T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

KORONAL KÜTLE ATIMLARINDAN SONRA GEZEGENLER ARASI ORTAMDA OLUŞAN ŞOK DALGALARININ WIND UYDUSU VERİLERİYLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GANİ ÇAĞLAR ÇOBAN

Tez Danışmanı
PROF. DR. HÜSEYİN ÇAVUŞ

ÇANAKKALE – 2021

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

KORONAL KÜTLE ATIMLARINDAN SONRA GEZEGENLER ARASI ORTAMDA OLUŞAN ŞOK DALGALARININ WIND UYDUSU VERİLERİYLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GANİ ÇAĞLAR ÇOBAN

Tez Danışmanı
Prof. Dr. HÜSEYİN ÇAVUŞ

Bu çalışma, TÜBİTAK kurumu tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 117F336

ÇANAKKALE – 2021

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Gani Çağlar ÇOBAN tarafından Prof. Dr. Hüseyin ÇAVUŞ yönetiminde hazırlanan ve **29/07/2021** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Koronal Kütle Atımlarından Sonra Gezegenler Arası Ortamda Oluşan Şok Dalgalarının WIND Uydusu Verileriyle İncelenmesi**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Prof. Dr. Hüseyin ÇAVUŞ (Danışman)	……
Doç. Dr. Ümit Deniz GÖKER	……
Doç. Dr. Taner TANRIVERDİ	…….

Tez No : 10417419

Tez Savunma Tarihi : 29/07/2021

Prof. Dr. Pelin KANTEN

Enstitü Müdürü

29/07/2021

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Gani Çağlar ÇOBAN
29/07/2021

TEŞEKKÜR

Akademik kariyerimde attığım bu ilk adımda her daim yanımda olan, bana inanan, yaşadığım zorluklarda yardımlarını esirgemediği gibi kendimi her konuda geliştirmem için önerilerde bulunan ve verdiği derslerle beni aydınlatan, yeri geldiğinde danışmanlık yeri geldiğinde öğretmenlik ve yeri geldiğinde bir yol gösterici olan saygı değer hocam Prof. Dr. Hüseyin Çavuş'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca okumamı isteyen, her ne durumda olursa olsun ilk önce beni düşünen, her zaman yanımda olan ve hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili annem Sündüz Şenol'a teşekkür ederim.

Yüksek lisansa başlamam konusunda beni cesaretlendiren ve fikirlerini benden esirgemeyen değerli hocalarım Filiz Kahraman Aliçavuş ve Fahri Aliçavuş'a teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimimde gerek verdikleri dersler ile gerekse yardımlarından dolayı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fizik Bölümü'nde ki hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her kararında ve zor anlarda yanımda olan değerli arkadaşlarım, kardeşlerim Kaan Yüksel Oyulmaz, Eren Erdemir ve Ozan Kaan Sadıklar'a teşekkür ederim.

Arkadaştan öte bir can dostu, bir kardeş gibi 10 yıldır iyi kötü her anımda yanımda olan ve yanımda olmaya devam eden sevgili arkadaşım Mehmet Gören'e sonsuz teşekkür ederim.

Üniversite öğrenciliğimi, aynı evi paylaştığım ve beni yüksek lisans konusunda cesaretlendiren değerli arkadaşlarım Burak Alçınkaya, Ramazan Şen, Gökhan Işıl ve Erhan Demirezen'e teşekkürlerimi sunarım.

Verilerin veri tabanından çekilmesi için Python yazılım dilinde yardımlarından dolayı sevgili yeğenim Kaan Kudret Kölköy'e teşekkür ederim.

Proje boyunca birlikte çalıştığım ve fikirlerimizi paylaşarak birçok çalışmada birlikte ter döktüğüm arkadaşım, fikir ortağım ve doğru yolu bulmak üzerine sürekli birlikte olduğum kıymetli dostum Abd-ur Raheem'e teşekkür ederim.

Lisansüstü alanda öğrencileri ve temel bilimleri destekleyen TÜBİTAK kurumuna ve bursumu finanse eden kadirşinas milletimize teşekkürü bir borç bilirim.

"Dünyada her şey için; uygarlık için, hayat için, başarı için en hakiki mürşit ilimdir; fendir. İlim ve fennin dışında rehber aramak dikkatsizliktir, bilgisizliktir, yanlışlıktır. Sözleriyle bizlere ışık tutan ülkemizin kurucusu ve başöğretmenimiz Mustafa Kemal Atatürk'e şükran ve saygılarımla…

Gani Çağlar ÇOBAN

Çanakkale, Ağustos 2021

ÖZET

KORONAL KÜTLE ATIMLARINDAN SONRA GEZEGENLER ARASI ORTAMDA OLUŞAN ŞOK DALGLARININ WIND UYDUSU VERİLERİYLE İNCELENMESİ

Gani Çağlar ÇOBAN
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Hüseyin ÇAVUŞ
29/07/2021, 63

Bu çalışmada Güneş'te meydana gelen koronal kütle atımlarının (CME) gezegenler arası ortamda oluşturduğu şok dalgaları, Cavus (2013) çalışmasında önerilen hidrodinamik bir model ile analiz edilmiştir. Dünya ile Güneş arasında Lagrange 1 (L1) noktasında bulunan WIND uydusunun verileri kullanılarak yapılan analiz sonucunda şok dalgalarının fiziksel parametreleri hesaplanmıştır. Şoklara ait fiziksel parametrelerinin, Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO) ve American Association of Variable Star Observers (AAVSO) organizasyonlarına ait yıllık toplam güneş leke sayıları ile korelasyonu ayrı ayrı incelenmiş ve her iki güneş leke sayısı verisi ile yüksek korelasyon elde edilmiştir. Ayrıca gelecekte oluşabilecek şok dalgalarına ait fiziksel parametreler, makine öğrenmesi ve derin öğrenme alanında kullanılan yapay sinir ağı algoritması ile tahmin edilmiştir. Yapay sinir ağı kullanılarak tahmin edilen şok parametreleri yine yıllık güneş leke sayıları ile korelasyonları incelenmiş ve önceki korelasyon değerlerine göre yükselme görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Koronal Kütle Atımı, Şok Dalgası, Yapay Sinir Ağı, Gezegenler Arası Ortam, WIND Uydusu, Makine Öğrenmesi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SHOCK WAVES OCCURRED IN INTERPLANETARY MEDIUM AFTER CORONAL MASS EJECTIONS USING THE DATA OF WIND SATELLITE

Gani Çağlar ÇOBAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Natural and Applied Sciences

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin ÇAVUŞ

07/29/2021, 63

In this study, the shock waves in the interplanetary environment originating from the coronal mass ejections (CME) occurring on the solar surface were analyzed with a hydrodynamic model proposed in the Cavus (2013) study. The physical parameters of the shock waves were calculated as a result of the analysis using the data of the WIND satellite located at the Lagrange 1 (L1) point between the Earth and the Sun. The correlation of the physical parameters of the shocks with the annual total number of sunspots belonging to the Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO) and the American Association of Variable Star Observers (AAVSO) organizations were examined separately and a high correlation was obtained with both sunspot number data. In addition, the physical parameters of future shock waves were estimated with the artificial neural network algorithm used in the field of machine learning and deep learning. The correlations of the shock parameters estimated using the artificial neural network with the annual number of sunspots were analyzed, and an increase was observed as compared to the previous correlation values.

Keywords: Coronal Mass Ejections, Shock Waves, Artificial Neural Network, Interplanetary Environment, WIND Satellite, Machine Learning

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI……..…….... i
ETİK BEYAN…… ii
TEŞEKKÜR…….. iii
ÖZET ……..…….…… v
ABSTRACT …….. vi
İÇİNDEKİLER ……..…….... vii
SİMGELER ve KISALTMALAR…….....…… ix
TABLOLAR DİZİNİ…….…… x
ŞEKİLLER DİZİNİ……..……...…….……. xi

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ 1

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 12

2.1. Güneş Kaynaklı Enerjili Parçacıklar (SEP) ile İlgili Çalışmalar....…….…..... 13
2.2. Güneş Kaynaklı Yüksek Hızlı ve Yüksek Enerjili Parçacıkların Sebep Olduğu Süreçler ile İlgili Çalışmalar ……...…...…….. 14
2.3. Güneş'te Meydana Gelen Koronal Kütle Atımlarına Bağlı Gelişen Şok Dalgaları İlgili Çalışmalar……. 15
2.4. Uzay, Güneş Çalışmalarında Yapay Sinir Ağları....……..... 17

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL YÖNTEM 20

3.1. Temel Formüllerin Elde Edilmesi....……..... 20
3.2 Yapay Sinir Ağı Mimarisinin Oluşturulması....……..... 29

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI 35

4.1. WIND Uzay Aracına Ait Verilerin Cavus (2013)'te Sunulan Model ile Analiz Edilerek Elde Edilen Şok Parametre Değerleri ve Bu Değerlerin Güneş Leke Sayıları ile Korelasyonu..... 35

4.2. Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Şok Verisi Olmayan 22. Güneş Döngüsü İçin Tahmin Sonuçları..... 40

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER 50

5.1. Sonuçlar 50

5.2. Öneriler 54

KAYNAKÇA 56

ÖZGEÇMİŞ I

SİMGELER VE KISALTMALAR

$n_2$ref	WIND Uydusundan Alınan Şok Sonrası Yoğunluk Değeri
u	Akışkan Hızı
ρ	Akışkan Yoğunluğu
$\dot{m}$	Debi
f	Kontrol Hacmine Etkiyen Bünyesel Kuvvetler
δ_{ij}	Kronecker Delta
μ	Dinamik Viskozite Katsayısı
$\bar{\bar{\tau}}_{ij}$	Viskoz Stres Tensörü
Q	Sisteme Giren Isı
W	Sistem Üzerinde Yapılan Toplam İş
e	İç Enerji
p	Basınç
γ	Adyabatik İndeks
R_e	Reynolds Sayısı
κ	Sıkışma Oranı
M	Mach Sayısı
Cs	Ses Hızı
St	Şok Şiddeti
St_{rel}	Göreli Şok Şiddeti
MSE	Ortalama Karesel Hata
z	Standart Normalizasyon (Z-score) Değeri
SSN_1	Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO)
SSN_2	American Association of Variable Star Observers
CME	Koronal Kütle Atımı
Flare	Güneş Parlaması
SEP	Güneş Kaynaklı Enerjili Parçacıklar
MHD	Manyetohidrodinamik
HZE	Yüksek Enerjili Yüksek Atom Numarasına Sahip İyon
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ESA	Avrupa Uzay Ajansı
ISS	Uluslararası Uzay İstasyonu

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Şoklar için şiddet sınıflandırması (Cavus vd., 2020).	28
Tablo 2	Yapay sinir ağına ait hiperparametreler.	33
Tablo 3	Yapay sinir ağına ait eğitim parametreleri.	33
Tablo 4	WIND uzay aracına ait verilerin model ile analizi için oluşturulan tablo (1998).	36
Tablo 5	M1 ve n2 değerlerinin 1'den n'e kadar olan değerleri.	37
Tablo 6	1998 yılında WIND uzay aracı tarafından ölçülmüş bir şok için hesaplanan şok parametreleri.	38
Tablo 7	Yıllık toplam şok parametreleri değerleri ile SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait yıllık toplam Güneş leke sayıları.	39
Tablo 8	Yıllık toplam şok parametreleri değerleri ile SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait yıllık toplam Güneş leke sayıları arasındaki korelasyon değerleri	40
Tablo 9	Hesaplanan ve tahmin edilen parametreler ile SILSO Güneş leke sayılarının bazı yıllara göre korelasyon değerleri.	48
Tablo 10	Hesaplanan ve tahmin edilen parametreler ile AAVSO Güneş leke sayılarının bazı yıllara göre korelasyon değerleri.	49
Tablo 11	WIND Yoğunluk Verilerinin ACE Yoğunluk Verilerine Oranı (King ve Papitashvili, 2005).	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Fotosfer katmanında görülen Güneş lekeleri ve bu lekelere ait umbra ve penumbra bölgeleri (SOHO / MDI konsorsiyumunun izniyle. SOHO, ESA ve NASA arasında uluslararası bir iş birliği projesidir).	2
Şekil 2	AAVSO organizasyonuna ait günlük Güneş leke sayılarının değişimi (1945-2020)	2
Şekil 3	Korona katmanında bulunan kapalı ve açık manyetik yapılar üzerinde oluşan koronal ilmekler (Copyright 2010, Professor Kenneth R. Lang, Tufts University).	3
Şekil 4	Gezegenler arası şok dalga türleri için parçacık yoğunluğu (N), sıcaklık (T), manyetik alan (B) ve hız (V) parametrelerinin değişimi.	5
Şekil 5	Şok dalgası parametreleri için şok öncesi (upstream) ve şok sonrası (downstream) gösterimi.	6
Şekil 6	Güneş ve Dünya etrafındaki Lagrange noktalarının temsili konumları.	6
Şekil 7	02/05/2001 tarihinde WIND uydusunun gezegenler arası ortamda (L1) 100 saniye çözünürlükte ölçmüş olduğu proton yoğunluğu (Np), proton sıcaklığı (T), manyetik alan bileşenleri (Bx, By ve Bz) ve parçacığa ait hız bileşenleri (Vx, Vy, Vz) parametrelerinin değişimi. Kırmızı noktalı çizgi şokun oluştuğu zamanı göstermektedir (K. Ogilvie, NASA GSFC).	8
Şekil 8	Kontrol hacmi (V), kontrol hacmine ait yüzey (A), kontrol yüzeyi üzerinden seçilen dA birim yüzeyi, dA birim yüzey normali (n) ve mavi çizgiler ile temsil edilen u hızına sahip akışkan.	20
Şekil 9	Birim yüzey (dA) üzerinden geçen u hızına sahip akışkanın dt birim zaman içerisinde oluşturduğu hacim (dV).	21
Şekil 10	Bir yapay sinir ağı içerisindeki sinir hücresinin matematiksel gösterimi.	30
Şekil 11	Yapay sinir ağının mimarisi.	31
Şekil 12	WIND uydusu verilerine göre şok sınıflarının dağılımı.	35

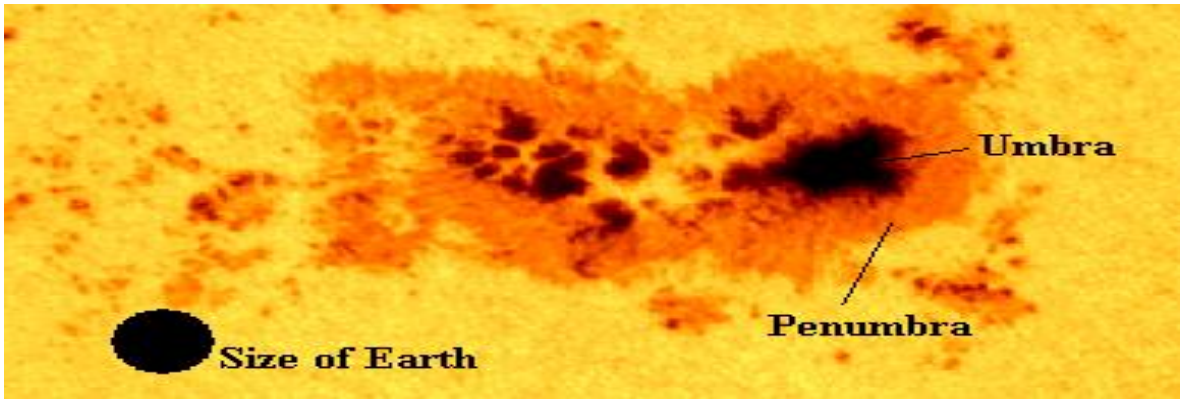
Şekil 13	WIND uydusu için tasarlanan yapay sinir ağına ait maliyet fonksiyonu grafiği.	41
Şekil 14	WIND çalışması için 1995-2019 yılları arasındaki veriler ile eğitilmiş yapay sinir ağının eğitim, doğrulama, test ve tüm veri kümleri üzerindeki R başarı değerleri.	42
Şekil 15	WIND uzay aracı tarafından 1995-2019 ölçülmüş verilerin model ile analiz edilerek hesaplanan ve yapay sinir ağı ile tahmin edilen upstream toplam Mach sayısı değerleri (a) ve toplam sıkışma oranı değerleri (b).	43
Şekil 16	Şekil 15 ile aynı fakat ∑Cs22/Cs12 (a) ve ∑M1/M2 (b).	44
Şekil 17	Şekil 15 ile aynı fakat ∑St (a) ve ∑StRel (b).	45
Şekil 18	Şekil 15 ile aynı fakat upstream kütle akısı (a) ve downstream kütle akısı (b).	46
Şekil 19	SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait yıllık toplam Güneş leke sayılarının değişimi 1986-2019.	47
Şekil 20	Hesaplanan ve tahmin edilen parametreler ile Güneş leke sayılarının (SILSO ve AAVSO) değişimi.	47

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

Dünyamızda meydana gelen birçok meteorolojik ve atmosferik süreçlerin temel sebebi Güneş'tir. Fakat Güneş'in etkileri sadece bu olaylarla sınırlı değildir. İnsanoğlunun gerek teleskoplarla gerek uzaya uydular göndererek Güneş sistemi içerisinde meydana gelen fiziksel süreçleri gözlemlemesi ile bu etkiler de keşfedilmiştir.

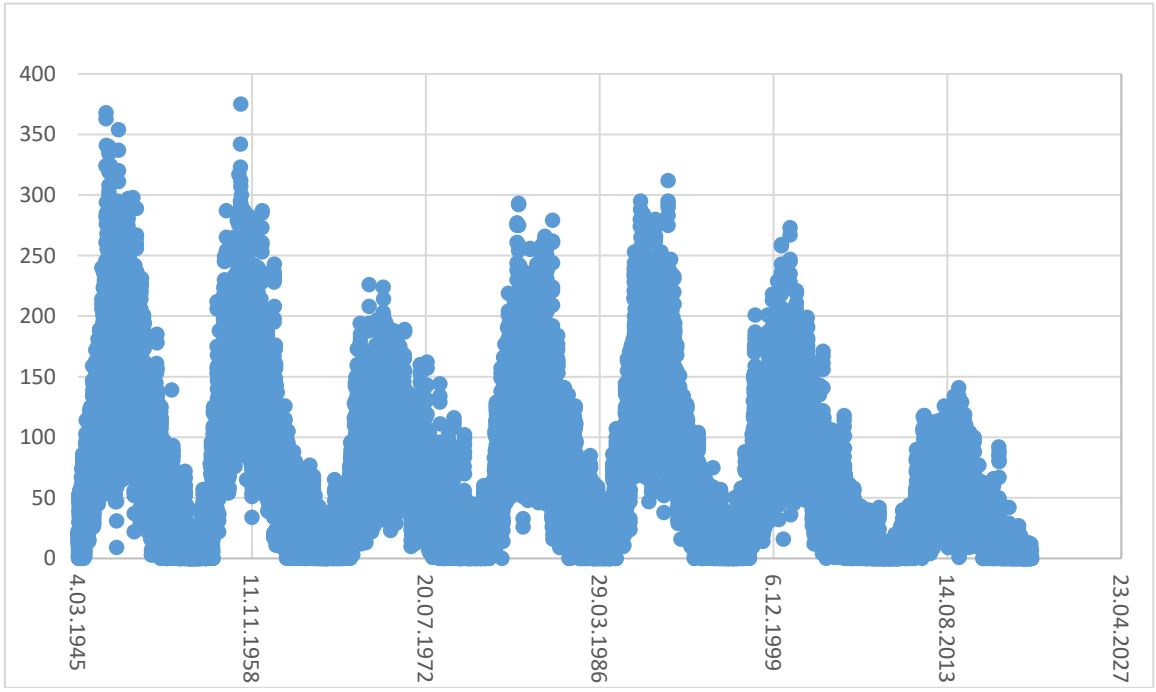
Güneş atmosferi Fotosfer (Işık Küre), Kromosfer (Renk Küre) ve Korona (Taç) katmanlarından oluşur (Gary, 2001). Bu katmanların Güneş yüzeyi ile arasındaki mesafe Fotosfer için 100, Kromosfer için 101-102 ve Korona için 103 milyon metredir. En dış katman olan Korona katmanının sıcaklığı birkaç bin Kelvin'den birkaç milyon Kelvin'e kadar yükselebilmektedir (Stix, 1991). Koronal kütle atımları literatürde Coronal Mass Ejection (CME) olarak bilinmektedir ve Korona katmanında meydana gelir. Karmaşık yapıları ve açıklanması gereken problemler sebebiyle CME'ler Güneş fizikçilerinin ilgisini çekmektedir.

5800 derece Kelvin olan fotosfer katmanında yüzeye göre daha soğuk olan (yaklaşık 3800 derece Kelvin) ve bu yüzden yüzeye göre daha koyu (veya karanlık) görülen lekelere Güneş lekeleri denir. Güneş lekeleri güçlü manyetik aktiviteler ile ilişkilidir. Şekil 1'de gösterildiği gibi Güneş lekelerinin merkezinde bulunan koyu bölgeye umbra ve bu merkezi çevreleyen daha az koyu renkte görülen bölgeye ise penumbra denir (Priest, 2000).



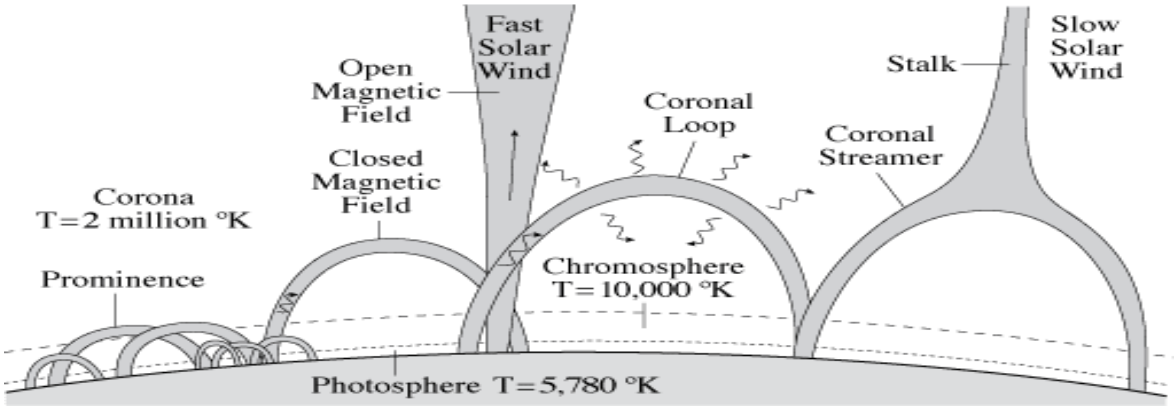
Şekil 1. Fotosfer katmanında görülen Güneş lekeleri ve bu lekelere ait umbra ve penumbra bölgeleri (SOHO / MDI konsorsiyumunun izniyle. SOHO, ESA ve NASA arasında uluslararası bir iş birliği projesidir).

