

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SIMPLEX PROJECTION VE SARIMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
25. GÜNEŞ LEKE ÇEVİRİMİNİN TAHMİN EDİLMESİ**

Onur ÖZMEN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

AĞUSTOS 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SIMPLEX PROJECTION VE SARIMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
25. GÜNEŞ LEKE ÇEVİRİMİNİN TAHMİN EDİLMESİ**

Onur ÖZMEN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

AĞUSTOS 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIMPLEX PROJECTION VE SARIMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
25. GÜNEŞ LEKE ÇEVİRİMİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Onur ÖZMEN
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİMPLEX PROJECTION VE SARIMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
25. GÜNEŞ LEKE ÇEVİRİMİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Onur ÖZMEN
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS

Bu tez 19/08/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali KILÇIK (Danışman)
Doç. Dr. Murat KAPLAN
Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

ÖZET

SİMPLEX PROJECTION VE SARIMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK 25. GÜNEŞ LEKE ÇEVİRİMİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Onur ÖZMEN

Yüksek Lisans, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Ağustos 2024; 29 sayfa

Güneş'in manyetik alanında gözlenen değişimler güneş aktivitesi olarak isimlendirilir ve bu değişimler Dünya ve yakın uzay çevresinde birçok etkiye neden olur. Güneş patlamaları, koronal kütle atımları, yüksek hızlı güneş rüzgârları, güneş lekeleri, güneş enerjili parçacıklar vb. gözlenen olayların tamamı güneş aktivitesinin formlarıdır.

Güneş patlamaları, koronal kütle atımları, jeomanyetik fırtınalar gibi Güneş aktivitesine bağlı çeşitli olayların önceden bilinmesi Dünya ve yakın uzay çevresi açısından ciddi önem arz etmektedir. Bu olayların olası zararlarını önlemek için Güneş çevrimlerinin önceden iyi bir şekilde tahmin edilip önlem alınması gerekmektedir. Ayrıca bu tahminler, uzayda bulunan astronotlara daha güvenli bir ortam sağlamak için de büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Geçmişten günümüze biriken güneş leke sayısı ve iklim verilerinin kullanılması ve gelişen teknoloji sayesinde güneş aktivitesi tahminine dair yapılan çalışmalarda son zamanlarda geçmişe kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu çalışma ile 25. Güneş leke çevrimi iki farklı yöntemle (Simpleks Projeksiyonu ve SARIMA) tahmin edilmiş ve kullanılacak yöntemlerden hangisinin daha iyi performans gösterdiği ortaya konularak güneş aktivite çevrimi tahmini konusunda literatüre katkı yapılacaktır.

Seçilecek modellerde eğitim ve test setlerinin başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemek önemlidir. Burada en önemli kriter, eğitim veri seti ve tahmin veri seti aralıklarının en doğru şekilde belirlenmesi olacaktır. Yanlış seçilecek bir değer bile kaotik davranış gösteren zaman serisi verisinde sonuçları ciddi şekilde değiştirir. Bu kriterlerin kullanılacak yöntemlerde en iyi şekilde belirlenmesi Güneş'ten gelen yüklü parçacıkların Dünya atmosferindeki olumlu olumsuz değişimler sonrasında Dünya'ya nasıl etkileyebileceğini anlamamıza ve önceden tedbir almamıza yardımcı olacaktır.

Hangi yöntemin daha doğru sonuç verdiği mevcut çevrimleri tahmin etmekteki başarılarıyla ortaya konarak 25. Güneş leke çevriminin tahmini yapılacaktır. Böylelikle, henüz tam olarak bilinmeyen Güneş dinamiğinin daha iyi anlaşılmasına dair geniş kapsamlı bir araştırmanın gerçekleştirilmesi ve literatüre katkı yapılması planlanmaktadır.

ANAHTAR KELİMELE: Güneş Aktivitesi, Güneş Leke Sayıları, SARIMA, Simpleks Projeksiyonu, Tahmin, Veri Analizi

JÜRİ: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Doç. Dr. Murat KAPLAN

Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER



ABSTRACT

PREDICTION OF THE 25TH SOLAR CYCLE USING SIMPLEX PROJECTION AND SARIMA METHODS

ONUR ÖZMEN

MSc Thesis in Space Sciences and Technologies Department

Supervisor: Prof. Dr. Ali KILÇIK

August 2024; 29 pages

Solar activity refers to changes in the Sun's magnetic field that are seen, and these changes have a wide range of impacts on Earth and nearby space. Solar activity includes observed phenomena like solar flares, coronal mass ejections, fast solar winds, sunspots, solar energetic particles, etc.

Predicting solar activity events like solar flares, coronal mass ejections, and geomagnetic storms is crucial for the Earth and its surrounding environment. Solar cycles need to be anticipated well in advance, and safety measures need to be implemented, in order to mitigate any potential harm from these occurrences. Furthermore, these forecasts offer a significant benefit in terms of creating a safer atmosphere for people in space.

Recent research on solar activity estimation have produced better results than in the past because of the use of sunspot count and climate data gathered throughout time, as well as advances in technology. By identifying which of the two methods (Simplex Projection and SARIMA) to apply for the estimation of the 25th sunspot cycle performs better, this study will add to the body of knowledge on solar activity cycle estimation.

The beginning and finishing points of the training and test sets for the models that will be chosen must be determined. The most precise determination of the training data set and prediction data set intervals will be the most crucial factor in this case. With chaotic time series data, even a poorly chosen value can significantly alter the outcomes. We can better understand how charged particles from the Sun may harm Earth after positive or negative changes in the Earth's atmosphere and take preventative measures if these criteria are best determined for the procedures to be applied.

By comparing the accuracy of the methods used to predict the current cycles, it will be possible to predict the 25th sunspot cycle. As a result, a thorough investigation into a deeper comprehension of the solar dynamics—which are now poorly understood—is intended, together with a literary contribution.

KEYWORDS: Solar Activity, Sunspot Numbers, SARIMA, Simplex Projection, Forecast, Data Analysis

COMMITTEE: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Assoc. Prof. Dr. Murat KAPLAN

Assoc. Prof. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER



ÖNSÖZ

Uzayın gizemleri ve keşfedilmeyi bekleyen sonsuzluğu, insanlığı her zaman büyülemiştir. Uzay bilimleri, bu gizemleri çözmeye ve evrenimizin sırlarını ortaya çıkarmaya çalışan disiplinler arası bir alandır.

Bu çalışmanın özel olarak odaklandığı konu, güneş aktiviteleridir. Güneş, güneş sistemimizin merkezinde bulunan ve bize hayat veren yıldızdır. Ancak Güneş, sakin ve değişmez bir cisim değildir. Sürekli olarak aktiftir ve yüzeyinde güneş lekeleri, güneş parlamaları ve koronal kütle atımları gibi çeşitli olaylar meydana gelir. Bu güneş aktiviteleri, Dünya ve yakın uzay çevresi üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Güneş aktivitesini anlamak, uzay hava durumunu tahmin etmek ve uzay araçlarını ve astronotları güneş fırtınalarının zararlı etkilerinden korumak için çok önemlidir. Bu çalışmada, güneş aktivitelerinin temel özelliklerini, bunların Dünya'yı nasıl etkilediğini ve güneş çevrimlerini tahmin ederek geleceğe nasıl ışık tutabileceğimizi inceleyeceğiz.

Bu çalışmanın, okuyuculara Güneş'in önemini, güneş aktivitesinin Dünya ve yakın uzay üzerindeki etkilerini anlamada yeni bir bakış açısı kazandırmasını umuyoruz. Ayrıca, uzay bilimlerinin disiplinler arası doğasını ve bilgisayar bilimlerinin bu alanda oynayabileceği önemli rolü vurgulaması da beklenmektedir.

Bu çalışma vesilesinde mezun olduğum Dokuz Eylül Üniversitesi Bilgisayar Bilimlerine, bana bu çalışmayı yapabilmeme imkân veren Akdeniz Üniversite Uzay Bilimleri ve Teknolojileri bölümüne, yüksek lisans yapmam konusunda ısrar eden, beni yönlendiren, destekleyen abim Süleyman Fatih Özmen'e, her zaman yanımda olan aileme, çalışırken okula devam etmemde imkân tanıyan Kod Yazılım ve SAN TSG firmalarına, uzay alanında bugün bildiklerimi öğrenmemde bana yardımcı olan sayın danışmanım Prof. Dr. Ali Kılçık hocama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Güneş.....	3
2.2. Güneş Leke Çevrimi.....	6
2.3. Farklı Tahmin Yöntemleriyle Yapılan Çalışmalar	7
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1. SARIMA(Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average).....	10
3.2. Simpleks Projeksiyonu	12
3.3. Yöntemlerin Avantajları ve Dezavantajları.....	16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	17
4.1. SARIMA Bulguları	17
4.2. Simpleks Projeksiyonu Bulguları	23
5. SONUÇLAR	27
6. KAYNAKLAR	28
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “SİMPLEX PROJECTION VE SARIMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK 25. GÜNEŞ LEKE ÇEVİRİMİNİN TAHMİN EDİLMESİ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

19/08/2024

ONUR ÖZMEN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

p	: Modele dahil edilen gecikme gözlemlerinin sayısı
d	: Ham gözlemlerinin farklılaşma sayısı
q	: Hareketli ortalamanın sırası
P	: Mevsimsel otoregresif sıralama
D	: Farklılaşmanın mevsimsel sırası
Q	: Mevsimsel hareketli ortalama sırası
S	: Tek mevsimsel dönem için zaman adımlarının sayısı
E	: Zaman gecikmeli gömme için kullanılacak gömme boyutu
$\text{Tau}(\tau)$	: Zaman gecikmesi için kullanılacak gecikme
T_p	: Tahmin ufku
K_{nn}	: En yakın komşu sayısı
C_m	: Santimetre
K_m	: kilometre
g	: gram
kg	: kilogram
K	: Kelvin
e^-	: elektron
He^3	: Helyum-3
He^4	: Helyum-4
H^1	: Hidrojen
D^2	: Döteryum
ν_e	: elektron nötrinosu
γ	: Gama ışını
τ	: Zaman Gecikmesi

