

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



JEOMANYETİK İNDİSLER İLE SCHUMANN REZONANS
FREKANSLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Tolga ÖREN

Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Esat GÜZEL

TEMMUZ-2018

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOMANYETİK İNDİSLER İLE SCHUMANN REZONANS FREKANSLARI
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

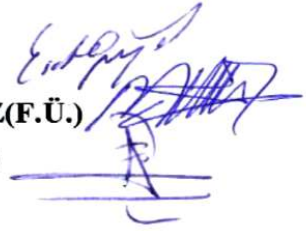
Tolga ÖREN

(121114107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09 Temmuz 2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Temmuz 2018

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Esat GÜZEL (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Murat CANYILMAZ(F.Ü.)
Doç. Dr. Selçuk SAĞIR(MSÜ)



TEMMUZ 2018

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim süresince ve bu çalışmanın hazırlanmasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Esat GÜZEL'e, çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım maddi ve manevi her zaman yanımda olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Murat CANYILMAZ'a, ayrıca katkılarından dolayı Doç. Dr. Selçuk SAĞIR'a teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde her türlü yardımı koşulsuz olarak sunan değerli anneme ve babama teşekkür eder minnet duygularımı sunarım. Ayrıca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli dostlarıma teşekkür ederim.

Tolga ÖREN
ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. SCHUMANN REZONANSI.....	4
2.1. Schumann Rezonans Elektromanyetik Dalgaların Kaynağı ve Yapılan Çalışmalar.....	6
2.2. Schumann Rezonans Frekanslarının Teorisi	9
3. JEOMANYETİK İNDİSLER	13
3.1. Kp İndisi	13
3.2. Dst İndisi	15
4. MATERYAL VE METOT	16
4.1. Tanımlayıcı (Betimleyici) İstatistik.....	16
4.1.1. Merkezi Eğilim Ölçüleri.....	17
4.1.2. Değişkenlik Ölçüleri.....	17
4.1.2.1. Standart Sapma.....	17
4.1.2.2. Varyans.....	18

4.1.3.	Çarpıklık Ölçüleri.....	18
4.1.4.	Basıklık Katsayısı.....	19
4.2.	Değişkenler Arasındaki İlişki.....	19
4.2.1.	Korelasyon Katsayısı.....	19
4.2.2.	Zaman Serileri Regresyon Analizi	20
4.3.	Veri Kaynakları	22
4.3.1.	Schumann Rezonans Verileri	22
4.3.2.	Jeomanyetik Veriler	22
5.	BULGULAR	23
6.	SONUÇ VE TARTIŞMA.....	35
	KAYNAKÇA	37
	ÖZGEÇMİŞ.....	44

ÖZET

Bu çalışmada Schumann rezonans frekansları ile jeomanyetik indisler (Dst ve Kp) aralarındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiştir. Schumann rezonans frekanslarının 2016 yılı ilk beş ayı (Ocak, Şubat ,Mart, Nisan, Mayıs) verileri ile saatlik ortalama Dst ve üç saatlik ortalama Kp değerleri arasındaki ilişki ayrı ayrı tanımlayıcı istatistik ve regresyon modeli uygulanarak belirlenmiştir.

Yapılan inceleme sonucunda Schumann rezonansının özellikle 21 Hz'e yakın olan frekansı ile Dst'nin tüm seti arasında pozitif yönde ilişkide olduğu görülmüştür. Ayrıca Dst ve Dst yönlerinin 14 Hz, 21 Hz ve 28 Hz frekansları ile de ilişkili olduğu, ancak 7 Hz ve 35 Hz frekans değerleri ile Dst arasında ilişki olmadığı belirlenmiştir. Bu frekans değerleri için Dst'nin yönleriyle elde edilen açıklanabilirlik oranları sırasıyla 0.31, 0.28 ve 0.32 olarak hesaplanmıştır.

Schumann rezonansının 7 Hz ve 21 Hz'e yakın olan frekansı ile Kp arasında pozitif yönde ilişkili olduğu diğer frekanslar 14 Hz, 28 Hz ve 35 Hz ilişkili olmadığı elde edilmiştir. 7 Hz ve 21 Hz lik Schumann frekansları ile Kp arasındaki açıklanabilirlik oranları sırasıyla 0.38 ve 0.27 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Schumann Rezonans Frekansları, Dst, Kp, Tanımlayıcı İstatistik, Regresyon Analizi

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN GEOMAGNETIC INDICES AND SCHUMANN RESONANCE FREQUENCIES

In this study, it has been statistically investigated the connections between Schumann resonance frequencies and geomagnetic indices Dst and Kp. The relations between the Schumann resonance frequencies data given in the first five months of 2016 (January, February, March, April, May) and the data of average Dst value measured for one hour and Kp for three hour have been determined by applying descriptive and regression statistical models separately.

According to the results of the statistical analyses it has been proved that there is a positive way relation between the Schumann resonance frequency (especially the one nearest to 21 Hz) and all the set of Dst. The frequencies of 14 Hz, 21 Hz and 28 Hz were also connected with the directions of Dst but no any connection between the frequencies of 7 Hz and 35 Hz and Dst has been identified. The explainable rates for these frequency values obtained by using the directions of Dst have been found out as 0.31, 0.28, 0.32 respectively.

It has been obtained that there is a positive correlation between the Schumann resonance frequencies of the nearest to 7 hz and 21 Hz and Kp, but no connection with the other frequencies of 14 Hz, 28 Hz and 35 Hz. The explainable rates of the correlation between 7 Hz and 21 Hz of Schumann resonance frequencies and Kp have been calculated as 0.38 and 0.27 respectively.

Keywords: Schumann resonance frequencies, Dst, Kp, Descriptive statistics, Regression snalysis

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Atmosferik bölgeler	1
Şekil 1.2. Schumann rezonans yayılımının şematik gösterimi	2
Şekil 2.1. İlk 5 Schumann rezonans frekansının dağılımı	4
Şekil 2.2. Dünya-İyonküre dalga kılavuzunda bulunan düşük frekanslı dalgaların şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.3. Üç ana yıldırım havzasının günlük etkisi	7
Şekil 2.4. Yıldırım oluşumu.....	8
Şekil 5.1. Schumann rezonans frekansları ile Dst indisi arasındaki değişimler	24
Şekil 5.2. Schumann rezonans frekansları ile Kp indisi arasındaki değişimler.....	25

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. İyonküre bölgelerinin yaklaşık yükseklikleri ve elektron yoğunlukları	2
Tablo 3.1. Kp indisinin değerleri ve anlamları	13
Tablo 3.2. Kp indisinin hesaplandığı 13 gözlemevi.....	14
Tablo 3.3. Dst indisinin değerleri ve anlamları.....	15
Tablo 3.4. Dst indisinin hesaplandığı 4 gözlemevi.....	15
Tablo 4.1. Tanımlayıcı istatistik içeriği	16
Tablo 4.2. Basıklık ve çarpıklık katsayısı ilişkisi.	19
Tablo 4.3. Pearson R için Nitelendirme	20
Tablo 5.1. Schumann rezonans frekansları ile Dst ve Kp indisi için tanımlayıcı istatistik ve korelasyon sonucunda elde edilen veriler	26
Tablo 5.2. Bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait durağanlık değerleri.....	27
Tablo 5.3. Schumann rezonans ile Dst arasındaki Regresyon değerleri.....	28
Tablo 5.4. Schumann rezonans ile Kp arasındaki Regresyon değerleri.....	31

SEMBOLLER LİSTESİ

E	: Elektrik alan
B	: Manyetik alan
T	: Tesla
Å	: Angström
Ω	: Ohm
F	: Frekans
Hz	: Hertz
Z	: Empedans
ω₀	: Rezonans frekansı
ε	: Elektriksel geçirgenlik
σ(r)	: Elektriksel iletkenlik
c	: Işık hızı
T	: Salınım periyodu
Q	: Rezonans boşluğu
λ:	: Dalga boyu
D, E, F1, F2	: İyonkürede elektron yoğunluk bölgeleri
UV	: Ultraviyole ışınları
Dst, Kp	: Jeomanyetik indisler
∇²Ψ	: Küresel koordinatlarda laplace denklemi
Ψ	: Uzaysal genlik
j(r) ve Y(θ, φ) :	: Dalganın ışınsal hareketini ve dalganın açısall hareketini tanımlayan küresel harmonik

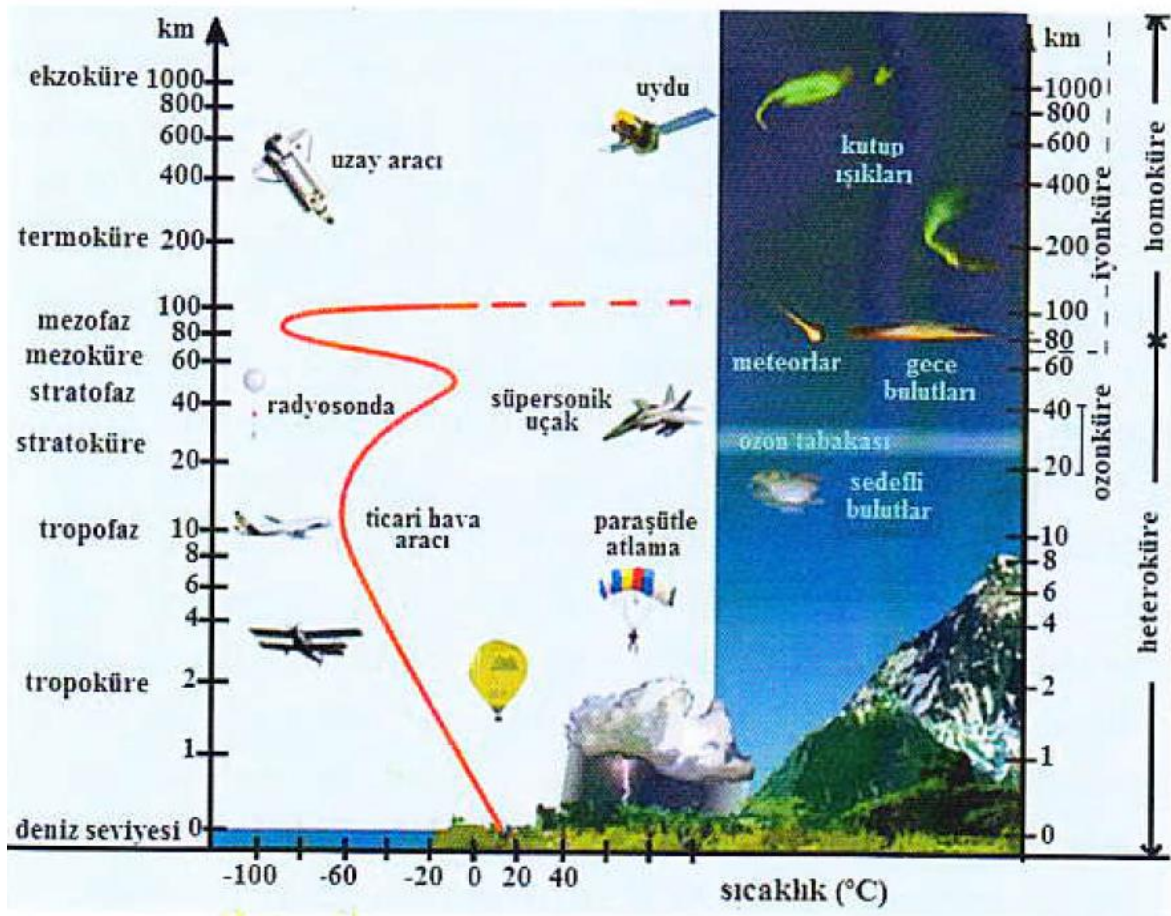
D	: Elektrik indüksiyon
J	: İletim akımı
J_{ext}	: Dış kaynaklı akım
C	: Coulomb
Y	: Bağımlı (sonuç) değişken
X	: Bağımsız (sebeup) değişken
α	: Sabit olup $x=0$ olduğunda y 'nin aldığı değerdır
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	: Regresyon katsayısı
β_0	: Regresyon sabiti
ε	: Tesadüfi hata terimi
R	: Korelasyon
ÇK	: Çarpıklık katsayısı
BK	: Basıklık katsayısı
a	: Dünya'nın yarıçapı
H	: Alt iyonkürenin yüksekliği
Z_g	: İyonkürenin yüzey empedansı
P_m(cosθ)	: Legendre polinomu
θ	: Kaynak ve gözlemci arasındaki açı
Idl	: Merkezcił elektrik dipolünün akım momentı
nT	: Nanotesla
S.R.	: Schumann rezonans
Dummy G	: Dst' nin güney yönü
Dummy K	: Dst' nin kuzey yönü
Δ	: Fark işlemcisi
PP	: Phillips-Perron testi

ADF	: Geliştirilmiş Dickey-Fuller testi
KPSS	: Kwiatkowski D, Phillips PCB, Schmidt P, Shin Y. testi
SEKK	: Sıradan en küçük kareler metodu



1.GİRİŞ

Dünya'yı çevreleyen atmosfer sadece iklimsel olayların meydana geldiği bir bölge değildir. Aynı zamanda Güneş'ten gelen yüksek enerjili parçacıklar, ultraviyole (uv), X ışınların soğurulduğu ve uzaydan gelen meteor yağmurlarının parçalandığı bölgedir. Atmosfer, fiziksel ve kimyasal bileşenlerine göre ayrıştığı bölgeler Şekil 1.1'de gösterilmektedir [1,2,3].