Güneş lekeleri belirli bir döngü içerisinde oluşmaktadır ve bu döngüye Güneş döngüsü adı verilir. Güneş döngüsü ortalama olarak 9-11 yıl arasında sürmektedir. Bu döngülerde 1945-2020 yılları arasındaki günlük Güneş leke sayılarındaki değişim Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. AAVSO organizasyonuna ait günlük Güneş leke sayılarının değişimi (1945-2020)

Korona katmanına kadar uzanan manyetik olarak açık ve manyetik olarak kapalı olmak üzere iki temel manyetik yapı bulunmaktadır. Fotosferde bulunan Güneş plazması bu korona katmanındaki manyetik yapılar ile etkileşime girerek bir dizi fiziksel süreci başlatır. Açık manyetik yapılar (open magnetic fields) ile etkileşen plazma bu yapılar üzerinden Güneş rüzgârı (solar wind) adı verilen sürekli yüklü parçacık akışına sebep olur (Parker, 1958). Kapalı manyetik yapılarda (closed magnetic fields) ise durum farklıdır. Plazma kapalı manyetik yapılara dolanarak koronal ilmekleri (coronal loop) oluşturur (Şekil 3) ve bu ilmek üzerinde Güneş plazması birikir. Zamanla genişleyen ilmek bir süre sonra patlar ve gezegenler arası ortama bu plazma atılır. Bu olay koronal kütle atımı (CME) olarak adlandırılır ve gezegenler arası ortama yüksek hıza ve kütleye sahip bir plazma bulutu yayılır.



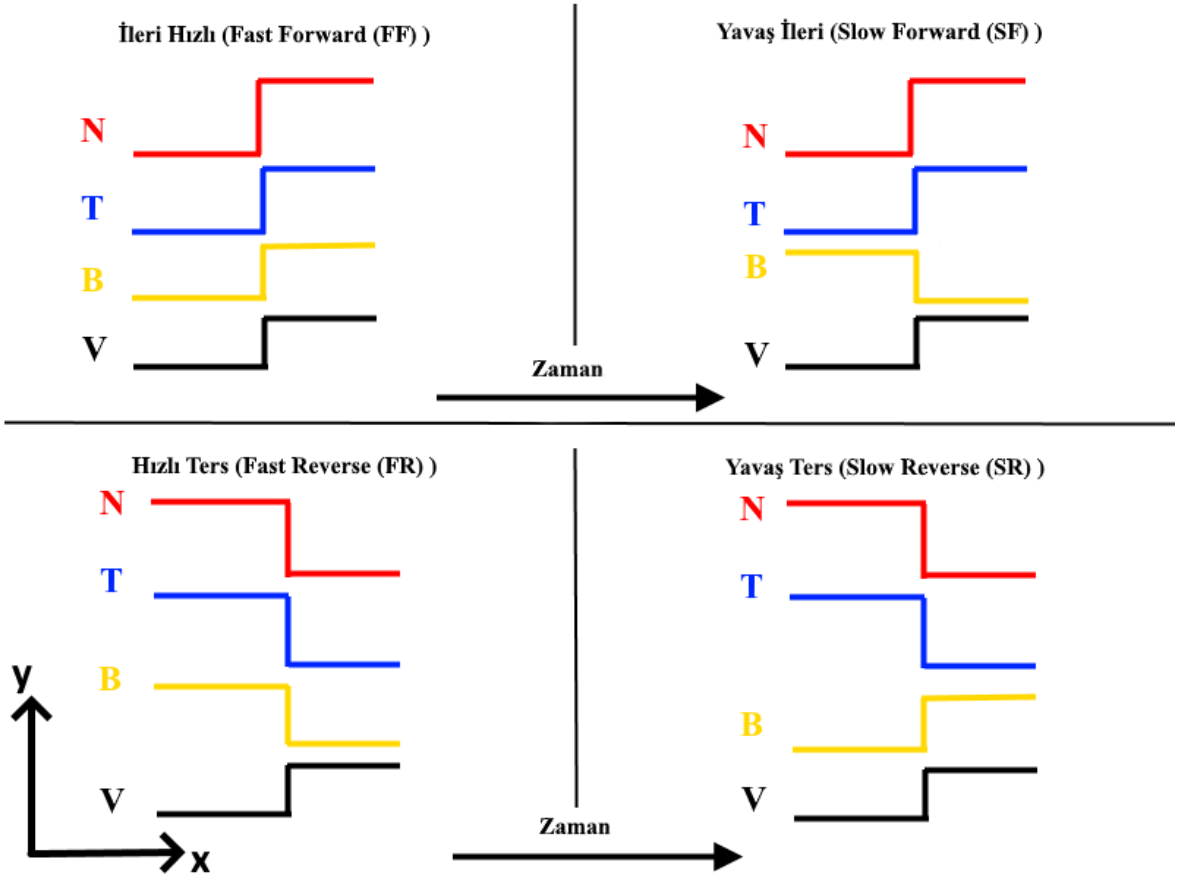
Şekil 3. Korona katmanında bulunan kapalı ve açık manyetik yapılar üzerinde oluşan koronal ilmekler (Copyright 2010, Professor Kenneth R. Lang, Tufts University).

Yıldızlar arası ortamda yerel ses hızı 100km/s'tir ve CME'lerin gezegenler arası ortamda 350-700km/s hıza ulaştıklarında şok dalgası üretebilirler (Nakariakov, 2000; Suzuki, 2004). CME'nin hızı ile oluşturduğu şok dalgasının gücü doğru orantılıdır.

Bir akışkanın, denge durumundan diğer bir denge durumuna geçtiği geçiş katmanlarda, gazların anlık sıkışmalarında ve akışkanın makroskobik parametrelerindeki ani değişimlerin gerçekleştiği katmanlarda şok dalgası oluşur (Priest, 2000). Akışkanın sıkışma

enerjisinin kaynağı akışkanın kinetik enerjisindir. Akışkanın sıkışma esnasında parçacıkların çarpışması, basıncın artması ve ısının artması sebebiyle düzenli akış enerjisi düzensiz bir şekilde termal enerjiye dönüşmektedir. Diğer bir deyişle gazdaki momentum ve enerji, çarpışmalarla moleküller arasında aktarılır.

Şok dalgalarında sınıflandırma şok hızına göre yapılır. Bu amaçla ses hızı referans alınır ve şok dalgasının hızı ortamın ses hızından çok fazla ise bu şok dalgası güçlü şok olarak sınıflandırılır. Şok dalgası hızı ses hızı seviyesine düştükçe zayıflar ve ses hızına yakın hızlarda zayıf şok dalgası olarak sınıflandırılır (Johnson, 1998; Priest, 2000). Şok dalgalarını sınıflandırmak için sıkışma oranı da kullanılabilir. Sıkışma oranı "r" ile gösterilir ve $1,1<r<5$ aralığında değer alır. Sıkışma oranı olan "r" bir şok dalgası için sayısal olarak r=2'ye kadar zayıf şok, bu değerin üzerindeki değerler için güçlü şok sınıflandırması yapılır. Gezegenler arası şok dalgaları güçlü manyetik alanlara sahiptir ve manyetik alan gücünün artması veya azalmasına göre şok hızları değişebilir ve bu şoklara hızlı (fast) veya yavaş (slow) şok denir (Nikbakhsh, 2014) Şekil 1.4'ten de anlaşılacağı gibi şok sonrası yoğunluğun şok öncesi yoğunluktan yüksek olduğu şoklara ileri (forward) ve az olduğu şoklara ise ters (reverse) şok adı verilir (Burlaga, 1995). Gezegenler arası şoklar sınıflandırırken bu terimler kullanılır. Bu yüzden gezegenler arası şoklar hızlı ileri (fast forward (FF)), yavaş ileri (slow forward (SF)), hızlı ters (fast reverse (FR)) ve yavaş ters (slow reverse (SR)) olarak literatürde adlandırılır. Yukarıda bahsedildiği gibi şok oluşumunda akışkan parametrelerindeki ani değişiklik etkilidir. Bu durum Şekil 4'te gösterilmektedir.

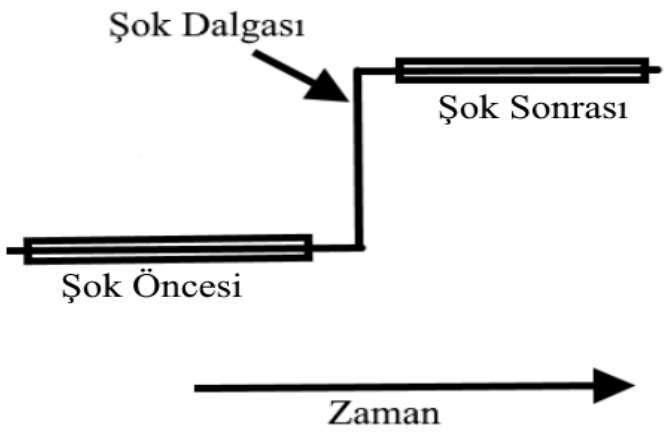


Şekil 4. Gezegenler arası şok dalga türleri için parçacık yoğunluğu (N), sıcaklık (T), manyetik alan (B) ve hız (V) parametrelerinin değişimi.

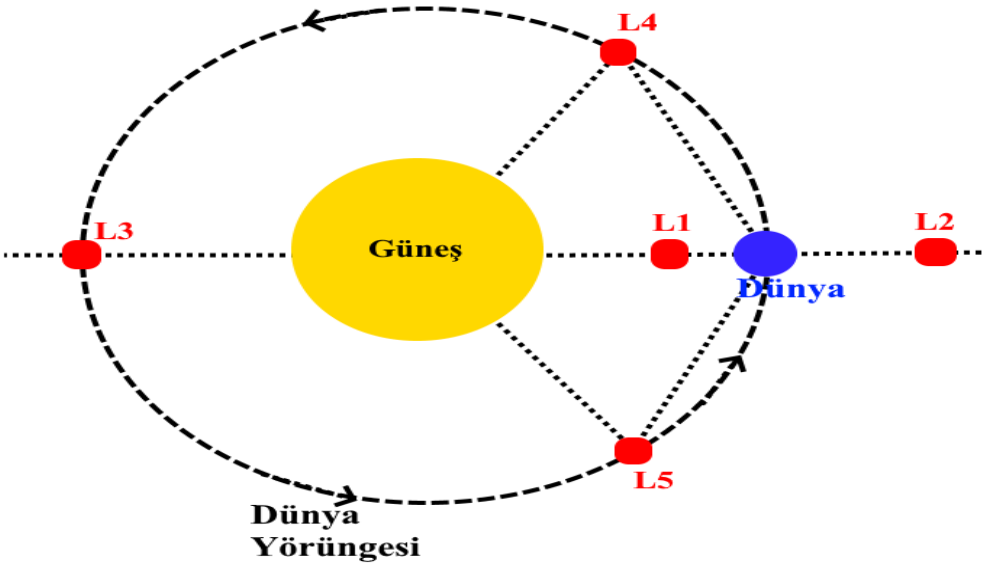
Şekil 4.'te gezegenler arası şoklar için türleri ve her sınıf için şok dalgasını oluşturan CME'deki plazma parametrelerinin değişimi gösterilmektedir. Bu parametreler plazma içerisindeki proton yoğunluğu olan N, proton plazma sıcaklığı olan T, manyetik alan büyüklüğü olan B ve plazma hızı olan V ile ifade edilmiştir. Bu parametrelerdeki ani yükselme-azalma gibi durumlar şokun tipini belirlemektedir. Parametrelerdeki ani değişimden öncesi şok öncesi yani literatürde upstream, değişimden sonrası şok sonrası yani literatürde downstream olarak adlandırılır ve Şekil 5'te gösterilmektedir.

Lagrange noktaları iki kütle arasında kütlesel çekimin eşitlendiği noktalardır. Bu noktalara yerleştirilen kütlelere etki eden net kütle çekim kuvveti neredeyse sıfır olur. Net kuvvetin sıfır olduğu yüzeylerde potansiyel sabittir ve bu yüzeyler eş potansiyel yüzeylerdir. Eş potansiyel yüzeyler üzerinde Newton'un birinci yasası gereği cisim duruyorsa durmaya

hareket ediyorsa hareketine sabit hızla devam eder. Bu yüzden bu noktalarda sabit bir şekilde kalırlar. Şekil 6'da gösterilen Lagrange noktalarından biri olan L1 noktası Dünya'dan 1,5 milyon km uzaklıkta Güneş-Dünya arasında bulunur. Güneş-Dünya arası oluşan Güneş aktivitelerini gözlemlemek ve veri toplamak için ideal bir noktadır. Ayrıca Dünya manyetosferinin dışında kaldığı için Güneş kaynaklı aktivitelerinin ölçümü için elverişli bir konumdur. Bu yüzden Güneş aktivitelerinin incelenmesi görevleri için fırlatılan SOHO, ACE, DSCOVR ve WIND uzay araçları L1 noktasına yerleştirilmiştir.

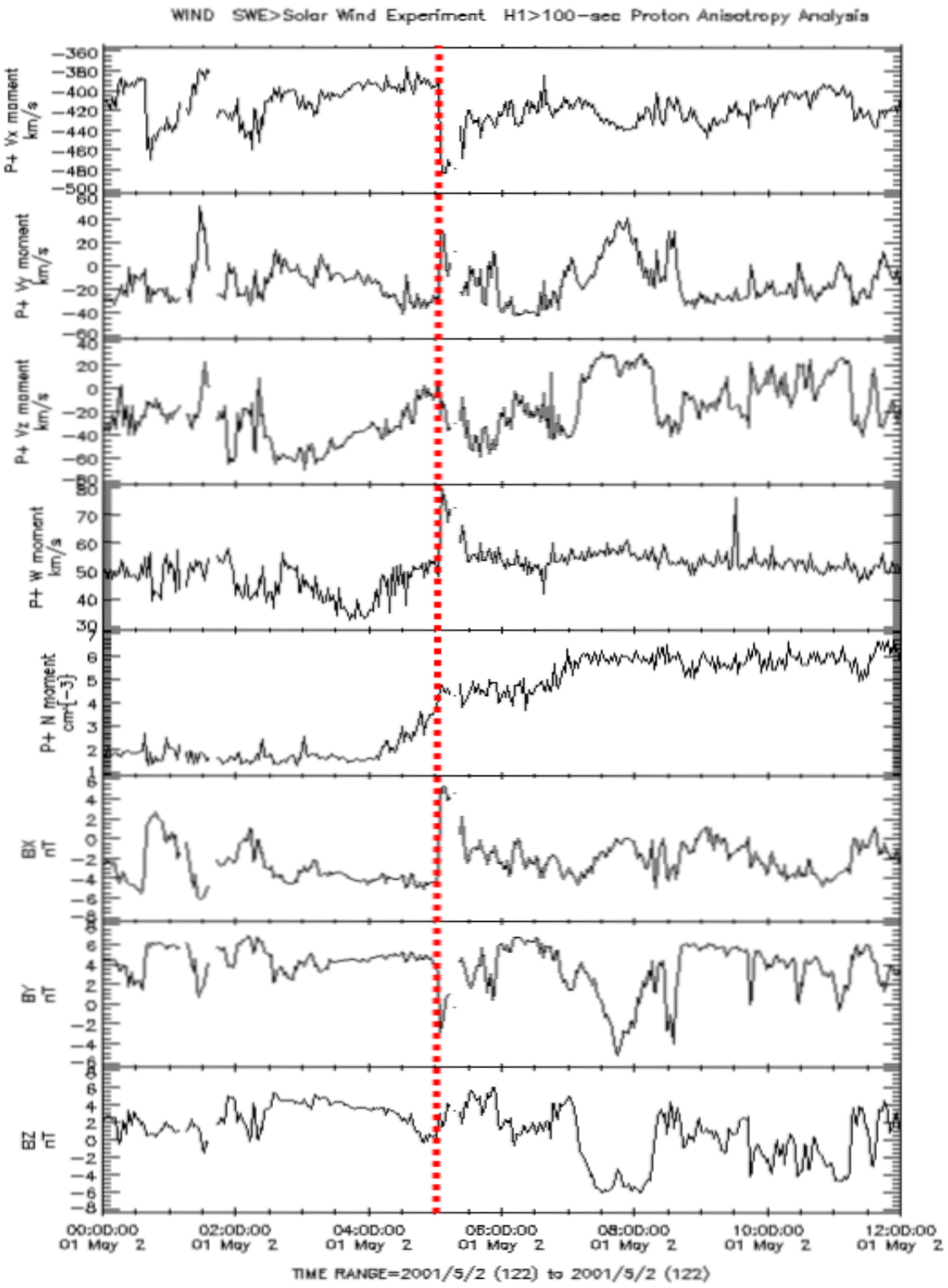


Şekil 5. Şok dalgası parametreleri için şok öncesi (upstream) ve şok sonrası (downstream) gösterimi.



Şekil 6. Güneş ve Dünya etrafındaki Lagrange noktalarının temsili konumları.

WIND uzay aracı 1 Kasım 1994 tarihinde National Aeronautics and Space Administration (NASA) tarafından fırlatılmıştır. WIND uzay aracının hedefleri, dünyaya yakın Güneş rüzgarlarında meydana gelen plazma süreçlerini araştırmak, manyetosferik ve iyonosferik çalışmalar için plazma ve yüksek enerjili parçacık gözlemi yapmaktır. 1995 yılında L1 noktasında görevine başlamıştır.,



Şekil 7. 02/05/2001 tarihinde WIND uydusunun gezegenler arası ortamda (L1) 100 saniye çözünürlükte ölçmüş olduğu proton yoğunluğu (Np), proton sıcaklığı (T), manyetik alan bileşenleri (Bx, By ve Bz) ve parçacığa ait hız bileşenleri (Vx, Vy, Vz) parametrelerinin değişimi. Kırmızı noktalı çizgi şokun oluştuğu zamanı göstermektedir (K. Ogilvie, NASA GSFC).

Şekil 7 ‘de WIND uydusunun L1 noktasında ölçmüş olduğu yoğunluk, sıcaklık, manyetik alan ve hız parametrelerinin değişimi gösterilmektedir. Bu değişimler hem şokun tespit edilmesi hem de Şekil 4 ve 5’te de gösterildiği gibi şok türünün belirlenmesinde kullanılır.

Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi veritabanı WIND uzay aracı verilerini bulundurmaktadır. Bu çalışmada WIND uzay aracının 1995-2019 yılları arasında topladığı upstream ve downstream şok verileri Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi’nden alınmıştır. WIND uzay aracının toplamış olduğu 22 yıllık veri gezegenler arası şokların analizi, bu analizden çıkan sonuçların Güneş döngüsü ile karşılaştırılması ve uzay hava tahmini için yeterli verilerin tahmin edilebilmesi açısından iyi bir fırsat sunmaktadır. Çalışmada toplanan veriler Cavus (2013) çalışmasında önerilen ve viskozite etkisini de içeren hidrodinamik model ile analizi yapılmıştır.

SILSO, Uluslararası Güneş Etkileri Veri Analiz Merkezi (Solar Influences Data analysis Center (SIDC)) tarafından yönetilmektedir. Belçika Kraliyet Gözlemevi’nin bir bölümü olan SILSO’nun misyonu Güneş döngüsü mekanizması ve Güneş aktivitesinin uzun vadeli varyasyonları hakkındaki bilgiyi korumak, geliştirmek ve yaymaktır. SILSO’ya ait Güneş lekesi verilerinin bilimsel yararlılığı ve kalitesi Dünya Veri Merkezi (WDC) tarafından onaylanmıştır. AAVSO organizasyonu 1945 yılından bu yana göreli Güneş leke sayılarını (RA) amatör ve profesyonel gözlemciler ile gözlemleyerek yayınlamaktadır. Bu çalışmada hidrodinamik model ile analiz sonucunda elde edilen şok parametrelerinin Güneş döngüsü ile karşılaştırılması SILSO ve AAVSO organizasyonlarından alınan Güneş leke sayıları ile yapılmıştır.

Yapay sinir ağları anlatılmadan önce “Yapay zekâ” kavramından bahsetmek oldukça önemlidir. Alan Turing’in (1950) “Makineler düşünebilir mi?” sorusuyla bilgisayar biliminin ortaya çıkışı ve verilen matematiksel işlemleri insandan kat kat daha hızlı yapan bilgisayar adını verdiğimiz makinelerin gelişimi dünyamızı derinden değiştirmiştir. Verilen

komutları hızlıca gerçekleştirip istenilen sonuçları çıktı olarak veren bilgisayarlar zamanla daha zor problemlerde kullanılmaya ve buna göre geliştirilmeye devam edilmiştir. Bu komutlar ve komutlar bütünü bilgisayar biliminde bilgisayar programı olarak adlandırılır. Yapay zekâ, Mccarthy (2004) çalışmasında zeki makineler, özellikle akıllı bilgisayar programları yapma bilimi olarak tanımlanmıştır. Yine aynı çalışmada "Zeka" ifadesi dünyadaki hedeflere ulaşma yeteneğinin hesaplamalı kısmı olarak tanımlanır. Bu tanımlamalara göre Yapay zekâ, dünyamızda karşılaştığımız çeşitli problemlere insana özgü zekâ kavramına benzer yaklaşımları uygulayarak bu problemleri analiz eden ve çözen bilgisayar programlarıdır. Yapay zekâ algoritmaları günümüzde görsel algılama, konuşma tanıma, diller arası çeviri, veriler arası neden-sonuç ilişkisi kurma, karar verme, sınıflandırma ve benzeri insan zekâsı gerektiren görevlerde kullanılmaktadır. Bu algoritmalar yapay zekanın alt alanları olan makine öğrenmesi ve derin öğrenme alanlarında kullanılırlar. Makine öğrenmesi ve derin öğrenmenin birbirinden en temel farkı makine öğrenmesi algoritmaları kendisine verilen verileri ayrıştırarak bu veriler üzerinde öğrenim sağlaması ve öğrendiği bilgilere dayanarak karar verirler. Yani makine öğrenmesi algoritmaları kendilerine verilen veri ile sınırlıdırlar. Derin öğrenme algoritmaları ise kendi başına öğrenebilen ve bu öğrenme sonucu akıllı kararlar alabilme kabiliyetine sahiptirler.