Kısaltmalar

AÜ	: Akdeniz Üniversitesi
ACF	: Otokorelasyon Fonksiyonu
EDM	: Ampirik Dinamik Modelleme
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
PACF	: Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu
RMSE	: Ortalama Karekök Sapması
SARIMA	: Mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
SSN	: 13 aylık düzleştirilmiş aylık toplam güneş lekesi sayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Üst panel gözlenen Güneş lekelerinin enlemsel dağılımı (Kelebek Diyagramı), alt panel; leke alanlarının zamansal değişimi	1
Şekil 2.1. Güneş'in iç tabakaları (çekirdek, ısıtım bölgesi ve konveksiyon bölgesi) ve atmosfer tabakaları (Fotosfer, Kromosfer ve Korona) gösterimi. Aynı zamanda dik kenarında ve disk üzerinde gözlenen bazı aktif olaylar belirtilmiştir.	5
Şekil 3.1. Lozenz Çekicisi ile zaman serisinin gösterimi	13
Şekil 3.2. Simpleks Projeksiyonu yönteminin algoritması	15
Şekil 4.1. PACF grafiği	17
Şekil 4.2. ACF grafiği	18
Şekil 4.3. Güneş leke çevrimi. Rölatif sayılarının aylık ortalama değerlerinin zamana göre değişimi. Grafikte veriler smooth fonksiyonu kullanarak düzeltilmiştir	19
Şekil 4.4. a) Güneş çevrimi 20; b) Güneş çevrimi 21; c) Güneş çevrimi 22; d) Güneş çevrimi 23; e) Güneş çevrimi 24; f) Güneş çevrimi 25 için elde edilen tahminleri göstermektedir. Şekilde gözlemsel değerler düz çizgi ile, tahmin edilen değerler ise kesikli çizgilerle gösterilmiştir.	21
Şekil 4.5. 5-25 Güneş Çevrimleri	22
Şekil 4.6. Gözlem ve Tahmin Veri Seti arası ilişki	22
Şekil 4.7. Bozulmaya başlamış attractor (çekici)	23
Şekil 4.8. a) 20. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 20. Güneş çevrimi çekici; c) 20. Güneş çevrimi tahmini;	24
Şekil 4.9. a) 21. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 21. Güneş çevrimi çekici; c) 21. Güneş çevrimi tahmini;	24
Şekil 4.10. a) 22. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 22. Güneş çevrimi çekici; c) 22. Güneş çevrimi tahmini;	25
Şekil 4.11. a) 23. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 23. Güneş çevrimi çekici; c) 23. Güneş çevrimi tahmini;	25
Şekil 4.12. a) 24. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 24. Güneş çevrimi çekici; c) 24. Güneş çevrimi tahmini	25
Şekil 4.13. a) 25. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 25. Güneş çevrimi çekici; c) 25. Güneş çevrimi tahmini;	26

ÇİZELGELER DİZİNİ

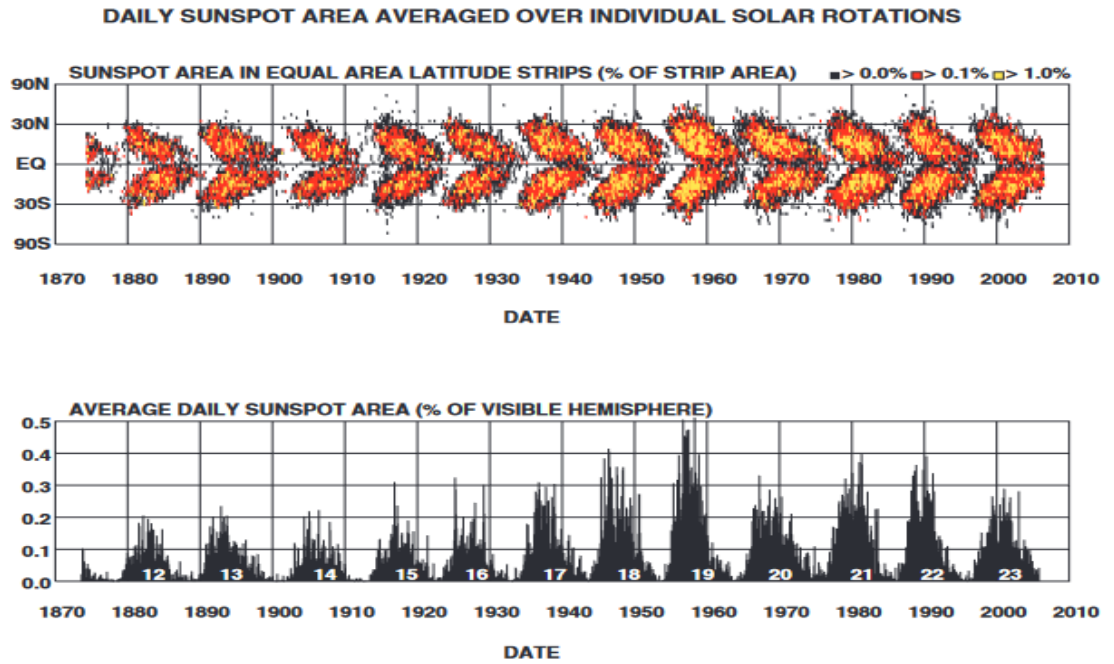
Çizelge 1.1. Güneş iç kısımlarına ait fiziksel özellikler	6
Çizelge 4.1. Güneş çevrimleri gözlenen ve tahmin edilen başlangıç bitiş tarihleri	20



1. GİRİŞ

Güneş aktivitesi, Güneş'in yüzeyinde meydana gelen konuma ve zamana bağlı dinamik değişimlerin genel bir tanımıdır. Bu aktiviteler genellikle Güneş'in manyetik alanındaki değişikliklerle ilişkilidir. Güneş aktivite göstergeleri, Güneş'in manyetik alanındaki değişiklikleri ve Güneş'teki çeşitli olayları izlemek ve ölçmek için kullanılan indislere verilen genel bir isim olarak tanımlanabilir. Güneş'in Dünya üzerindeki etkilerini tahmin etmek önemlidir. Güneş aktivitesi, güneş lekeleri, güneş leke-grupları, manyetik fırtınalar, koronal kütle atılımları (CME'ler) gibi olayları içerir.

Güneş'in manyetik kutupları yaklaşık her 11 yılda bir yer değiştirir ve bu olaya güneş çevrimi denir. Bir çevrim sırasında, Güneş'in manyetik alanı güçlenir ve zayıflar. Bu da güneş lekelerinin ve manyetik fırtınaların sayısında artış ve azalmalara yol açar. Her çevrim başlangıcında, güneş lekeleri orta enlemlerde belirir ve ardından Güneş döngüsündeki güneş aktivitesinin en düşük seviyede olduğu dönemde ki değere ulaşana kadar ekvatora doğru hareket eder. Bu desen, kelebek diyagramı ile en iyi şekilde gösterilir. Güneş görüntüleri, enlemsel şeritlere bölünür ve güneş lekelerinin aylık ortalama kısmi alanları hesaplanır. Elde edilen sonuçlar, dikey çubuklar olarak çizilir. Bu işlem, her ay tekrarlanarak kelebek diyagramı oluşturulur. Kelebek diyagramı Şekil 1.1'te verilmektedir.



Şekil 1.1. Üst panel gözlenen Güneş lekelerinin enlemsel dağılımı (Kelebek Diyagramı), alt panel; leke alanlarının zamansal değişimi

Güneş aktivitesinin şiddeti, manyetik aktivitenin artışı veya azalışıyla değişir ve bu da Güneş'ten yayılan enerji miktarını etkiler. Yüksek güneş aktivitesi dönemleri (11 yıllık çevrimin maksimum evreleri), Dünya'nın manyetosferinde ve atmosferinde çeşitli etkilere neden olabilir. Örneğin, manyetik fırtınalar, radyo iletişimini bozabilir, uydu operasyonlarını etkileyebilir ve atmosferik bozulmalara neden olabilir. Başarılı tahminlerle, güneş aktivitesinin Dünya ve yakın uzay üzerinde ki olumsuz etkilerinin önlenmesine katkı sağlanabilir. Bu etkiler;

Teknoloji:

- ▶ Uydu Operasyonları: Güneş çevrimleri sırasında meydana gelen güneş fırtınaları, uyduların elektronik sistemlerini etkileyebilir.
- ▶ GPS ve Haberleşme Sistemleri: Güneş aktiviteleri, radyo sinyallerinde bozulmalara yol açabilir. İyonosfer radyo dalgalarını yansıtabilir, kırabilir veya emebilir. Yüksek güneş aktivitesi dönemlerinde, radyo dalgaları atmosferde daha fazla yayılım gösterebilir ve radyo iletişimini bozabilir.
- ▶ Elektrik Şebekeleri: Güçlü güneş fırtınaları, elektrik şebekelerinde büyük ölçekli kesintilere neden olabilir.

Uzay Görevleri:

- ▶ Astronot Güvenliği: Astronotlar, güneş aktivitelerinden kaynaklanan radyasyon risklerine maruz kalabilirler.
- ▶ Uzay Araçları: Uzay araçlarının güneş fırtınalarına karşı korunması ve görev planlaması için güneş çevrimi tahminleri kritik öneme sahiptir.
- ▶ Atmosferik Etkiler: Güneş çevrimleri, Dünya'nın üst atmosferinin yoğunluğunu etkileyebilir. Bu, atmosferik sürtünmenin değişmesine neden olabilir ve uyduların yörüngelerini etkileyebilir.

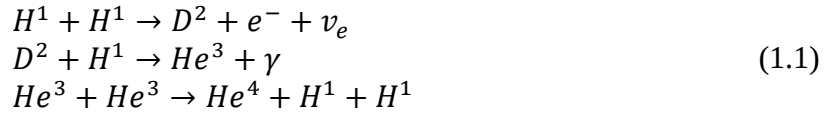
Bu etkiler, Dünya'nın manyetik alanı ile Güneş arasındaki etkileşimlerin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Manyetik aktivitedeki artışlar, insan yapımı teknolojiler ve iletişim sistemleri üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Uzay hava durumu tahminleriyle bu tür etkileri önceden belirlemek ve önlem almak önemlidir.

Bu çalışma, SARIMA (Seasonal Auto-Regressive Integrated Moving Average) ve Simpleks Projeksiyonu yöntemleri kullanılarak gerek uzay hava boşluğunda gerekse Dünya üzerinde oluşabilecek zararlı etkilerini nispeten de olsa önlemek adına güneş leke aktivitesini önceden tahmin etmek için yapılmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Güneş

Güneş, Güneş sisteminin merkezinde bulunan, yaklaşık 4.6 milyar yıl yaşında olan, G2V tayf sınıfından cüce bir ana kol yıldızdır. Dünya'mızın yaşam kaynağıdır ve bize yakınlığı sebebiyle yüzeyi bizim için doğal laboratuvar durumundadır. Ömrünün devamlılığını çekirdek bölgesindeki nükleer füzyon reaksiyonları (proton-proton ve CNO çevrimleri) ile sağlamaktadır (Denklem 1.1, Güneş'te en çok görülen reaksiyon olan proton-proton çevriminin gösterimidir).



Güneş'in kimyasal bileşiminde oransal olarak %92,1 hidrojen (veya kütle olarak %72.5 H) ve %7,8 helyum (veya kütle olarak %27,4 He) ve %0,1 daha ağır elementler (veya kütle olarak %1,9, çoğunlukla C, N, O, Ne, Mg, Si, S, Fe) bulunur (Aschwanden, 2007).

Samanyolu galaksisinde bulunan yaklaşık 100 milyar yıldızdan biri olan Güneş'in gezegenimiz üzerinde son derece önemli etkileri vardır. Güneş; havayı, okyanus akıntılarını, mevsimleri ve iklimi yönlendirir ve fotosentez yoluyla bitki yaşamını mümkün kılar. Güneş, Dünya'dan yaklaşık 150 milyon kilometre (1 Astronomik birim) uzaklıkta olup yarıçapı yaklaşık 700 000 kilometredir. Güneş, tüm güneş sistemindeki kütlenin yaklaşık % 99,8 ini içerir (Stix, 2004).