Şekil 1.1. Atmosferik bölgeler [2]

İyonküre, Güneş'ten ve uzaydan gelen ışımların ve yüksek enerjili parçacıkların atmosferin üst bölgelerindeki atom ve molekülleri iyonlaştırması sonucu oluşan bir bölgedir. İyonküre serbest elektronlar ile pozitif yüklü iyonları hemen hemen eşit sayıda içeren doğal bir plazmadır. İyonkürede atom ve moleküller ağırlıklarına göre farklı ölçek

yüksekliklerinde bulunurlar. Bundan dolayı iyonküre içerisinde oluşan iyonlaşmada yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Elektron yoğunluğuna göre D,E,F (F1 ve F2) olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Bu bölgelerin Yer'den yüksekliği ve elektron yoğunluğu Tablo 1.1 de verilmiştir [2,4,5].

Tablo 1.1. İyonküre bölgelerinin yaklaşık yükseklikleri ve elektron yoğunlukları [2].

Bölge	Yükseklik (km)	Elektron Yoğunluğu (m ⁻³)
D	50-90	10 ⁸ -10 ¹⁰
E	90-160	10 ¹¹
F1	140-200	2x10 ¹¹
F2	200-350	10 ¹²

Schumann rezonansları (SR), Yer – İyonküre dalga kılavuzunda oluşan evrensel elektromanyetik rezonans frekanslarıdır ve ilk kez Winfried Otto Schumann tarafından 1952 yılında ifade edilmiştir. Schumann rezonansları, Dünya atmosferinde yere yakın bölgelerde tespit edilen elektromanyetik spektrumun aşırı düşük frekans bandındaki (Extremely Low Frequency, ELF) farklı tepe değerlerinin bir dizisidir [6,7]. Yerküre ve iyonkürenin her ikisi de iletken olduğu için daimi Schumann rezonans dalgalarının varlığına izin verirler. Schumann rezonansları, dikey elektrik alan ve yatay manyetik alanla birlikte yatay olarak yayılır [8,9]. Yerküre-İyonküre boşluğunda yayılan Schumann rezonanslarının yayılım doğrultuları şematik olarak Şekil 1.2' de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Schumann rezonans yayılımının şematik gösterimi [7].

Jeomanyetik indisler, atmosfer ile ilgili çalışmalar için önemli referanslardır. Son yüzyılda gelişen Güneş gözlemleme teknikleri ile Güneşin yaydığı akı ile X ve UV ışınlarının iyonkürede ve manyetoküredeki etkileri gibi birçok etkenin geçici jeomanyetik

değişimlere sebep olduğu gözlenmiştir. Jeomanyetik indisler birçok araştırmacı tarafından ele alınmış ve listelenmiştir [10-13]. Jeomanyetik alanların, Yerküre atmosferinde oluşturduğu evresel tedirginliklere göre iki ana grupta sınıflandırılabilir. Birinci grupta bazı değişimler bölgesel bileşenlere (ekvatorial halka akım etkileri, ani fırtına başlamaları, ani darbeler ve dalgalanmalar) ve bölgesel olmayan bileşenlere (auroral değişimler) sahiptir. İkinci grup ise kutup bölgelerindeki değişimleri ve Güneş patlamalarının etkilerini kapsar [14].

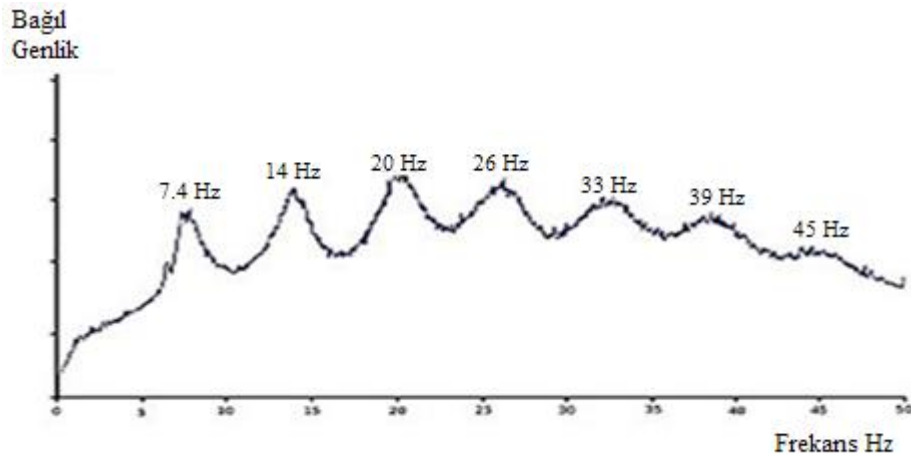
İstatistik tüm bilim dallarında sayıları derleme, özetleme, değerlendirme ve sayıların güven derecesini araştırma, deneysel örneklemelerden elde ettiği sonuçları genelleştirme yöntemlerini kapsayan bir bilim dalı ya da pek çok bilim dallarına yardımcı bir yöntemler topluluğudur [15]. İstatistik, betimsel istatistik ve çözümsel istatistik olarak ikiye ayrılabilir. Araştırmaya ilişkin verilerin toplanması, seriler yardımıyla gösterilmesi, sınıflandırılması ve grafikler yardımıyla gösterilmesi aşamalarını içeren sürece betimsel istatistik denir. Tablo ve grafikler yardımıyla gösterimi yapılan verilerin amaca uygun farklı istatistik teknikler yardımıyla çözümlenmesi (analizi), sonuçların modeller yardımıyla ifade edilmesi ve ileriye dönük tahminlerde (öngörü) bulunulması sürecine de çözümsel istatistik denir [16].

Bu çalışmada, 2016 yılının ilk 5 ayının farklı günlerine ait Schumann rezonans verileri ile bu günler için Dst (The Disturbance Storm Time) ve Kp indisleri ile aralarındaki ilişki hem tanımlayıcı istatistik hem de zaman serileri analizi yöntemiyle incelenmiştir.

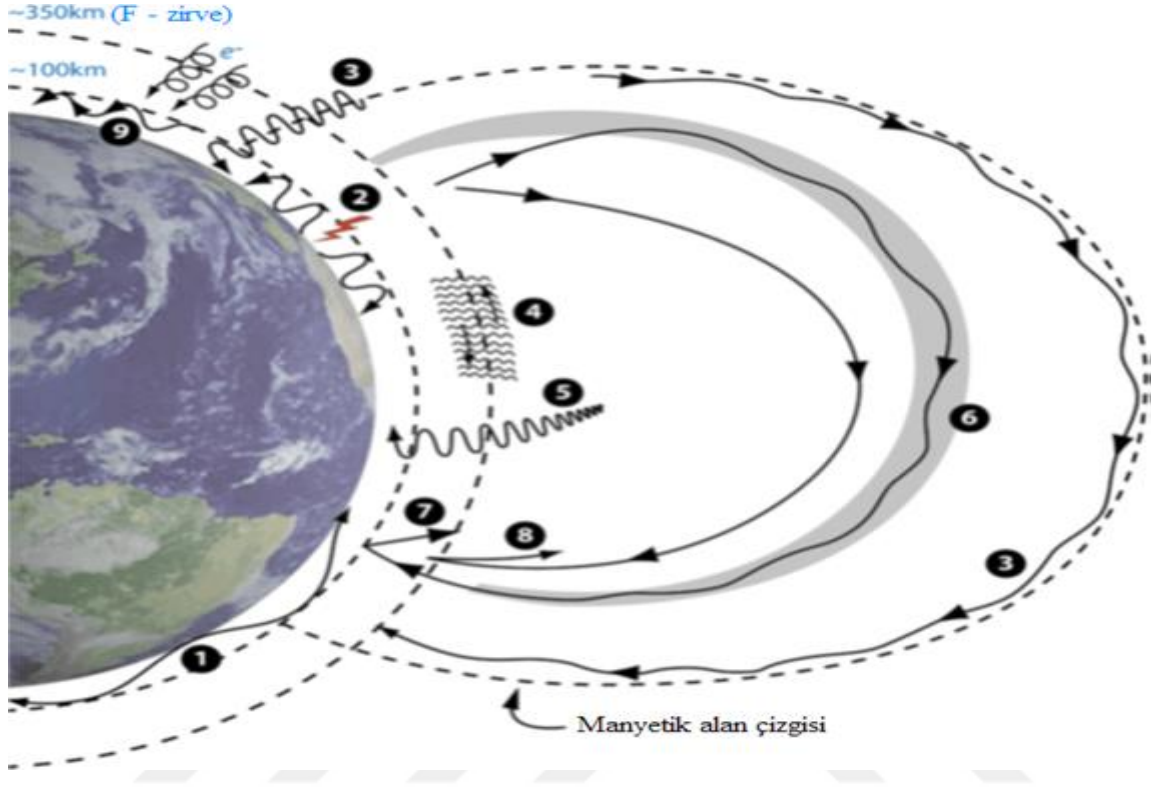
2. SCHUMANN REZONANSI

Dünya dev bir elektrik devresi gibi davranmaktadır. Aslında atmosfer zayıf bir iletken ve eğer hiçbir şarj kaynağı olmasaydı var olan elektrik yükü yaklaşık 10 dakika içinde dağılırdı. Dünya'nın yüzeyi ve iyonkürenin iç kısmı arasında yaklaşık 55 km' lik dikey bir boşluk bulunmaktadır. Herhangi bir anda bu boşluk içindeki toplam yük 500,000 C tur. Yeryüzü ile iyonküre arasında $1-3 \times 10^{-12}$ A/m²'lik bir dikey akım akışı vardır. Atmosferin direnci 200 ohm'dur. Potansiyel voltaj 200,000 voltur.

Schumann rezonansları yer-iyonküre arasındaki boşlukta var olan ve aralarında az da olsa benzerlik gösteren elektromanyetik dalgalarıdır. Schumann rezonansları, Yer'in elektromanyetik alan tayfının ELF bandındaki bir dizi spektrum olarak tanımlanır. Dünya'nın içsel faktörleri, kabuk ya da çekirdek tarafından oluşturulmamakta ve sebebinin atmosferde oluşan elektriksel faaliyetlere ait olduğu düşünülmektedir. Özellikle şiddetli yıldırım aktivitelerinin olduğu zamanlarda 7,8, 14, 20, 26, 33, 39 ve 45 Hz (+/-0.5) frekans değerlerinde meydana gelmektedir. Şekil 2.1 ve 2.2'de sırasıyla Yer iyonküre dalga klavuzunda yayılan dalgalar ve 5 temel frekans spektrumu gösterilmiştir [17].



Şekil 2.1. İlk 5 Schumann rezonans frekansının dağılımı [18]



Şekil 2.2. Dünya-İyonküre dalga kılavuzunda bulunan düşük frekanslı dalgaların şematik gösterimi [19]

1. Schumann rezonansları.
2. Atmosferik.
3. Jeomanyetik titreşimler.
4. Alfvén dalgaları (manyetosonik).
5. Alfvén dalgaları (kesme).
6. Işık.
7. VLF yayılımı.
8. VLF yansıma.
9. VLF subyonosferik yayılma.

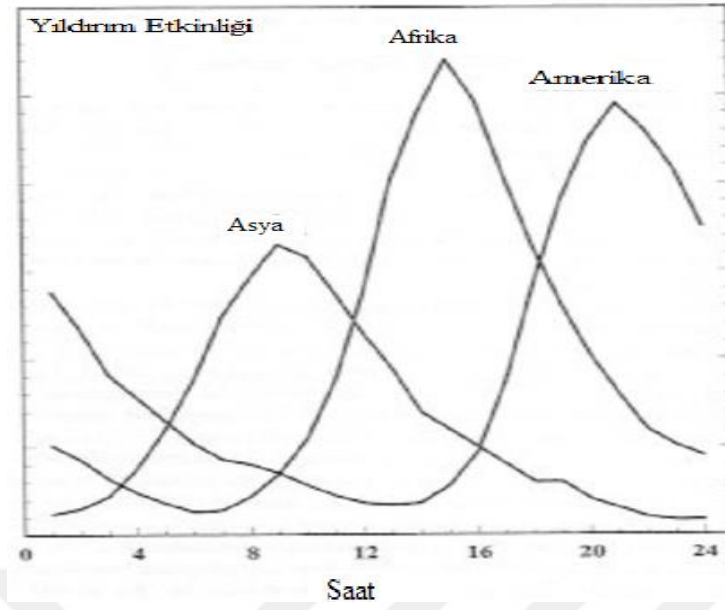
Küresel dalga kılavuzlarıyla kullanılan en önemli matematiksel yöntemlerden bazıları 1918'de Watson tarafından geliştirilmiş olsa da, bugün ilk olarak Schumann rezonansı olarak bilinen Yer-iyonküre dalga kılavuzu sisteminin küresel rezonanslarının teorik yönlerini inceleyen bilim adamı alman fizikçi Winfried Otto Schumann'dır [20]. 1952'de Münih Teknik Üniversitesinin Elektrofizik Enstitüsünde yönetici olan Schumann, Dünya yüzeyi ve İyonküre tarafından oluşturulan dalga kılavuzlarında elektromanyetik dalgalar hakkında ilk çalışmayı yayınlamıştır [21]. 1954'te Schumann ve H.L. König, Schumann'ın hipotezini 7.83 Hz ana frekanstaki rezonansı saptayarak doğruladı. Böylece "Schumann rezonansı", iyonküredeki yıldırım boşalmaları tarafından oluşturulan küresel elektromanyetik rezonanslar oldukları saptanmıştır [22]. 1960-1963 yılları arasında Balser ve Wagner yaptıkları ölçümler ve analiz teknikleri ile arka plan gürültüsünden rezonans bilgisini çıkaran çalışmalar yayınlamışlardır [23]. İlk yayınlanan çalışmadan itibaren Schumann rezonanslarına olan ilgi geniş bir yelpazede artarak devam etmektedir.