Yapay sinir ağları da derin öğrenme algoritmalarından biridir. Son yıllarda gelişen teknoloji ve bilgisayar bilimi sayesinde Yapay sinir ağları (Neural Network) birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Yapay sinir ağları temel olarak insan beyninin bilgiyi öğrenme, işleme ve bilgiler arasında bağ kurma yeteneğinden esinlenerek geliştirilmiş bir teknolojidir. Biyolojik sinir birimlerinin çalışma mantığına benzer şekilde çeşitli metotlarla birbirine bağlanarak sinir ağları oluştururlar. Her sinir hücresi nöron veya nöronlar içerir. Oluşan sinir ağı giriş olarak aldıkları veriyi (input data) hafızaya alabilme, farklı verirler ile aralarındaki matematiksel ilişkiyi ortaya çıkarabilme yeteneğine sahiptir. Bu ağlar çıktı verisi (output data) olarak, girişte aldığı verinin cinsinde veri üretebilir ve zamanla değişen parametrelerin gelecekte zamanla nasıl değişeceğine dair tahminde bulunabilirler. İnsan beynindeki nöronlar arasındaki sinaptik bağlar her bilgi ve yetenek öğrenildiğinde tekrardan ayarlanır veya yeni bir hücre ile bağ kurulur. Bu öğrenme mekaniği aynı şekilde YSA'larda da bulunur. Belirlenen bir eğitim algoritması ile giriş ve çıkış verileri işlenir. İncelenen veriler arasında bağlantı ağırlıkları belirlenir ve bu ağırlıklar giriş ve çıkış verilerinin

arasında maksimum yakınsama sağlanıncaya kadar tekrar tekrar ayarlanır. Yapay sinir ağlarının bu yetenekleri göz önüne alındığında WIND uydusunun verilerinin olmadığı yıllar için güne leke sayıları ve şok parametreleri arasındaki ilişki yapay sinir ağına öğretilerek şok parametrelerinin tahmin edilmesi bu çalışmanın bir diğer hedefidir. Tahmin edilen parametreler hidrodinamik model ile analiz edilerek hesaplanmış parametreler ile birleştirilerek Güneş döngüsü ile yani Güneş leke sayılarının değişimi ile karşılaştırılmıştır.

Bir sonraki bölümde bu alandaki önceki çalışmalardan örnekler verilmiştir. Bölüm 3'te WIND uydusu verilerinin analiz edileceği viskozite etkisini de içeren hidrodinamik model ve tahminler için oluşturulan yapay sinir ağı modeli açıklanacaktır. Bölüm 4'te hidrodinamik model ile elde edilmiş fiziksel şok parametreleri, bu parametrelerinin Güneş döngüsü ile olan ilişkisi ve yapay sinir ağı ile elde edilen tahmini sonuçlar verilerek irdelenecektir. Elde edilen hidrodinamik model ve yapay zekâ sonuçlarının önemi Bölüm 5'te verilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Manyetohidrodinamik, elektromanyetik alanda yüklü parçacıkların (plazmanın) dinamiğini inceleyen bir alandır (Alfven, 1942). Manyetohidrodinamik (MHD) kavramı plazmanın gösterimlerinden biridir ve kinetik gaz teorisinin özel biri durumudur (Cavus, 2007). Akışkanın tanımlanabilmesi gaz fazda bulunan parçacıklar arasındaki mesafenin kısa ve ortamın sürekli olmasına bağlıdır (Çığrıkçı, 2011).

Akışkan halde bulunan yüklü parçacıkların yani plazmanın dinamiği içerisinde yer alan Güneş kaynaklı enerjili parçacıklar, Güneş rüzgarları ve şok dalgaları literatürde önemli çalışma alanları olduğu gibi uzay havası alanında da büyük bir öneme sahiptir. Uzay havası (space weather) alanında Güneş kaynaklı enerjili parçacıklar, Güneş rüzgarları ve şok dalgalarının dünya ve yakın uzay çevresi üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu araştırmalar Güneş etkinliklerinin ve sebep olduğu süreçlerin uydu ve diğer uzay araçlarının etkilenmesi, insanlı uzay görevlerinde çalışan astronot ve kozmonotların yüksek radyasyona maruz kalması, dünya üzerinde bulunan telekomünikasyon sistemlerinin zarar görmesi ve havacılık alanında çalışan pilotlar üzerindeki etkileri üzerinedir. Bu etkilerin araştırılması büyük maddi kayıpların, uzay ve havacılık alanında can kayıplarının ve yer tabanlı sistemlerin zarar görmesinin önüne geçilmesi açısından büyük öneme sahiptir.

Bu bölümdeki çalışmalar Güneş Kaynaklı Enerjili Parçacıklar ile İlgili Çalışmalar, Güneş Kaynaklı Yüksek Hızlı ve Yüksek Enerjili Parçacıkların Sebep Olduğu Süreçler ile İlgili Çalışmalar, Güneş'te Meydana Gelen Koronal Kütle Atımlarına Bağlı Gelişen Şok Dalgaları ilgili çalışmalar ve Uzay ve Güneş Çalışmalarında Yapay Sinir Ağları olarak dört alt bölümde incelenmiştir.

2.1. Güneş Kaynaklı Enerjili Parçacıklar (SEP) ile İlgili Çalışmalar

Güneş kaynaklı enerjili parçacıklar (SEP) literatürde "Solar Energetic Particle (SEP)" olarak adlandırılır ve enerjileri birkaç keV'tan GeV'lara kadar çıkabilir. Bu parçacıklar protonlar ve elektronlardan oluşabilir. Ayrıca HZE iyonları olarak adlandırılan elektrik yükü +2'den büyük, yüksek enerjili çekirdeğe ve yüksek atom numarasına sahip parçacıklardan da oluşabilir. HZE iyonları uzay ortamında en tehlikeli ve yüksek penetrasyon gücüne (delme gücüne) sahip parçacıklardır. Güneş kaynaklı enerjili parçacıklar Güneş patlamaları sırasında manyetik yeniden bağlanma veya koronal kütle atımlarına bağlı şok dalgaları ile hızlanırlar. Güneş kaynaklı enerjili parçacıklar ilk olarak 1940'lı yıllarda kozmik ışınların gözlemi sırasında keşfedilmişlerdir. Forbush (1946) yayınlamış olduğu çalışmada yer tabanlı kozmik ışın gözleminde, kozmik ışın değerlerinde dünyanın farklı konumlarında eş zamanlı ani bir artış gözlemlemiş ve bu durumun Güneş patlaması ile başladığını keşfetmiştir. Bu durum Güneş kaynaklı enerjili parçacıkların ilk keşfidir.

Uzay yaşamı yani insanlı uzay görevleri (Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) gibi) sırasında astronot ve/veya kozmonot gibi uzay pilotlarının maruz kalabileceği radyasyon seviyeleri uzay çalışmalarının sürdürülebilmesi açısından önem arz etmektedir. NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından 35 yıl boyunca çeşitli uzay görevleri (Gemini, Apollo, Skylab ve ISS) ile astronotların aldığı radyasyon dozları toplanarak bu alanda çalışmalar yapılmıştır. ("NASA Space Radiation Health Project", 2004). Güneş kaynaklı enerjili parçacıklardan biri olan HZE iyonlarının %85'i protonlardan, %14'ü helyumdan ve %1'i yüksek enerjiden oluşur ve bu iyonlaştırıcı Güneş kaynaklı enerjili parçacığın insan DNA'sı üzerinde hasara sebep olduğu ortaya çıkmıştır ("NASA Space Radiation Health Project", 2004). Desai ve Giacalone (2016) çalışmalarında alçak Dünya yörüngesinde bulunan astronotları, iletişim ve bilimsel amaçla kullanılan uyduları etkileyen büyük kademeli (>10MeV) SEP olaylarını kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. SEP olayları Güneş fiziği alanında birçok kuruluş ve bilim insanı tarafından modelleme çalışmaları yapılmakta, gözlemler analiz edilmekte ve süreci başlatan fiziksel olaylar araştırılmaktadır. Cane vd. (2010) enerjileri 25 MeV'un üzerine çıkan 280 SEP olayında bu parçacıkların Güneş parametreleri ile nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Crosby vd. (2015) çalışmalarında Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) Güneş kaynaklı enerjili Parçacık Ortamı Modelleme (SEPEM) uygulamasında proton veri setinin oluşturulması, istatistiksel ve fizik

tabanlı modelleme araçlarının sonuçlarını sunmuşlardır. Nitta vd. (2006) gözlemlenen 117 SEP olayının Güneş'teki kaynak bölgelerini belirlemeye çalışmışlar ve 69 SEP olayının kaynak bölgelerini tespit etmişlerdir. Gopalswamy vd. (2004) 23. Güneş döngüsünde (1996-2002) gerçekleşen SEP olayları ile ilişkili CME'leri incelemişler ve aynı kaynak bölgesinden çıkan CME ve SEP olayları arasında CME'lerin daha yoğun SEP olaylarına sebep olduğunu aynı zamanda CME hızı ile SEP yoğunluğu arasında korelasyon olduğunu göstermişlerdir.

SEP olayları Dünya manyetosferinde ani bozulmalara sebep olarak jeomanyetik fırtına başlatabilir. Babayev ve Allahverdiyeva (2007) şiddetli jeomanyetik değişimlerin insan beyni işlevselliği üzerindeki etkileri çalışmışlardır. Jeomanyetik fırtınalar havacılıkta pilotlar üzerinde denge bozukluğu, bölgesel baş ağrıları ve ruhsal bozukluklara sebep olabilir (Goker, 2018).

Daha önce bahsedildiği gibi SEP olayları ve sebep olduğu süreçler, SEP olaylarındaki fiziksel durumların diğer Güneş etkinlikleri (CME gibi) tarafından etkilenmesi üzerine yapılan çalışmalar uzay havası alanı için oldukça önemlidir.

2.2. Güneş Kaynaklı Yüksek Hızlı ve Yüksek Enerjili Parçacıkların Sebep Olduğu Süreçler ile İlgili Çalışmalar

Dünya atmosferini ve yakın uzayı etkileyen pek çok sürecin sebebi Güneş'ten gelen yüksek hıza ve enerjiye sahip olan parçacıklardır. Bu parçacıklar dünya atmosferinde, dünyanın manyetik alan çizgilerinin dik olduğu kutup bölgelerinde Auroralara, jeomanyetik fırtınalara sebep olduğu gibi dünya ve yakın uzay bölgesinde literatürde soliton veya solitary olarak adlandırılan sabit hızlı, şeklini koruyarak güçlenen şok dalgaları oluşturabilir. Bunlara ek olarak bu parçacıklar, plazma içerisindeki iyonların manyetik alana neredeyse dik olarak yayılan iyon siklotron dalgalarına ve sinüzoidal dalgalara sebep olabilir.

Bu yüksek hızlı ve yüksek enerjili parçacıkların başlattığı süreçler Güneş-Dünya arası etkileşimin anlaşılmasında, uzay fiziği ve uzay havası (space weather) için oldukça önemlidir (Parker vd., 2014). Bu alanda Chen vd. (2016) çalışmalarında soliton dalgalarını,

Kakad vd. (2014) iyon akustik soliton dalgalarını çalışmışlardır. Jian vd. (2009) ve Jian vd. (2010) çalışmalarında iyon siklotron dalgalarını çalışmışlardır. Qian vd. (2020) çalışmalarında Güneş rüzgarlarının ve jeomanyetik fırtınaların termosfer ve iyonosfer üzerine etkilerini çalışmışlardır. Richardson vd. (2001) çalışmalarında 1972-2000 yılları arasında Güneş maksimumu ve minimumu koşullarına bağlı olarak jeomanyetik fırtına kaynaklarını incelemişler ve bu fırtınaların %97 oranında CME kaynaklı olduğunu göstermişlerdir. Zhang vd. (2003) yaptıkları çalışmada 1996-2000 yılları arasında 27 büyük ölçekli jeomanyetik fırtınanın kaynağı olan Güneş kaynaklı koronal kütle atımlarını SOHO uzay aracı verilerini kullanarak tanımlamışlardır. Zhang vd. (2007) çalışmalarında 1996-2005 yılları arasında 88 büyük jeomanyetik fırtınaya yol açan Güneş-Dünya bağlantısı arasındaki süreçleri araştırmışlar ve bu fırtınaların gezegenler arası kaynaklarını inceleyerek sonuçlarını yayınlamışlardır. Srivastava ve Venkatakrishnan (2004) çalışmalarında 1996-2002 yılları arasında jeomanyetik fırtınaların Güneş ve gezegenler arası kaynaklarını araştırmışlardır. Gonzalez vd. (1990) yaptıkları çalışmada çift maksimumlu Güneş maksimumu sırasında jeomanyetik fırtınaların dağılımını incelemişlerdir. Gerontidou vd. (2018) çalışmalarında 24. Güneş döngüsü sırasında yüksek hızlı Güneş rüzgarları ve jeomanyetik fırtınaları çalışmışlardır. Dessler ve Parker (1959) yaptıkları çalışmada jeomanyetik fırtınaların ortalama özelliklerini tanımlayan bir hidromanyetik teori geliştirmişlerdir. Tüm bu çalışmalara ek olarak Güneş kaynaklı yüksek hıza ve yüksek enerjiye sahip bu parçacıklar gezegenler arası ortamdaki yerel ses hızından hızlı hareket ederler ve bu durum gezegenler arası ortamda şok dalgası oluşturma potansiyeline sahiptir.

2.3. Güneş'te Meydana Gelen Koronal Kütle Atımlarına Bağlı Gelişen Şok Dalgaları İlgili Çalışmalar

Güneşte yoğun manyetik aktivitelerin bulunduğu bölgelerde bulunan Güneş lekeleri üzerindeki enerji serbest bırakıldığında flareler ve koronal kütle atımları (CME) meydana gelebilir. CME'ler jeomanyetik fırtınalara sebep olabilir. Jeomanyetik fırtınalar uydulara ve çeşitli uzay araçlarına zarar verebilir.

Bir önceki bölümde gösterilen Güneş döngüsü CME'lerin dolayısıyla gezegenler arası şok dalgalarının sorumlusudur. Bu durum yapılan çalışmalarda Güneş döngüsü ile

CME'lerin dolayısıyla gezegenler arası şokların ve jeomanyetik fırtına gibi sonuçların ilişkili olması beklenir. Echer vd. (2005) çalışmalarında 1995-1996 Güneş minimumunu ve 2000 yılı Güneş maksimumunu incelediklerinde plazma parametreleri ile jeomanyetik gezegenler arası şoklar arasında korelasyon elde etmişlerdir. Berdichevsky vd. (2000) WIND uydusuna ait 1994-1997 yılları arasındaki verileri kullanarak gezegenler arası şok dalgalarının Güneş döngüsü ile ilişkisini incelemişleridir. Aynı zamanda şokların gücü ve oluşma hızının Güneş döngüsü ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

Wu ve Lepping (2008) ve Yue ve Zong (2011) çalışmalarında gezegenler arası şokların oluşma sıklığı ile Güneş aktivitelerinin ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Jurac vd. (2002) ve Wu ve Lepping (2016) çalışmalarında gezegenler arası şokların oluşma sıklığı ile Güneş aktiviteleri arasında yüksek korelasyon elde etmişlerdir.

Epizodik yani ayrı ayrı olaylardan meydana gelen, oldukça değişken ve öngörülemez doğalarından, uzayın teknolojik kullanımı ve uzay sistemlerindeki tasarımlar üzerindeki etkilerin dolayı Güneş'ten gelen yüksek enerjili parçacıklar, CME'ler ve IP şokların araştırılması oldukça önemlidir (Tylka ve Hulburt, 2001). Bu yüzden literatürdeki çalışmalar, Güneş koronasından başlayarak gezegenler arası ortama yayılan ve Dünya'ya kadar gelen bu fiziksel süreçlerin anlaşılması üzerinedir.

Shue vd. (1998) çalışmalarında Güneş rüzgarının gücü, süresi ve manyetosferin o anda ki büyüklüğü jeomanyetik fırtınanın etki etmesi için önemli faktörler olduğunu göstermişlerdir. Jeomanyetik fırtınaların IP şoklarla ilişkili olduğu ve IP şokları da CME'lerin indüklediği anlaşılmıştır (Echer ve Gonzalez, 2004; Wu ve Lepping, 2016)

Oliveira vd. (2018) çalışmalarında yer tabanlı gözlemler ile gezegenler arası şokların yerel değişkenliğini incelemişlerdir. Cane (1985) yaptığı çalışmada 48 gezegenler arası şok ile ilişkili Güneş olaylarını incelemiş ve gezegenler arası (IP) şokların nasıl evrimleştiğini göstermiştir. Bu evrimleşmede Güneş olaylarının gücü ile şok hızı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Yue vd. (2010) gezgenler arası şokların tetiklediği jeomanyetik fırtınaları ve 1997-2007 yılları arasında oluşmuş 106 IP şok olayını analiz etmişlerdir. Pitňa vd. (2016)

gezegenler arası şoklar üzerinde şok öncesi ve şok sonrası yoğunluk dalgalanmaları üzerine çalışmışlardır. Prinsloo vd. (2019) çalışmalarında termal Güneş rüzgarlarının gezegenler arası şoklar tarafından hızlandırılması olayını incelemişlerdir. Koval vd. (2006) yaptıkları çalışmada gezegenler arası şok dalgalarının yayılmasını incelemişler ve bu incelemede gezegenler arası şok dalgalarının evrimini iki farklı yolla açıklamışlardır. Gopalswamy vd. (1998) WIND uzay aracı verileri ile gezegenler arası şok dalgalarının kaynağını araştırmışlar ve koronal patlamalarla ilişkilendirdikleri 18 gezegenler arası şok dalgası tespit etmişlerdir.

Güneşte meydana gelen koronal kütle atımlarının sebep olduğu gezegenler arası şok dalgaları ve manyetik bulutlar uzay havası çalışmalarında önemli bir rol oynar (Chané vd., 2005). Gezegenler arası ortamda gerçekleşen bu fiziksel süreçlerin doğuracağı sonuçlardan dolayı bu çalışmalar uzay havası alanında ilgi ile takip edilmektedir.

Cavus vd. (2020) çalışmalarında ACE uydu verileri ile 1998-2014 yılları arasında oluşan şokları incelemişlerdir. Bu çalışmada oluşan şoklara ait fiziksel parametreleri hesaplayarak bu parametreler ile güneş leke sayıları arasında yüksek korelasyon hesaplamışlardır. Coban vd. (2020) yayınladıkları bildiride ACE ve WIND uydusundan aldıkları gezegenler arası ortam verileri ile şok parametrelerini hesaplamışlar ve bu parametreler ile güneş aktivitesi arasındaki korelasyonu yayınlamışlardır. Aynı çalışmada ACE ve WIND uydusu arasındaki ölçüm farklılıklarından dolayı korelasyonların değişebildiğini göstermişlerdir.

2.4. Uzay, Güneş Çalışmalarında Yapay Sinir Ağları

Yapay zekâ alanında veriye dayalı tahmin üretme algoritmalarından biri olan yapay sinir ağları uzay çalışmalarında da kullanılmaktadır. Özellikle yakın uzayda bulunan uyduları ve diğer çalışmaları etkileyen Güneş kaynaklı fiziksel süreçlerin tahmini için bu algoritmalar oldukça kullanışlıdır. Güneş'in yerden ve yakın uzaydaki uydular ile gözlemlenerek toplanan verileri, bize Güneşte meydana gelen süreçlerin ve bu süreçlerin dünyamıza olan etkilerini tahmin etme şansı verir. Yapay sinir ağlarının bu alanda kullanılması Güneş kaynaklı koronal kütle atımlarının (CME's), gezegenler arası şokların,

Güneş parlamalarının (Flare) ve bu süreçlerden sonra Dünya manyetosferinde meydana gelebilecek jeomanyetik fırtınaların tahmin edilmesini sağlayabilir.

Vandegriff vd. (2005) çalışmalarında NASA'nın ACE uzay aracına ait verileri kullanarak IP şok tahmin algoritması eğitmek için kullanmışlardır. Bu çalışmada 37 şok analiz edilmiş ve daha önce kullanılmamış olan 19 IP şokun varış zamanını tahmin etmişlerdir. Fry vd. (2007) uzay havası alanında gerçek zamanlı Güneş rüzgârı ve gezegenler arası manyetik alan koşullarının tahmini üzerine çalışmışlardır. Smith vd. (2004) çalışmalarında Güneş gözlemlerini kullanarak IP şokların Dünya'ya varışını tahmin edecek dört farklı modelin tahmin yeteneklerini karşılaştırarak bir doğrulama yöntemi önermişlerdir.

Fernandez Borda vd. (2002) yaptıkları çalışmada Güneş parlamalarının (Flare) optik görüntülerini yapay sinir ağı tekniklerini kullanarak otomatik Flare tespiti yapan bir uyarı sistemi geliştirmişlerdir. Zheng vd. (2019) yaptıkları çalışmada evrişimli sinir ağı (CNN) kullanarak Flare tahmini yapan bir model önermişlerdir. Nishizuka vd. (2018) derin sinir ağı kullanarak Flare tahmin modeli geliştirmişlerdir.