Güneş, iki ana tabakadan oluşur: iç yapı ve atmosfer. Güneş'in tabakaları Şekil 2.1 verilmektedir.

İç yapı, üç tabakaya ayrılır:

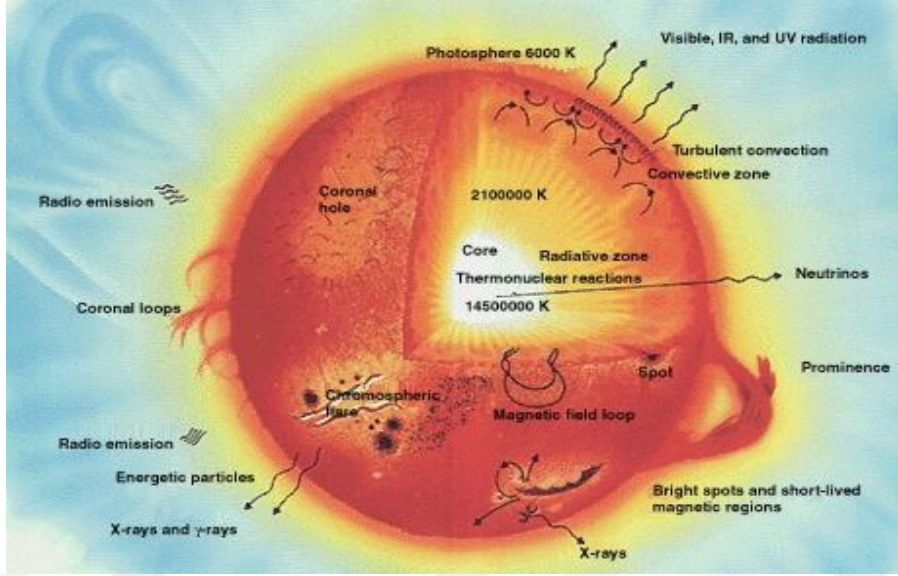
- Çekirdek: Güneş'in en sıcak ve en yoğun kısmıdır. Toplam hacmin %1.6'sına sahip olmasına rağmen toplam kütlenin yaklaşık %50'ye yakını buradadır. proton-proton reaksiyonu ile enerjinin %99'u burada üretilir.
- Işınım Bölgesi: Enerji, radyasyon yoluyla dışarı doğru yayılır. Ancak merkezden yayınlanan bir fotonun yüzeye ulaşması iç kısmın opak olmasından dolayı çok uzun zaman alır.
- Konvektif Bölge: Konvektif bölge tabanına kadar radyasyonla taşınan enerji farklı büyüklük ve derinlikteki hücresel yapılarla konvektif hareketle taşınır. Bu yapılardan biri Güneş'in fotosfer tabasında gözlenen granül hücreleridir.

Atmosfer, üç tabakadan oluşur:

- Fotosfer: Güneş'in görünür yüzeyidir. Kalınlığı yaklaşık 500 km olup sıcaklık yükseklikle azalır. Burada sıcaklık yaklaşık 5800 K civarındadır. Merkezden kenarlara doğru gidildikçe sıcaklığı ve parlaklığı azalır. Bunun nedeni kenar kararması olarak bilinen gözlemsel olaydır. Kenar kararması bir yıldızın yüzeyine doğrudan yukarıdan değil de bir açıdan bakarsanız yüzey parlaklığının daha düşük olmasıdır. Bu, gökyüzünde bir yıldız

görürseniz, yıldızın kenarının merkezden daha sönük olduğu anlamına gelir. Etki, spektrumun mavi ucunda daha belirgin ve kırmızıda daha az belirgindir. Güneş etrafı soğuran bir atmosferle çevirili olduğundan kenarın yakınından gelen ışığın etrafı, diskin merkezine yakın olan ışıktan daha uzun bir atmosfer uzunluğunu geçmesi gerekir. Bu da kenar kararmasına neden olur. Bu durumda, belirli bir optik derinliğe, diyelim ki optik derinlik=1'e kadar her yeri görebildiğimizi varsayalım. Kenarın yakınında, birlik optik derinlik bizi atmosferin çok derinlerine (kilometre cinsinden) götürmez, çünkü Güneş'in yüzeyine neredeyse teğetsel olarak bakıyoruz, dolayısıyla atmosferde yalnızca nispeten sıcaklığın düşük olduğu yüksek seviyelere bakarız. Merkezin yakınında ise, Güneş'e dik olarak baktığımız yerde, 1 optik derinlik atmosferin çok sıcak olduğu yerlere (kilometre cinsinden) kadar ulaşıyor. Böylece merkez kenarlardan daha parlak görünür (Tatum,2022). Konvektif bölgenin hemen üzerinde bulunan bu tabakada gözlenen başlıca yapılar granüller, güneş lekeleri filamentler vb. yapılardır. Güneş lekesi güneşin üzerindeki koyu bölgeler (nispeten daha karanlık) manyetik alanın yoğunlaştığı bölgelerdir. Fotosferde 5800 K olan sıcaklık Güneş lekelerinde yaklaşık 4000K civarındadır.

- Kromosfer: Fotosfer'in üzerinde yer alan yaklaşık 2500 km kalınlığındaki bölgedir. Sıcaklık yükseklikle artar. Yoğunluğu çok düşük olduğundan dolayı fotosferden yayılan radyasyona karşı geçirgen olduğu için normal şartlarda gözlenemez. Kromosfer tam güneş tutulması esnasında gözlenebilen tabakadır. Bu tabakada sıcaklık yükseklikle kademeli olarak artar ve kromosferin üst kısımlarında 50000 K'e ulaşır. Kromosferin üzerinde yer alan geçiş bölgesinde 1000000 K sıcaklıklara ulaşılır. Güneş patlamaları, kromosferik ağ yapı, prominensler/filamentler, kromosferik plaj alanları bu tabakada gözlenen başlıca yapılardır.
- Korona: Güneş atmosferinin en dış tabakası olup Kromosfer'in üzerinde yer alan geniş ve seyrek bir tabakadır. Güneş rüzgarları ile en azından Dünya'ya kadar uzandığı bilinmektedir. Sıcaklık 10^6 K mertebesindedir. Bu yüksek sıcaklık nedeniyle atomların çoğu iyonize olmuştur. Tam güneş tutulması ya da koronograf adı verilen özel teleskoplarla gözlenir. Koronoda gözlenen başlıca yapılar; Miğferimsi yapılar beyaz ışıpta çekilen tam güneş tutulmaları esnasında, kutup tüycükleri yeşil ışıpta korona görüntülerinde güneşin kutuplarında, koronal luplar ve koronal deliklerdir (Aschwanden, 2007).



Şekil 2.1. Güneş'in iç tabakaları (çekirdek, ışınlım bölgesi ve konveksiyon bölgesi) ve atmosfer tabakaları (Fotosfer, Kromosfer ve Korona) gösterimi. Aynı zamanda disk kenarında ve disk üzerinde gözlenen bazı aktif olaylar belirtilmiştir. (Courtesy of Calvin J. Hamilton ve NASA/ESA.) (Aschwanden, 2007)

Bu çalışmada temel hedef, Güneş'i daha iyi anlamak, yüzeyindeki fenomenlerin gerçekleşme sıklığını daha iyi tahmin etmek olsa da Güneş'te hala tam olarak anlaşılmasının zor olduğu bazı olgular bulunmaktadır. Fiziksel olarak Güneş'e gitmenin, temas etmenin imkânsız olması sebebiyle Güneş'e dair pek çok bilginiz modeller ve gözlemlerin birleştirilmesi aracılığı ile bilinmektedir. Bu da içyapısının net olarak anlaşılmasını güç kılar. Örneğin, Güneş'te manyetik alanın varlığı bilinmektedir ki bu manyetik alanın varlığını Güneş yüzeyindeki olaylardan (Güneş patlaması, koronal kütle atımı vb.) anlamak mümkündür. Ancak iş, manyetik alanın kaynağı olan Güneş dinamosunu anlamaya gelince, zorluklar ortaya çıkmaktadır. Güneş dinamosu, Güneş'in manyetik alanının nasıl üretildiği ve sürdürüldüğünü açıklamak üzere önerilen bir teoridir. Güneş'in iç kısmındaki hareketler ve dinamikler, çeşitli süreçlerle Güneş'in manyetik alanlarının oluşmasına neden olur. Bunları ifade etmek gerekirse;

- **Diferansiyel Dönme:** Güneş'in ekvatorunun kutuplarına göre daha hızlı dönmesi anlamına gelir. Güneş'in içindeki plazma akışlarının farklı hızlarda hareket etmesinden kaynaklanır. Ekvatorda, Güneş yaklaşık 25 günde bir dönerken, kutuplarda bu süre 36 güne kadar uzayabilir. Bu farklı dönüş hızları manyetik alan çizgilerinin gerilmesine neden olur. Güneş Lekeleri, Güneş Fırtınaları ve diğer güneş aktivitelerinin oluşmasını sağlar.
- **Manyetik Alan Gerilmesi:** Güneş'in içindeki hareketli plazma elektrik akımları oluşturur. Bu elektrik akımları, Güneş'in manyetik alanını etkiler ve yeni manyetik alanlar oluşmasına neden olur. Bu yeni manyetik alanlar, Güneş'in mevcut manyetik alanı ile etkileşime girerek, daha karmaşık ve güçlü manyetik alan yapıları oluşturur.
- **Konveksiyon:** Güneş'in içindeki sıcak plazma sürekli hareket halindedir. Bu hareket, konveksiyon adı verilen bir işlemle gerçekleşir. Sıcak plazma, yüzeye doğru yükselir, yüzeyde enerjisini salarak soğur ve daha sonra tekrar

Güneş'in içine doğru batır. Bu sürekli hareket, tıpkı bir tencerede kaynayan su gibi, plazmanın içindeki manyetik alan çizgilerini bükerek ve gerer. Bu bükülme ve gerilme, Güneş'in manyetik alanında karmaşıklık yaratır ve Güneş Lekeleri, Güneş Fırtınaları ve diğer güneş aktiviteleri gibi olayların oluşmasına katkıda bulunur.

- Manyetik Yeniden Bağlanma: Manyetik yeniden bağlanma, manyetik alan çizgilerinin yeniden düzenlenmesi anlamına gelir ve plazma ile manyetik alan arasındaki etkileşimin bir sonucudur. Yeniden bağlanma sırasında, manyetik alan çizgileri kopar ve yeniden birleşerek yeni manyetik alanlar oluşturur. Uzay plazmasında patlama içeren olaylarda, örneğin jeomanyetik alt fırtınalar ve güneş patlamaları gibi, yeniden bağlanma önemli rol oynar. Bu olaylar sırasında, manyetik enerji hızlı bir şekilde salınır ve parlak aurora görünümüne sebep olabilir, hatta uydu iletişimini bile engelleyebilir. Bu enerji salınımı, manyetik alan çizgilerinin kırıldığı ve yeniden bağlandığı "X çizgisi" adı verilen bir bölgede meydana gelir. Yeniden bağlanma işlemi, Güneş'in manyetik alanında büyük enerji salınımına yol açabilir.