2.1. Schumann Rezonans Elektromanyetik Dalgaların Kaynağı ve Yapılan Çalışmalar

Schumann, atmosferde oluşan yıldırımların Yer-iyonküre boşluğunu etkilediğini ve düşük frekanslı duran dalgalar oluşturduğunu varsaydı. Bu fikir deneysel verilerle desteklendi [24-29].

Schumann rezonanslarını kullanarak küresel yıldırım aktivitesini izlemek için yoğun bir ilgi oluştu. Ayrıca, atmosferde oluşan yük boşalmalarının (yıldırımların) bile Schumann rezonanslarını kullanarak tespit edilebileceği ve çalışabileceği düşünülmüştür [30, 31, 32]. Bundan dolayı Schumann rezonanslarının sebebi olan yıldırımların bazı özelliklerini anlamak önemlidir.

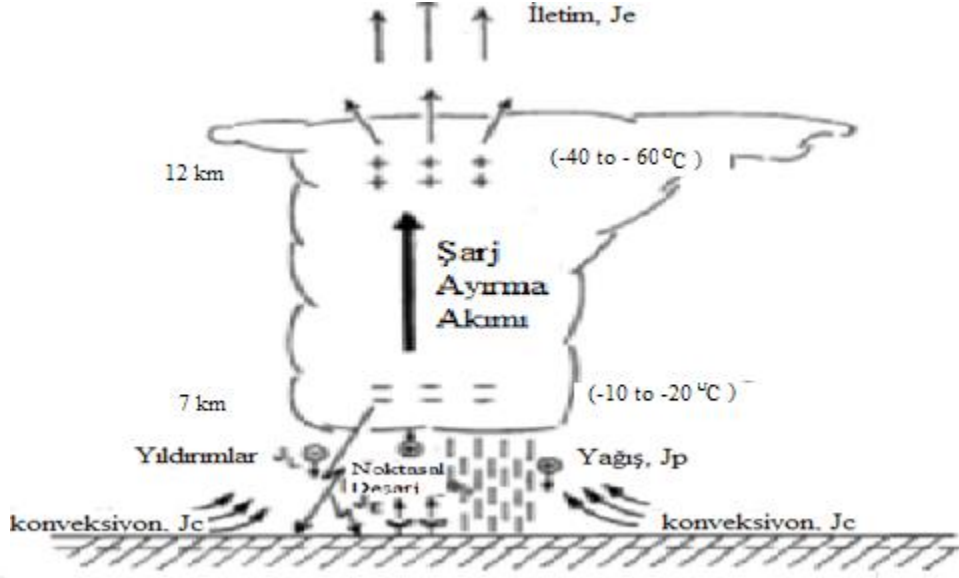
Yer-iyonküre boşluğundaki uyarılmalardan birincil derecede sorumlu olan üç tane fırtına merkezi vardır. Bunlar Orta ve Güney Amerika, ekvatorial Afrika ve Güneydoğu Asya' dır ve Şekil 2.3'te bu havzalardaki yıldırım aktivitesi gösterilmiştir [33]. atmosferde herhangi bir zamanda 2000 adet fırtına olmakta ve bu fırtınalar saniyede yaklaşık olarak 50 tane yıldırım oluşturmaktadır. Tipik bir yıldırımdan yayılan elektromanyetik radyasyon 5-10 kHz bandında zirve yapar ve sıcaklığı 30000 K ulaşır. Yıldırım olaylarında daima bulutların tabanı negatif yüklü üstü ise pozitif yüklü kabul edilir [34].



Şekil 2.3. Üç ana yıldırım havzasının günlük etkisi [35].

Dört farklı yıldırım boşalması vardır. Bunlar yukarı pozitif, aşağı pozitif, yukarı negatif ve aşağı negatiftir. Bütün yıldırım boşalmalarının %75 i bulut-bulut boşalması olduğu düşünülür [34].

Bulut-yer veya yer-bulut arasındaki yıldırımlar oldukça karmaşıktır. Süreç, bulutun büyüklüğüne bağlı olarak bulutun elektrostatik yükünün belli bir eşiğe gelmesinden sonra öncü olarak başlar. Bu öncü iletken bir sütun olup buluttan yere doğru 1.5×10^5 m/sn hızla zig zag hareketi yaparak ilerler ve birkaç Coulombluk negatif yükü taşır. Öncü sütun yere ulaşmadan önce adına geri dönüş darbesi denilen bir sütun yerden yukarı doğru hareket eder. Bu geri dönüş darbesi genellikle yıldırım çarpması olarak isimlendirilir. Tüm süreç yaklaşık saniyenin 1/3 ü kadar sürer. Bir yıldırım çarpmasını çevreleyen dikey bölge Yer yüzeyi ile bulutlar arasındaki büyük potansiyel farkından dolayı atmosferdeki moleküllerden ayrılmış olan çok sayıda serbest elektron içerir. Genellikle, geri dönüş darbesindeki serbest elektronlar atmosferdeki moleküllerle bağlanmadan önce sadece birkaç metre hareket ederler [34]. Şekil 2.4'te yıldırım oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Yıldırım oluşumu [36]

Dikey yıldırım kanalları, 100 kHz'in altındaki frekanslarda elektromanyetik enerji yayan büyük antenler gibi davranır. Maksimum yayılan enerji yaklaşık 10 kHz civarında oluşur ve bu frekanslarda zayıflama 10 dB/Mm dir. Dolayısıyla bu frekanslar yıldırım boşalmasının olduğu bölgeden kilometrelerce uzak bölgelerde tespit edilebilirler. 100 Hz'in altındaki yıldırım sinyalleri çok zayıf olup zayıflama sadece 0.5 dB/Mm civarındadır. Bu frekanstaki sinyaller arka plan gürültüsünde kaybolmadan önce Dünya etrafında birkaç tur atabilirler. Bu sebepten ötürü Yer-iyonküre dalga kılavuzu ELF frekanslarında rezonatör gibi davranır ve zıt yönde Dünya'ya yayılmış olan elektromanyetik dalgaları yapıcı etkileşimi ile rezonans frekanslarında yıldırımdan gelen sinyalleri güçlendirir. ELF dalgalarının dalga boyu, Dünya'nın çevresi (~40,000 km) ile karşılaştırılabilir ve direkt ve tam ters dalgaların Schumann rezonans frekanslarındaki yapıcı girişimiyle birleştiği zaman rezonans tepe noktaları oluşur [37].

Schumann rezonanslar ile ilgili 1990 yıllarında yapılan çalışmalar ile küresel ısınmanın yıldırım aktivitesini arttırdığı, Dünya'nın iklimi ile yıldırım aktivitesi arasında bir ilişki olduğunu ve küresel sıcaklık değişimlerinin izlenilebileceğini ortaya koymuştur [38].

Işık sütunları, ışık yayılımları ve püskürmeler gibi geçici ışık saçan olayların keşfedilmesinden sonra Schumann rezonanslarında meydana gelen ani değişimlerin üst

atmosferde oluşan bu olaylarla ilişkili olduğu yönünde çalışmalar devam etmektedir [39, 40].

Schumann rezonans bandındaki ELF dalgalarının düşük zayıflamasından (~0.5dB/Mm) dolayı sadece yıldırımların Schumann rezonans dalgalarını üretmeyeceğini aynı zamanda atmosferdeki büyük patlamalarında geçici Schumann rezonans dalgalarına sebep olduğu düşünülmüştür [39]. Schumann rezonans ile ilişkili ELF dalgalarının diğer bir uygulama alanı ise denizaltılarla uzak mesafe haberleşmeleri için kullanılmasıdır. Ancak bu bandtaki dalga boylarının çok büyük olmasından dolayı çok büyük çıkış gücüne ve uzunluğa sahip (> 200 km uzunluğunda) vericilere ihtiyaç vardı. Bununla birlikte sinyaller küresel yayılım gösterdiğinden dolayı yakın zamana kadar Dünya'nın güçlü ülkeleri bu vericileri kullanıyorlardı. Amerika Birleşik Devletleri vericisi 76 Hz'de, Rusya vericisi ise 82 Hz'de yayın yapmaktadır [41, 42].

2.2. Schumann Rezonans Frekanslarının Teorisi

Yer-iyonküre boşluğundaki rezonans dalgaları aşağıdaki dalga denklemi ile ifade edilir.

$$\nabla^2 \psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \quad (2.1)$$

Burada c ışık hızı ve $\nabla^2 \psi$ ise küresel koordinatlarda Laplace denklemidir.

$$\nabla^2 \psi = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} \quad (2.2)$$

Denklem 2'nin eşitliğini sağlayan normal çözümü için,

$$\frac{\partial}{\partial t} \psi = i\omega \psi \quad ; \quad \psi(r, \theta, \phi, t) = \psi(r, \theta, \phi) e^{i\omega t} \quad \text{alınır.} \quad (2.3)$$

Bu denklem, dalga fonksiyon ψ nin bir uzaysal genliğe (ψ) sahip olduğunu ve zamanla $e^{i\omega t}$ şeklinde değiştiğini söylemektedir.

$\psi(r, \theta, \phi)$ fonksiyonu aşağıda verilen Helmholtz denklemini de eşitliğinin sağlar.

$$(\nabla^2 + k^2) \psi = 0 \quad (2.4)$$

Burada k ($k^2 = \omega^2/c^2$) dalga numarasıdır. Denklem 2 denklem 4 te yerine yazılıp düzenlenirse ve 3 nolu denklemin uzaysal kısmı;

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \left[\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \psi^2} \right] + k^2 \right] \psi = 0 \quad (2.5)$$

$$\psi(r, \theta, t) = j(r)Y(\theta, \varphi) \quad (2.6)$$

İki bileşene ayrılır. $j(r)$ dalğanın ışınsal hareketini ve $Y(\theta, \varphi)$ ise dalğanın açısai hareketini tanımlayan küresel harmoniktir. Yukarıdaki denklemler de (r) , (θ, φ) ya olan bağımlılıktan ayrılıp denklemler eşitlenir. Bu durumda ikisinin de aynı ayırma sabitine (λ) sahip oldukları anlaşılır. Denklem 5 in açısai kısmı;

$$\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial Y}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 Y}{\partial \varphi^2} = -\lambda Y \quad (2.7)$$

ve radyal kısmı şu şekilde yazılır

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} + \left(k^2 - \frac{\lambda}{r^2} \right) \right] j(r) = 0 \quad (2.8)$$

ile ifade edilir. Özdeğer olan λ sınır şartları ile tanımlanır. Bu durumda özdeğerler boşluğun özfrekanslarını karşılık gelir[24].