Tan vd. (2018) ACE uydusu verileri ile Kp indeksini (jeomanyetik bozulmanın yoğunluğu) ve jeomanyetik fırtına oluşumunu derin öğrenme algoritmasıyla tahmin etmişlerdir. Lundstedt ve Wintort (1994) çalışmalarında yapay sinir ağı üzerinde Güneş rüzgârı verileri kullanarak jeomanyetik fırtınaları tahmin etmişlerdir. Çalışmalarında 1963-1987 yılları arasındaki 25 yıllık veriden 8700 saati kapsayan büyük bir veri kullanmışlardır. Benzer şekilde Wu ve Lundstedt (1996) yaptıkları çalışmada tekrarlayan sinir ağları (RNN) kullanarak jeomanyetik fırtınaları Güneş rüzgârı verileri ile tahmin etmişlerdir. Tahminleri ve gözlemler verileri arasındaki korelasyonu 0,91 olarak bulmuşlardır. Smith vd. (2020) makine öğrenmesi algoritmaları ile L1 noktasında gözlemlenen gezegenler arası şokların ani jeomanyetik fırtınaya yol açıp açmayacağını olasılıksal olarak çalışmışlardır.

Wang vd. (2019) CME görüntülerini kullanarak geliştirdikleri evrişimli sinir ağı modeli ile CME tespiti ve takibi yapabilen bir model önermişlerdir. Wu, Lundstedt, ve Wintort (1998)

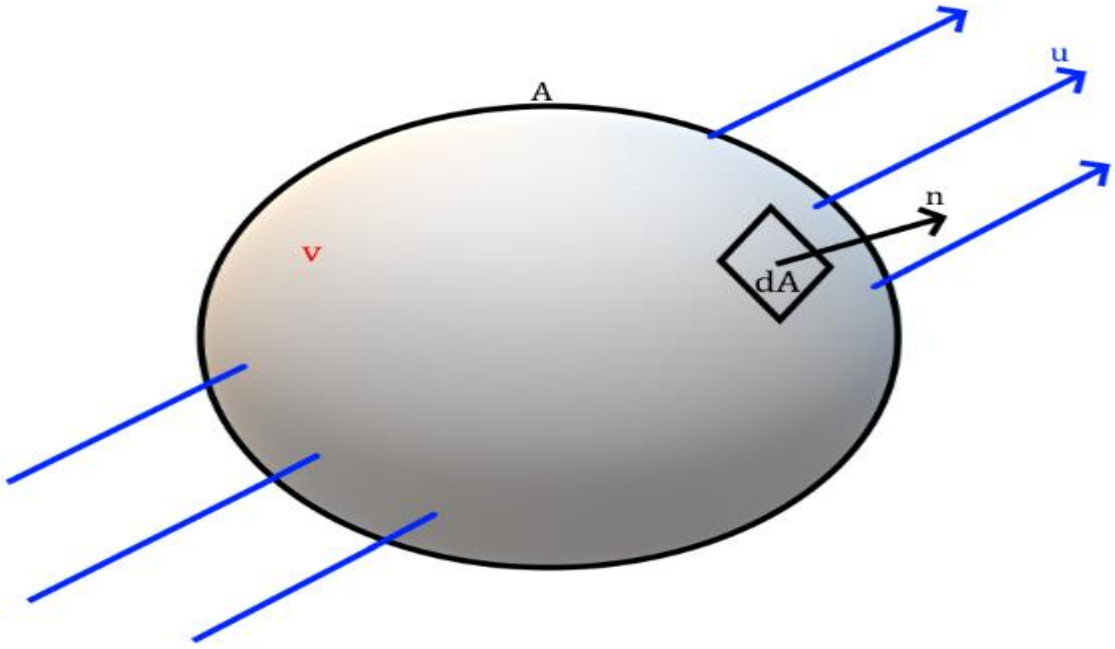
Halo-CME olaylarına ait WIND uzay aracı verilerini kullanarak geliştirdikleri yapay sinir ağı ile dünya manyetosferinin tepkilerini tahmin etmişlerdir. Wang vd. (2019) yaptıkları çalışmada evrişimli sinir ağı kullanarak CME'lerin varış zamanını tahmin eden bir model geliştirmişlerdir. Coban vd., (2021) yaptıkları çalışmada 25. Güneş döngüsünü oluşturdukları bir derin ağ ile tahmin ederek yeni bir Dalton Minimum'u olabileceğini göstermişlerdir. Raheem vd. (2021) yaptıkları çalışmada Güneş'te bulunan aktif bölgeler ve bu bölgelerle ilişki güneş leke gruplarının ve ilişkili CME'leri derin öğrenme algoritması kullanarak tespit etmişlerdir.

Bu tez çalışmasının amacıyla bağlantılı olarak bir sonraki bölümde akışkanlar mekaniğinde temel denklemlerin nasıl elde edildiği ve şok parametrelerinin analizi için kullanılan Cavus (2013) çalışmasından sunulan model açıklanmıştır. Aynı zamanda şok parametrelerinin tahmini için oluşturulan yapay sinir ağı mimarisi açıklanmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM

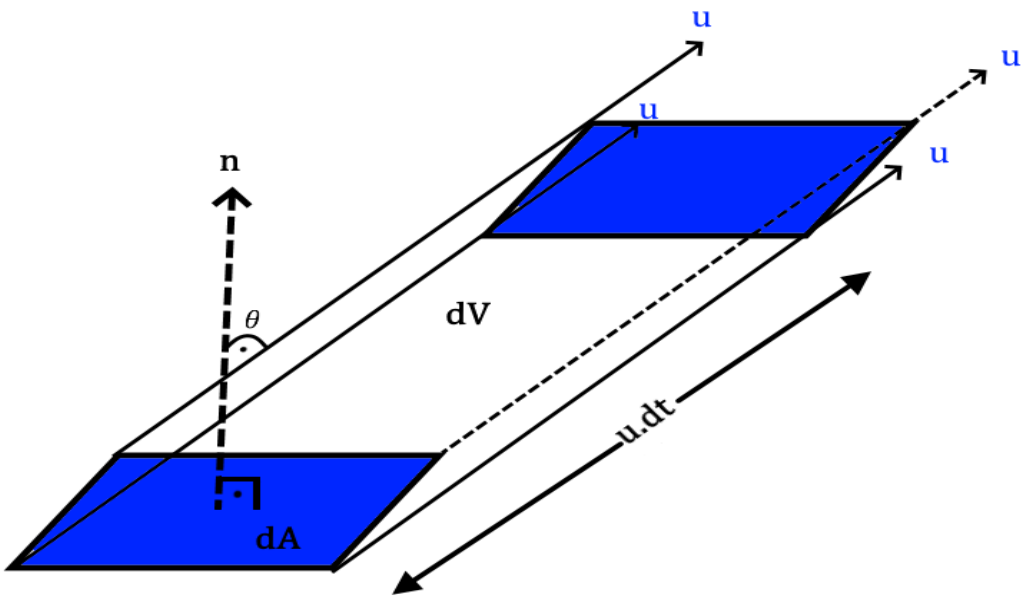
3.1. Temel Formüllerin Elde Edilmesi

Akışkan maddenin sıvı ve gaz halidir. Akışkanların akma kabiliyetleri sonucu bulundukları kabın şeklini alırlar. Katılar ve akışkanlar arasındaki fark viskoziteye de bağlıdır. Akışkanlar dinamiğinde akışkanın fiziksel süreçlerini belirleyen temel denklemler çeşitli yollarla elde edilebilir. Bu yollardan biri kontrol hacmi yöntemidir. Akışkanın aktığı ortamda V ile tanımlanan hayali bir hacim düşünelim. Bu hacmin yüzeyi A ile gösterilsin ve hacim içerisinden geçen akışkan hızı u ile ifade edilsin (Şekil 8).



Şekil 8. Kontrol hacmi (V), kontrol hacmine ait yüzey (A), kontrol yüzeyi üzerinden seçilen dA birim yüzeyi, dA birim yüzey normali (n) ve mavi çizgiler ile temsil edilen u hızına sahip akışkan.

Kontrol hacmi yüzeyi (A) üzerinden sonsuz küçüklükte bir dA birim yüzeyi seçilir ve bu yüzey üzerinden birim zaman (dt) içerisinde geçen akışkan miktarı bu süre içerisinde bir dV hacim oluşturur (Şekil 9.).



Şekil 9. Birim yüzey (dA) üzerinden geçen u hızına sahip akışkanın dt birim zaman içerisinde oluşturduğu hacim (dV).

Birim zaman içerisinde oluşan bu hacmi hesaplamak gerekirse;

$$dV = u.dA.dt.cos\theta \tag{3.1}$$

Birim hacmin birim zamandaki değişimi;

$$\frac{dV}{dt} = dA.u.\vec{n} \tag{3.2}$$

Denklem (3.2)'de $\vec{n}$ yüzey normal vektörüdür. Eğer eşitliğin her iki tarafının integrali alınırsa kütlesel debi ($\dot{Q}$) elde edilir (3.3). Ardından eşitliğin iki tarafı da yoğunluk (ρ) ile çarpılırsa (3.4) birim zamanda değişen hacim miktarı yani akışkanın debisi ($\dot{m}$) bulunur (3.5);

$$\int \frac{dV}{dt} = \int dA.u.\vec{n} \tag{3.3}$$

$$\rho.\dot{Q} = \int \rho.u.\vec{n}.dA \tag{3.4}$$

$$\dot{m} = \int \rho.u.\vec{n}.dA \tag{3.5}$$

Denetim hacminde akışkan akışı sabit ve sürekli ise;

$$\int \rho\,.dV = m \tag{3.6}$$

$$\int \rho.u.\vec{n}.dA = 0 \tag{3.7}$$

Denklem (3.7) bize kütle korunumunu verir. Yani giren kütle miktarı çıkan kütle miktarına daima eşittir. Kontrol hacminde birim zamandaki momentum değişimi yazılmak istenirse;

$$\frac{d}{dt}\int \rho.u.dV \tag{3.8}$$

Kontrol yüzeyindeki momentum;

$$\int \rho.u.(u.\vec{n}).dA \tag{3.9}$$

Kontrol hacmine etkiyen bünyesel kuvvetler (gravitasyon, emk vb.) f ile ifade edilecek olursa bu etkilerden kaynaklı momentum denklemi;

$$\int \rho.f.dV \tag{3.10}$$

Kontrol yüzeyindeki yüzey gerilimleri etkisi için momentum denklemi yazılırsa;

$$\int(-p.\delta_{ij} + \bar{\bar{\tau}}).dA \tag{3.11}$$

Denklem (3.9)'da δ_{ij} Kronecker delta ve $\bar{\bar{\tau}}_{ij}$viskoz stres tensörü ve p basınçtır.

Denklem (3.8) 'de kontrol hacmindeki momentum sıfıra eşittir. Denklem (3.10)'da verilen kontrol hacmine etkiyen herhangi bir bünyesel kuvvet yoksa denklem (3.9) ve (3.11) kullanılarak momentum korunum denklemi (3.12) elde edilir;

$$\int\left(\rho.u^2 + p.\delta_{ij} - \bar{\bar{\tau}}_{ij}\right).\vec{n}.dV = 0 \tag{3.12}$$

Kontrol hacmine yani sisteme radyasyon ve/veya yanma yoluyla sokulan ısı ifade edilecek olursa;

$$Q_{CV} = \int \dot{q}.\rho.dV \tag{3.13}$$

Eşitlik (3.13)'te $\dot{q}$ birim kütle başına sokulan ısıyı temsil etmektedir. Viskoz yani iç sürtünme, ısı iletimi ve kütle difüzyonu ile sisteme giren ısı ifade edilecek olursa;

$$\dot{Q} = \int\left(\bar{\bar{\tau}}_{ij} + u\right).\vec{n}.dA \tag{3.14}$$

Kontrol yüzeyine basınç kuvvetlerinin yaptığı iş (W_{CV});

$$W_{CV} = -\int(p.n.dA).u \tag{3.15}$$

Bünyesel kuvvetlerin (f) kontrol hacmi üzerinde yaptığı iş;

$$W_f = \int (f.p.dV).u \tag{3.16}$$

Kontrol yüzeyi üzerine viskoz kuvvetlerin yaptığı iş;

$$\dot{W} = \int -k(\Delta T).\vec{n}.dA \tag{3.17}$$

Denklem (3.17)'de k ısı iletkenlik katsayısı, T mutlak statik sıcaklığı temsil etmektedir. Sistem üzerine etkiyen toplam enerji sisteme giren ısı ve sistem üzerinde yapılan işin toplamı ile bulunur. Eğer sisteme giren ısı Q ile sistem üzerinde yapılan toplam iş W ile ifade edilirse toplam enerji E;

$$E = Q + W \tag{3.18}$$

şeklinde ifade edilir.

Kontrol yüzeyine giren ve çıkan kütlelerin taşıdığı enerji yazılacak olursa;

$$\int (\rho.u.\vec{n}.dV).(e + \tfrac{1}{2}.u^2) \tag{3.19}$$

Denklem (19)'da $e + \frac{1}{2}.u^2$ ifadesi birim kütle başına enerjiyi temsil etmektedir.

Kontrol hacminde birim zamanda değişen kütle miktarından kaynaklanan enerji yazılacak olursa;

$$\frac{d}{dt}.\int(\rho.dV).(e+\frac{1}{2}.u^2) \tag{3.20}$$

Denklem (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.19) ve (3.20) denklem (3.18)'e göre düzenlenirse enerji korunum denklemi elde edilir;

$$\int(\rho.u.\left(e+\frac{1}{2}.u^2\right)+p.u-\bar{\bar{\tau}}_{ij}.u+k.(\Delta T).\vec{n}.dV=0 \tag{3.21}$$

Kütle korunumu, momentum korunumu ve adyabatik akış için enerji korunumu denklemlerinde yer alan tüm değişkenler tam diferansiyelli ise bu denklemler sırasıyla şu şekilde yazılabilir;

$$d(\rho u)=0 \tag{3.22}$$

$$d(\rho.u^2+p-\bar{\bar{\tau}}_{ij})=0 \tag{3.23}$$

$$d\left(\rho.H-\bar{\bar{\tau}}_{ij}.u\right)=0 \tag{3.24}$$

İdeal gaz yasası;

$$p=\rho.R.T \tag{3.25}$$

Denklem (3.22), (3.23) ve (3.24) yer alan parametreler Eselevich ve Eselevich (2019) tarafından söylendiği gibi tek boyutlu bir durum için akışkan denklemleri (x ekseni boyunca) şok cephesinin yukarı akışı (upstream) ve alt akışı (downstream) sırasıyla alt indis 1 ve 2

olarak yazılabilir. Bu denklemler literatürde Rankin-Hugoniot sıçrama ilişkileri olarak adlandırılır (Zel'dovich ve Raizer, 2002);

$$\rho_1 . u_1 = \rho_2 . u_2 \tag{3.26}$$

$$\rho_1 u_1^2 + p_1 - \tau_1 = \rho_2 u_2^2 + p_2 - \tau_2 \tag{3.27}$$

$$\rho_1 E_1 u_1 - \tau_1 u_1 = \rho_2 E_1 u_2 - \tau_2 u_2 \tag{3.28}$$

$$\frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2} \tag{3.29}$$

Denklem (3.28)'da E entalpiyi temsil etmektedir ve entalpi ve viskozluk terimleri aşağıdaki şekilde yazılabilir (Cavus, 2013; Cavus vd., 2020; Priest, 2000; Blazek, 2001; Khidr ve Mahmoud, 1985);

$$\tau = \frac{4}{3}\mu \frac{du}{dx} \tag{3.30}$$

$$H = \frac{\gamma}{\gamma - 1}\frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}u^2 \tag{3.31}$$

Denklem (3.30) ve (3.31) yer alan μ, H, γ terimleri sırasıyla dinamik viskozite katsayısı, entalpi ve adyabatik indekstir. κ olarak tanımladığımız sıkıştırma oranı yukarı (upstream) ve aşağı akışın (downstream) hızlarının oranıdır ve aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{u_2}{u_1} = \kappa^{-1} \tag{3.32}$$

Reynolds sayısını R_e olarak tanımlarsak;

$$\mu \frac{du}{dx} \cong \frac{\rho u}{R_e} \tag{3.33}$$

Denklem (3.30), (3.32) ve (3.33), denklem (3.7), (3.12), (3.21) ve (3.25)'te kullanılırsa aşağıda verilen temel denklem bulunabilir (Cavus, 2013);

$$\left[\left(\frac{1}{2}-\frac{4}{3}\frac{1}{R_{e_1}}\right)(\gamma-1)M_1^2+1\right]\kappa^2-\left[\left(1-\frac{4}{3}\frac{1}{R_{e_1}}\right)\gamma M_1^2+1\right]\kappa+\left(\frac{\gamma+1}{2}-\frac{4}{3}\frac{1}{R_{e_2}}\right)M_1^2=0 \quad (3.34)$$

Eşitlik (3.34)'te Re_1 ve Re_2 şok öncesi (upstream) ve şok sonrası (downstream) için Reynolds sayısını ifade eder. γ, κ, ve M_1 sırasıyla adyabatik indeksi (özgül ıslar oranını), sıkıştırma oranını ve şok sonrası (downstream) Mach sayısını ifade eder. Çarpışmayan bir şok cephesi için adyabatik indeks değeri $5/3 < \gamma < 2$ aralığındadır (Eselevich ve Eselevich, 2011). Fiziksel parametrelerin şok sonrası (downstream) değerleri için Zel'dovich ve Raizer (2002) ve Cavus (2013) sonuçları kullanılmıştır.

Eşitlik (3.34) genel denklemdir ve M_1'e göre çözülürse şoklara ait fiziksel parametrelerin belirlenmesi sağlar. Bu parametreler şok öncesi Mach sayısı (M_1), şok sonrası Mach sayısı (M_2), şok öncesi ve şok sonrası Mach sayıları oranı (M_1/M_2) ve şok sonrası ve şok öncesi ses hızlarının karelerinin oranıdır. (Cs_2^2/Cs_1^2). Sıkıştırma oranı olan κ doğrudan modelden alınmıştır. Şoklar için şok öncesi kütle akısı (n_1u_1) modelden elde edilen şok öncesi yoğunluk (n_1) ve şok öncesi hız (u_1) değerleri çarpılarak elde edilir. Şok sonrası kütle akısı (n_2u_2) için doğrudan uydudan alınan şok sonrası yoğunluk (n_2) ve hız (u_2) verileri kullanılmıştır.

Bir diğer şok parametresi için Rathakrishnan (2010) yaptığı çalışmaya göre şok gücü (St);

$$St = \frac{P_2-P_1}{P_1} = \gamma.M_1^2\left(1-\frac{1}{\kappa}-\frac{4}{3}\frac{1}{Re_1}+\frac{4}{3\kappa}\frac{1}{Re_2}\right) \quad (3.35)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır. Ayrıca bu çalışmada şoklar için şiddet sınıflandırması yapılmıştır. Şok şiddet sınıfı (St_{Rel}) için şoklara ait şok öncesi Mach sayısı (M_1) kullanılır.

Bu sınıflandırmada şoklar “çok zayıf (VW)”, “zayıf (W)”, “orta (M)”, “güçlü (S)” ve “çok güçlü (VS)” olarak 5 sınıfa ayrılır ve bu Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1

Şoklar için şiddet sınıflandırması (Cavus vd., 2020)

St_{Rel}	Şok Sınıfı	Gösterim	Koşul
1	Çok Zayıf Şok	VW	$M_1 \leq 1{,}34$
2	Zayıf Şok	W	$1{,}34 \leq M_1 < 2$
3	Orta Şok	M	$2 \leq M_1 < 3$
4	Güçlü Şok	S	$3 \leq M_1 < 5$
5	Çok Güçlü Şok	VS	$5 < M_1$

Bu bölümde kütle, momentum ve enerji korunum denklemlerinin akışkanlar fiziğinde elde edilişi ve bu denklemler aracılığı ile Denklem 3.34’te verilen ve Cavus (2013) çalışmasında anlatılan ait genel denklemin elde edilişi gösterilmiştir. Denklem 3.34’ün M_1’e göre çözümü ile şoklara ait fiziksel parametreler elde edilmesini sağlar. Bu parametrelerin elde edilmesi için WIND uzay aracından şoklara ait şok sonrası yoğunluk (n_2) verisi modelde kullanılır. WIND uzay aracının şok verileri Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi’nin Web sitesinden alınmıştır. Bu veriler Python yazılım dili ile çekilmiştir. Elde edilen şok parametrelerinin CME’lere ve dolayısıyla şoklara sebep olan Güneş leke sayıları ile arasındaki korelasyon araştırılmıştır. Çünkü şokların ana kaynağı olan Güneş lekelerinin değişimi ile şok parametrelerinde değişimi arasında ilişki olması beklenir. Güneş leke sayıları ve şok parametreleri homojen bir dağılıma sebep olamadığı için şok parametrelerinin ve Güneş leke sayılarının yıllık toplamları alınarak korelasyon incelenmiş ve Bölüm 4’te bu korelasyon değerleri verilmiştir.