Bu süreçler, Güneş'in manyetik alanlarının zaman içinde sürekli değişmesine ve yeniden oluşmasına neden olur.

Güneş'in iç kısımlarında, fiziksel parametrelerin derinlikle değişimi Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Güneş iç kısımlarına ait fiziksel özellikler (Aschwanden, 2007)

Tabaka	Derinlik(km)	Sıcaklık (K)	Yoğunluk (g/cm ³)	Basınç (Pa)	Enerji Taşınımı
Çekirdek	0 – 200 000	15 000 000	150	2×10^{11}	Nükleer Füzyon
Radyatif Bölge	200 000- 500 000	7 000 000 - 2 000 000	20- 0.2	5×10^{10} - 5×10^6	Radyasyon
Konvektif Bölge	500 000 - 695 000	200 0000 - 5700	$0.2- 10^{-7}$	5×10^6 - 5×10^4	Konveksiyon

2.2. Güneş Leke Çevrimi

Güneş'in üzerinde görünen Güneş lekelerinin sayısı sabit değildir. Güneş çevrimi ortalama 11 yıllık bir periyotta değişiklik gösterir. Çevrimin minimumunda çok az sayıda güneş lekesi görünür ya da bazen hiç gözlenmez. Çevrim süresinde gözlenen güneş lekelerinin disk üzerindeki konumları rasgele değildir. Her iki yarım kürede $\pm 35^\circ$ ila $\pm 8^\circ$ arasındaki enlemlerde gözlenirler. Çevrimin başlarında 35° gibi yüksek helyografik enlemlerde gözlenmeye başlar ve çevrim ilerledikçe yeni lekeler daha düşük enlemlerde oluşurlar. Çevrimin sonunda ekvatora yaklaşarak 8° gibi enlemlerde gözlenmeye başlarlar. Bu yasa literatürde Spörer yasası olarak bilinse de ilk olarak

1858'de Carrington tarafından bulunmuştur. Daha sonra Johann Rudolf Wolf güneş leke aktivitesini tanımlamak için Wolf sayısı/rölatif sayı (R) olarak bilinen bir indeks geliştirmiştir. Rölatif sayı;

$$R = k(10g + n) \quad (1.2)$$

denklem 1.2 kullanılarak hesaplanır. Burada k, gözlemciye ve gözlem şartlarına özgü bir düzeltme faktörü, g günlük güneş leke gruplarının sayısı ve n ise o gün için gözlenen toplam güneş leke sayısı olarak tanımlanır. Yukarıda da belirtildiği gibi Güneş lekeleri güneşte gözlenen aktif olaylarla yakından ilişkilidir. Dolayısıyla, Güneş leke çevriminin tahmini aktif güneş olaylarının tahmini ve daha iyi anlaşılması anlamına gelir ki, bu da özellikle uzay havası açısından ciddi öneme sahiptir. Aşağıda güneş çevriminin tahminine yönelik literatürde verilen çalışmalara değinilmiş olup bu çalışmada da 25. Güneş leke çevriminin tahminine yönelik iki yöntemin performansı karşılaştırılmıştır.

2.3. Farklı Tahmin Yöntemleriyle Yapılan Çalışmalar

Literatürde Güneş leke sayısının tahmini üzerine yapılan çalışmalar, karmaşık ve dinamik olan doğrusal olmayan sistemlerin gelecekteki sonuçlarını tahmin etmek için çeşitli yöntemler kullanır. Bu tür sistemler, küçük değişikliklerin öngörülemez sonuçları bulunabileceğinden karmaşıktır. Doğrusal olmayan sistemlerde kullanılan başlıca yöntemler yapay sinir ağları, destek vektör makinesi, kaotik sistem modelleri, genetik algoritma ve takviyeli öğrenme yöntemleridir.

Yapılan literatür taraması neticesinde, NARX, ESN, A Novel Bimodal, LSTM, A deep-learning Vanilla, N-BEATS, SARIMA, LSTM-ARIMA, Simpleks Projeksiyonu gibi farklı model ve yaklaşımlar kullanılarak 25. güneş çevriminin tahminine yönelik birçok çalışma incelenmiştir.

Sarp vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada SC 25'in maksimumunu tahmin etmek için gecikme zamanı ve faz uzayı yeniden yapılandırması temelli, doğrusal olmayan Simpleks Projeksiyonu tahmin algoritması kullanılmışlardır. Gömme boyutu ve gecikme zamanı gibi bu tür yöntemlerin temel parametrelerinin yanı sıra, daha iyi güneş çevrimi tahminleri için dikkate alınması gereken yeni bir parametre (başlangıç noktası) önermektedirler. Yapılan çalışmada yöntemin performansı son beş güneş çevriminde test edilmiş ve SC 25'in maksimumunun 2023.2 ± 1.1 yılında, maksimum güneş leke sayısının ise 154 ± 12 olacağını tahmin etmişlerdir.

Kalkan vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada doğrusal olmayan otoregresif eksojen (NARX) sinir ağı yaklaşımının kullanarak çoklu aktivite göstergesi parametrelerine dayalı olarak 11 yıllık SC 25 ve 26'nın tahminini yapmışlardır. Çalışmada NARX modelinin eğitim dönemi Temmuz 1749'dan Aralık 2019'a kadar olup aylık güneş lekesi sayısı zaman serisi (SSN), güneş patlama sayısı, 10,7 cm'lik güneş radyo akısı (F10.7) ve toplam güneş ışıınımı (TSI) aktivite gösterge parametrelerini dikkate almışlardır. Elde edilen eğitim, doğrulama ve tahmin sonuçları, modellerin maksimum aktivite değerlerinin %90 doğrulukla tahmin ettiğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, SC 25 ve 26'nın SSN cinsinden beklenen güneş maksimumları sırasıyla RSSN = 116,6 (Şubat 2025) ve RSSN = 113,25 (Ekim 2036) olarak tespit edilip SC 25 ve 26 çevrimlerinin beklenen sürelerini sırasıyla 9,2 ve 11 yıl olarak hesaplamışlardır.

Espuña Fontcuberta vd.'nin (2023) yapmış oldukları çalışmada dört farklı (Yankı Durumu Ağı (Echo State Network (ESN)), Tekrarlayan Sinir Ağı (Recurrent Neural Network (vanilla RNN)), Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları (Long Short-Term Memory Networks (LSTMs)), Geçitli Tekrarlayan Birimler (Gated Recurrent Units (GRUs)) stokastik zorlanmış doğrusal olmayan zaman gecikmeli makine öğrenimi algoritmasını kullanarak güneş dinamo modeline dayalı simüle edilen güneş leke çevrimlerini tahmin etmek için Yinelemeli Sinir Ağları (Rekürrens Sinir Ağları) (RNN'ler)) sınıfına ait yöntem kullanılmıştır. RNN'lerin performansını karşılaştırmak için ek olarak Doğrusal Otoregresif (Linear Autoregressive (linear AR)) yöntemi kullanılmıştır. ESN algoritmasının en iyi performansı gösterdiğini ancak tahmin edilebilirliğin sadece bir güneş leke çevrimiyle sınırlı olduğunu ve sonuçların son zamanlarda elde edilen fizik tabanlı modellerle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. SC 25 için ESN algoritması kullanarak Temmuz 2024 civarında 131 ± 14 güneş lekesine sahip maksimum pik elde etmişlerdir. SC 25 için MESN kullanarak Nisan 2024 civarında 137 ± 2 lekeyle maksimum pike ulaştığı tahmin edilmiştir. Nitel olarak, her iki tahmin de SC 25'in SC 24'ten biraz daha güçlü ancak SC 23'ten daha zayıf olacağını göstermektedir.

Lu vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada öncül bilgilere (Şubat 1867-Ekim 2020'ye kadar çevrim tepe noktası, çevrim vadisi, çarpıklık değeri) dayarak tam bir güneş lekesi çevrimini tahmin etmek için A Novel Bimodal yöntemini kullanmışlardır. SC 22-24 doğrulama için kullanmış ve iyi bir performans elde etmişlerdir. SC 25'in tek tepe yapısında olduğunu ve maksimum pikin 2024 Ekim ayında 145.3 ile geleceğini tahmin etmektedirler.

Prasad vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada Belçika, Brüksel'deki Kraliyet Gözlemevi WDC-SILSO tarafından sağlanan 13 aylık düzleştirilmiş güneş leke sayısı verilerini kullanılmışlardır. SC 25'in tahminini iyileştirmek için Derin öğrenmeli Vanilya veya tek katmanlı Uzun Kısa Süreli Bellek (A deep-learning Vanilla, or single layer, Long Short-Term Memory) yöntemleri önermişlerdir. Bu çalışmada dikkate alınan çeşitli zamansal aralıklar üzerinde yapılan analizlere göre, önerilen model tarafından elde edilen sonuçlar LSTM modeline kıyasla daha başarılı sonuçlar bulunmuştur. Mevcut önerilen model, SC 25'in Nisan 2023'te maksimum pik yapacağını ve 136.9'luk bir genlik değeri ile SC 24'e kıyasla yaklaşık %17.68 daha güçlü olacağını önermektedir.

Zhu vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada aylık güneş lekeleri alanı (SSA) verileri ile ilgilenmek için optimize edilmiş bir uzun kısa vadeli bellek (LSTM) modeli kullanılarak SC 25'i tahmin etmişlerdir. LSTM + içindeki "yeniden tahmin" süreci, önceki tahminlerden elde edilen en son tahmin sonuçlarını bir sonraki tahmin hesaplaması için giriş olarak kullanan bir yöntemdir. LSTM +'nin doğruluğu ve güvenilirliği, SC 21 ile 24'ün tahmin edilen maksimum genlik ve meydana geliş zamanının doğrulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. SC 25 için tahmin edilen SSA maksimum genlik LSTM+ ile 2562,5 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuç SSA ile SSN arasındaki ilişkiye dayanarak SSN'nin maksimum değeri 213 olarak hesaplanmıştır. Araştırma sonucuna göre, SC 25'in maksimum pik Ocak 2025 civarında ulaşacağını tahmin etmişlerdir.

Su vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada derin öğrenme yöntemi için nöral taban genişleme analizi (N-BEATS yöntemi kullanılarak) kullanarak devam eden SC 25 tahmin edilmiştir. Güneş leke sayısı ve Uzun Süreli Güneş Gözlemleri tarafından alınan 13 ay düzleştirilmiş aylık toplam güneş lekeleri sayıları, modeli eğitmek ve

değerlendirmek için seçilmiştir. RMSE ve MATL, sırasıyla Y ve X eksenini boyunca tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkı ölçer. RMSE değeri $26,62 \pm 1,56$ ve MATL değeri $1,34 \pm 0,35$ olup, modelin güneş leke sayısı değişimini daha iyi tahmin edebildiğini göstermişlerdir. SC 25'in 2024 Şubat civarında $133,9 \pm 7,2$ genlikle maksimuma ulaşacağı tahmin edilmiştir. Bu, SC 25'in SC 24'ten biraz daha güçlü olacağı anlamına geliyor.