Schumann rezonansları ile ilişkili öz frekansları bulmak için Maxwell denklemlerini küresel koordinatları çözmek gerekir. Maxwell denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\nabla \times E = \mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.9)$$

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.10)$$

$$\nabla \cdot D = 0 \quad (2.11)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (2.12)$$

Burada E elektrik alanı, D elektrik indüksiyonu, H manyetik alanı, μ_0 ($= 4\pi \times 10^{-7}$ H/m) boş uzayın manyetik geçirgenliğini ve ϵ_0 ($= 8,85 \times 10^{-12}$ F/m) boş uzayın elektriksel geçirgenliğidir. B manyetik alanı $B = \mu_0 H$ ve D elektrik indüksiyon $D = \epsilon_0 E$ eşitliğiyle

tanımlanır. ϵ ortama bağlı elektriksel geçirgenliktir. Denklem 9 aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir [43].

$$\nabla \times \mathbf{H} = i\omega\epsilon_0\mathbf{E} + \mathbf{J} + \mathbf{J}_{ext} \quad (2.13)$$

$\mathbf{J}$ iletim ve $\mathbf{J}_{ext}$ dış kaynaklı akımdır. İletim akımı elektriksel alan tarafından yönlendirilir ve $\sigma(r)$ elektriksel iletkenlik olmak üzere $\mathbf{J}(r) = \sigma(r)\mathbf{E}(r)$ şeklinde yazılabilir. Schumann rezonansları için $\mathbf{J}_{ext}$ kaynağı Yer-iyonküre boşluğunda oluşan yıldırımlardır. Yıldırım kaynaklı enerjinin hangi oranda n . moda eklendiğini aşağıdaki ifade ile tanımlanır.

$$J_n = \frac{1}{K} \int_A E_n^* \cdot J_{ext} dA \quad (2.14)$$

K normalleştirme sabiti ve E_n^* ise n . mode elektrik alanının karmaşık eşleniğidir. Schumann rezonanslarının alan bileşenleri $\exp(i\omega t)$ şeklinde bir zaman bağımlılığına sahiptir. Bu nedenle, Fourier dönüşümü ile Maxwell denklemlerini zaman alanından frekans alanına dönüştürebiliriz:

$$E(r, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} E(r, t) \exp(-i\omega t) dt \quad (2.15)$$

$$H(r, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} H(r, t) \exp(-i\omega t) dt \quad (2.16)$$

Schumann, mükemmel iletken sınırları olan ortak merkezli küresel bir boşluk ve bu boşluğunun $\epsilon \approx \epsilon_0$ gibi homojen bir dielektrik ile dolu olduğunu varsayımında bulundu. Bu varsayımları kullanarak Dünya yüzeyinde 3 tane alan eşitliği ifadesi buldu [26, 44] .

$$E_\theta = -Z_g H_\varphi \quad (2.17)$$

$$E_r = -i \frac{Idl f(f+1)}{4\pi a^2 \epsilon_0 \omega h} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(2m+1)P_m(\cos \theta)}{m(m+1)-f(f+1)} \quad (2.18)$$

$$H_\varphi = -\frac{Idl}{4\pi a h} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2m+1}{m(m+1)-f(f+1)} \frac{dP_m(\cos \theta)}{d\theta} \quad (2.19)$$

Burada a Dünya'nın yarıçapı, h alt iyonkürenin yüksekliği, Z_g iyonkürenin yüzey empedansı, f öz frekans, $P_m(\cos \theta)$ Legendre polinomu, θ kaynak ve gözlemci arasındaki

açı ve Idl ise merkezci elektrik dipolünün akım momentidir. Denklem 17' te verilen dikey elektrik alanı TM (enine manyetik) dalga olarak adlandırılır ve yatay manyetik alanına dik şekilde yayılır. Aynı şekilde Denklem 18' deki dalga TE (enine elektrik) dalga olarak adlandırılır ve elektrik alanına dik olarak yayılır. Schumann rezonansları TEM (enine elektromanyetik) dalgaları olarak adlandırılır. Hem elektrik alan hem de manyetik alanının ikisi de diktir ve yayılma doğrultusu boşluk sınırlarına paraleldir[25, 45].

Mükemmel iletken sınır şartları kabul edilirse öz frekanslar aşağıdaki ifade ile tanımlanır.

$$f_m = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{m(m+1)} \quad (2.20)$$

Eğer Dünya'nın yarıçapı 6371 km olarak alınırsa, yukarıdaki ifadeden ilk beş öz frekans (10.5, 18.2, 25.7, 33.2, ve 40.7 Hz) türetilir. Deneysel öz frekanslar ise 8, 14, 21,27 ve 34 Hz dir [46]. Bu öz frekanslar ile deneysel olarak elde edilen değerler arasındaki uyumu sağlamak için yukarıdaki ifadeyi Dünya iyonküresinin iletkenlik değişimlerini kapsayan bir düzeltme faktörü ile çarpmak gerekir.

$$f'_m \approx f_m \left(1 - \frac{c\sqrt{\epsilon_0}}{4h\sqrt{\pi f_m \sigma_i}} \right) \quad (2.21)$$

Burada σ_i alt iyonkürenin iletkenliği ve c ışık hızıdır. İyonküre iletkenliğindeki değişimlerin temel sebebi Güneş radyasyonu ve Dünya'nın jeomanyetik alanıdır [24, 44].

3. JEOMANYETİK İNDİSLER

Jeomanyetik indisler Yer'in manyetik alanının Dünya üzerindeki gözlem merkezlerinde manyetometreler tarafından birkaç saatten daha kısa süreyle kaydedilen basit ölçümleridir. İndislerin ölçtüğü değişimler, Dünya'nın iyonküresi ve manyetoküresi temellidir. Bazı indisler fiziksel süreçler ölçmek için özel olarak tasarlanmış olsa da diğerleri manyetik aktivitenin daha genel ölçümleridir. Jeomanyetik indisler, üst atmosfer ve uzay fiziğinin çalışmaları, Yer kabuğu ve örtüsü iletim çalışmaları ve Dünya'nın içi ve çekirdeğindeki manyetik bozulmalar çalışmaları gibi jeomanyetizma altındaki birçok alt disiplinde rutin olarak kullanılır [47]. Jeomanyetik indis olarak Kp ve Dst çalışmamızda kullanılmıştır.

3.1. Kp İndisi

Düzensiz ve hızlı, fırtına zamanlı manyetik aktivite aralığının ölçüsü olan 3 saatlik K indisi ilk defa Bartels (1938) tarafından açıklandı [48]. Kp indisi manyetik bir fırtınanın genel gelişimi ile ilişkili, normal günlük değişim ve çekirdekten ısı yayılması ile kaynaklanan çok daha uzun süreli ve sürekli jeomanyetik değişim gibi manyetik aktivite değişimin uzun vadeli bileşenlerine karşı duyarsız olacak şekilde tasarlanmıştır. K indisi her gözlem evi için ayrı ayrı hesaplanır ve farklı gözlemevlerindeki bu indisler bir araya toplanarak yer seviyesindeki manyetik aktivite ölçülebilir.

Gezegen ölçekli manyetik aktivite değişimi Kp indisi ile ifade edilir. Bu indis, bireysel gözlemevlerindeki K değerleri arasındaki günlük ve mevsimsel farklılıkları ortadan kaldırmak için 13 farklı gözlemevindeki K indislerinin ortalamasından bulunur [49]. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de Kp indisinin sınıflandırılması ve 13 gözlemevinin yerleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Kp indisinin değerleri ve anlamları [50] .

Kp İndisi	nT	Jeomanyetik Fırtına Etkisi
0	0-5	Aktiflik yok
1	5-10	Çok Sakin Aktivite
2	10-20	Sakin Aktivite
3	20-40	Tedirgin Aktivite
4	40-70	Faal Aktivite
5	70-120	Küçük Fırtına
6	120-200	Büyük Fırtına
7	200-330	Şiddetli Fırtına
8	330-500	Çok Şiddetli Fırtına
9	>500	Aşırı Şiddetli Fırtına

Tablo 3.2. Kp indisinin hesaplandığı 13 gözlemevi

Araştırma Merkezleri	Ülke	Gözlemevi	Kodu
Jeobilim Merkezi	Avusturalya	Canberra	CNB
Jeolojik Araştırma Merkezi	Kanada	Meanook	MEA
Jeolojik Araştırma Merkezi	Kanada	Ottawa	OTT
Meteorolojik Enstitüsü	Danimarka	Brorfelde	BFE
Jeo Araştırma Merkezi	Almanya	Niemegk	NGK
Jeo Araştırma Merkezi	Almanya	Wingst	WNG
Jeolojik ve Nükleer Bilim Merkezi	Yeni Zelanda	Eyrewell	EYR
Jeolojik Araştırma Merkezi	İsveç	Lovoe	LOV
Jeolojik Araştırma Merkezi	İngiltere	Eskdalemuir	ESK
Jeolojik Araştırma Merkezi	İngiltere	Hartland	HAD
Jeolojik Araştırma Merkezi	İngiltere	Lerwick	LER
Jeolojik Araştırma Merkezi	Amerika	Fredericksburg	FRD
Jeolojik Araştırma Merkezi	Amerika	Sitka	SIT

3.2. Dst İndisi

Yer tabanlı manyetometrelerde tespit edilen sistematik etkilerden biri de ekvator bölgesindeki gözlemlerinde kaydedilen yatay manyetik alandaki değişimlerdir. Bu değişimler genellikle batıya doğru bir manyetoküresel ekvatorial halka akımının bir artışı olarak yorumlanır. Dst indisi bu olayı ölçmek için tasarlanmıştır ve manyetoküre üzerine yapılan araştırmalarda en çok kullanılan indis [51].

Düşük enlemdeki gözlemlerinden bir dakikalık düzeltilmiş yatay yoğunluk verileri kullanılarak günlük ve sürekli değişimleri elde edilir. Her gözlemevinden elde edilen sonuçlara geometrik bir ayarlama yapılarak manyetik ekvatora göre normalize edilirler. Bunların ortalaması ise Dst indisidir. Dört istasyondan gelen en büyük ve en küçük alan değişimleri arasındaki farktır. Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de Dst indisinin sınıflandırılması ve 4 gözlemevinin yerleri verilmiştir.

Tablo 3.3. Dst indisinin değerleri ve anlamları [50]

Dst İndisi (nT)	Jeomanyetik Aktivite Etkisi
$Dst \geq -30$	Sakin
$-30 \geq Dst \geq -50$	Zayıf Fırtına
$-50 \geq Dst \geq -100$	Hafif Fırtına
$-100 \geq Dst \geq -200$	Kuvvetli Fırtına
$Dst \geq -200$	Şiddetli Fırtına

Tablo 3.4. Dst indisinin hesaplandığı 4 gözlemevi

Araştırma Merkezleri	Ülke	Gözlemevi	Kodu
Meteorolojik Enstitüsü	Japonya	Kakioka	KAK
Ulusal Araştırma Merkezi	Güney Afrika	Hermanus	HER
Jeolojik Araştırma Merkezi	Amerika	Honolulu	HON
Jeolojik Araştırma Merkezi	Amerika	San Juan	SJG

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Schumann rezonansları ile jeomanyetik indisler arasındaki ilişki istatistiksel olarak ilişki analiz edilmek istenmiştir. Kullanılan istatistiksel metotlar aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

4.1.Tanımlayıcı (Betimleyici) İstatistik

Tanımlayıcı istatistik, sayısal verileri sınıflama ve özetlemede kullanılan yordamlardır. Bilimsel araştırmalarda toplanan veriler genellikle düzensiz bir şekilde elde edilir. İncelenen özellikler açısından hedef kitlenin yapısını ortaya çıkarabilmek için ham veri adı verilen bu bilgilerin işlenmesi gerekir. Veri işlenmesinde ise sınıflama ve gruplama teknikleri ile toplam (sayı ya da frekanslar), oran (yüzdelere), ortalama (aritmetik ortalama, mod, medyan) ve standart sapma gibi ölçütlerden yararlanılır [52, 53]. Bu ölçütler Tablo 4.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 4.1. Tanımlayıcı istatistik içeriği [54]

TANIMLAYICI İSTATİSTİK			
MERKEZİ EĞİLİM ÖLÇÜLERİ	DEĞİŞKENLİK ÖLÇÜLERİ	ÇARPIKLIK ÖLÇÜLERİ	BASIKLIK ÖLÇÜLERİ
Aritmetik ortalama	Değişim aralığı	Bowley asimetri ölçüsü	
Tartılı aritmetik	Standart sapma	Pearson asimetri ölçüsü	
Geometrik ort.	Varyans		
Kareli ort.	Mutlak Sapma		
Harmonik ort.	Değişkenlik katsayısı		
Mod	Kartil sapma katsayısı		
Medyan	Ortalama sapma katsayısı		
Kartiller			

4.1.1. Merkezi Eğilim Ölçüleri

Konum ölçüleri, verilerin dağılımdaki yerlerini, birbirlerine olan uzaklıklarını kısacası konumlarını belirlemek için kullanılan ölçülerdir.

Aritmetik ortalama istatistikte ve günlük hayatta çok kullanılan ve bilinen bir merkezi eğilim ölçüsüdür. Bir veri serisinin aritmetik ortalaması ve sadece ortalaması denildiği zaman gözlemlerin merkezi yerinde bulunan değer anlaşılmaktadır [56,57]. Verilerin en çok hangi değer etrafında yoğunlaştığının ya da toplandığının sayısal ölçüdür [16]. Basit serilerde aritmetik ortalama değeri elde etmek için gözlem değerleri toplanarak gözlem sayısına bölünür [55,56].

4.1.2. Değişkenlik Ölçüleri

Merkezi eğilim ölçüleri tek başına dağılımı karakterize etmez. Verilerin yer ölçülerinden uzaklık durumlarını, yani değişkenliklerini belirtmek için diğer bazı ölçülerin kullanılması gerekir. Verilerin değişkenlik durumunu ve dağılım şeklini belirlemek için kullanılan ölçülere dağılım ölçüleri denir. İki veri grubu ortalamasının eşit olması dağılımlarının aynı olmasını gerektirmez. Dağılım şeklinin ve değişkenliğinin karşılaştırılması dağılım ölçüleri ile belirlenir [57].