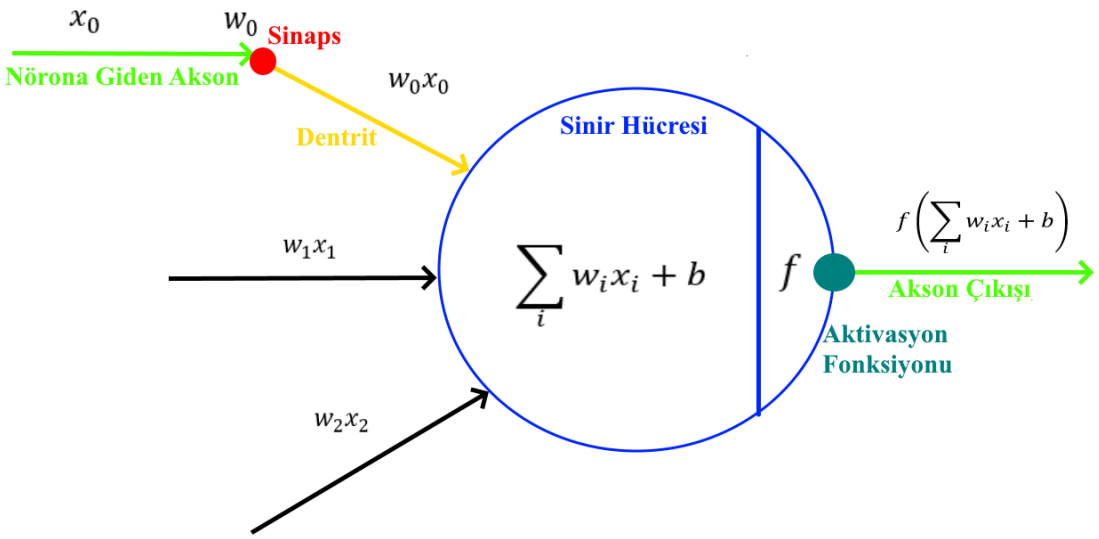
3.2. Yapay Sinir Ağı Mimarisinin Oluşturulması

1995-2019 yılları arasında WIND uzay aracının ölçmüş olduğu ve bir önceki bölümde verilen Cavus (2013) makalesinde sunulan model ile analiz edilen şok dalgaları sonucunda elde edilen fiziksel şok parametreleri, SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait Güneş leke sayıları ile iyi korelasyon vermesi beklenir. WIND uzay aracı 22. döngüde (yani 1986-1994 yılları arasında) ölçüm yapmış olsaydı yine Güneş leke sayıları arasında iyi bir korelasyon beklenirdi. Uydu verilerinin olmadığı ve haliyle şok parametrelerinin hesaplanamadığı bu yıllar için yapay sinir ağı kullanılarak şok parametreleri tahmin edilmesi için bir yapay sinir ağı tasarlanmıştır.

Yapay sinir ağı, girdi nöronu(input), gizli katman (hidden layer), çıktı katmanı (output layer), ve çıktı nöronu olarak dört temel kısımdan oluşur. Girdi nöronu giriş verisinin sayısına ve aynı şekilde çıktı katmanı ve çıktı nöronu, çıktı verisinin sayısına bağlıdır. Gizli katman sayısı ve bu katmanda bulunan nöron sayısı probleme ve tasarımcıya kalmıştır. Gizli katman ve bu katmanda bulunan nöronların ağın başarısına katkısı büyüktür (Zhang, 1998, 42). Gizli nöron sayısını belirlenmesi için kesin bir kural olmamakla beraber belirlemek içinde sihirli bir formül yoktur. (Kaastra 1996). Bazı uygulamalar göstermiştir ki ağa ait katman sayısı 4'ten fazla olduğunda bu durum ağın başarısını olumsuz etkilemektedir (Kaastra ve Boyd, 1996). Bu yüzden oluşturulan yapay sinir ağı tasarımcının tecrübesi ve problem türüne göre değişebilir. Bu çalışmada yapay sinir ağı MATLAB yazılımı ile programlanmıştır. Ağ tipi olarak Feedforward-backprop ağ kullanılmıştır. Bu ağ tipi MATLAB yazılımının en iyi ağ tiplerinden biridir.

Yapay sinir ağlarının çalışma mantığı biyolojik sinir ağlarındakine benzer yapıdadır. Bu yapı Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Şekil 10'da x_0, x_1 ve x_2 (x_0, x_1, …, x_i) terimleri sinir hücresi denilen nörona giren giriş verileridir. Tıpkı biyolojik sinir hücrelerinde bulunan akson gibi yollardan giren giriş verileri dentrit'e benzetilen kısımlarda bulunan ağırlıklarla (w_0, w_1, w_2 … w_i) çarpılır. Ağırlıklarla çarpılan giriş verileri sinir hücresine yani nörona iletilir. Sinir hücresi içerisinde tüm dentritlerden gelen tüm giriş ve ağırlık çarpımları toplanır. Ardından bir "bias" değeri (b) ile toplanır. Bu işlemler f ile temsil edilen bir

aktivasyon fonksiyonu ile işleme sokulur. Ardından akson çıkışı olarak gösterilen yoldan iletilir. Bu iletim nihai sonuç olabilir veya başka bir nörona iletim olabilir.



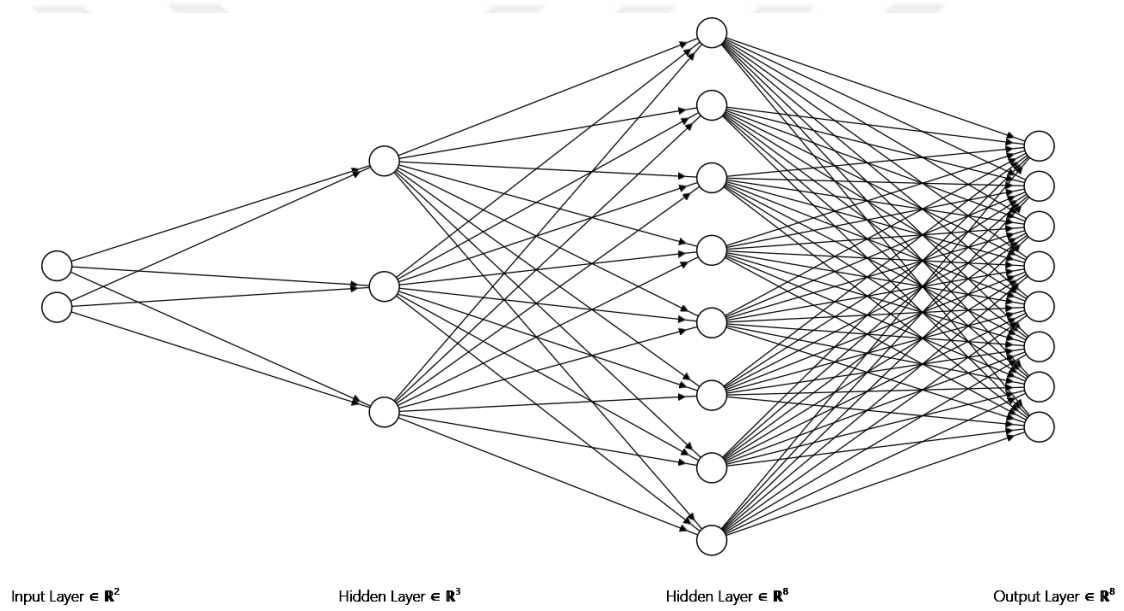
Şekil 10. Bir yapay sinir ağı içerisindeki sinir hücresinin matematiksel gösterimi.

Feedforward ileri besleme anlamını taşır. Feedforward ağlar da ileri beslemeli ağlar olarak adlandırılır. İleri beslemeli ağlarda ağa verilen giriş verileri sadece ileri yönde yani giriş katmanından çıkış katmanına doğru ilerler. Backprop ise geri yayılım algoritmasıdır. Ağın çıkışında elde edilen veri eğer istenmeyen bir sonuç ise türevdeki zincir kuralı uygulanarak ağın girişindeki değerler tekrar elde edilir. Bu sayede ağ giriş verileri ile çarptığı ağırlık değerlerini günceller ve bir sonraki ileri yayılımda farklı sonuçlar elde etmiş olur. Bu yapay Feedforward-backprop tipinde olan yapay sinir ağının en basit çalışma mantığıdır.

Ağ eğitim sırasında yani öğrenme aşamasında kendisine verilen eğitim kümesi verilerini kullanarak giriş ve hedef verileri arasındaki ilişkiyi öğrenir. Bu işlem sırasında eğer tanımlandıysa doğrulama kümesinde kendisinin ne kadar başarılı olduğunu ölçer ve gerekliyse geri yayılım algoritmasını kullanarak kendisini günceller. Başarıyı ölçmek için bir tür Loss yani kayıp fonksiyonu kullanır. Bu fonksiyon tahmin ettiği veri ile gerçek verinin arasındaki farkı verir ve değerin düşük olması beklenir. Tüm bu işlemlerden sonra test kümesi olarak tanımlanan ve daha önce hiç görmediği veriler üzerinde tahmin yapar. Yaptığı tahminler ve gerçek değerler arasındaki fark ağın başarısını gösterir. Bu fark büyükse ağ

başarısı düşüktür. Çünkü ağın tahminleri gerçek değerler ile karşılaştırıldığında tutarsızdır. Aradaki fark ne kadar azsa ağ bir o kadar başarılıdır.

Yapay sinir ağları bir giriş katmanı bir veya daha fazla gizli katmana ve bir çıkış katmanına sahiptir. Yapay sinir ağının mimarisi gizli katman sayısı, katmanlarda bulunan nöron sayısına göre değişir. Giriş katmanında bulunan nöronlar girişte verilen veri sayısına eşittir. Gizli katmanda veya katmanlarda bulunan nöronlar ağ tasarımcısı tarafından belirlenir. Çıkış katmanındaki nöron sayısı ise ağa verilen hedef veri sayısına eşittir.



Şekil 11. Yapay sinir ağının mimarisi

Bu çalışmada yıllık toplam SILSO ve AAVSO Güneş leke sayıları verileri giriş verisi olarak kullanılmıştır. Bu yüzden oluşturulan ağın giriş katmanında 2 nöron bulunmaktadır. Ağa iki gizli katman tanımlanmış, ilk gizli katmana 3 nöron ikinci gizli katmana ise 8 nöron tanımlanmıştır. Ağa hedef verisi yani tahminde bulunması için Bölüm 3.1'de tanımlanan 8 fiziksel şok parametresi tanımlanmıştır ve bu fiziksel parametrelerin yıllık toplamları kullanılmıştır. Bu yüzden çıkış katmanında 8 nöron bulunmaktadır. Bu yapısıyla ağın 2 farklı Güneş lekesi verisini kullanarak 8 farklı şok parametresini tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan ağın mimarisi Şekil 11'de gösterilmiştir

Ağda bulunan iki gizli katmanın aktivasyon fonksiyonu Tanjant Sigmoid(tansig), çıkış katmanına ait aktivasyon fonksiyonu ise lineer transfer (PURLIN) fonksiyonudur. Eğitim yöntemi olarak Levenberg-Marquardt belirlenmiştir. Ağ performansı için ortalama kare hatası (MSE) kullanılmıştır. Ağın bazı hiperparametrelerinden olan öğrenme katsayısı (mu) 0.9, maksimum doğrulama kontrol sayısı (max_fail) 10 ve iterasyon sayısı (epoch) 1000 olarak seçilmiştir. Oluşturulan bu ağ 135 kez eğitildi ve bu eğitimler sırasında 1995-2019 arasındaki verinin %70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i test verisi olarak seçilmiştir. Eğitim sırasında ağ veriyi eğitim, doğrulama ve test veri kümelerine ayırırken 'dividerand' fonksiyonu ile rastgele ayırmıştır.

Oluşturulan ağın çıktı katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak seçilen PURELIN fonksiyonu [-∞, +∞] aralığında değer alır. Bu fonksiyon yapay sinir ağına tahmin üretirken, eğitim sırasında kullandığı giriş verilerinden daha büyük bir giriş verisi verildiğinde bu oranda tahmin yapmasını sağlar. Yani çıkış verisinin [-∞, +∞] değer alabileceği anlamına gelir. Yapay sinir ağları eğitilmeden önce ağa verilecek verinin normalleştirilmesi önemlidir. Bu ağın başarısını, işlemin hızını ve hafızayı olumlu olarak etkiler. 1995-2019 yılları arasındaki veri seti standart normalizasyon yani z-score yöntemi ile normalize edilmiştir. Bu normalizasyon yöntemi ile veri [-∞, +∞] arasında değer alabilir. Verilerin normalizasyonu için kullanılan formül Denklem 3.36'da verilmiştir. Denklem 3.36'da x, μ ve σ sırasıyla normalize edilecek parametreyi, parametrenin ortalamasını ve parametrenin standart sapmasını ifade etmektedir.

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} \tag{3.36}$$

İki farklı organizasyondan alınan gözlemlenmiş Güneş leke sayılarını giriş verisi olarak alan yapay sinir ağı sonuç olarak şoklara ait 8 fiziksel parametreye ait değerleri üretmesi beklenmektedir. Programlanan yapay sinir ağına ait hiperparametreler Tablo 2'de ve eğitim parametreleri de Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2

Yapay sinir ağına ait hiperparametreler

Adaption Function	‘adaptwb’
Derivative Function	‘defaultderiv’
Divide Function	‘dividerand’
Divide Parameters	.trainratio , .valratio, .testratio
Performance Function	MSE
Performance Parameters	.regularization, .normalization
Train Function	‘trainlm’
Train Parameters	.show, .epochs, .time, .goal, .min-grad, .max-fail, .mu, .mu-dec, mu-inc, .mu-max

Tablo 3

Yapay sinir ağına ait eğitim parametreleri

show	25
epochs	1000
time	Inf
goal	0
min_grad	1e-07
max_fail	10
mu	0.9
mu_dec	0.1
mu_inc	10
mu_max	1e+10

Yapay sinir ağının yeteri kadar tekrarlanan eğitim sayısı aşağıda verilen formül ile belirlenmiştir (Iyer ve Rhinehart, 1999). Denklem 3.37’de verilen Fw(a) kullanıcı tarafından karar verilen doğruluk katsayısını, Fx(a) toplam ortalama hatayı temsil etmektedir. N ise ağın kaç kez eğitileceğini temsil eden katsayıyı göstermektedir. Bu çalışmada tasarlanan yapay sinir ağı için güven seviyesi (Fw(a)) %99, toplam kare hata %5’ten daha az olması için N eğitim sayısı 135 olarak belirlenmiştir.

$$N = \frac{\ln(1-F_W(a))}{\ln(1-F_x(a))} \tag{3.37}$$

Oluşturulan ağın başarısını değerlendirmek için bir kayıp (Loss) fonksiyonu olan Ortalama Karesel Hata (MSE) seçilmiştir. Ortalama Karesel Hata değerinin en küçük olması istenir. Ortalama Karesel Hatalar Denklem 3.38 'de verildiği üzere gerçek değer ile tahmin edilen değerin farkının karesinin tüm tahmin edilen veriler için hesaplanarak toplanması ve o verinin sayısına oranlanması ile bulunur.

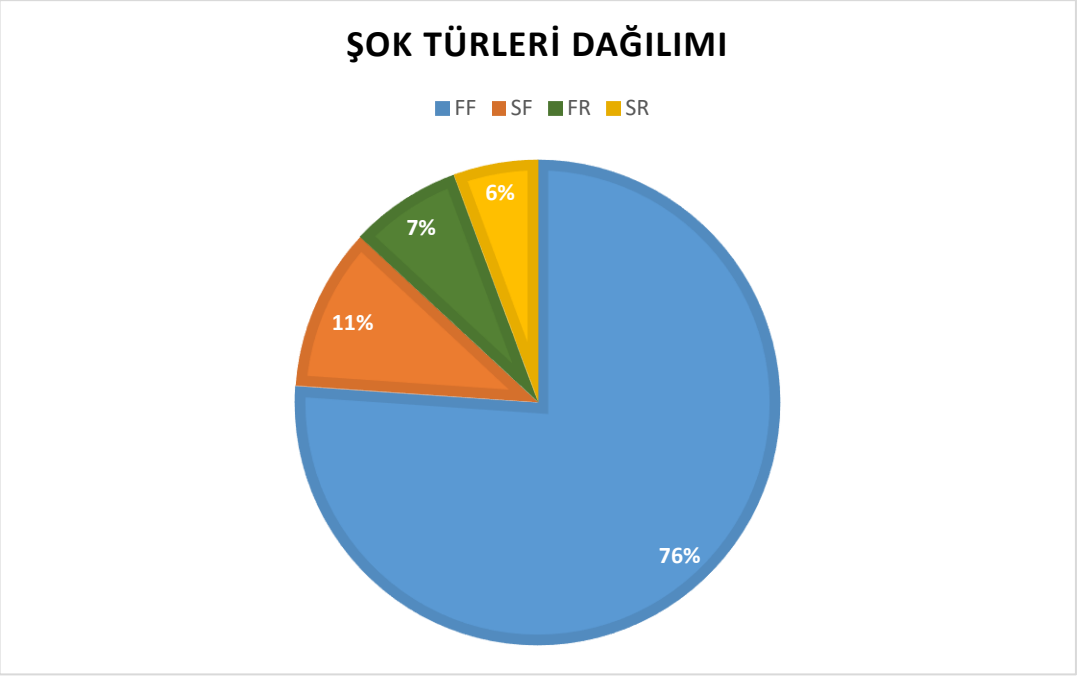
$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \tilde{x}_i)^2 \tag{3.38}$$

Bir sonraki bölümde öncelikle, 3.1 bölümündeki denklemleri WIND uydusu verilerine uygulayarak WIND uydusu tarafından ölçülen şoklar incelendikten sonra AAVSO ve SILSO organizasyonlarına ait yıllık toplam Güneş leke sayıları ile korelasyon araştırılacaktır. Bölüm 4.2'de ise, anlatılan yapay sinir ağı kullanılarak şok verisi olmayan yıllar için (22. Güneş döngüsü içinse) tahmin sonuçları elde edilecektir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. WIND Uzay Aracına Ait Verilerin Cavus (2013)'te Sunulan Model ile Analiz Edilerek Elde Edilen Şok Parametre Değerleri ve Bu Değerlerin Güneş Leke Sayıları ile Korelasyonu

Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi'nin web sitesinden alınan verilere göre WIND uzay aracı 1995-2019 yılları arasında 552 Güneş tabanlı gezegenler arası şok dalgası verisi ölçüştür. Bu veriler Cavus, Coban, Raheem, Kinaci ve Hoshoudy (2021) WIND Uydu Verileri Version 3'te yayınlanmıştır. Ölçülen şok dalgalarının 420 adeti FF, 60 adeti SF, 41 adeti FR ve 31 adeti ise SR türündedir. Şekil 4.1'de WIND uydusu tarafından ölçülen şokların türlerine göre yüzdelik dağılımı gösterilmektedir. Bu çalışmada Güneşten uzaklaşan yani ileri türde şoklar (forward shocks) kullanılmıştır. Bu durumda kullanılan şokların yüzdesi ~%87'dir (Şekil 12).



Şekil 12. WIND uydusu verilerine göre şok sınıflarının dağılımı.

Cavus vd. (2021) WIND Uydu Verileri Version 3'te verilen veriler Bölüm 3.1'de verilen model ile analiz edilmek üzere Cavus vd. (2021) Model ile Uydu Verilerinin

Hazırlanması Version 3'te yayınlanan tablolar hazırlanmıştır. Tablo 4'te WIND uzay aracının 1998 yılında ölçmüş olduğu verilerin ve model parametrelerinin kullanılmasıyla oluşturulan tablo gösterilmektedir.

Tablo 4

WIND uzay aracına ait verilerin model ile analizi için oluşturulan tablo (1998).

								DOY	n_{2ref}	DOY	n_{2ref}
								1.81668	27.40000	9.53682	3.50000
								n_1	u_1	n_1	u_1
								12.3000	318.22019	1.80000	460.89327
M_1	Re_2/Re_1	M_2/M_1	M_2	κ	u_2/u_1	S_2-S_1	Cs_2^2/Cs_1^2	n_2	u_2	n_2	u_2
1.1500	1.7782	0.7631	0.87758526	1.22383	0.81711	0.025709	1.14650	15.053	260.0201	2.2028	376.59947
1.2000	1.7041	0.7052	0.84624407	1.29730	0.77083	0.055496	1.19479	15.956	245.2947	2.3351	355.27190
1.3000	1.5730	0.6103	0.79342939	1.44136	0.69379	0.157175	1.29218	17.728	220.7770	2.5944	319.76175
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.6000	1.2780	0.4290	0.68643021	1.84173	0.54297	0.797767	1.60176	22.653	172.7836	3.3151	250.25064
1.7000	1.2029	0.3892	0.66175389	1.96265	0.50952	1.108239	1.71325	24.140	162.1381	3.5327	234.83230

Tablo 4'te gösterilen mavi renk ile işaretlenmiş veriler uydudan alınan verileri, sarı renk ile işaretlenmiş veriler M_1 parametresine karşılık gelen model parametrelerini ve beyaz ve yeşil renkte olan veriler uydu ölçümlerinden alınan şok öncesi yoğunluk ve şok öncesi hız parametrelerinin modelde kullanılarak her M_1 değerine denk gelen şok sonrası yoğunluk ve şok sonrası hız parametrelerini göstermektedir.

Her yıl için oluşturulan bu tablolarda WIND uzay aracına ait şok sonrası yoğunluk ($n_2$ref) değeri n_2 değerleri ile karşılaştırılarak şoka ait tüm parametreler elde edilmiştir. Bu karşılaştırma için $n_2$ref değerinin n2 sütununda doğrusal interpolasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Tablo 5 ve Denklem 4.1'de gösterildiği gibi uygulanan bu yöntem sayesinde şoklara ait sıkışma oranı (κ), şok öncesi Mach sayısı (M_1), şok sonrası Mach sayısı (M_2), şok sonrası yoğunluk (n_2), şok sonrası hız (u_2), şok sonrası ve öncesi hız oranı (u_2/u_1), şok sonrası ve şok öncesi Mach sayısı oranı (M_2/M_1), Şok öncesi ve sonrası Reynolds sayılarının

oranı (Re_2/Re_1), şok sonrası entropi ve şok öncesi entropi farkı (S_2-S_1) ve şok sonrası yerel ses hızının karesi ile şok öncesi yerel ses hızının karesinin oranı (Cs_2^2/Cs_1^2)i şok sonrası ve şok öncesi basınç oranı (P_2/P_1) parametreleri hesaplanmıştır. Şok gücü (St) için Bölüm 3.1'de verilen Denklem 3.35, şok sınıfları (St_{rel}) için yine aynı bölümde verilen Tablo 1 kullanılmıştır.