Xu vd. (2024) de yapmış oldukları çalışmada, Mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalamayı (SARIMA) Rastgele Orman ve Destek Vektör Makinesi (Forest and Support Vector Machine) gibi makine öğrenme algoritmalarıyla birleştirilerek yüksek tahmin doğruluğu sağlayan hibrit bir tahmin yaklaşımı öneren öncü bir çalışma niteliğindedir. Daha spesifik olarak, 1749-2023 verilerine dayanarak 2023-2043 arasındaki (SC25 ve SC26) aylık ortalama güneş lekeleri sayılarına ilişkin bir tahmin yaparken, Haziran, Temmuz ve Ağustos 2023'teki gözlemlerin özellikle uzun vadede tahmin üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. SC 25 in 2025 yılında 150'den daha büyük leke sayısı ile pik göstereceğini ve SC25'in SC 24'e göre nispeten daha güçlü olacağı tahmin edilmiştir. Güneş lekeleri zaman serilerinin çok mevsimli ve durağan olmayan doğası göz önüne alındığında, bu tür bir olgunun, uzun vadede tahminde oldukça hassas olabilecek ham veriye (üzerinde değiştirilme yapılmamış) dayalı bir modelle basitçe yakalanamayacağı ve daha kapsamlı bir yaklaşım gerektirdiğini önermektedirler.

Moustafa vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada 25 ve 26 güneş çevriminin maksimumunu tahmin edebilmek için Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory (LSTM)), Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA)), Mevsimsel OtoRegresif Entegre Hareketli Ortalama (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average (SARIMA))'dan oluşan üç tekil modelin yanı sıra maksimum güneş leke sayısını tahmin etmek için bir hibrit model kullanmışlardır. Tekil modellerin hiperparametreleri Bayes optimizasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En iyi performansı LSTM-ARIMA hibrit modeli ile elde etmişlerdir. Yazarlara göre LSTM-ARIMA modelinin olağanüstü sonuçları, hibrit yöntemlerin genel performansı iyileştirmedeki potansiyelini göstermektedir. Üstelik LSTM modeli, LSTM ağlarının zaman serisi verilerinden öğrenme yeteneğini gösteren ARIMA modelinden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Sonuç model ile Eylül 2024'te SC 25 için 137,04 ve Aralık 2034'te SC 26 için 164,3'lük bir maksimum güneş leke sayısı öngörülmüş olup bu değerler NASA'nın Ekim 2024'teki 134,4 ve Aralık 2034'teki 161,2 tahminiyle karşılaştırılabilir seviyededir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan veri, Brüksel, Belçika Kraliyet Gözlemevi Dünya Veri Merkezi SILSO tarafından sağlanan Uluslararası Güneş Leke Sayısı'nın (ISSN) ikinci versiyonudur. Bu veri seti, Ocak 1749 ile Temmuz 2023 arasındaki zaman dilimini kapsar. Ancak, 13 aylık ortalama, setin 1800 yılına kadar olan kısmında yapay veriler ürettiği için bu çalışmada sadece Şubat 1800 ile Temmuz 2023 arasındaki veriler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 25. Güneş leke çevriminin maksimumunun zamanı ve genliğini tahmin etmek için SARIMA VE Simpleks Projeksiyonu yöntemleri kullanılarak bu yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır.

3.1. SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average)

SARIMA, Mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama anlamına gelir. Zaman serisi verilerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan ARIMA (Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama) modelinin bir uzantısıdır.

SARIMA'da "S" mevsimsellik anlamına gelir; bu, modelin verilerdeki mevsimsel kalıpları yakalayıp hesaba katabileceği anlamına gelir. ARIMA'ya benzer şekilde SARIMA, otoregresyon (AR), fark alma (I) ve hareketli ortalama (MA) parametrelerini içerir. Ancak SARIMA ayrıca verilerin mevsimsel bileşenini modellemek için özel olarak tasarlanmış ek parametreler de içerir.

Bu yöntem ekonomi, finans ve meteoroloji gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Veri aralıkları günlük, haftalık, aylık, yıllık veya herhangi bir normal dönem olabilir. Mevsimsel bileşen, verilerde yukarıda belirtildiği gibi belirli dönemde tekrarlanan dalgalanmaların yakalanmasına yardımcı olur.

Otoregresif (AR) Bileşen: mevcut gözlem ile onun gecikmeli zaman noktalarındaki önceki gözlemleri arasındaki ilişkiyi araştırır. Başka bir deyişle zaman serisinin mevcut değerinin kendi geçmiş değerlerine doğrusal olarak nasıl bağlı olduğunu temsil eder.

Tümleşik (I) Bileşen: zaman serisi verilerinin durağan hale getirilecek şekilde farkının alınmasını temsil eder. Durağanlık, verilerin ortalama ve varyans gibi istatistiksel özelliklerinin zaman içinde sabit kalması anlamına gelir. Farklılaştırma, önceki gözlemin mevcut gözlemde çıkarılmasını içerir.

Hareketli Ortalama (MA) Bileşeni: geçmiş tahmin hatalarının doğrusal bir kombinasyonunu kullanarak gelecekteki değerleri tahmin etmek için tasarlanmıştır. Mevsimsel olmayan bileşeni temsil eder ve verilerin düzensiz veya rastgele varyasyonlarını yakalamaya çalışır. Bir zaman serisi verisi için MA bileşeni, geçmiş tahmin hatalarının belirli bir süre boyunca ortalamasını alır. Bu ortalama, gelecekteki tahminlerde kullanılır. MA bileşeni, verilerin rastgele değişkenliklerini ve ani dalgalanmalarını ele alarak tahmin performansını artırır. Bu nedenle, SARIMA modeli, MA bileşeni sayesinde zaman serisi verilerindeki rastgele varyasyonları ortaya koymak ve tahmin etmek için güçlüdür.

Mevsimsel Otoregresif (SAR) Bileşeni: AR bileşeninin mevsimsel karşılığıdır. Mevcut gözlem ile gecikmeli mevsimsel zaman noktalarındaki önceki gözlemler arasındaki ilişkiyi bulmaya çalışır.

Mevsimsel Hareketli Ortalama (SMA) Bileşeni: MA bileşenine benzer, ancak mevsimsel gecikmeli zaman noktalarında mevcut gözlem ile mevsimsel aralıklarla belirli sayıda gecikmeli gözlem arasındaki ilişkiyi temsil eder.

SARIMA modeli aşağıdaki bileşenleri birleştirir:

Mevsimsel olmayan ARIMA bileşeni: Bu bileşen, mevcut gözlem ile geçmiş değerleri arasındaki ilişkiyi ve ayrıca rastgele hataları belirler. Üç parametre ile karakterize edilir:

p: Otoregresyon sırası (kaç tane geçmiş değerin kullanıldığı)

d: Fark alma sırası (verilerin durağan hale getirilmesi için kaç kez fark alındığı)

q: Hareketli ortalamasının sırası (geçmişte kaç hatanın kullanıldığı)

Mevsimsel SARIMA bileşeni: Bu bileşen, mevcut gözlem ile belirli mevsimsel aralıklardaki geçmiş değerleri arasındaki ilişkiyi belirler. Üç parametre ile karakterize edilir:

P: Mevsimsel otoregresyon sırası (geçmişteki mevsimsel değerlerden kaç tanesinin kullanıldığı)

D: Mevsimsel farkların sırası (verilerin mevsimsel olarak kaç kez farklılaştırıldığı)

S: Mevsimsel hareketli ortalamasının sırası (geçmişteki mevsimsel hataların kaç tanesinin kullanıldığı)

SARIMA modeli SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s gösterimiyle temsil edilir; burada s, mevsimsel dönemdir (örneğin günlük, haftalık, aylık, yıllık).

SARIMA modelleri, geçmiş zaman serisi verileri kullanılarak modelin doğruluğunu kontrol etmek için zaman serisi içerisinde belli bir bölüm tahmin edilmelidir. Başarı bir tahmin yapılması durumunda parametreler değiştirilmeden serinin gelecekteki değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Çok yönlüdürler ve zaman serisi verilerindeki karmaşık kalıpları yakalayabilirler, bu da onları tahmine dayalı analitik ve tahmin için değerli araçlar haline getirir.

SARIMA modeli Python programlama dilinde yazılmıştır. (p,d,q)(P,D,Q)_S SARIMA parametreleri otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF) grafiklerinden elde edilir.

p : ACF grafiğinde güven aralığının altına düşmeyen en son değerdir.

d : Durağanlık testi farklılaşmama durumunda anlamlıdır, yani d=0

- q : PACF grafiğinde güven aralığının altına düşmeyen son değer alınır
- P : ACF gecikmesi S'de pozitif ise $P \geq 1$, aksi takdirde $P=0$ VE $P+Q \leq 2$.
- D : $D=1$, seri zaman içinde istikrarlı bir mevsimsel yapıya sahiptir.
- Q : ACF gecikmesi S'de negatif ise $Q \geq 1$, aksi takdirde $Q=0$, VE $P+Q \leq 2$.
- S : ACF grafiğindeki en yüksek gecikme noktasıdır.

Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF) zaman serisindeki bir değişkenin kendisi ile önceki zaman noktaları arasındaki ilişkiyi gösterir. ACF grafiği, yatay ekseninde gecikme zamanlarını ve dikey ekseninde otokorelasyon katsayılarını (korelasyon değerlerini) gösterir.

Kısmi otokorelasyon Fonksiyonu (PACF) zaman serisindeki belirli bir zaman noktasındaki değer, o zaman noktasından önceki diğer zaman noktalarındaki değerlerle olan ilişkisini gösterir. Bu ilişki, diğer tüm gecikme zamanlarının etkisini kontrol ederek belirlenir. Belirli bir gecikme zamanındaki otokorelasyonun varlığını ve (ARIMA, SARIMA, vb) modellemeye nasıl dahil edileceğini anlamak için analiz edilir. PACF grafiği ve ACF grafiği birlikte kullanılarak zaman serisi verilerinin modellenmesi ve tahminine olanak tanır.