4.1.2.1. Standart Sapma

Bir çalışma grubundaki her bir verinin ortalamaya göre ne kadar uzaklıkta olduğunu, bir diğer deyişle dağılımın ne yaygınlıkta olduğunu gösteren bir ölçüdür. Standart sapma büyüdükçe dağılım yaygınlaşır [57]. Ortalama $\pm$ standart sapma, grubu oluşturan deneklerin belli bir özellik yönünden ortalamaya göre sağa-sola ne kadar saptığını yaklaşık bir ifade ile ortaya koymaktadır. Standart sapma, popülasyonu oluşturan bireyler arasındaki farklılığın bir ölçüsüdür [53].

Aynı popülasyondan seçilecek, aynı büyüklükteki örneklemelerin ortalamalarının yayılmasını gösteren ölçüt, ortalamanın standart hatası (standard error of mean)'dir. Standart sapma değerinin denek sayısının kareköküne bölünmesi ile elde edilen değerdir [58]. Ortalamanın standart hatası, ortalamanın dağılımındaki varyasyonu (değişimi) gösterir, örneklem sayısının artması ile küçülür. Standart hatanın küçük olması popülasyon

parametresine ait yapılacak olan tahminler açısından ve daha dar güven aralığı sınırlar bulma açısından önemlidir. Ekstrem bir örnek verilecek olursa; örneğin bir çalışma grubunun ortalamasına ait standart hata sıfır olarak bulunsun. Bu sıfır değeri, çalışma grubuna ait ortalama değerinin, grubu oluşturan örneklerde değişmediğini ve popülasyon parametresini tahmin bakımından en iyi tahmini yaptığını gösterir. Yani standart hata ne kadar küçük olursa popülasyona ait tahminlerimiz de o kadar isabetli olur [53].

4.1.2.2. Varyans

Bir veri dağılımındaki değişimin önemli bir ölçüsü varyanstır. Verilerin ortalamasından sapmalarının büyüklüğü dağılımın değişkenliğini gösteren iyi bir ölçüdür. Varyans, değişim genişliğinden daha hassas bir ölçüdür. Başka bir şekilde tanımlanacak olursa; belirli bir popülasyonda incelenen özelliğin (veya özellikle ilgili değerlerin ya da ölçümlerin) ne genişlikteki bir aralıkta (dar veya geniş) dağıldığının göstergesi varyanstır. Varyansın karekökü standart sapma ifadesini verir [57].

4.1.3. Çarpıklık Ölçüleri

Normal dağılımda simetrikliğin bozulma derecesi çarpıklık olarak ifade edilir. Dağılım sağa doğru uzun kuyruklu ise sağa çarpık, sola doğru uzun kuyruklu ise sola çarpık olarak adlandırılır [57].

Çarpıklık katsayısı sıfıra yaklaştıkça serinin simetrisi artacaktır (çarpıklığı azalacaktır).

$\text{ÇK} = 0$ Seri simetriktir

$\text{ÇK} > 0$ Seri sağa çarpıktır

$\text{ÇK} < 0$ Seri sola çarpıktır

Bu değer % 5 anlamlılık düzeyinde **+1,96** ve **-1,96** değerleri arasında ise veriler normale yakındır denilebilir.

4.1.4. Basıklık Katsayısı

Normal dağılım eğrisinin ne kadar dik veya basık olduğunu göstermeye yarar. Tam çan eğrisinin basıklık katsayısı “sıfır” olmalıdır. Basıklık katsayısı pozitif ise, eğri normale göre daha dik olup, negatif ise normale göre daha basık olacaktır [59].

Bir serinin çarpıklığı (Skewness) ve basıklığı (Kurtosis) aşağıdaki Tablo4.2. yardımıyla incelenebilir.

Tablo 4.2. Basıklık ve çarpıklık katsayısı ilişkisi [60]

	$\text{ÇK}=0$	$\text{ÇK}>0$	$\text{ÇK}<0$
BK=3	Simetrik ve basıklığı normal		
BK>3		Asimetrisi pozitif ve normale göre sivri	Asimetrisi negatif ve normale göre sivri
BK<3		Asimetrisi pozitif ve normale göre basık	Asimetrisi negatif ve normale göre basık

4.2. Değişkenler Arasındaki İlişki

Değişkenler arasında bir ilişkinin olup olmadığını, ilişkinin güçlü mü, zayıf mı olduğunu ve ilişki katsayısını belirlemede en yaygın kullanılan yöntemler korelasyon ve regresyondur.

4.2.1. Korelasyon Katsayısı

Korelasyon analizini iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ve bir değişkenin iki veya daha fazla değişken ile olan ilişkisini, test etmek, varsa bu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan analiz olarak tanımlanmaktadır. Korelasyon analizi neticesinde hesaplanan korelasyon katsayısı R ile gösterilmekte -1 ile +1 arasında değer almaktadır. En yaygın kullanılan korelasyon modellerinden biri Pearson korelasyon katsayısı ayrıntılı olarak Tablo 4.3’ te gösterilmiştir [61, 62].

Tablo 4.3. Pearson R için nitelendirme [63]

R'nin Değeri	Nitelendirme
0,00 – 0,19	İlişki yok ya da önemsenecek kadar düşük ilişki
0,20 – 0,39	Zayıf (düşük) ilişki
0,40 – 0,69	Orta düzeyde ilişki
0,70 – 0,89	Kuvvetli (yüksek) ilişki
0,90 – 1,00	Çok kuvvetli ilişki

4.2.2. Zaman Serileri Regresyon Analizi

Zaman serileri, bir dönemden diğerine değişkenlerin değerlerinin ardışık bir şekilde gözlemlendiği sayısal büyüklüklerdir. Değişkenlerin zaman içinde ardışık bir şekilde gerçekleşmesi bir koşul olmasa da düzenli aralıklarla dizinin gelişimini görme açısından gereklidir.

Zaman serileri analizinde öncelikle bu serilerinin durağanlık özellikleri irdelenir. Değişkenler arasında anlamlı istatistiksel ilişkilerin incelenebilmesi için serilerin durağan olması beklenmektedir. Zaman içerisinde ortalaması ve varyansı değişen seriler, durağan olamayan veya birim kök içeren seriler olarak adlandırılmaktadır. Zaman serilerinde birim kökün varlığını araştıran ve literatürde yaygın şekilde kullanılan test Genişletilmiş DickeyFuller (ADF) testidir. Bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin modele dahil edildiği denklem, bir sabit ve bir zaman trendi içerecek şekilde aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$\Delta y_t = \mu + \beta t + \delta y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \alpha_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

Burada Δ fark işlemcisi, t bir zaman trendi, ε hata terimi ve k ise gecikme sayısıdır. Ayrıca, ADF testinde gecikme uzunluklarının doğru seçilmesi testin gücü ve parametrelerin anlamlılık düzeyleri bakımından önemlidir. ADF testi δ parametresinin tahminine dayanmaktadır. δ parametresinin istatistiki olarak sıfırdan farklı olacak şekilde

anlamalı çıkması, serilerin durağan olmadığı şeklindeki boş hipotezin reddedileceği anlamına gelmektedir.

Hata terimleri konusundaki sınırlayıcı varsayımlara yer vermeyen ve yüksek derecedeki korelasyonu kontrol etmek için geliştirilen Phillips-Perron (PP) testi, ADF testini tamamlayıcı bir birim kök testidir. PP testinde otokorelasyonu gidermeye yetecek kadar bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri modele dahil edilmemekte, bunun yerine Newey-West tahmincisi ile uyarlanmaktadır [64].

Bu birim kök testi dışında KPSS (Kwiatkowski D., Phillips PCB., Schmidt P., Shin Y.) testi de her bir değişkenin durağanlığını etraflıca analiz etmektedir. KPSS diğer testten farklı olarak boş hipotez altında serinin durağan olduğunu ifade etmektedir. KPSS istatistiği, zaman serisinin dışsal değişkenlerle regresyondan elde edilen hata terimlerine bağlıdır [65].

Her üç test için de, değişkenlerin test istatistiğinin (τ) mutlak değerinin MacKinnon tarafından tablolaştırılan kritik değerlerin mutlak değerinden büyük olması durumunda serinin durağan olduğu sonucuna ulaşılır [64].

İki zaman serisi durağan değil ancak bu değişkenlerin durağan doğrusal bir bileşimleri varsa eş-bütünleşme ilişkisinden söz edilir. Eş-bütünleşme analizi durağan olmayan zaman serileri arasındaki uzun dönem ilişkisinin tahmin edilmesine yöneliktir. Eş-bütünleşmenin varlığı değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu anlamına gelmektedir. Eş-bütünleşme analizinde Engle-Granger yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun dönem ilişkilerin Engle-Granger yöntemi ile aynı derecede durağan iki değişken arasındaki eş-bütünleşme analizine dayanır. Engle-Granger yönteminde ilk aşama denklemdeki değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin Sıradan En Küçük Kareler (SEKK) yöntemi ile tahmin edilmesidir [66]. SEKK yöntemi ile denklemdeki değişken katsayıları tahmin edildikten sonra, bu regresyonun hata terimleri serisinin düzeyde durağan olup olmadığına bakılır.

$$\varepsilon_t = X_t - \beta_0 - \beta_1 Y_t - \beta_2 Y_t^2 \quad (4.2)$$

Burada X bağımlı değişken Y bağımsız değişken olmak üzere β_0 , β_1 , β_2 ikinci dereceden regresyon katsayılarıdır [67].

4.3. Veri Kaynakları

4.3.1. Schumann Rezonans Verileri

Bu veriler Ioannina Üniversitesi Fizik Bölümü Elektronik-Telekomünikasyon ve Uygulama Laboratuvarının web sitesinden alınmıştır [68]. Bu birim, 2001 yılında uygulamalı elektronik ve telekomünikasyon alanlarında araştırma ve öğretimi teşvik etmek amacıyla Prof. Panos Kostarakis tarafından kurulmuştur. 2012 yılında ise ELF spektrumu ve özellikle Schumann rezonans frekansları üzerine proje başlamıştır. Bu frekansları tespit, kayıt ve analiz eden özel bir elektronik sistem geliştirilmiştir [69, 70]. Ölçümler, 24 saatlik spektrogramları, 10 dakikalık rezonans frekans değişimlerini ve hesaplanmış Schumann rezonans frekanslarının gücünün değişimini kapsar. Ana ölçümler Kalpaki ve Neochori istasyonlarından elde edilir [71, 72].

4.3.2 Jeomanyetik Veriler

OMNIWeb arayüzü OMNI 2 ile elde edilen verilere erişim sağlar. OMNI 2 veri seti, ilk olarak 1970'lerin ortalarında oluşturulan OMNI veri setinin yerine yeniden 2003 yılında NSSDC'de oluşturuldu. OMNI 2 veri seti, Dünya merkezli yörüngede birçok uzay aracından ve Dünya'nın önündeki L1 Lagrange noktası yörüngesindeki saatlik çözünürlüklü Güneş rüzgâr manyetik alanı ve plazma verilerini içerir. Veri seti ayrıca, enerjisel protonların saatlik akılarını, jeomanyetik aktivite indislerini (AE, Dst, vb.) ve güneş lekesi sayılarını da içerir [73].

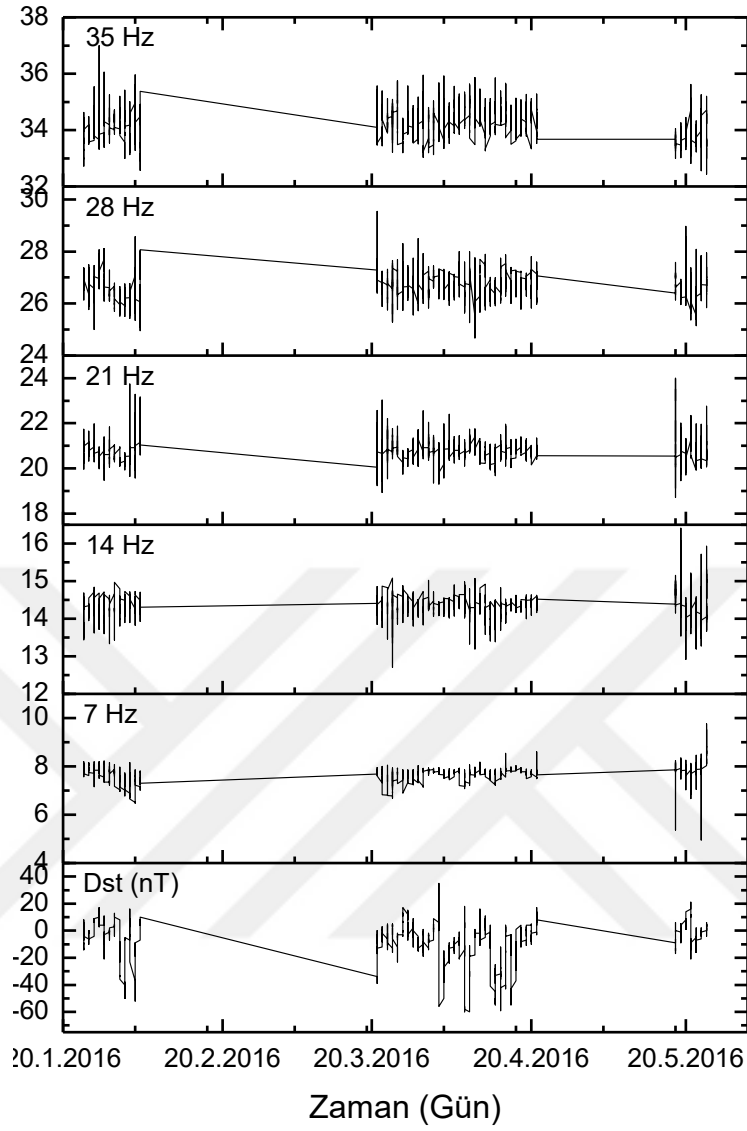
5. BULGULAR

Bu çalışmada Schumann rezonans frekans verileri Ioannina Üniversitesi Fizik Bölüm Elektronik-Telekomünikasyon ve Uygulama Laboratuvarının (39° 40' N; 20° 50' E.) web adresinden 2016 yılı ocak, şubat, mart, nisan ve mayıs aylarının belirli günlerine ait verileri kullanılmıştır.