Tablo 5

M_1 ve n_2 değerlerinin 1'den n'e kadar olan değerleri

M1	n2
M_1 (1)	n_2 (1)
.	.
M_1 (k)	n_2 (k)
M_1 (k+1)	n_2 (k+1)
.	.
M_1 (n)	n_2 (n)

Tablo 4'te gösterilen veriler örnek olarak verilen Tablo 5'teki gibi görülürse n2ref değeri için n_2 (k) <$n_2$ref <n_2 (k+1) koşulu aranır. Koşulu sağlayan değerler için Denklem 4.1'de verilen doğrusal interpolasyon denklemi kullanılarak M_1 şok parametresi hesaplanabilir.

$$M_1 = \frac{n_{2ref}}{2}\left(\frac{M_1(k)}{n_2(k)} + \frac{M_1(k+1)}{n_2(k+1)}\right) \tag{4.1}$$

WIND uzay aracının almış olduğu ölçümler Cavus (2013) çalışmasında anlatılan model ile (doğrusal interpolasyon kullanılarak) analiz edilmesiyle şoklara ait elde edilen parametreler Cavus vd. (2021) Model ile Analiz Sonucu Şoklara Ait Parametreler Version 2'de yayınlanmış ve Tablo 6'da 1998 yılına ait bir şok için hesaplanan değerler verilmiştir.

Tablo 6

1998 yılında WIND uzay aracı tarafından ölçülmüş bir şok için hesaplanan şok parametreleri.

Yılın Günü	6,561823
M_1	2,651635
Re_2/Re_1	0,772975
M_2/M_1	4,878772
M_2	0,542719
κ	2,804284
u_2/u_1	0,357337
S_2-S_1	5,310588
Cs_2^2/Cs_1^2	3,044963
n_2	27,20156
u_2	109,5518
Şok Sınıfı	M
St_{Rel}	3
St	7,533296
P_2/P_1	8,5333

Güneş lekeleri üzerinde oluşan kapalı manyetik ilmekler ve bu ilmeklerin oluşturduğu CME'lerin şok dalgalarına sebep olması şok parametreleri ile Güneş leke sayıları arasında ilişki olması beklentisini yaratır. Bu yüzden Güneş leke sayıları ile şok parametreleri arasındaki korelasyon bu çalışmada incelenmiştir. Fakat Güneş lekelerinin günlük ve aylık verileri homojen dağılıma sahip olmadığından dolayı hem Güneş leke sayılarının hem de şok parametrelerinin yıllık toplamlarının alınması ve bu şekilde aradaki korelasyonun incelenmesi gerekir. 1995 ve 2019 yılları arasındaki hesaplanan yıllık toplam şok parametreleri, yıllık toplan Güneş leke sayıları (SSN_1 ve SSN_2) değerleri Tablo -7'de verilmiş ve her iki organizasyona ait yıllık toplam Güneş leke sayıları ile şok parametreleri arasındaki korelasyon değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Tüm sonuçlar Cavus vd. (2021) Korelasyon Tablosu Version 3'te yayınlanmıştır. Bu tablo içerisinde bir sonraki bölümde yapay sinir ağı tahmin sonuçları da yer almaktadır.

Tablo 7

Yıllık toplam şok parametreleri değerleri ile SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait yıllık toplam Güneş leke sayıları.

WIND	***1995***	***1996***	**…**	***2018***	***2019***
SSN_1 **(SILSO)**	9152	4231	**…**	2545	1320
SSN_2 **(AAVSO)**	6658	3079	**…**	1493	858
$\sum M_1$	36.72	24.92	…	13.86	11.37
$\sum St$	59.06	25.07	…	21.43	20.3
$\sum St_{Rel}$	44	31	…	17	14
$\sum M_1/M_2$	55.84	33.26	…	21.36	17.97
$\sum \kappa$	41.04	27.99	…	15.66	12.8
$\sum n_1 u_1$	66981.55	65517.01	**…**	28998.2	18416.5
$\sum n_2 u_2$	68137.21	67668.13	**…**	29072.6	18896.4
$\sum Cs_2^2/Cs_1^2$	38.27	25.04	**…**	14.28	11.89

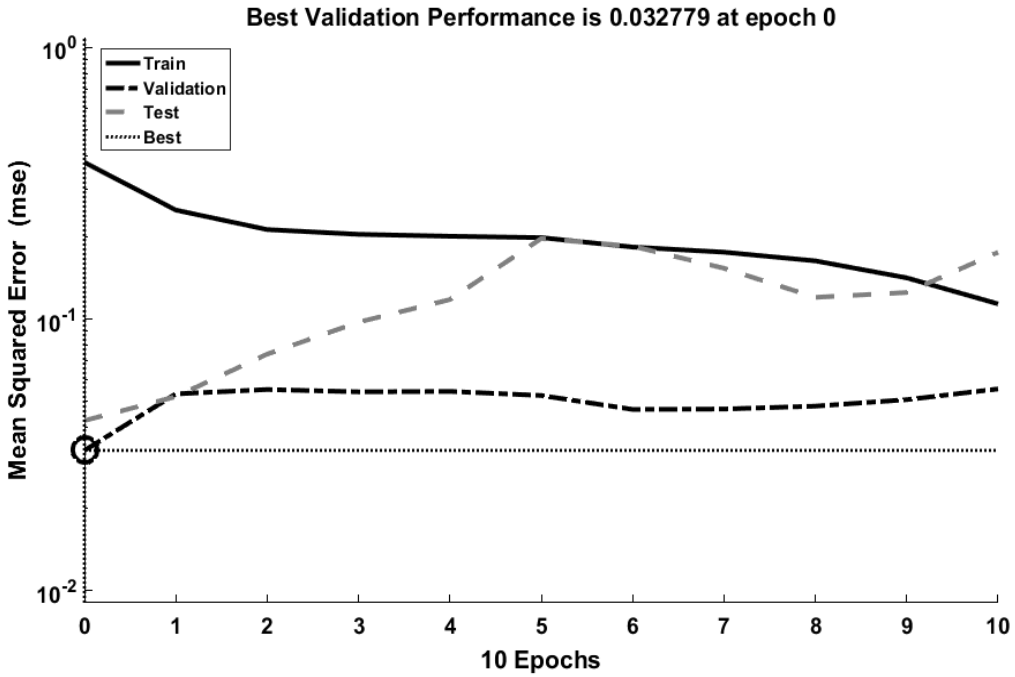
Tablo 8

Yıllık toplam şok parametreleri değerleri ile SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait yıllık toplam Güneş leke sayıları arasındaki korelasyon değerleri

WIND	SSN_1 ile Korelasyon (1995-2019)	SSN_2 ile Korelasyon (1995-2019)
$\sum M_1$	0.7421	0.7642
$\sum St$	0.7643	0.7803
$\sum St_{Rel}$	0.7503	0.7728
$\sum M_1/M_2$	0.7689	0.7906
$\sum \kappa$	0.7276	0.7506
$\sum n_1u_1$	0.5773	0.5995
$\sum n_2u_2$	0.5787	0.6014
$\sum Cs_2^2/Cs_1^2$	0.7561	0.7756

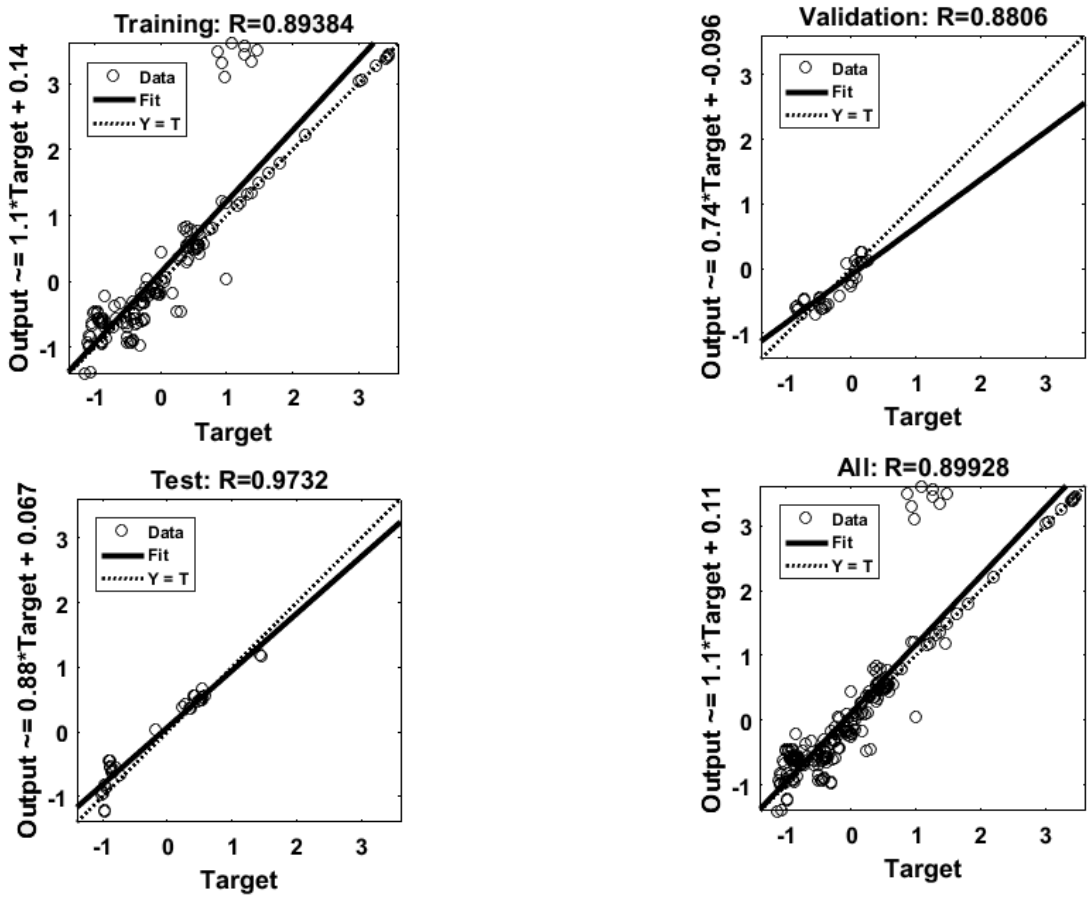
4.2. Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Şok Verisi Olmayan 22. Güneş Döngüsü İçin Tahmin Sonuçları

Tasarlanan yapay sinir ağı hesaplanan ve gözlemlenen iki farklı Güneş leke sayıları ile eğitilmiştir. Analiz sonucu hesaplanan şok parametreleri ve her iki organizasyondan alınan Güneş leke sayıları kullanılmış ve yapay sinir ağının bu veri setleri üzerindeki eğitimi sonrasında elde edilen maliyet fonksiyonu grafiği Şekil 13'te gösterilmiştir.



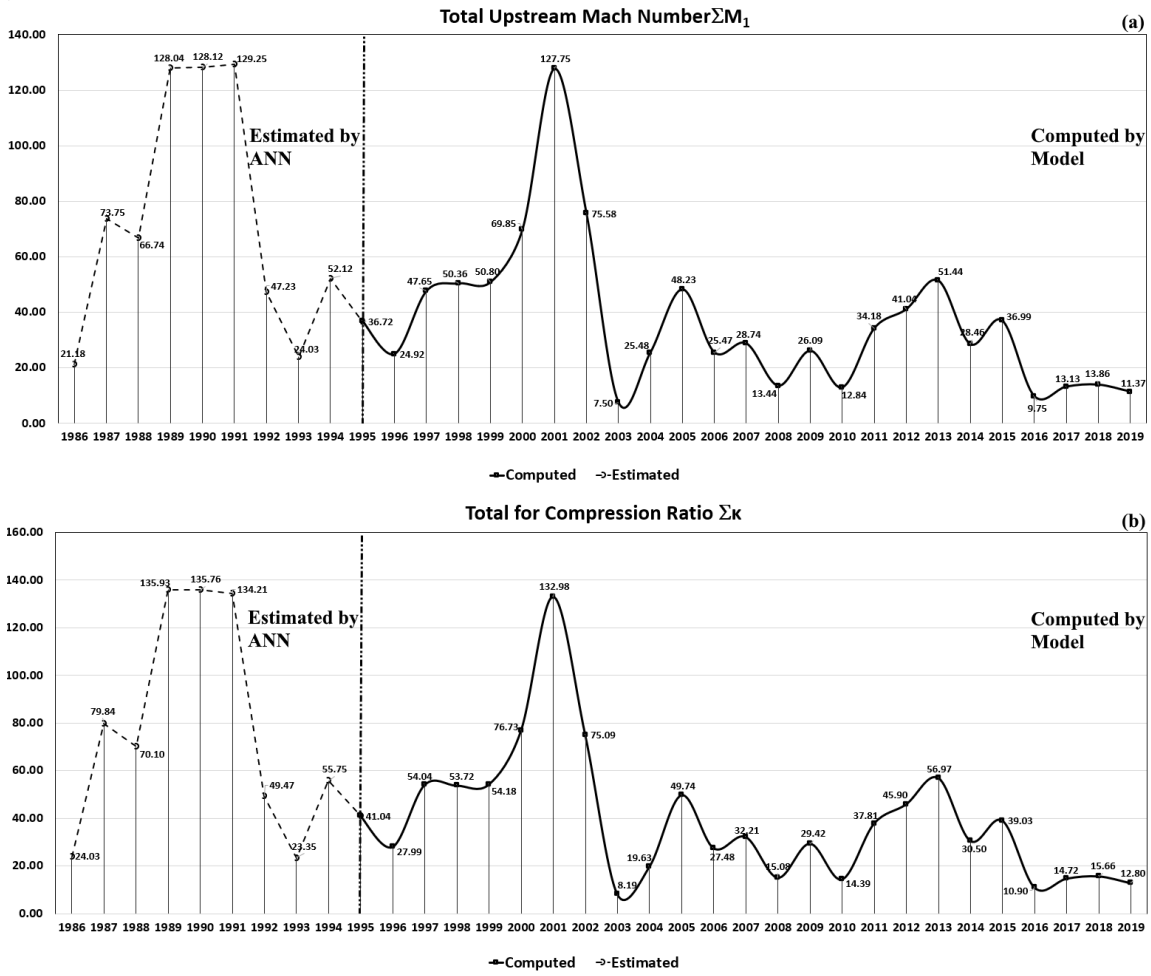
Şekil 13. WIND uydusu için tasarlanan yapay sinir ağına ait maliyet fonksiyonu grafiği.

Eğitim, doğrulama, test ve tüm veri seti üzerindeki regresyon katsayıları (R) Şekil 14'te gösterilmektedir. Eğitim, doğrulama ve tüm veri kümeleri R>0,88 üzerinde olması, tasarlanan yapay sinir ağının başaralı bir şekilde öğrendiğini göstermektedir. Yapay sinir ağına ait her iterasyonda seçtiği eğitim, doğrulama ve test veri kümleri tablosu Cavus vd. (2021) Yapay Sinir Ağına Ait Eğitim, Doğrulama ve Test Kümeleri Version 2'de yayınlanmıştır. Yine aynı yapay sinir ağına ait her eğitimde her katmana ait ağırlık (weigth) ve bias değerleri Cavus vd. (2021) Yapay Sinir Ağına Ait Her Katmandaki Ağırlık ve Bias Değerleri Version 2'de yayınlanmıştır.

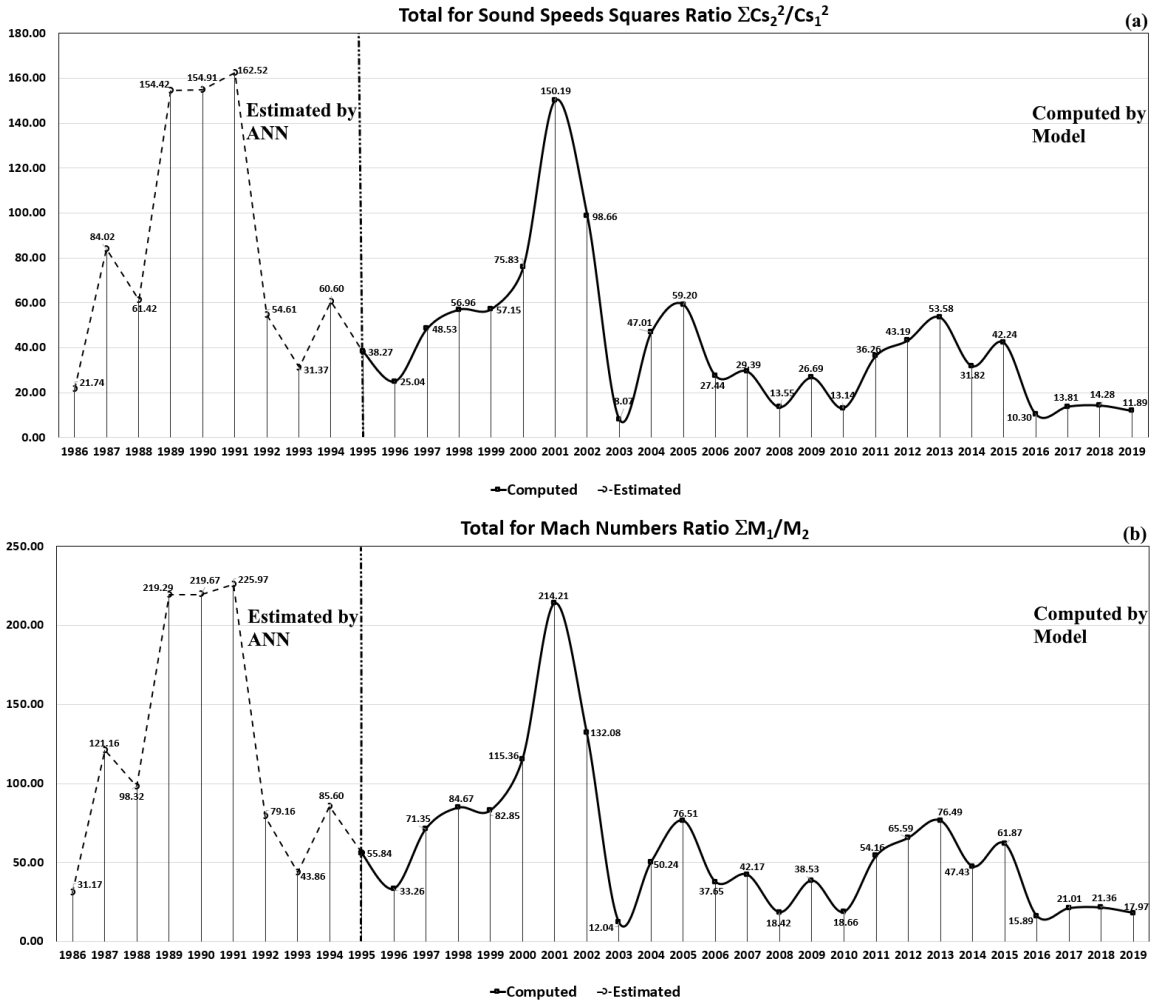


Şekil 14. WIND çalışması için 1995-2019 yılları arasındaki veriler ile eğitilmiş yapay sinir ağının eğitim, doğrulama, test ve tüm veri kümleri üzerindeki R başarı değerleri.

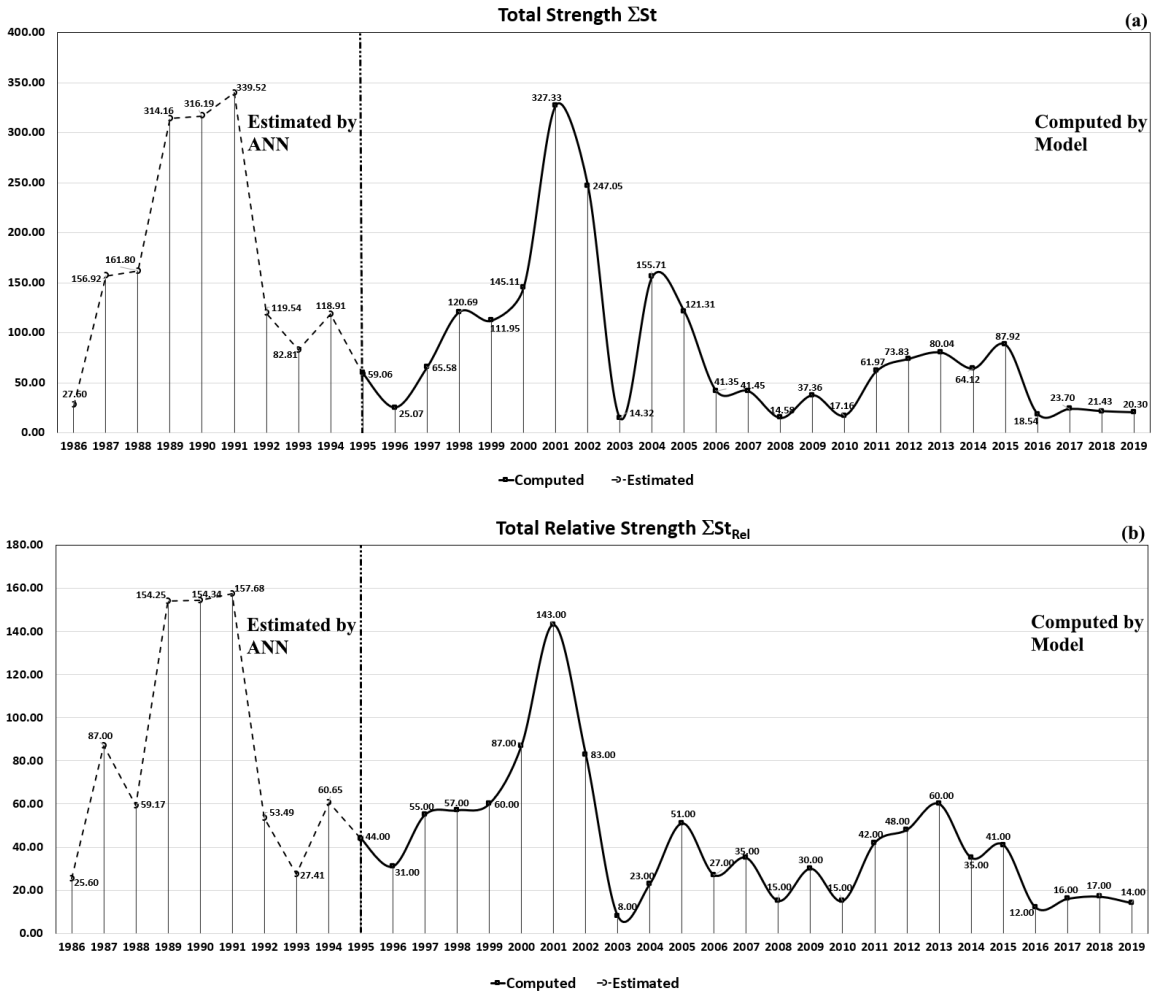
Başarılı şekilde eğitilen yapay sinir ağı 1986-1994 yılları arasındaki gözlemlenmiş Güneş leke sayıları (hem SILSO hem de AAVSO'dan alınan) ile bu yıllara ait fiziksel şok parametreleri tahmin edilmiştir. Hesaplanan ve tahmin edilen bu parametrelerin yıllara göre değişimi Şekil 15, 16, 17 ve 18'de gösterilmiştir.