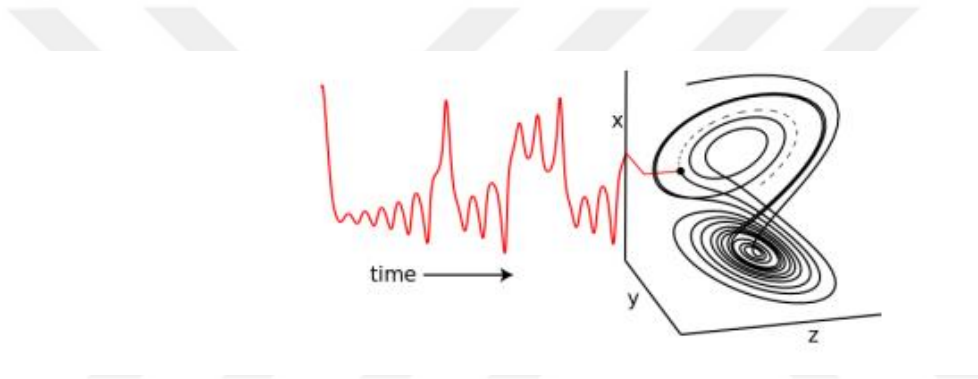
3.2. Simpleks Projeksiyonu

Ampirik dinamik modelleme (Empirical dynamic modeling) (EDM) doğrusal olmayan dinamik sistemleri modellemek için kullanılan bir yöntemdir. EDM, zaman serilerinde çekici manifoldların yeniden yapılandırılmasına ilişkin matematiksel teoriye dayanır (Taken 1981). Çekici manifoldları terimi, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin davranışını açıklamak için kullanılan bir kavramdır. Çekici ve manifold (topolojik bir uzay) olmak üzere iki bileşenden oluşur. Çekici doğrusal olmayan dinamik sistemde belirli bir zaman aralığında belirli bir başlangıç koşulu altında belirli bir yönde hareket eder. Manifold, fiziksel olarak uzayda belirli bir şekilde genişleyen ve büzülen geometrik yapıdır. C++ bilgisayar dilinde geliştirilmiş rEDM paketinde (Anonymous 1) simpleks projeksiyonu (Simplex projection) (Siguhara and May 1990), S-haritası (S-map), yakınsak çapraz haritalama (Convergent Cross Mapping) gibi birçok EDM yöntemi bulunur.

EDM'nin altında yatan temel amaç, zaman serisi verilerini kullanarak dinamik sistemlerin davranışını yeniden oluşturmaktır.

1981 yılında Floris Takens tarafından geliştirilen Takens Teoremi (Takens, 1981), karmaşık sistemlerin dinamiklerini anlamak için güçlü bir araçtır. Bu teorem, bir sistemin davranışını, o sistemi oluşturan tüm değişkenleri değil, sadece tek bir değişkenin zaman serisi gözlemleri kullanılarak anlaşılabilirliğini belirtir. Bu, sistemin geçmiş gözlemlerini kullanarak davranışını modelleyen Deneysel Dinamik Modelleme (DDM) yaklaşımının temelini oluşturur ve özellikle denge dışı dinamikler ve doğrusal olmayan duruma bağlı davranış sergileyen sistemleri incelemek için uygundur. Takens

Teoremi, uygun bir gömme boyutu ve zaman gecikmesi seçildiğinde, orijinal çekicinin topolojik ve dinamik özelliklerinin korunacağını belirterek, tek bir değişkenin zaman serisi kullanılarak, sistemin tüm dinamik davranışını anlamayı mümkün hale getirir. Temel kavram, zaman serilerinin dinamik bir sistemin davranışının projeksiyonları olarak görülebilmesidir. Bir sistemde gözlemlenen farklı zaman serileri bağımsız durum değişkenlerini temsil edebilse de genel olarak her zaman serisi, birkaç farklı durum değişkenini içerebilen sistem durumunun bir gözlem fonksiyonudur. Takens Teoremi, çekici'nin matematiksel olarak geçerli ve özelliğini koruyan yeniden yapılandırmalarının, tek bir zaman serisinin gecikmeleri kullanılarak oluşturulabileceğini, ardından bu gecikmeli zaman serilerinin bilinmeyen veya gözlemlenmeyen değişkenler ile değiştirilebileceğini belirtir. Bu, karmaşık sistemleri anlamak için güçlü bir araç sağlar, çünkü sistemin tüm değişkenlerini bilmek zorunda kalmadan, sadece tek bir değişkenin zaman serisi gözlemleri kullanılarak, sistemin dinamik davranışını analiz etmek mümkün hale gelir.



Şekil 3.1. Lozenz Çekicisi ile zaman serisinin gösterimi

Şekil 3.1 de gösterildiği gibi zaman serisi üzerinde yeterli gecikmeler kullanılırsa yeniden yapılandırma, orijinal sistemin temel matematiksel özelliklerini korur: yeniden oluşturulan durumlar, gerçek sistem durumlarıyla bire bir eşlenir ve yeniden yapılandırmadaki yakındaki noktalar, benzer sistem durumlarına karşılık gelir.

Daha önce bahsedildiği gibi, eğer yeterli gecikme kullanılırsa (yani yeniden yapılanma yeterince büyük bir gömme boyutuna sahipse), yeniden yapılanma orijinal çekici manifoldu ile birebir eşlenecektir. Gömme boyutu çok küçükse, yeniden oluşturulan durumlar üst üste gelebilir ve aslında farklı durumlara karşılık gelseler bile aynı görünebilir. Bu durum zayıf tahmin performansına yol açacaktır çünkü sistem davranışı yeniden yapılandırma sırasında benzersiz bir şekilde belirlenememektedir. Sonuç olarak bu metodu aşağıdaki şekilde kullanabiliriz:

Optimum gömme boyunu belirlemek için embedDimension (gömme boyutu) metodu kullanır. Bu yöntemle Potansiyel E değerleri belirlenir. Gömme boyutu, veri analizi ve makine öğrenmesinde bir veri kümesinin veya bir özelliğin temsil edilmesi için seçilen veya kullanılan boyut sayısını ifade eder. Genellikle verilerin daha düşük boyutlu bir uzayda temsil edilmesi istenir. Bu işlem, veri kümesinin karmaşıklığını azaltarak hesaplama verimliliğini artırabilir veya model performansını iyileştirebilir. Elde edilen gömme boyutları buildTaken (çekici yapısı) metodunda kullanılarak zaman

gecikmesi değerleri ve çekicinin bozulup bozulmadığı kontrol edilir. BuildTaken metodu zaman serisi analizinde, zaman gecikmeli gömme matrisi, bir zaman serisinin gecikmeli değerlerinden oluşan vektörlerden oluşturulur. Bu matris, zaman serisinin dinamik yapısını anlamak ve özellikle kaotik verilerde, sistemin durum uzayını yeniden oluşturmak için yaygın olarak kullanılır. Zaman gecikmeli gömme, kaos sistemlerinin durum uzayını yeniden oluşturmak için kullanıldığında, Lorenz çekicisi gibi karmaşık dinamik yapıların görselleştirilmesini sağlar. Bu da sistemin dinamik davranışını anlamak için önemli bilgiler verir. Çekicide bozulma olmayan E ve τ değerleriyle simpleks projeksiyonu yönteminin tahmin performansı kontrol edilir.

Simpleks projeksiyonu fonksiyonunun beş gerekli parametresi vardır. Bunlar:

Target : Tahmin için kullanılan veri kolonu.

Lib : Gözlemsel veri

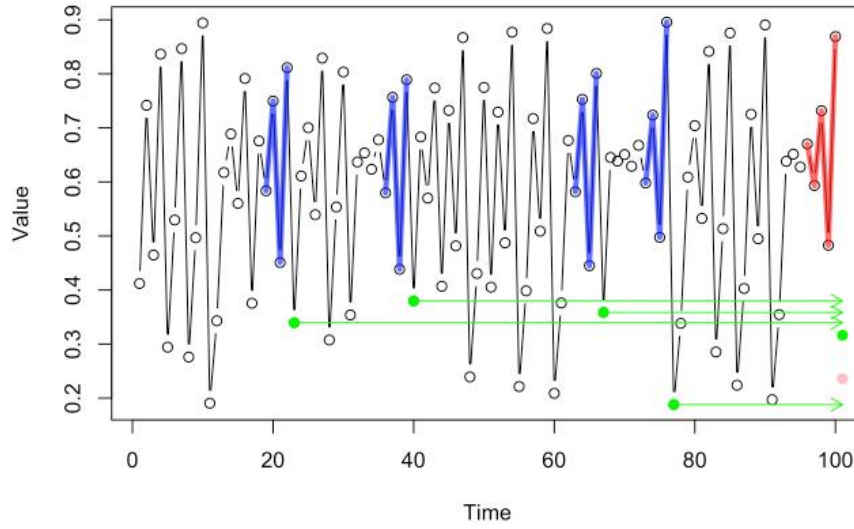
Pred : Tahmin verisi

E : Gömme boyutu

$\text{Tau}(\tau)$: gecikme zamanı

Varsayılan en yakın komşu sayısı (knn) = 0 değerindedir en yakın komşu sayısı gömme boyutunun bir fazlası ($E+1$) olarak yöntem fonksiyon içerisinde atama yapar. Veri seti içerisinde KNN sayısı kadar tahmin uzayında önceki tekrar eden yapıları arayıp bu yapıların ortalaması alınarak yeni tahmin noktası belirlenir. Metotlarda kullanılan varsayılan $T_p = 1$ olarak alınır. T_p değeri sistemin ne kadar geniş bir tahmin aralığında veya ne kadar uzakta yeni tahminler yapabileceğini belirleyen özelliktir. Sistemin tahmin yapabileceği maksimum aralık veya nokta sayısını ifade eder. Başka bir deyişle, T_p değeri, sistemin ne kadar ileriye dönük tahminler üretebileceğini belirler. T_p değeri tahmin uzunluğu olarak alınırsa T_p metot kendi üzerinde seçilen tarih aralığında tahmin uzunluğu sayısı kadar başlangıçtan siler ve tahmin uzunluğu sayısı kadar yeni sonuç tahmin eder. Bu çalışmada hedef değeri güneş leke sayısı alınarak metotlar çalıştırılmıştır.

Lib değeri tahmin edilecek güneş çevrimi kadar olan bütün çevrimleri kapsayacak şekilde belirlenir. Lib değeri ne kadar kapsamlı olursa o kadar ayrıntılı bilgi elde edilebilir. Pred değeri, yöntemin Lib'den elde ettiği değerleri kullanarak tahminlerini yaptığı aralıktır. T_p değerini çevrim uzunluğu kadar aldığımızda simpleks projeksiyonu yöntemiyle geleceğe yönelik tahminler elde edebiliriz.



Şekil 3.2. Simpleks Projeksiyonu yönteminin algoritması (Petchey, 2016)

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, Simpleks Projeksiyonu yöntemi, zaman serisi üzerinde kırmızıyla vurgulanmış veri noktasını kullanarak benzer yapılar arar. Bu benzer yapılar, en yakın komşu değeri sayısına göre belirlenir (şekilde mavi çizgili yapılar). Benzer yapılardan sonra gelen gözlem değerleri yeşil renkte gösterilmektedir. Bu yeşil noktaların ortalaması alınarak zaman serisi üzerinde gösterilen pembe nokta, Simpleks Projeksiyonu ile tahmin edilen yeni değeri temsil etmektedir. Bu işlem belirtilen T_p değeri kadar orijinal zaman serisinin sonuna bulduğu değerleri ekleyerek devam eder.

