1088/0067-0049/218/2/32

URL-1 <http://themis.igpp.ucla.edu/software.shtml>



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>