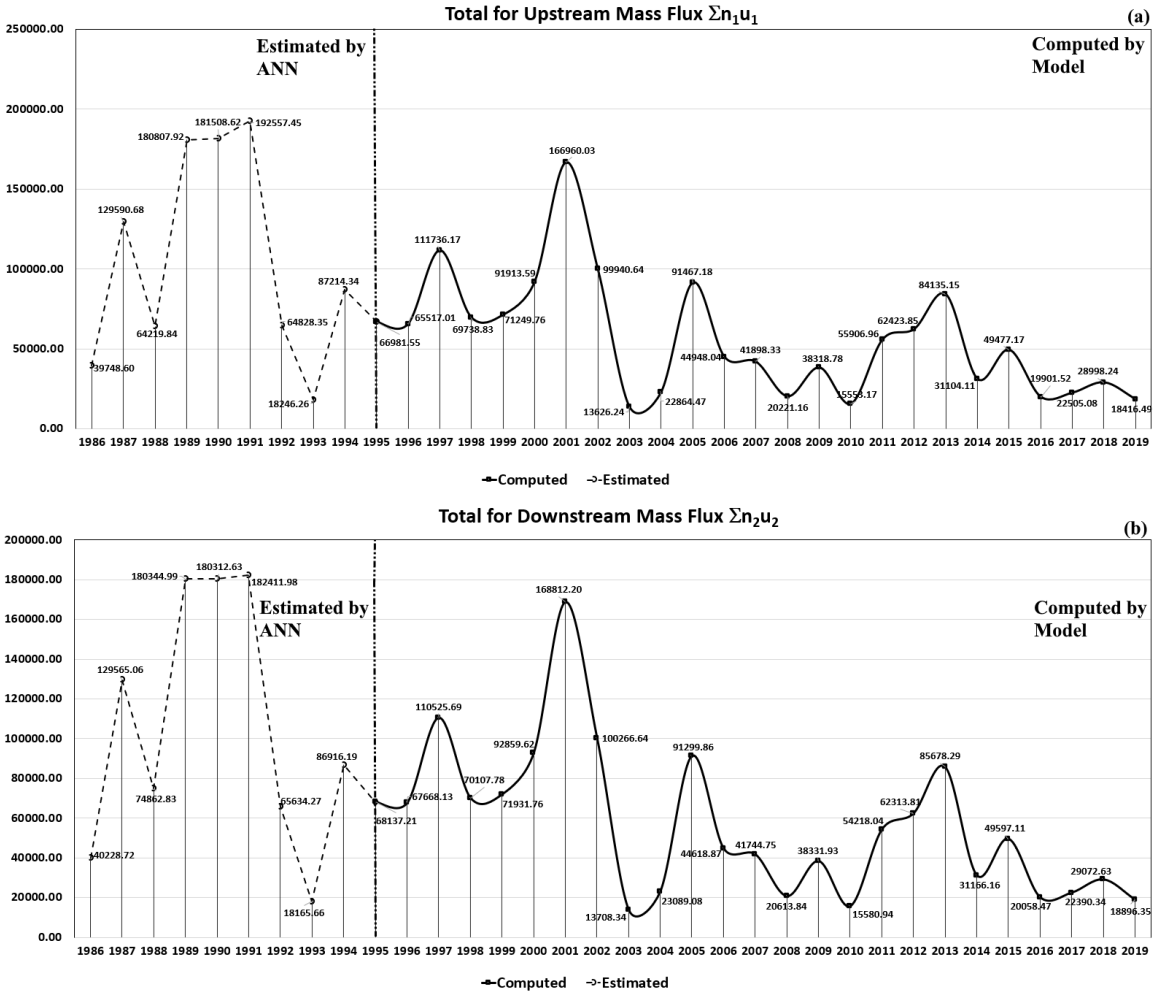
Şekil 15. WIND uzay aracı tarafından 1995-2019 ölçülmüş verilerin model ile analiz edilerek hesaplanan ve yapay sinir ağı ile tahmin edilen upstream toplam Mach sayısı değerleri (a) ve toplam sıkışma oranı değerleri (b).



Şekil 16. Şekil 15 ile aynı fakat ∑Cs22/Cs12 (a) ve ∑M1/M2 (b).

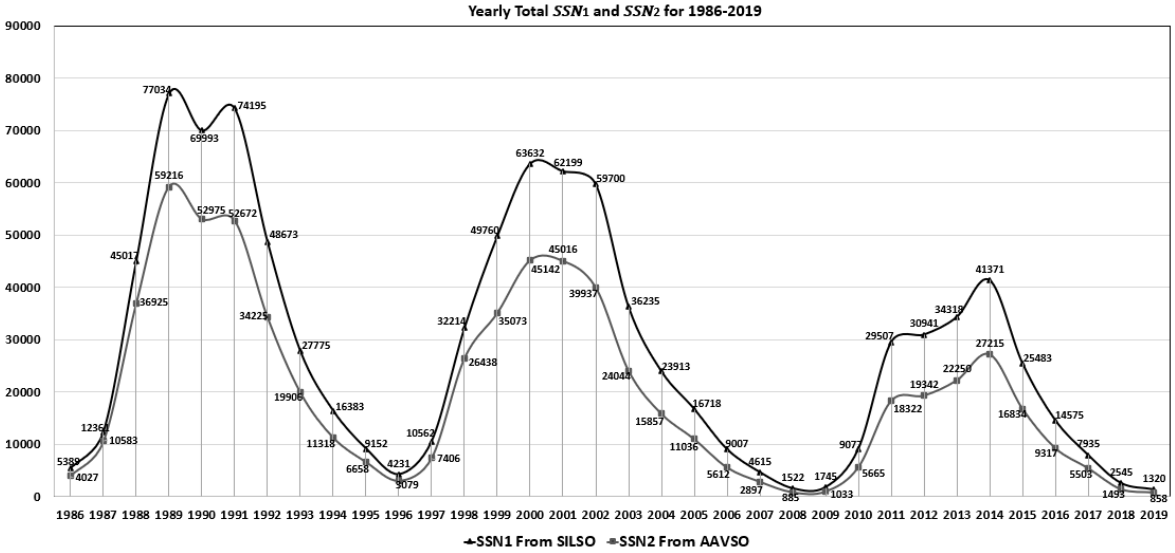


Şekil 17. Şekil 15 ile aynı fakat ∑St (a) ve ∑StRel (b).



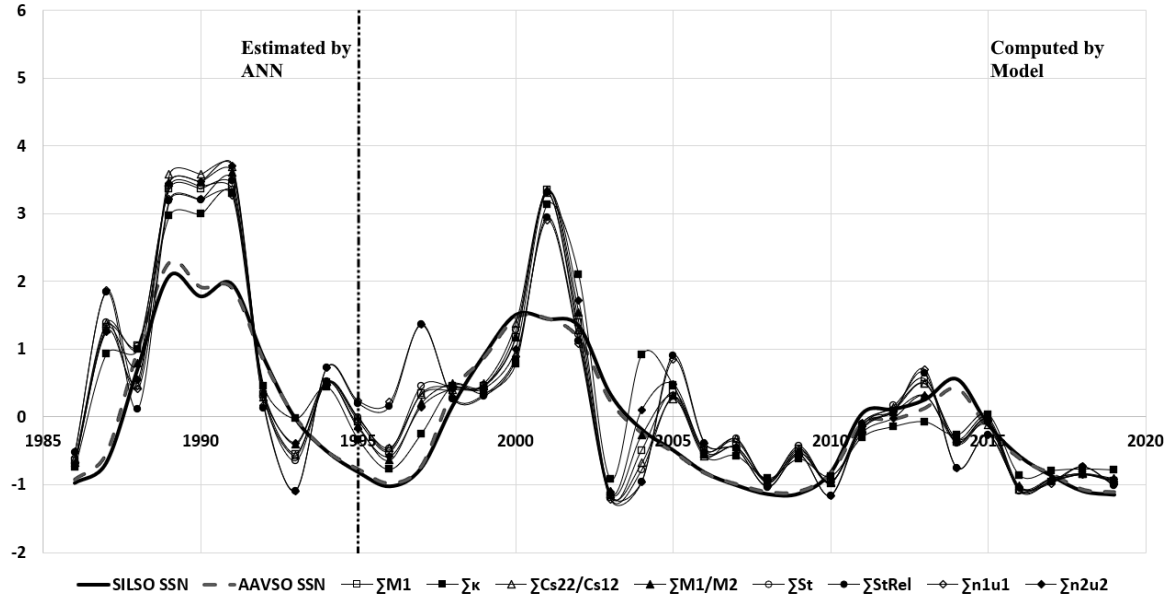
Şekil 18. Şekil 15 ile aynı fakat upstream kütle akısı (a) ve downstream kütle akısı (b).

SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait yıllık toplam Güneş leke sayılarının 1986-2019 yılları arasındaki değişim Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 19. SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait yıllık toplam Güneş leke sayılarının değişimi 1986-2019.

Tahmin edilen ve hesaplanan parametreler ile Güneş leke sayılarının değişimi Şekil 20'de gösterilmiştir. Şekil 20'de gösterilen her parametre z-score formülüne göre normalize edilmiştir.



Şekil 20. Hesaplanan ve tahmin edilen parametreler ile Güneş leke sayılarının (SILSO ve AAVSO) değişimi.

Bu tahminler sonucunda eklenen yeni şok parametreleri ile SILSO (SSN_1) Güneş lekelerinin arasındaki korelasyonun nasıl değiştiği Tablo 9'da gösterilmiştir. 1986-2019 yılları için korelasyon değerleri >0,69 değerinin üzerindir.

Tablo 9

Hesaplanan ve tahmin edilen parametreler ile SILSO Güneş leke sayılarının bazı yıllara göre korelasyon değerleri.

Gezegenler Arası Şok Parametreleri	**Korelasyon SSN_1 (SILSO) 1986-2019**
$\sum St$	0.8389
$\sum St_{Rel}$	0.8076
$\sum M_1$	0.8113
$\sum M_1/M_2$	0.8250
$\sum Cs_2^2/Cs_1^2$	0.8169
$\sum \kappa$	0.8002
$\sum n_1 u_1$	0.6921
$\sum n_2 u_2$	0.6929

Eklenen yeni şok parametreleri ile AAVSO (SSN_2) Güneş lekelerinin arasındaki korelasyonun nasıl değiştiği Tablo 10'da gösterilmiştir. 1986-2019 yılları için korelasyon değerleri >0,71 değerinin üzerindir. Tablo 9 ve Tablo 10'da verilen sonuçlar Cavus vd. (2021) Korelasyon Tablosu Version 3'te yayınlanmıştır.

Tablo 10

Hesaplanan ve tahmin edilen parametreler ile AAVSO Güneş leke sayılarının bazı yıllara göre korelasyon değerleri.

Gezegenler Arası Şok Parametreleri	**Korelasyon SSN_2 (AAVSO) 1986-2019**
$\sum St$	0.8575
$\sum St_{Rel}$	0.8295
$\sum M_1$	0.8362
$\sum M_1/M_2$	0.8476
$\sum Cs_2^2/Cs_1^2$	0.8371
$\sum \kappa$	0.8263
$\sum n_1 u_1$	0.7147
$\sum n_2 u_2$	0.7185

Bir sonraki bölümde bu çalışmanın sonuçları tartışılarak önerilerde bulunulmuştur

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

WIND uzay aracı 1995-2019 yılları arasında Güneş tabanlı gezegenler arası şok dalgası verilerini toplamıştır. Bu şoklara ait fiziksel parametrelerin hesaplanabilmesine, bu şokların jeomanyetik fırtınalar üzerindeki etkilerinin incelenmesine ve Güneş leke sayıları ile ilişkisini istatistiksel olarak analiz edilmesine olanak sağlamıştır. Güneş-Dünya doğrultusunda ilerleyen CME'lerin Dünya'ya ulaşma süreleri CME'lerin hızına bağlı olarak 1-2 günden 3-4 güne kadar değişebilir. Bu durum CME'lerin hızlı veya yavaş olmasına göre değişkenlik göstermektedir (Shea ve Smart, 2012). Bir şok dalgasının Dünya'ya varış zamanının bilinmesi oluşabilecek jeomanyetik fırtınanın ve etkilerinin tahmin edilebilmesine yardımcı olabilir. Bu uzay hava tahmini için önemlidir (Wu ve Lepping, 2016). Şok dalgaları Dünya'ya ulaştığında Dünya'nın manyetik alanı ile etkileşime girerek büyük bir enerji transferine sebep olur. Bu enerji transferi uzun dalga radyo iletişimini, yörüngede bulunan uyduların elektronik donanımlarını ve/veya uzaya gönderilmekte olan araçları etkileyebilir hatta hasara sebep olabilir (Jurac vd., 2002; Shea ve Smart, 2012). Yakın mesafede meydana gelen jeomanyetik fırtınalar elektrik şebekelerinin çökmesine sebep olabilir (Scherer vd., 2005).

22. 23. ve 24. Güneş döngülerine ait 1986-1996, 1996-2008 ve 2008-2019 yılları incelenmiş ve analiz edilmiştir. Güneş maksimumlarından ve minimumlarına ve Güneş minimumlarından Güneş maksimumlarına Güneş lekeleri sayısının değişimi ile şok parametreleri arasında doğrusal bir paralellik beklentisi vardır. Fakat bu durum günlük ve aylık veriler üzerinde çalışıldığında beklendiği gibi değildir. Bunun sebebi Güneş lekelerinin gözlemi ve şokların L_1 noktasına ulaşma süreleri arasındaki fark, her Güneş lekesinin şok oluşturup oluşturmaması üzerindeki belirsizlik, oluşan şok dalgasının L_1 noktasına ulaşmaması veya uzayda farklı bir doğrultuda ilerleyerek uydular tarafından ölçülememesi ve uydularda meydana gelebilecek teknik aksaklıklar gibi birçok sebep göz önünde bulundurularak analizler yıllık toplamlar üzerinden yapılmıştır.

Cavus vd. (2020) çalışmasında ACE uzay aracı verilerini kullanarak 1998-2014 yılları arasındaki şok parametrelerini hesaplayarak 2014-2018 yılları için olası şok parametrelerini tahmin etmişlerdir. Oh, Yi, ve Kim (2007) 1995-2001 yılları arasında 23. Güneş döngüsünün minimumu olan 1995-1997 ve maksimumu olan 1998-2001 yılları da dahil olmak üzere WIND ve ACE uzay araçlarına ait veriler ile şokların nedenlerini ve şoklara ait fiziksel parametreleri çalışmışlardır. Çalışmanın amacı 23. Güneş döngüsü için gezegenler arası (IP) şok dalgalarının birincil şok sürücülerini belirlemekti. Yüksek hızlı akışlar, manyetik bulutlar, ejecta ve bazı bilinmeyen şok sürücüleri olmak üzere 4 farklı şok sürücüsü belirlediler. Bu çalışmada IP şokların temel sorumlu şok sürücüsünün birincil şok sürücüsü olarak da kabul edilen manyetik bulutlar (MC) olduğu sonucuna varılmıştır. Şokların büyük bir kısmı (%68) maksimum Güneş döngüsünde meydana gelmektedir. Cavus vd. (2020) benzer şekilde fiziksel parametrelerin (şok hızı, sıkışma oranı, Mach sayısı gibi) Güneş döngüsü ile korelasyonu oldukça iyidir. Oh vd. (2007) ve Kilpua vd. (2015) çalışmalarında 1995-2013 yılları arasında WIND, ACE ve STEREO uzay araçlarının gözlemsel verilerini kullanarak FF ve FR tipindeki IP şoklarını incelemişlerdir. Toplamda 679 şok verisi üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında FF tipindeki IP şokların FR şoklar üzerinde baskın bir etki olduğunu buldular. FF ve FR tipindeki IP şokların sırasıyla CME ve akım etkileşimleri nedeniyle meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Yukarıda bahsedilen çalışmalarla birlikte gezegenler arası alanda fiziksel parametrelerin bilinmesi son derece önemlidir. Bu çalışmanın temel amaçlarından biri Prof. Dr. Hüseyin Çavuş tarafından oluşturulan model ile analiz edilen WIND uzay aracına ait şok verilerinin, analiz sonucunda bulunan şok parametreleri ile SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait Güneş leke sayıları ile korelasyonunu araştırmaktı. Bu hedefe ait önemli sonuçlar aşağıdaki gibidir;

1. 1995-2019 yılları arasında 552 Güneş tabanlı IP şok dalgası WIND uzay aracı tarafından ölçülmüştür. IP şok dalgalarının yıllık ortalama oluşum sayısı 22.08'dir. Bunlar 420 Fast Forward (FF), 60 Slow Forward (SF), 41 Fast Reverse (FR) ve 31 Slow Reverse (SR) tipi şoktan oluşmaktadır. FF, SF, FR ve SR tipi şoklar için yüzdeler sırasıyla %76,09, %10,87, %7,43 ve %5,61'dir.

2. WIND uzay aracı verileri analizi ile elde edilen ve yapay sinir ağı ile tahmin edilen IP şok dalgalarına ait fiziksel parametreler Tablo 8, 9, ve 10'da gösterildiği

gibi SILSO ve AAVSO organizasyonlarına ait Güneş leke sayıları ile iyi derecede ilişkilidir.

3. En iyi korelasyon değerleri SILSO ve AAVSO'ya ait Güneş lekeleri ile toplam upstream Mach sayısı ($\sum M_1$), upstream ve downstream Mach sayılarının oranı ($\sum M_1/M_2$) ve toplam şok gücü ($\sum St$) arasındadır. En küçük korelasyon değerleri SILSO'ya ve AAVSO'ya ait Güneş lekeleri ile toplam upstream ve toplam downstream kütle akısı ($\sum n_1u_1$, $\sum n_2u_2$) arasındadır.

4. Şok fiziği bize eğer upstream ve downstream yani şok öncesi ve şok sonrası kütle akısı incelenecek olursa kütle korunması gerektiğini söyler. Bu nedenle hesaplanan ∑n1u1 ve ∑n2u2 arasında iyi bir korelasyon olmalıdır. Her iki uydudan elde edilen şok öncesi ve şok sonrası kütle akıları incelenecek olursa her iki parametre arasında 0.999'luk bir korelasyon katsayısı vardır. Bu durumda kütlenin korunduğu görülebilir.

5. Benzer bir çalışma olan ACE uydusu ile yapılan çalışmada (Cavus vd., 2020) elde edilen, Güneş leke sayıları ile şok öncesi ve şok sonrası kütle akılarının korelasyonları ile WIND uydusu ile yapılan çalışmada elde edilen, bu parametrelere ait korelasyonlar arasında göze çarpan bir fark vardır. Yani WIND uydusu verileri ile hesaplanmış şok öncesi ve şok sonrası kütle akılarının Güneş leke sayıları ile korelasyonları ACE' göre daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi yukarıda bahsedildiği gibi oluşan CME'lerin Güneş-Dünya doğrultusunda ilerlememesinden kaynaklanabilir. ACE uydusunun şok dalgalarına ait verileri ölçmek için kullandığı Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor (SWEPAM) (Mccomas vd., 1998) ve WIND uydusunun şok dalgalarına ait verileri ölçmek için kullandığı The Solar Wind Experiment (SWE) (Ogilive vd., 1995) sistemleri teknik ve teknolojik olarak birbirinden farklıdır. Öyle ki King ve Papitashvili (2005) çalışmalarında ACE uzay aracının WIND uzay aracına göre yoğunluk verilerini %18'e kadar daha yüksek ölçtüğünü göstermişlerdir. Eğer her iki uzay aracı da özdeş olsaydı yani aynı teknolojilere sahip aynı araçlar olduğunu

düşünürsek bu oranın 1 olmasını bekleriz. Fakat Tablo 11'de görüldüğü gibi beklenilen durum hızın 350 km/s'ten az ve 2-5 cm^3 aralığında görülmektedir. Diğer durumlarda aradaki fark %18'e kadar artmaktadır. Bu yüzden her iki uzay aracından elde edilen parametrelerin Güneş leke sayıları ile korelasyonları arasında fark olması beklenilen bir durumdur. Bu çalışmaya ait sonuçlar Tablo 11'de verilmiştir.

6. Bu çalışma literatürde WIND uydusu verileri ile yapılan çalışmalar arasında en fazla şok analizi yapılan çalışmadır. Ayrıca bu çalışma literatürde doğrudan güneş leke sayılarının yapay zeka algoritmaları ile kullanılarak şok verilerinin tahmin edilmesine yönelik ilk çalışma niteliği taşımaktadır.

Tablo 11. WIND Yoğunluk Verilerinin ACE Yoğunluk Verilerine Oranı (King ve Papitashvili, 2005).

	$N_{(WIND)}/N_{(ACE)}$			
$N_{(ACE)}/cm^3$	2	5	10	20
$V < 350$ km/s	0.97	1.01	1.04	1.07
$V = 350 – 450$ km/s	0.83	0.86	0.88	0.9
$V > 450$ km/s	0.82	0.82	0.82	0.82

Bu çalışmanın ikinci amacı yapay sinir ağı kullanılarak 22. Döngüye ait 1986-1994 arasındaki yıllar için şok dalgalarına ait fiziksel parametrelerin tahminlerini yapmaktı. Yapay sinir ağının eğitim sonrası elde edilen yüksek R değeri ile yapılan tahmini veriler ile 1995-2019 yılları arasındaki hesaplanan verileri birleştirdiğimizde 1986-2019 yılları arasına yayılmış şok verilerini elde etmiş oluruz. Yapay sinir ağı ile elde edilen tahmini verilerinde hesaplanan verilere eklenmesiyle Tablo 9 ve Tablo 10'da gösterildiği gibi oldukça yüksek korelasyon değerleri elde edilmiştir.