Simpleks Projeksiyonu algoritması iki temel parametre içerir. Gömme boyutu aranacak dinamiğin kaç veri noktası içereceğini, zaman gecikmesi ise faz uzayında noktayı temsil eden vektör elemanları arasındaki veri sayısını tanımlar. Zaman serisi gömme boyutu ve zaman gecikmesiyle faz uzayında vektörler ile temsili Denklem 3.1 de gösterilmektedir.

$$v_1 = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_{1+\tau} \\ l_{1+2\tau} \\ \vdots \\ l_{1+(e-1)\tau} \end{pmatrix}, v_2 = \begin{pmatrix} l_2 \\ l_{2+\tau} \\ l_{2+2\tau} \\ \vdots \\ l_{2+(e-1)\tau} \end{pmatrix}, \dots, v_n = \begin{pmatrix} l_n \\ l_{n+\tau} \\ l_{n+2\tau} \\ \vdots \\ l_{n+(e-1)\tau} \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Zaman serisindeki verileri e gömme boyutu ve τ zaman gecikmesiyle temsil edilmektedir. Oluşacak vektör sayısı Denklem 3.2 de gösterilmektedir.

$$n = n - (e - 1) * \tau \quad (3.2)$$

Bu vektörler ile tahmin vektörü arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak ağırlıklandırma değerleri Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanabilir.

$$w_j = \frac{1}{\sum_{j=1}^{e+1} \exp\left(-\frac{\|v_n - v_j\|}{\bar{w}}\right)} \exp\left(-\frac{\|v_n - v_i\|}{\bar{w}}\right), \bar{w} = \frac{1}{e+1} \sum_{j=1}^{e+1} \|v_n - v_j\| \quad (3.3)$$

Tahmin değerleri vektörler ve vektörlerin ağırlıkları kullanarak Denklem 3.4 yardımıyla hesaplanır.

$$Tahmin_{[1,2,...,T_a]} = \sum_{j=1}^{e+1} w_i * v_{i+[1,2,...,T_a]}^1 \quad (3.4)$$

3.3. Yöntemlerin Avantajları ve Dezavantajları

SARIMA modelinde, normalize edilmiş bir veri seti ile ihtiyaç duyulan parametreler belirlenip kullanılarak kolay bir tahmin yapılabilir. Bu modelde başlangıç noktalarındaki değişikliklerin tahmin sonuçlarına etkisi küçüktür. Ancak SARIMA modeline dışarıdan müdahale olanağınız son derece sınırlı olup veri setinin büyüklüğüne göre güçlü bir işlemci ve yüksek miktarda RAM'a ihtiyaç duyar.

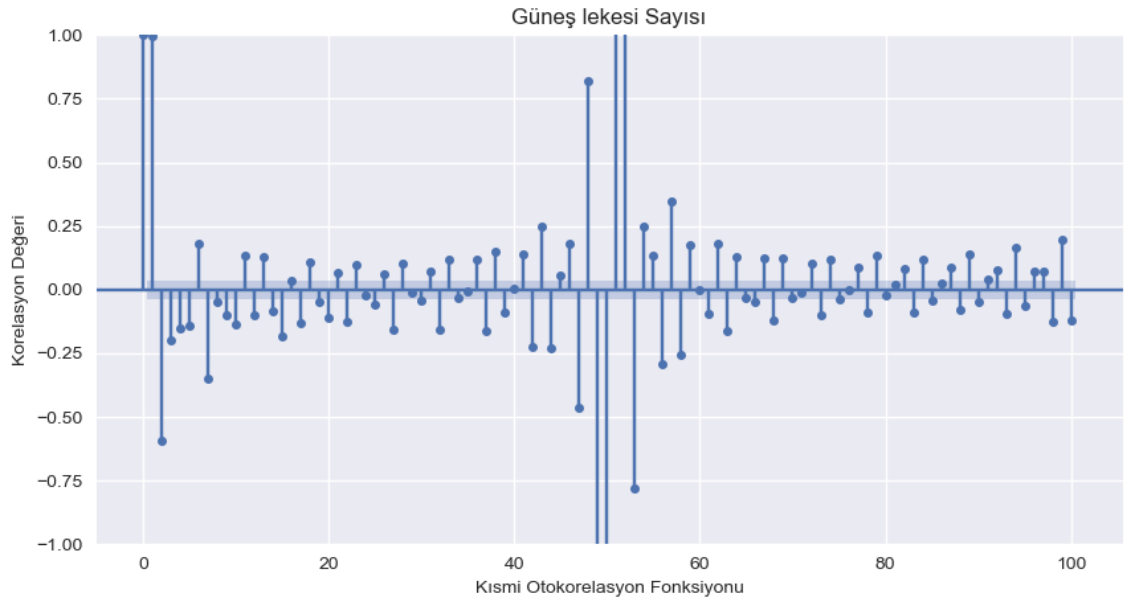
Simpleks projeksiyonu modelinde ise normalize edilmiş bir veri seti ile ihtiyaç duyulan parametreler belirlenip sonuçlara parametreler ve başlangıç noktalarını değiştirerek, olması gereken tahmin aralığına yakınlabilir. Bu model daha düşük işlemci ve ram ile çalışabilir. Diğer yandan Simpleks projeksiyonu modelinde uygun başlangıç noktaları, gömme boyutu ve zaman gecikmesi değerlerini belirlemek için çok fazla deneme yapılması gerekir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, SARIMA ve Simpleks Projeksiyonu modelleri kullanılarak SC 25'in maksimum evresindeki güneş leke sayıları ve maksimumun zamanı tahmin edilmiştir.

4.1. SARIMA Bulguları

SARIMA'da Mevsimsellik, belirli zaman aralığında tekrar eden düzenli desenler veya dalgalanmalar şeklinde ortaya çıkan zaman serisi düzenini ifade eder. Güneş lekeleri yaklaşık 11 yıllık bir çevrimde tekrar eden mevsimsel desene sahiptir. S terimiyle ifade edilen mevsimsellik gelecekteki tahminlerin tespit edilmesine olanak tanır. Güneş çevrimlerinin mevsimsel desenini doğru bir şekilde modellemek için kritik öneme sahiptir. SARIMA modelindeki parametreleri bulmak için öncelikle ACF ve PACF grafiklerinin elde edilmesi gerekir. Python programlama dilinde Ocak 1749 ile Temmuz 2023 arasındaki zaman dilimi kapsayan Belçika Kraliyet Gözlemevi Dünya Veri Merkezi SILSO tarafından sağlanan Uluslararası Güneş Leke Sayısı'nın (ISSN) ikinci versiyonu kullanılarak ACF ve PACF grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilen ACF ve PACF grafiklerinde, koyu bölgeler güven aralıklarını temsil eder. PACF grafiğinde bir değer bu taralı alanın dışındaysa, zaman serisinin o gecikmede (lag) önemli bir otokorelasyon gösterdiği anlamına gelir. ACF grafiğinde bir değer bu taralı alanın dışındaysa, bu değer istatistiksel olarak anlamlıdır ve zaman serisinin kendi geçmiş değerlerinden etkileniyor olabileceğini gösterir.



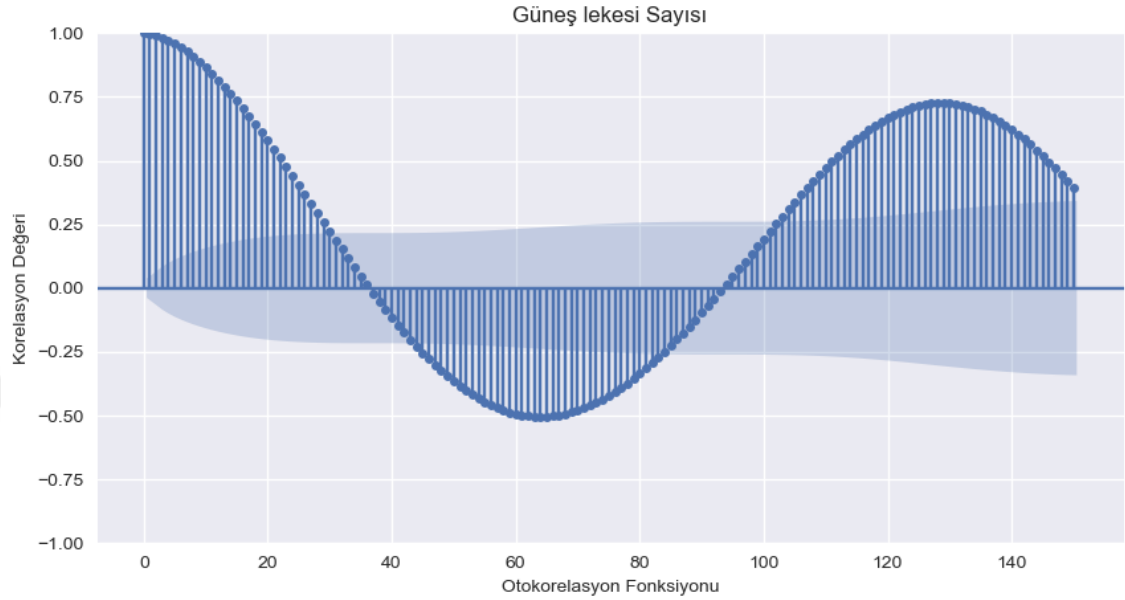
Şekil 4.1. PACF grafiği

PACF ve ACF grafiklerinden elde ettiğimiz SARIMA yönteminde kullanılacak parametreleri (S, D, P, Q, d, p, q) belirledikten sonra veri seti (Şekil 4.3) ve bu parametreler ile model fit edildi.

S: ACF grafiğinden ilk yüksek gecikme 128'dir. S=128 olarak belirlendi.

D: D=1, seri zaman içinde istikrarlı bir mevsimsel yapıya sahiptir.