Schumann rezonans frekansları 2016 yılı Ocak (24-31), Şubat (1-5), Mart (21-31), Nisan (1-21), Mayıs (18-25) tarihleri arasındadır. Bu veriler 10 dakikada bir alınmaktadır. Toplamda 52 günlük veri kullanılmıştır. 10 dakikada bir veri alınıp günlük 144 veri kullanılmıştır. Toplam 52 gün kullanıldığı için yaklaşık 7488 veri üzerinde çalışılmıştır. Schumann rezonans frekanslarını; Dst verileriyle kıyaslayabilmek için saatlik ortalamalara dönüştürülmüş, Kp verileriyle inceleme yapabilmek için ise 3 saatlik ortalamalara dönüştürülmüştür.

Elde edilen istatistiksel çalışma sonuçlarına göre tanımlayıcı istatistik ve zaman serileri analizi yöntemiyle aşağıdaki şekilde yorumlanmıştır.

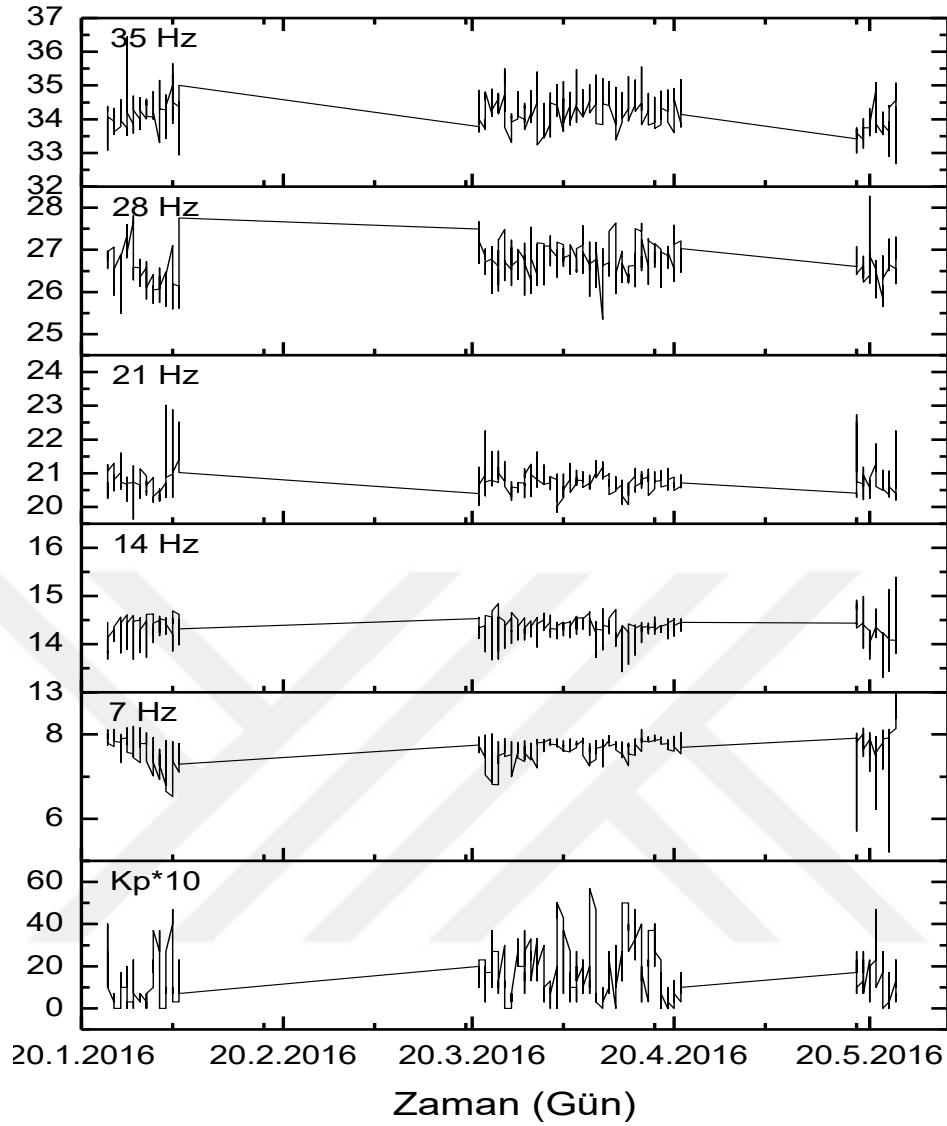
Schumann rezonans frekansları ile Dst indislerinin veri alınan gün ve aylar için değişimleri Şekil 5.1’de ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 5.1. Schumann rezonans frekansları ile Dst indisi arasındaki değişimler

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi belirli günlerde Dst’ nin yüksek olduğu günlerde yüksek Schumann rezonans frekanslarında değişimler gözlenmiştir. Özellikle 21 Hz ve 28 Hz frekanslarında Dst ile değişimleri daha yakın ilişkilidir.

Schumann rezonans frekansları ile Kp indislerinin veri alınan gün ve aylar için değişimleri Şekil 5.2’de ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 5.2. Schumann rezonans frekansları ile Kp indisi arasındaki değişimler

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi belirli günlerde Kp’ nın yüksek olduğu günlerde yüksek Schumann rezonans frekanslarında değişimler gözlenmiştir. Özellikle 28 Hz frekanslarında Kp ile değişimleri daha yakın ilişkilidir.

Schumann rezonans Frekansları ile Dst ve Kp indisleri arasındaki tanımlayıcı ve ilişkisel istatistik sonuçları Tablo 5.1 de ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo5.1. Schumann rezonans frekansları ile Dst ve Kp indisi için tanımlayıcı istatistik ve korelasyon sonucunda elde edilen veriler

	7 Hz	14 Hz	21 Hz	28 Hz	35 Hz	DST	Kp*10
Ortalama	7,7143	14,2899	20,7949	26,6464	34,2230	-7,0245	15,8210
Standart Hata	0,0110	0,0088	0,0153	0,0149	0,0299	0,4006	0,5948
Standart Sapma	0,3869	0,3092	0,5380	0,5231	1,0471	14,0172	12,0149
Varyans	0,1497	0,0956	0,28954	0,2737	1,0965	196,4818	144,3586
Basıklık	12,8311	5,1970	5,9330	1,4687	604,1689	2,1532	0,1123
Çarpıklık	-1,3261	0,0154	1,4022	0,2499	-20,5757	-1,2786	0,8057
Korelasyon Katsayısı(Dst)	0,1257	0,0056	0,1283	0,0222	0,06002		
Korelasyon Katsayısı(Kp*10)	0,1621	0,0408	0,1108	0,0213	0,0074		

Tab5.1'e bakıldığında Schumann rezonans frekansları ile Dst ve Kp indisleri istatistik sonuçları elde edilmiştir. Schumann rezonans frekanslarının hem Dst hem de Kp indisi için tüm korelasyon sonucu pozitif yöndedir. Korelasyon miktarları Schumann rezonansın bazı frekanslarında yüksek bazılarında ise düşük değerlerde elde edilmiştir. En yüksek korelasyon Schumann rezonansın 7 Hz' lik frekansı ile Kp arasında elde edilmiştir. Yüksek frekans değerlerinde korelasyon miktarı azalmıştır.

Zamanla değişen değişkenler arasında istatistiksel olarak bir ilişki arandığında öncelikle değişkenlerin dağılımı ve durağanlığına bakılır. Bağımlı (Schumann rezonans değerleri) ve bağımsız (Dst, Dst nin yöne ağılı değerleri ve Kp değerleri) değişkenlerimize ait durağanlık değerleri Tablo 5.1 de verilmiştir. Durağanlık kurulacak model için önemli olduğundan dolayı, üç ayrı test yardımıyla incelendi. Değişkenlerin durağan olabilmeleri için ADF ve PP testlerinde, test sonuçlarının McKinnon(1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması gerekmektedir. KPSS testinde ise durum tam terstir. Yani KPSS test sonuçlarının McKinnon(1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak küçük olması gerekmektedir.

Yukarıda ifade edilen koşullar Tablo 5.2 'de elde edilen sonuçlar için değerlendirildiğinde ADF ve PP testlerinde elde edilen sonuçların tümü %1 gibi güçlü bir şekilde değişkenlerin durağan olduklarını göstermektedir. Bununla birlikte KPSS testinde

de tüm değişkenlerin durağan oldukları görülürken bunların anlamlılık ilişki oranları değişmektedir.

Tablo 5.2. Bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait durağanlık değerleri

	ADF	PP	KPSS
Dst	-6.73	-6.50	0.18
Kp	-7.86	-7.89	0.10
7 Hz	-34.98	-34.98	0.04
14 Hz	-13.98	-20.04	0.11
21 Hz	-14.50	-23.42	0.08
28 Hz	-10.55	-21.50	0.10
35 Hz	-34.96	-34.96	0.07
Anlamlılık Düzeyi	McKinnon(1996) Kritik Değerleri		
% 1	-4.27	-4.26	0.21
% 5	-3.55	-3.55	0.14
% 10	-3.21	-3.20	0.11

DST-Schumann Rezonans İlişkisi

Tablo5.2’ de verilen değişkenlerin durağanlığına bakılarak her bir Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemleri kurulmuştur. Jeomanyetik Dst değerleri yöne bağımlı değişimler gösterdiği için bu yönleri temsilen modele kukla değişkenler ilave edilmiştir. Bu kuklalar eğer Dst değeri sıfırdan büyükse kuzey yönü temsil eder ve bu çalışmada “DummyK” ile, sıfırdan küçükse güney yönü temsil eder ve bu çalışmada “DummyG” ile gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Schumann rezonans ile Dst arasındaki Regresyon değerleri

Katsayı	7 Hz	14 Hz	21 Hz	28 Hz	35 Hz
c	12.59 (0.25)	14.27 (0.00)*	20.84 (0.00)*	26.62 (0.00)*	46.48 (0.34)
β_1	0.35 (0.54)	5.32×10^{-3} (0.96)	9×10^{-3} (0.00)*	-2.6×10^{-4} (0.91)	-2.24 (0.38)
β_2	12.50 (0.25)	14.29 (0.00)*	20.92 (0.00)*	26.66 (0.00)*	106.03 (0.54)
β_3	5.82 (0.60)	14.27 (0.00)*	20.84 (0.00)*	26.66 (0.00)*	46.50 (0.34)
MA	(0.99)	(0.00)*	(0.00)*	-----	(0.99)
AR	(0.95)	(0.00)*	(0.00)*	(0.00)*	(0.99)
R²	0.0007	0.31	0.28	0.32	0.0001
Adjusted R²	-0.0025	0.31	0.28	0.32	-0.002
Durbin Watson	2.85	2.05	1.99	2.25	2.00
Prob(F-İstatistik)	0.92	0.00	0.00	0.00	0.52

*,** ve *** ifadeleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade eder.

7 Hz lik Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2 deki durağanlık değerlerine bakılarak 7 Hz lik Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.3 nin ikinci sütununda verildi.

$$SR_{7\text{ Hz}} = c + \beta_1 Dst + \beta_2. \text{DummyG} + \beta_3. \text{DummyK} \quad (5.1)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamsız olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır. Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifadeler de (β_1 , β_2 ve β_3 için sırasıyla 0.54, 0.25 ve 0.60) 0.05 den küçük olmadıkları için katsayılarında anlamsız olduğu görülmektedir.

Tüm bunlardan yola çıkarak Schumann rezonansının 7 Hz lik değeri ile Dst ve Dst nin yönleri arasında herhangi bir istatistiksel ilişki elde edilmemiştir.

14 Hz Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2 deki durağanlık değerlerine bakılarak Schumann rezonansın 14 Hz lik değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.3' ün üçüncü sütununda verildi.

$$SR_{14\text{ Hz}} = c + \beta_1 Dst + \beta_2 .\text{DummyG} + \beta_3 .\text{DummyK} \quad (5.2)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır.

Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifadeler de (β_1 , β_2 ve β_3 için sırasıyla 0.96, 0.00 ve 0.00) 0.05' den küçük oldukları için Dst' nin tüm setini ifade eden β_1 katsayısı anlamsız iken, Dst' nin güney ve kuzey yönlerini ifade eden β_2 ve β_3 katsayılarının anlamlı olduğu görülmektedir.