Bu çalışmadaki veriler uzay hava tahmini ve Dünya atmosferinde meydana gelen fiziksel olaylar için genel bir fikir verebilir. Yüksek radyasyona bağlı hasarların önlenmesi

uzay görevlerinde kullanılan teknolojilerin geliştirilmesinde, fırlatılacak uydu veya benzeri uzay araçlarının fırlatma sürelerinin belirlenmesinde, meydana gelebilecek teknik aksaklıkların önlenmesinde önemli rol oynayabilir. Yapay sinir ağında kullanılan verinin de büyüklüğü önemlidir. Ölçülmüş verilerin daha fazla olması yapılan tahminlerin sonuçlarını olumlu yönde etkileyebilir.

5.2. Öneriler

Tezimizde elde edilen sonuçlar uzay havası (space weather) çalışmaları ve Dünya atmosferinde meydana gelen fiziksel olaylar için fikir verebilir. Yüksek radyasyona bağlı hasarların önlenmesinde, uzay görevlerinde kullanılan teknolojilerin geliştirilmesinde, fırlatılacak uydu veya benzeri uzay araçlarının fırlatma sürelerinin belirlenmesinde, meydana gelebilecek teknik aksaklıkların önlenmesinde önemli rol oynayabilir. Yapay sinir ağında kullanılan verinin büyüklüğü önemlidir. Ölçülmüş verilerin daha fazla olması yapılan tahminlerin sonuçlarını da olumlu yönde etkileyecektir.

Güneş fiziğinin gerek iç yapısı ve atmosferi gerekse yakın uzaya etkilerinin anlaşılabilmesi ve bu alanda aktif olarak çalışılabilmesi için uydu gözlemlerinin oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır. ACE ve WIND uydusuna benzer şekilde SOHO/LASCO, STEREO A ve B gibi birçok uydu farklı görevlerle uzaya gönderilmiş ve Güneş gözlemi yapmaktadır. Ülkemizde iletişim, haberleşme, istihbarat ve yer gözlemi gibi çeşitli görevlerle yörüngeye fırlatılan uydulara (TURKSAT 3A, 4A, 4B ve 5A, RASAT, GÖKTÜRK-1 ve 2) önemli bir destek verilmektedir.

Güneş fiziği ve Güneş'in etkilediği uzay havası çalışmaları için gerekli uyduların tasarlanması ve gerekirse ilk uyduların yurt dışı ortaklıkları (NASA veya ESA gibi) ile desteklenmesi oldukça önemlidir. Bu uyduların gözlemleri sayesinde Türkiye'nin gelecekte hedeflediği uzay araçlarının ülkemizden gönderilmesi çalışmaları için önem taşımaktadır. Güneş gözlemi yapacak bu uzay araçlarının akademik çalışmalarda birçok yayın çıkmasına fayda sağlayacağı, bu alanda teknik ve akademik personelin yetişeceği, uzay çalışmalarında yurt dışı ortak çalışmaları ile teknoloji paylaşımının önünü açacağı kesindir.

Uzay havası çalışma alanı son zamanlarda sayısı gittikçe artan uzay görevleri için oldukça önemli bir alandır. Bir uydunun yörüngeye yerleştirilmesi, insanlı uzay görevleri, iletişim uydularının çalışır halini korumak bir bakıma uzay havasına bağlıdır. Güneş'in doğasından etkilenen uzay havası kapsamında meydana gelen yoğun manyetik fırtınalar milyonlarca dolarlık yatırımlara zarar verdiği gibi yer tabanlı yatırımlara (enerji santralleri ve elektrik iletim hatları) da zarar verebilir. Bu zararların önlenebilmesi için tıpkı meteorolojik tahminler sayesinde önceden alınan tedbirlere benzer tedbirler alınabilir. Bir CME'nin 3-7 gün arasında dünyaya vardığını biliyoruz. Bu CME'nin ne şiddette bir şok oluşturduğunun aynı şekilde dünya manyetosferine nasıl bir etkide bulunacağının tahmin edilmesi önemlidir. Bu konuda gerçekleşen olaylara ait toplanan gözlemsel veriler sayesinde geliştirilecek yapay zekâ algoritmaları gelecekte son derece önemlidir. Bu sebeple Güneş fiziği, uzay havası, uydu görevleri verileri ve geliştirilen yapay zekâ algoritmaları çoklu disiplinler şeklinde ele alınmalı ve çalışılmalıdır.

KAYNAKÇA

Alfvén, H. (1942). "Existence of electromagnetic-hydrodynamic waves". Nature, 150(3805), 405-406.

Babayev, E. S., and Allahverdiyeva, A. A. (2007). "Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: Some results of Azerbaijani studies". Advances in Space Research, 40(12), 1941–1951.

Berdichevsky, D. B., Szabo, A., Lepping, R. P., Viñas, A. F., and Mariani, F. (2000). "Interplanetary fast shocks and associated drivers observed through the 23rd solar minimum by Wind over its first 2.5 years". Journal of Geophysical Research: Space Physics, 105(A12), 27289–27314.

Cane, H. V. (1985). "Evolution of Interplanetary Shocks". Journal of Geophysical Research, 90(A1), 191–197.

Cane, H. V., Richardson, I. G., and Von Rosenvinge, T. T. (2010). "A study of solar energetic particle events of 1997-2006: Their composition and associations". Journal of Geophysical Research: Space Physics, 115(8), 1–18.

Cavus, H., Coban, G. Ç., Raheem, A.-. ur ., Kinaci, A. cumhur ., and Hoshoudy, G. A.. (2021). WIND Uydu Verileri.xlsx (Version 3). figshare. Erişim Adresi: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14910522

Cavus, H., Coban, G. Ç., Raheem, A.-. ur ., Kinaci, A. cumhur ., and Hoshoudy, G. A.. (2021). Model ile Udu Verilerinin Hazırlanması (Version 3). figshare. Erişim Adresi: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14910549.v3

Cavus, H., Coban, G. Ç., Raheem, A.-. ur ., Kinaci, A. cumhur ., and Hoshoudy, G. A.. (2021). Model ile Analiz Sonucu Şoklara Ait Parametreler (Version 2). figshare. Erişim Adresi: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14910561.v2

Cavus, H., Coban, G. Ç., Raheem, A.-. ur ., Kinaci, A. cumhur ., and Hoshoudy, G. A.. (2021). Korelasyon Tablosu (Version 3). figshare. Erişim Adresi: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14910576.v3

Cavus, H., Coban, G. Ç., Raheem, A.-. ur ., Kinaci, A. cumhur ., and Hoshoudy, G. A.. (2021). Yapay Sinir Ağına Ait Eğitim, Doğrulama ve Test Kümeleri (Version 2). figshare. Erişim Adresi: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14912223.v2

Cavus, H., Coban, G. Ç., Raheem, A.-. ur ., Kinaci, A. cumhur ., and Hoshoudy, G. A.. (2021). Yapay Sinir Ağına Ait Her Katmandaki Ağırlık ve Bias Değerleri (Version 2). figshare. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14912229.v2

Cavus, H. (2013). "On the effects of viscosity on the shock waves for a hydrodynamical case - Part I: Basic mechanism". Advances in Astronomy, 2013.

ÇAVUŞ, H. (2007). "GüneşKabuğundakiKonvektif OlaylarManyetohidrodinamik (Mhd) Yaklaşimla Modellenmesi", 21–26.

Cavus, H., Araz, G., Coban, G. C., Raheem, A. ur, and Karafistan, A. I. (2020). "Correlation between sunspots and interplanetary shocks measured by ACE during 1998–2014 and some estimations for the 22nd solar cycle and the years between 2015 and 2018 with artificial neural network using the Cavus 2013 model". Advances in Space Research, 65(3), 1035–1047.

Chané, E., Jacobs, C., Van Der Holst, B., Poedts, S., and Kimpe, D. (2005). "On the effect of the initial magnetic polarity and of the background wind on the evolution of CME shocks". Astronomy and Astrophysics, 432(1), 331–339.

Chen, H., Liu, Y., Zhang, Q., Shi, Y., Pang, W., and Li, Y. (2016). "Dipolar matter-wave solitons in two-dimensional anisotropic discrete lattices". Physical Review *A*, 93(5), 1–11.

Coban, G. C., Raheem, A. U., and Cavus, H. (2020, October). "Predicting the physical parameters of interplanetary shock waves using Artificial Neural Networks trained on NASA's ACE and WIND spacecrafts". In 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) (pp. 1-7). IEEE.

Coban, G. C., Aheem, A., Cavus, H., and Asghari-targhi, M. (2021). Can the 25th Solar Cycle be a new Dalton minimum ? Solar Physics. In Press.

Crosby, N., Heynderickx, D., Jiggens, P., Aran, A., Sanahuja, B., Truscott, P., … Hilgers, A. (2015). "SEPEM: A tool for statistical modeling the solar energetic particle environment". Space Weather, 13(7), 406–426.

Çığrıkçı, B. Emre (2011). "Plazma fiziğinde manyetohidrodinamik şok dalgaları ve eğik yoğunluk arayüzlerinde kırılmaları". Fizik ve Fizik Mühendisliği Çanakkale Onsekiz

Mart Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi : https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Desai, M., and Giacalone, J. (2016). “Large gradual solar energetic particle events”. Living Reviews in Solar Physics, 13(1), 1–132.

Dessler, A. J., and Parker, E. N. (1959). “Hydromagnetic theory of geomagnetic storms”. Journal of Geophysical Research, 64(12), 2239–2252.

Echer, E., and Gonzalez, W. D. (2004). “Geoeffectiveness of interplanetary shocks, magnetic clouds sector boundary crossings and their combined occurrence”. Geophysical Research Letters, 31(9).

Echer, E., Gonzalez, W. D., Dal Lago, A., Vieira, L. E. A., Guarnieri, F. L., Gonzalez, A. L. C., and Schuch, N. J. (2005). “Interplanetary shocks and geomagnetic activity during solar maximum (2000) and solar minimum (1995-1996)”. Advances in Space Research, 36(12), 2318–2322.

Fernandez Borda, R. A., Mininni, P. D., Mandrini, C. H., Gómez, D. O., Bauer, O. H., and Rovira, M. G. (2002). “Automatic solar flare detection using neural network techniques”. Solar Physics, 206(2), 347–357.

Forbush, S. E. (1946). “Three unusual cosmic-ray increases possibly due to charged particles from the sun [8]. Physical Review, 70(9–10), 771–772”.

Fry, C. D., Detman, T. R., Dryer, M., Smith, Z., Sun, W., Deehr, C. S., … McKenna-Lawlor, S. (2007). “Real-time solar wind forecasting: Capabilities and challenges”. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 69(1–2), 109–115.

Gary, G. A. (2001). “Plasma beta above a solar active region: Rethinking the paradigm”. Solar Physics, 203(1), 71–86.

Gerontidou, M., Mavromichalaki, H., and Daglis, T. (2018). “High-Speed Solar Wind Streams and Geomagnetic Storms During Solar Cycle 24”. Solar Physics, 293(9).

Goker, U. D., and Academy, A. F. (2018). “Jeomanyetik Fırtınaların Pilotların Kognitif Durumlarına Etkileri Üzerine Hipotez”. Savunma Bilimleri Dergisi, Kasım 2018, Cilt 17, Sayı 2.

Gonzalez, W. D., Gonzalez, A. L. C., and Tsurutani, B. T. (1990). “Dual-peak solar cycle distribution of intense geomagnetic storms”. Planetary and Space Science, 38(2), 181–187.

Gopalswamy, N., Kaiser, M. L., Lepping, R. P., Kahler, S. W., Ogilvie, K., Berdichevsky, D., … Akioka, M. (1998). “Origin of coronal and interplanetary shocks: A new look with Wind spacecraft data”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 103(A1), 307–316.

Gopalswamy, N., Yashiro, S., Krucker, S., Stenborg, G., and Howard, R. A. (2004). “Intensity variation of large solar energetic particle events associated with coronal mass ejections”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 109(A12), 1–18.

Jian, L. K., Russell, C. T., Luhmann, J. G., Anderson, B. J., Boardsen, S. A., Strangeway, R. J., … Wennmacher, A. (2010). “Observations of ion cyclotron waves in the solar wind near 0.3 AU”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 115(12), 1–11.

Jian, Lan K., Russell, C. T., Luhmann, J. G., Strangeway, R. J., Leisner, J. S., and Galvin, A. B. (2009). “Ion cyclotron waves in the solar wind observed by stereo near 1 AU”. Astrophysical Journal, 701(2 PART 2), 105–109.

Jurac, S., Kasper, J. C., Richardson, J. D., and Lazarus, A. J. (2002). “Geomagnetic disturbances and their relationship to interplanetary shock parameters”. Geophysical Research Letters, 29(10), 101-1-101–4.

Kakad, B., Kakad, A., and Omura, Y. (2014). “Nonlinear evolution of ion acoustic solitary waves in space plasmas: Fluid and particle-in-cell simulations”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 119(7), 5589–5599.

Kilpua, E. K. J., Lumme, E., Andreeova, K., Isavnin, A., and Koskinen, H. E. J. (2015). “Properties and drivers of fast interplanetary shocks near the orbit of the Earth (1995-2013)”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 120(6), 4112–4125.

King, J. H., and Papitashvili, N. E. (2005). “Solar wind spatial scales in and comparisons of hourly Wind and ACE plasma and magnetic field data”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 110(A2), 1–9.

Koval, A., Šafránková, J., Němeček, Z., Samsonov, A. A., Prřech, L., Richardson, J. D., and Hayosh, M. (2006). “Interplanetary shock in the magnetosheath: Comparison of experimental data with MHD modeling”. Geophysical Research Letters, 33(11), 1–5.

Lundstedt, H., and Wintoft, P. (1994, January). “Prediction of geomagnetic storms from solar wind data with the use of a neural network”. In Annales Geophysicae (Vol. 12, No. 1, pp. 19-24). Copernicus GmbH.

Mccarthy, J. (2004). “What is Artificial Intelligence?”. 1–14. Erişim Adresi : http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf

Nakariakov, V. M. (2000). “Nonlinear dissipative spherical Alfvén waves in solar coronal holes”. Astronomy and Astrophysics, 353(2), 741–748.

NASA. (2004). “Space Radiation Health Project” Erişim Adresi : https://www.nasa.gov/audience/foreducators/postsecondary/features/F_Space_Radiation_Project.html

Nikbakhsh, S. (2014). “Interplanetary shock database. International Master’s Programme in Space Sciences”. 64(April), 1–46. Erişim Adresi : https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/45227/Thesis.pdf?sequence=3

Nishizuka, N., Sugiura, K., Kubo, Y., Den, M., and Ishii, M. (2018). “Deep Flare Net (DeFN) Model for Solar Flare Prediction”. The Astrophysical Journal, 858(2), 113.

Nitta, N. V., Reames, D. V., DeRosa, M. L., Liu, Y., Yashiro, S., and Gopalswamy, N. (2006). “Solar Sources of Impulsive Solar Energetic Particle Events and Their Magnetic Field Connection to the Earth”. The Astrophysical Journal, 650(1), 438–450.

Oh, S. Y., Yi, Y., and Kim, Y. H. (2007). “Solar cycle variation of the interplanetary forward shock drivers observed at 1 AU”. Solar Physics, 245(2), 391–410.

Oliveira, D. M., Arel, D., Raeder, J., Zesta, E., Ngwira, C. M., Carter, B. A., … Gjerloev, J. W. (2018). “Geomagnetically Induced Currents Caused by Interplanetary Shocks With Different Impact Angles and Speeds”. Space Weather, 16(6), 636–647.

Parker, E. N. (1958). “Interaction of the solar wind with the geomagnetic field”. Physics of Fluids, 1(3), 171–187.

Parker, L. N., Zank, G. P., and Hu, Q. (2014). “Particle acceleration at quasi-perpendicular shock waves: Theory and observations at 1 AU”. Astrophysical Journal, 782(1).

Pitňa, A., Šafránková, J., Němeček, Z., Goncharov, O., Němec, F., Přech, L., … Zastenker, G. N. (2016). “Density Fluctuations Upstream and Downstream of Interplanetary Shocks”. The Astrophysical Journal, 819(1), 41.

Prinsloo, P. L., Strauss, R. D., and le Roux, J. A. (2019). “Acceleration of Solar Wind Particles by Traveling Interplanetary Shocks”. The Astrophysical Journal, 878(2), 144.

Qian, L., Wang, W., Burns, A. G., Chamberlin, P. C., and Solomon, S. C. (2020). “Responses of the Thermosphere and Ionosphere System to Concurrent Solar Flares and Geomagnetic Storms”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125(3), 1–14.

Raheem, A. U., Cavus, H., Coban, G. C., Kinaci, A. C., Wang, H., & Wang, J. T. (2021). “An investigation of the causal relationship between sunspot groups and coronal mass ejections by determining source active regions”. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 506(2), 1916-1926.

Richardson, I. G., Cliver, E. W., and Cane, H. V. (2001). “Sources of geomagnetic storms for solar minimum and maximum conditions during 1972-2000”. Geophysical Research Letters, 28(13), 2569–2572.

Scherer, K., Fichtner, H., Heber, B., and Mall, U. (Eds.). (2005). “Space Weather: The physics behind a slogan” Springer Science and Business Media, (Vol. 656).

Shea, M. A., and Smart, D. F. (2012). “Space weather and the ground-level solar proton events of the 23rd solar cycle”. Space Science Reviews, 171(1–4), 161–188.

Shue, J.-H., Song, P., Russell, C. T., Steinberg, J. T., Chao, J. K., Zastenker, G., … Kawano, H. (1998). “Magnetopause location under extreme solar wind conditions”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 103(A8), 17691–17700.

Smith, A. W., Rae, I. J., Forsyth, C., Oliveira, D. M., Freeman, M. P., and Jackson, D. R. (2020). “Probabilistic Forecasts of Storm Sudden Commencements From Interplanetary Shocks Using Machine Learning”. Space Weather, 18(11).

Smith, Z. K., Detman, T. R., Dryer, M., Fry, C. D., Wu, C. C., Sun, W., and Deehr, C. S. (2004). “A verification method for space weather forecasting models using solar data

to predict arrivals of interplanetary shocks at earth". IEEE Transactions on Plasma Science, 32(4 I), 1498–1505.

Srivastava, N., and Venkatakrishnan, P. (2004). "Solar and interplanetary sources of major geomagnetic storms during 1996-2002". Journal of Geophysical Research: Space Physics, 109(A10), 1–13.

Stix, M. (1991). "The Solar Dynamo". Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics, 62(1–4), 211–228.

Suzuki, T. K. (2004). "Coronal heating and acceleration of the high/low-speed solar wind by fast/slow MHD shock trains". Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 349(4), 1227–1239.

Tan, Y., Hu, Q., Wang, Z., and Zhong, Q. (2018). "Geomagnetic Index Kp Forecasting With LSTM". Space Weather, 16(4), 406–416.

Tylka, A. J., and Hulburt, E. (2001). "New insights on solar energetic particles from Wind and ACE energetic particle events are occasional particles from and in the and operation New instruments on Wind with geometry factors that times larger than those of previous have yielded unprecedented". Journal of Geophysical Research, 106(2000), 25333–25352.

Vandegriff, J., Wagstaff, K., Ho, G., and Plauger, J. (2005). "Forecasting space weather: Predicting interplanetary shocks using neural networks". Advances in Space Research, 36(12), 2323–2327.

Wang, P., Zhang, Y., Feng, L., Yuan, H., Gan, Y., Li, S., … Li, H. (2019). "A New Automatic Tool for CME Detection and Tracking with Machine-learning Techniques". The Astrophysical Journal Supplement Series, 244(1), 9.

Wu, C. C., and Lepping, R. P. (2008). "Geomagnetic activity associated with magnetic clouds, magnetic cloud-like structures and interplanetary shocks for the period 1995-2003". Advances in Space Research, 41(2), 335–338.

Wu, C. C., and Lepping, R. P. (2016). ""Relationships Among Geomagnetic Storms, Interplanetary Shocks, Magnetic Clouds, and Sunspot Number During 1995 – 2012". Solar Physics, 291(1), 265–284.

Wu, J. G., Lundstedt, H., Wintoft, P., & Detman, T. R. (1998). “Neural network models predicting the magnetospheric response to the 1997 January Halo-CME event”. Geophysical research letters, 25(15), 3031-3034.

Wu, J. G., and Lundstedt, H. (1996). “Prediction of geomagnetic storms from solar wind data using Elman recurrent neural networks”. Geophysical Research Letters, 23(4), 319–322.

Yue, C., Zong, Q. G., Zhang, H., Wang, Y. F., Yuan, C. J., Pu, Z. Y., … Wang, C. R. (2010). “Geomagnetic activity triggered by interplanetary shocks”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 115(10), 1–13.

Yue, Chao, and Zong, Q. (2011). “Solar wind parameters and geomagnetic indices for four different interplanetary shock/ICME structures”. Journal of Geophysical Research*: Space Physics*, 116(12), 1–11.

Zhang, J., Dere, K. P., and Howard, R. A. and Bothmer, V. (2003). “Identification of solar sources of major geomagnetic storms”. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 67(17-18 SPEC. ISS.), 1702–1705.

Zhang, J., Richardson, I. G., Webb, D. F., Gopalswamy, N., Hutrunen, E., Kasper, J. C., … Zhukov, A. N. (2007). “Solar and interplanetary sources of major geomagnetic storms (Dst ≤ -100 nT) during 1996-2005”. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 112(10).

Zheng, Y., Li, X., and Wang, X. (2019). “Solar Flare Prediction with the Hybrid Deep Convolutional Neural Network”. The Astrophysical Journal, 885(1), 73.