Tüm bunlardan yola çıkarak Schumann rezonansının 14 Hz lik değeri ile Dst' nin tüm setinin ilişkili olmadığı ancak Dst' nin hem güney hem de kuzey yönüyle pozitif ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca R^2 ve Adjusted R^2 ifadelerine bakılarak 14 Hz lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 31 nin Dst' nin güney ve kuzey yönüyle açıklanabildiği görülmüştür.

21 Hz lik Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2' deki durağanlık değerlerine bakılarak 21 Hz' lik Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'ün dördüncü sütununda verildi.

$$SR_{21\text{ Hz}} = c + \beta_1 Dst + \beta_2 .\text{DummyG} + \beta_3 \text{DummyK} \quad (5.3)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır.

Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifadeler de (β_1 , β_2 ve β_3 için sırasıyla 0.00, 0.00 ve 0.00) 0.05' den küçük oldukları için Dst' nin tüm setini ifade eden β_1 ve Dst' nin güney ve kuzey yönlerini ifade eden β_2 ve β_3 katsayılarının anlamlı olduğu görülmektedir.

Schumann rezonansının 21 Hz' lik değeri ile Dst' nin tüm seti ve Dst nin hem güney hem de kuzey yönüyle pozitif ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca R^2 ve Adjusted R^2 ifadelerine bakılarak 14 Hz lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 28 inin Dst ve Dst 'nin güney ve kuzey yönüyle açıklanabildiği elde edilmiştir.

28 Hz lik Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2' deki durağanlık değerlerine bakılarak 28 Hz lik Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'ün beşinci sütununda verildi.

$$SR_{28\text{ Hz}} = c + \beta_1 Dst + \beta_2 \text{DummyG} + \beta_3 \text{DummyK} \quad (5.4)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır.

Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifadeler de (β_1 , β_2 ve β_3 için sırasıyla 0.91, 0.00 ve 0.00) 0.05' den küçük oldukları için Dst' nin tüm setini ifade eden β_1 katsayısı anlamsız iken, Dst' nin güney ve kuzey yönlerini ifade eden β_2 ve β_3 katsayılarının anlamlı olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre Schumann rezonansının 28 Hz lik değeri ile Dst nin tüm setinin ilişkili olmadığı ancak Dst' nin hem güney hem de kuzey yönüyle pozitif ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca R^2 ve Adjusted R^2 ifadelerine bakılarak 28 Hz lik Schuman rezonansında meydana gelen değişimlerin % 32 inin Dst' nin güney ve kuzey yönüyle açıklanabildiği elde edilmiştir.

35 Hz lik Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2’ deki durağanlık değerlerine bakılarak 7 Hz lik Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.3’ ün altıncı sütununda verildi.

$$SR_{35\text{ Hz}} = c + \beta_1 Dst + \beta_2 \text{DummyG} + \beta_3 \text{DummyK} \quad (5.5)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçları Durbin Watson’ a göre anlamlı, Prob(F-istatistik) ‘e göre anlamsız olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır. Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifadeler de (β_1 , β_2 ve β_3 için sırasıyla 0.38, 0.54 ve 0.634) 0.05’ den küçük olmadıkları için katsayılarında anlamsız olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak Schumann rezonansının 35 Hz’ lik değeri ile Dst ve Dst nin yönleri arasında herhangi bir istatistiksel ilişki elde edilmemiştir.

Kp - Schumann Rezonans İlişkisi

Tablo 5.2’ de verilen değişkenlerin durağanlığına bakılarak her bir Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemleri kurulmuştur. Jeomanyetik Kp değerleri ile Schumann rezonans arasındaki ilişkiler frekans bazında aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.4. Schumann rezonans ile Kp arasındaki Regresyon değerleri

Katsayı	7 Hz	14 Hz	21 Hz	28 Hz	35 Hz
c	7.75 (0.00)*	14.28 (0.00)*	20.84 (0.00)*	26.62 (0.00)*	34.25 (0.00)*
β_1	-3.8×10^{-3} (0.03)**	3.5×10^{-4} (0.78)	-3.6×10^{-3} (0.05)**	5.1×10^{-4} (0.80)	-4.3×10^{-4} (0.86)
MA	(-----)	(-----)	(0.00)*	-----	(0.02)**
AR	(0.00)*	(0.00)*	(0.00)*	(0.00)*	(0.00)*
R²	0.39	0.22	0.27	0.36	0.31
Adjusted R²	-0.38	0.22	0.27	0.36	0.30
Durbin Watson	1.79	1.88	1.98	1.96	1.90
Prob(F-İstatistik)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*, ** ve *** ifadeleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade eder.

7 Hz lik Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2' deki durağanlık değerlerine bakılarak 7 Hz lik Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.4' ün ikinci sütununda verildi.

$$SR_{7\text{ Hz}} = c + \beta_1.Kp \quad (5.6)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır. Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifade ($\beta_1 = 0.03$) 0.05' den küçük olduğu için elde edilen katsayının da anlamlı olduğu görülmektedir.

Schumann rezonansının 7 Hz' lik değeri ile Kp arasında pozitif yönde bir ilişki elde edilmiştir. Ayrıca R^2 ifadesine bakılarak 7 Hz' lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 39'u Kp' nin ile açıklanabildiği elde edilmiştir.

14 Hz Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Durağanlık değerlerine bakılarak Schumann rezonansın 14 Hz' lik değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.4' ün üçüncü sütununda verildi.

$$SR_{14\text{ Hz}} = c + \beta_1.Kp \quad (5.7)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır.

Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifade ($\beta_1 = 0.78$) 0.05' den küçük olmadığı için Kp nin β_1 katsayısı anlamsız olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlardan Schumann rezonansının 14 Hz' lik değeri ile Kp ile ilişkili olmadığı söylenebilir.

21 Hz lik Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2 ‘deki durağanlık değerlerine bakılarak 21 Hz’ lik Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.4’ ün dördüncü sütununda verildi.

$$SR_{21\text{ Hz}}=c+ \beta_1.Kp \quad (5.8)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır.

Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifade ($\beta_1 = 0,05$) 0.05’ den küçük oldukları için Kp yi ifade eden β_1 anlamlı olduğu görülmektedir.

Tüm bunlardan yola çıkarak Schumann rezonansının 21 Hz’ lik değeri ile Kp arasında pozitif ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca R^2 ve Adjusted R^2 ifadelerine bakılarak 21 Hz’ lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 27’si Kp ile açıklanabildiği elde edilmiştir.

28 Hz lik Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2‘ deki durağanlık değerlerine bakılarak 28 Hz’ lik Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.4‘ ün beşinci sütununda verildi.

$$SR_{28\text{ Hz}}=c+ \beta_1.Kp \quad (5.9)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır.

Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifadeler de ($\beta_1 = 0,80$) 0.05’ den büyük olduğu için Kp‘ yi ifade eden β_1 katsayısı anlamsız olduğu görülmektedir.

Tüm bunlardan yola çıkarak Schumann rezonansının 28 Hz' lik değeri ile Kp ile ilişkili olmadığı söylenebilir.

35 Hz lik Schumann rezonansı için analiz sonuçları;

Tablo 5.2' deki durağanlık değerlerine bakılarak 7 Hz lik Schumann rezonans değeri için aşağıdaki regresyon denklemi kuruldu. Bu regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 5.4' ün altıncı sütununda verildi.

$$SR_{35\text{ Hz}} = c + \beta_1 \cdot Kp \quad (5.10)$$

İlgili sütununun en alt iki satırında verilen Durbin Watson ve Prob(F-istatistik) değerleri kurulan model ve elde edilen sonuçların istatistiksel sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Çünkü bu testlere ait referans değerleri $1.5 < \text{Durbin Watson} < 2.5$ ve $\text{Prob(F-istatistik)} < 0.05$ olmalıdır.

Ayrıca regresyon katsayılarının anlamlılığını gösteren parantez içi ifadeler de ($\beta_1 = 0,86$) 0.05' den küçük olmadıkları için katsayılarında anlamsız olduğu görülmektedir.

Tüm bunlardan yola çıkarak Schumann rezonansının 35 Hz' lik değeri ile Kp yönleri arasında herhangi bir istatistiksel ilişki elde edilmemiştir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Schumann rezonans frekansları yeryüzü ile iyonküre arasında meydana gelen doğal titreşimler olup 7.83; 14.3; 20.8; 27.3; 33.8 Hz değerlerindedir.

Bu çalışmada Schumann rezonans frekansları ile jeomanyetik indisler Dst, Kp aralarındaki ilişkisi istatistiksel olarak araştırılmıştır. Dst, Kp indislerinin Schumann rezonans frekansına etkileri tanımlayıcı istatistik ve regresyon analizi ile incelenmiştir.

Elde edilen istatistiksel çalışma sonuçlarına göre tanımlayıcı istatistik ve zaman serileri analiz sonuçları aşağıda şekilde yorumlanmıştır.

Dst- Schumann Rezonans İlişki Sonucu

Schumann rezonansının ~7 Hz' lik değeri ile Dst ve Dst nin yönleri arasında herhangi bir istatistiksel ilişki elde edilmemiştir.

Schumann rezonansının ~14 Hz' lik değeri ile Dst nin tüm setinin ilişkili olmadığı ancak Dst nin hem güney hem de kuzey yönüyle pozitif ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca ~14 Hz' lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 31 nin Dst nin güney ve kuzey yönüyle açıklanabildiği elde edilmiştir.

Schumann rezonansının ~21 Hz' lik değeri ile Dst nin tüm seti ve Dst nin hem güney hem de kuzey yönüyle pozitif ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca ~21' Hz lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 28 inin Dst nin güney ve kuzey yönüyle açıklanabildiği elde edilmiştir.

Schumann rezonansının ~28 Hz' lik değeri ile Dst nin tüm setinin ilişkili olmadığı ancak Dst nin hem güney hem de kuzey yönüyle pozitif ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca ~28 Hz' lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 32 inin Dst nin güney ve kuzey yönüyle açıklanabildiği elde edilmiştir.

Schumann rezonansının ~35 Hz' lik değeri ile Dst ve Dst nin yönleri arasında herhangi bir istatistiksel ilişki elde edilmemiştir.

Kp- Schumann Rezonans İlişki Sonucu

Schumann rezonansının ~7 Hz' lik değeri ile Kp arasında pozitif yönde bir ilişki elde edilmiştir. ~7 Hz' lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 39'u Kp ile açıklanabildiği elde edilmiştir.

Schumann rezonansının ~14 Hz' lik değeri, Kp arasında herhangi bir istatistiksel ilişkili elde edilmemiştir.

Schumann rezonansının 21 Hz' lik değeri ile Kp arasında pozitif ilişkili olduğu söylenebilir. ~21 Hz' lik Schumann rezonansında meydana gelen değişimlerin % 27'si Kp ile açıklanabildiği elde edilmiştir.

Schumann rezonansının ~28 Hz' lik değeri ile Kp arasında herhangi bir istatistiksel ilişki elde edilmemiştir.

Schumann rezonansının ~35 Hz' lik değeri ile Kp arasında herhangi bir istatistiksel ilişki elde edilmemiştir.

Araştırmamız sonucunda Schumann rezonansın ~7 Hz ve ~35 Hz frekanslarında Dst ile ilişkilerinin olmadığı ~14 Hz, ~21 Hz ve ~28 Hz' lik frekanslarda ilişkili olduğu elde edilmiştir. Bu ilişkilerinin yüzdelik miktarları farklı değerler almaktadır. Schumann rezonans değerlerinden ~7 Hz ve ~21 Hz civarındaki frekanslarda Kp ile ilişkili olduğu diğer frekanslarda ilişkili olmadığı elde edilmiştir. Hem Dst hem de Kp değerleri özellikle ~21 Hz de %28 ve %27 değerinde ilişkide olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca en yüksek açıklanabilirlik katsayısı %39 mertebesinde Schumann rezonansın 7 Hz' lik frekansı ile Kp arasında görülmektedir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar ile 2016 yılında Ioannina Üniversitesi'nde Panos Kostarakis ve diğerlerinin yaptığı çalışmayla örtüşmektedir. İlgili çalışmada Schumann rezonans yoğunluğu ile jeomanyetik indeks Dst arasındaki spesifik bir ilişki olduğunu elde etmişlerdir [70].

Schumann rezonansın jeomanyetik indislerle ilişkisi incelenmiştir. Schumann rezonansın Güneş aktiviteleri veya yıldırımlar ile ilişkisi de ilerleyen çalışmalarda araştırılabilir.

KAYNAKÇA

- [1]. **Whitten,R.C. and Poppoff, I.G.,** 1971. Fundamentals of Aeronomy, John Wiley&Sons, New York.
- [2]. **Karaboğa, T.,** 2013. Bazı İyonküre Parametrelerindeki Değişim ile $M \geq 5.0$ Büyüklüğündeki Depremler Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [3]. <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>, 2012
- [4]. **Alan, Ş.,** 2013. İyonküre Kritik Frekansının (f_0F_2) Enlem ile Değişiminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5]. **Risbeth, H.,** 1973. Physics and Chemistry of the Ionosphere, Contemporary Physics 14(3) s.229-240
- [6]. **Price, C.,** 2016. ELF Electromagnetic Waves from Lightning: The Schumann Resonances *Atmosphere* 2016, 7(9), 116; doi:10.3390/atmos7090116
- [7]. **Wicker, D.S.,** 2012. The Description of Schumann Electromagnetic Resonances Between Earth and Its Ionosphere as Bose-Einstein Condensates of Extremely Low Frequency Photons, East Carolina University. Department of Physics, USA.
- [8]. **Nicholaenko, A. and Hayakawa, M.,** 2002. Resonances in the Earth-Ionosphere Cavity, Journal of Modern Approaches In Geophysics. vol. 19.
- [9]. **Labendz, D.,** 1998. Investigation of Schumann resonance polarization parameters, J. Atmos.Terr. Phys., vol. 60, pp. 1779-1789,
- [10]. **Chapman, S., and J. Bartels,** 1940. *Geomagnetism*, Oxford at the Clarendon Press, London.
- [11]. **Chernosky, E. J.,** 1966. Double sunspot cycle variation in terrestrial magnetic activity, 1884-1963, *J. Geophys.Res.*, 71, 965.
- [12]. **Lincoln, J. V.,** 1977. Geophysical indices: Past, present and proposed, *IAGA News* 16, p. 121, Int. Ass. Of Geomagn. and Aeron., Paris.

- [13]. **Rostoker, G.**, 1972. Geomagnetic indices, *Rev. Geophys. Space Phys.*, **10**, 935.
- [14]. **Mayaud, P. N.**, 1980. Derivation, Meaning, and Use -of Geomagnetic Indices American Geophysical Union Washington, D. C.
- [15]. **Oruç, M.**, 1982. İstatistik Yöntemler Ankara üniversitesi Fen fakültesi Yayınları No:134, Ankara.
- [16]. **Aslanorgun, A., Yazıcı B., Kantar Y.M., Şenoğlu, B., Usta, İ.**, 2012. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2608, Eskişehir.
- [17]. <https://2012tr.tripod.com/schumann.pdf>
- [18]. <http://www.vlf.it/poggi1/schumann.html>
- [19]. **Simoës, F., Pfaff, R., Berthelier, J.J., and Klenzing, J.**, 2012. A review of low frequency electromagnetic wave phenomena related to tropospheric-ionospheric coupling mechanisms, *Space Sci Rev*, 168:551-593.
- [20]. <http://www.crystalinks.com/schumannresonance.html>
- [21]. **Schumann,W.O.**, 1952.Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftsschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist, *Z.Naturforsch.*7a,149.
- [22]. **Schumann, W.O.**, 1954. König, H. Über die Beobachtung von Atmospheric bei geringsten Frequenzen. *Naturwiss*, 41, 183–184.
- [23]. **Balser, M., Wagner, C.**, 1962.On frequency variations of the earth-ionosphere cavity modes. *J. Geophys. Res.*, 67, 4081–4083.
- [24]. **Davidson S. Wicker**, 2012. the description of schumann electromagnetic resonances between earth and its ionosphere as bose{einstein condensates of extremely low frequency photons, Master Thesis, Department of Physics, East Carolina University.
- [25]. **Sao, K., Yamashita, M., Tanahashi, S., Jindoh, H. and Ohta, K.**, 1973. Experimental investigations of Schumann resonance frequencies, *J. Atmos. Terr. Phys.*, vol. 35, pp. 2047-2053,.

- [26]. **Nicholaenko, A. and Hayakawa, M.**, 2002. Resonances in the Earth-Ionosphere Cavity, vol. 19 of Modern Approaches In Geophysics. London: Kluwer Academic Publishers.
- [27]. **Satori, G., Szendroi, J. and Vero, J.**, 1996. Monitoring Schumann resonances - I. methodology, *J. Atmos. Terr. Phys.*, vol. 58, no. 13, pp. 1475-1481.
- [28]. **Rycroft, M. J.**, 1994. Some effects in the middle atmosphere due to lightning, *J. Atmos. Terr. Phys.*, vol. 56, pp. 343-348.
- [29]. **Nickolaenko, A. P., Hayakawa, M. and Hobara, Y.**, 1996. Temporal variations of the global lightning activity deduced from the Schumann resonance data, *J. Atmos. Terr. Phys.*, vol. 58, no. 15, pp. 1699-1709.
- [30]. **Heckman, S.J., Williams, E., Boldi, B.**, 1998. Total global lightning inferred from Schumann resonance measurements. *J. Geophys. Res.*, 103, 31775–31779.
- [31]. **Yang, H., Pasko, V.P., Satori, G.**, 2009. Seasonal variations of global lightning activity extracted from Schumann resonances using a genetic algorithm method. *J. Geophys. Res.*, 114.
- [32]. **Nickolaenko, A.P., Rabinowicz, L.M.**, 1982. On the possibility of existence of global electromagnetic resonances on the planets of Solar system. *Space Res.*, 20, 82–89.
- [33]. **Volland, H.**, 1982. CRC Handbook of Atmospheric, vol. 1. CRC Press.
- [34]. **Rakov V. A. and Uman, M. A.**, 2003. Lightning: Physics and Effects. Cambridge University Press.
- [35]. **Nickolaenko, A.P., Hayakawa, M.**, 2002. Resonances in the Earth-Ionosphere Cavity Springer Science & Business Media.
- [36]. **Singh, D., Singh, R.P., Kamra, A.K., Gupta, P.N., Singh, R., Gopalakrishnan, V., Singh, A.K.**, 2005. Review of electromagnetic coupling between the Earth's atmosphere and the space environment, *J. Atm. Solar-Terr. Phys.*, 67, 637-658.
- [37]. **Volland, H.**, 1984. Atmospheric Electrodynamics; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany.

- [38]. **Williams, E.R.** 1992. The Schumann resonance: A global tropical thermometer. *Science*, 256, 1184–1186.
- [39]. **Haung, H.G., Williams, E., Boldi, R., Heckman, S., Lyons, W., Taylor, M., Nelson, T., Wong, C.,** 1999. Criteria for sprites and elves based on Schumann resonance observations. *J. Geophys. Res.*, 104, 16943–16964.
- [40]. **Price, C., Asfur, M., Lyons, W., Nelson, T.,** 2002. An improved ELF/VLF method for globally geolocating sprite-produced lightning. *Geophys. Res. Lett.*, 29.
- [41]. **Wait, J.R.** 1974. Historical background and introduction to the special issue on extremely low frequency (ELF) communication. *IEEE Trans. Commun.*, 22, 353–354.
- [42]. **Fraser-Smith, A.C., Bannister, P.R.,** 1998. Reception of ELF signals at antipodal distance. *Radio Sci.*, 33, 83–88.
- [43]. **Sentman, D. D.,** 1996. Schumann resonance spectra in a two-scale-height Earth-ionosphere cavity, *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, pp. 9479-9487.
- [44]. **Wait, J. R.,** 1962. *Electromagnetic Waves in Stratified Media*. IEEE/OUP Series on Electromagnetic Wave Theory, Oxford University Press.
- [45]. **Beamish, D. and Tzanis, A.,** 1986. High resolution spectral characteristics of the Earth ionosphere cavity resonances, *J. Atmos. Terr. Phys.*, vol. 48, no. 2, pp. 187-203.
- [46]. **Balser, M. and Wagner, C. A.,** 1960. Observations of Earth-ionosphere cavity resonances, *Nature*, vol. 188, pp. 638-641.
- [47]. **Mayaud, P.N.,** 1980. *Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices*, Geophysical Monograph 22. Washington, DC: American Geophysical Union; Kivelson, M.G., and Russell, C.T. 1995 *Introduction to Space Physics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 451–458.; Rangarajan, G.K., 1989. Indices of geomagnetic activity., *Geomagnetism* , Vol. 2. London, UK: Academic Press, pp. 323–384.
- [48]. **Bartels, J.,** 1938. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern, 1 Mitteilung. *Zeitschrift für Geophysik*, 14: 68–78, 699–718.

- [49]. **Menvielle, M., and Berthelier, A.,** 1991. The K-derived planetary indices—description and availability. *Reviews of Geophysics*, 29:415–432.
- [50]. **Yalçinkaya, M, Ulukavak, M.,** 2017. İyonosferik TEC Değişimlerinin GNSS Verileri ile İzlenmesi ve Deprem İlişkisi Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (Tujk) Bilimsel Toplantısı, 02 -03 Kasım 2017, İstanbul
- [51]. **Sugiura, M.,** 1964. Hourly values of equatorial Dst for the IGY. *Annals of the International Geophysical Year*, 35: 945–948..
- [52]. **Tütek, H., Gümüsoğlu, Ş.,** 2008. İşletme İstatistiği, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- [53]. **Özbek, H., Keskin, S.,** 2007. Standart Sapma mı Yoksa Standart Hata mı?., *Van Tıp Dergisi*: 14 (2):64-67.
- [54]. **Dr. Aksaraylı, M.** Merkezi Eğilim ve Değişkenlik Ölçüleri.
- [55]. **Çakıcı, M., Oğuzhan, A., Özdil, T.,** 2000. Temel İstatistik I, Özal Matbaası, İstanbul.
- [56]. **Çakıcı, M., Oğuzhan, A., Özdil, T.,** 2000. Temel İstatistik II, Özal Matbaası, İstanbul.
- [57]. **Kaymaz, I.** 2028. Olasılık ve İstatistik, Merkezi Eğilim ve Dağılım Ölçüleri,Ders Notu, 3- 39. Erzurum Teknik Üniversitesi Müh Fak. Makine Müh. Böl.
- [58]. **Sümbüloğlu, K, Sümbüloğlu V.,** 2002. Biyoistatistik. 10. Baskı, Hatiboğlu Yayınları No: 10, Ankara.
- [59]. http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/68595/34748/b%C3%B6l%C3%BCm_7_hipotez_testleri.docx
- [60]. http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48396/27630/7_asimetri_ve_bas%C4%B1k_3.3.2014.pdf
- [61]. **Karasar, N.,** 2014. Bilimsel Araştırma Yöntemi. (27. Basım). s.218-222. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

- [62]. **Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S., Yıldırım, E.,** 2012. Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı. s.228-233. Sakarya: Sakarya Yay.
- [63]. **Alpar, R.,** 2014. Spor, Sağlık, Eğitim Bilimlerinden Örneklerle Uygulamalı İstatistik ve Geçerlik-Güvenirlik (Yenilenmiş 3.Baskı). s.351-355. Ankara: Detay Yayıncılık
- [64]. **Enders W.,** 1995. Applied Econometric Times Series. John Wiley and Sons: UK. 63-150.
- [65]. **Kwiatkowski, D., Phillips P. C. B., Schmidt, P. ve Shin, Y.** 1992. Testing the NullHypothesis of Stationarity Against the Alternative of a Unit Root: How Sure Are We That Economic Time Series Have a Unit Root?. J. Econometrics, 54, 159–178.
- [66]. **Engle, R. F. ve Granger, C. W. J.** 1987. Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. Econometrica 55: 251-276.
- [67]. **Sağır, S.,** 2013. QBO’nun İyonküre Üzerindeki Etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [68]. <http://www.telecomlab.gr/>
- [69]. **Tatsis, G., Votis, C., Christofilakis, V., Kostarakis, P., Tritakis V. and Repapis, C.,** 2015. A prototype data acquisition and processing system for Schumann resonance measurements, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 135, pp. 152-160.
- [70]. **Tatsis, G., Votis, C., Christofilakis, V., Kostarakis, P., Tritakis V., Repapis C. and Kalavrezos, P.,** 2016. Preliminary Measurements of Schumann_s Resonances (SR) in the Greek, Journal of Engineering Science and Technology Review, vol. 9, pp. 61-64.
- [71]. **Votis, C. I., Tatsis, G., Christofilakis, V., Kostarakis, P., Repapis C. and Others,** 2016. Design and implementation of Schumann resonances sensor platform., Journal of Engineering Science and Technology Review, vol. 9.

- [72]. **Votis, C. I., Tatsis, G., Christofilakis, V., Chronopoulos, S. K., Kostarakis, P., Tritakis V. and Repapis, C.,** 2018. A new portable ELF Schumann resonance receiver: design and detailed analysis of the antenna and the analog front-end, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2018, p. 155.
- [73]. <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/html/overview.html>



ÖZGEÇMİŞ

Tolga ÖREN

Kişisel Bilgiler:

Doğum Tarihi : 16.05.1989
Doğum Yeri : ELAZIĞ/ Maden
Uyruğu : T.C.
Medeni Hali : Bekâr

Eğitim:

İlköğretim:

1996–2004 :İstiklal İlköğretim Okulu

Lise

2004–2007 :Gazi Lisesi (Elazığ)

Lisans

2008–2012 :Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ

İş: :Fizik Öğretmeni

Çalıştığı Yerler:

22.09.2014 – 25.06.2015	Sason Anadolu İmam Hatip Lisesi - Fizik Öğretmeni
26.06.2015 – 11.07.2017	Batman Kültür Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi- Fizik Öğretmeni
19.07.2017 –	Elazığ Maden Anadolu Lisesi - Fizik Öğretmeni