P: ACF grafiği: P=1, ACF 128. gecikmede pozitif ve $P+Q \leq 2$



Şekil 4.2. ACF grafiği

Q: ACF grafiği: Q=0 ACF 128. gecikmede negatiftir ve $P+Q \leq 2$

d: Durağanlık testi farklılaşmama durumunda anlamlıdır, dolayısıyla $d=0$

p: PACF grafiği: p = değerin anlamlılık seviyesi %95 güven aralığı olarak belirlenir ve üzerinde olduğu ilk gecikme değeridir. p=16

q: ACF grafiği: q = değerin anlamlılık seviyesi %95 güven aralığı olarak belirlenir ve üzerinde olduğu ilk gecikme değeridir. q=30

Denklem 4.1’de Otoregresif (AR) Polinomu gösterilmektedir.

$$\phi_{16}(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_{16} B^{16} \quad (4.1)$$

Denklem 4.2’de Hareketli Ortalama (MA) Polinomu gösterilmektedir.

$$\theta_{30}(B) = 1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_{30} B^{30} \quad (4.2)$$

Denklem 4.3’te Mevsimsel Otoregresif (SAR) Polinomu gösterilmektedir.

$$\Phi_1(B^{128}) = 1 - \phi_1 B^{128} \quad (4.3)$$

Denklem 4.4’te Mevsimsel Hareketli Ortalama (SMA) Polinomu gösterilmektedir.

$$\theta_0(B^{128}) = 1 \quad (4.4)$$

Denklem 4.5’te genel polinom gösterilmektedir.

$$(1 - \Phi_1 B^{128}) (1 - B)^0 (1 - B^{128})^1 y_t = (1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_{30} B^{30}) \epsilon_t \quad (4.5)$$



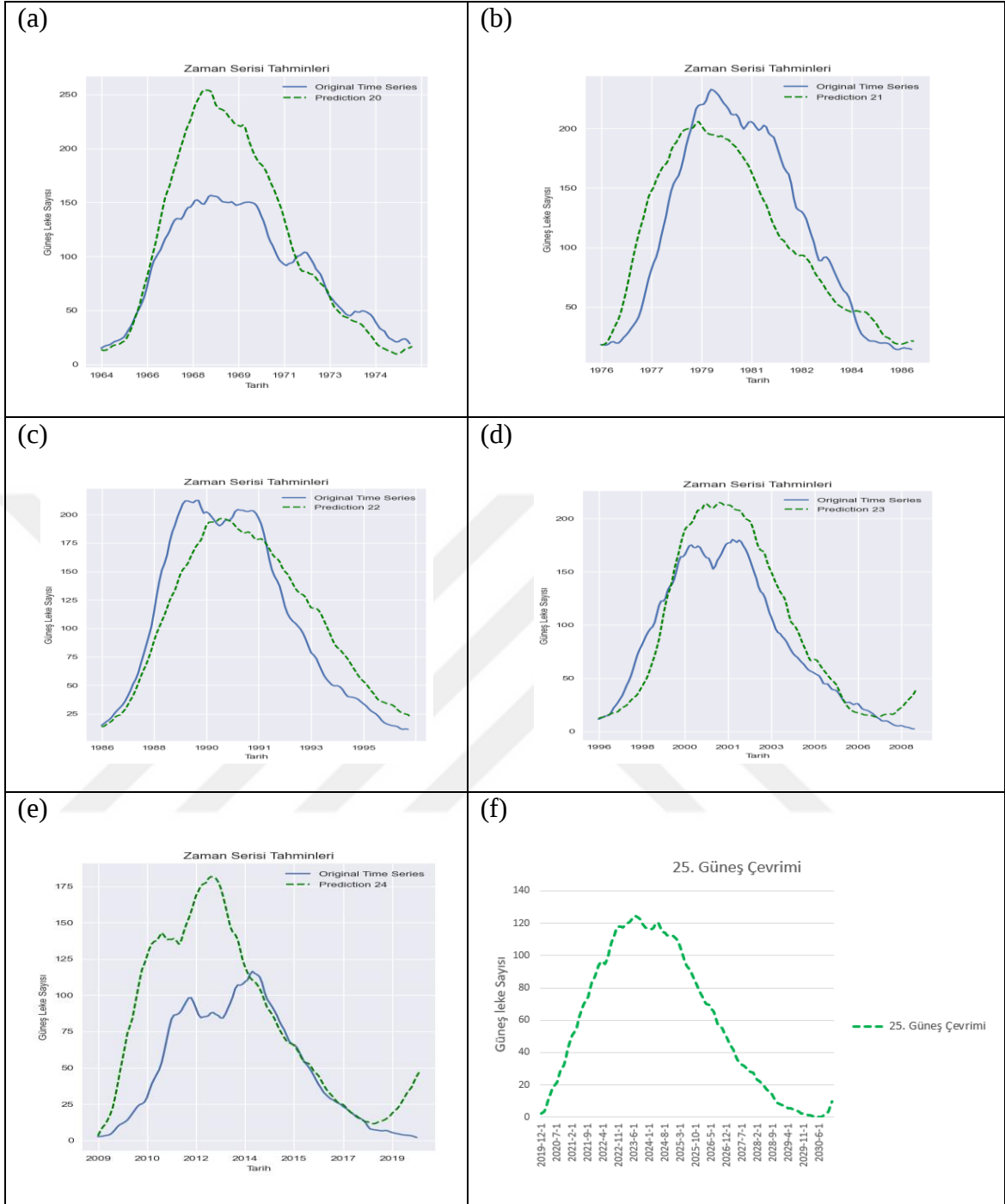
Şekil 4.3. Güneş leke çevrimi. Rölatif sayılarının aylık ortalama değerlerinin zamana göre değişimi. Grafikte veriler smooth fonksiyonu kullanarak düzleştirilmiştir (SILSO)

Şekil 4.3’te verilen veri kullanılarak belirlenen başlangıç parametreleri ile model çalıştırılmıştır. SC20-21-22-23-24 ün başlangıç ve bitiş tarihleri tahmin edilerek Çizelge 4.1 gösterilmiştir. Daha sonra modelden elde edilen tahmin sonuçları SC’lerin gözlem değerleriyle karşılaştırılarak modelin tahminlerinin doğruluk oranı test edilmiştir. Modelin SC 20-21-22-23-24 güneş çevrimlerinin başlangıç ve bitiş zamanlarını Şekil 4.6 da %75 doğrulukla tahmin ettiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.1. Güneş çevrimleri gözlenen ve tahmin edilen başlangıç bitiş tarihleri

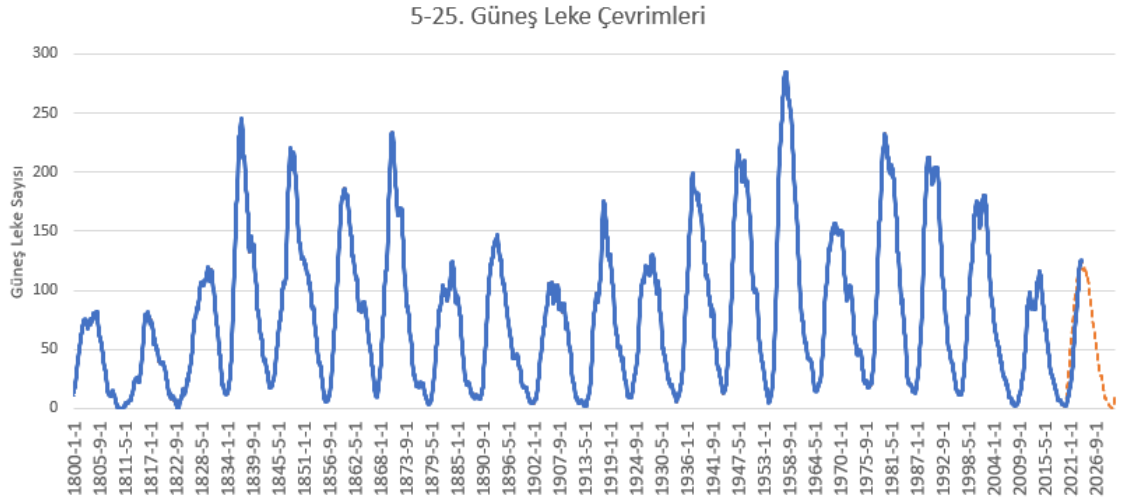
Güneş çevrimleri	Başlangıç-Bitiş Tarihleri	Gözlem Maximum değeri	Tahmin Maximum değeri
SC20	1964-Ekim 1976-Mart	157 (1968-Kasım)	254 (1968-Ağustos)
SC21	1976-Mart 1986 Eylül	233 (1979-Aralık)	205 (1979-Temmuz)
SC22	1986-Eylül 1996-Ağustos	213(1989-Kasım)	196 (1990-Ağustos)
SC23	1996-Ağustos 2008-Aralık	180 (2001-Kasım)	215 (2001-Mayıs)
SC24	2008-Aralık 2019-Aralık	116 (2014-Nisan)	181 (2012-Kasım)

Yüksek güvenilirlikle çalıştığı gözlenen Model, algoritma verileri korunarak 25. Güneş çevriminin başlangıç ve bitiş tarihlerini, maksimuma ulaşacağı tarih, elde edilen maksimum güneş leke sayısı gibi karakteristik özelliklerini belirlemek üzere tekrar çalıştırılmış ve SC20-25 için elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'te verilmektedir.

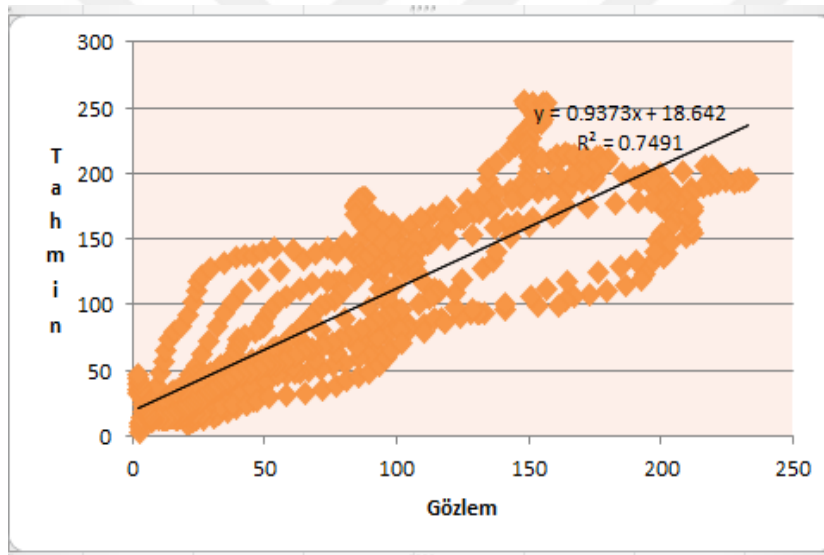


Şekil 4.4. a) Güneş çevrimi 20; b) Güneş çevrimi 21; c) Güneş çevrimi 22; d) Güneş çevrimi 23; e) Güneş çevrimi 24; f) Güneş çevrimi 25 için elde edilen tahminleri göstermektedir. Şekilde gözlemsel değerler düz çizgi ile, tahmin edilen değerler ise kesikli çizgilerle gösterilmiştir.

Haziran 2023'te maksimum genlik 124,51'e, Mayıs 2024'te ise 120,3'e ulaşmaktadır. Aralık 2019'dan Aralık 2030'a kadar olan tahmin değerleri Şekil 4.5'te kesikli çizgiyle, gözlem değerleri düz çizgiyle gösterilmektedir.



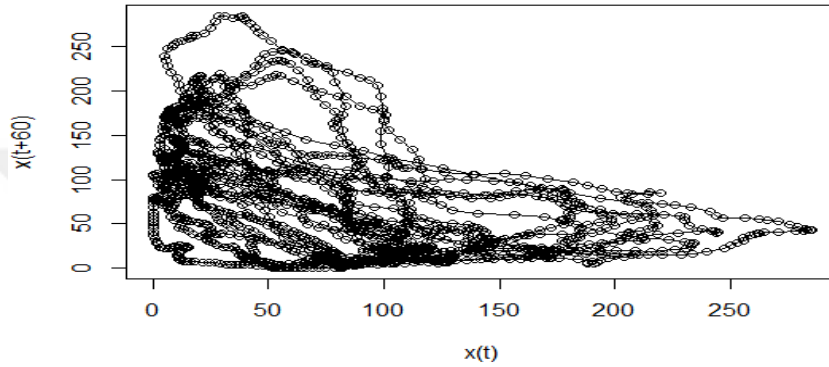
Şekil 4.5. 5-25. Güneş Çevrimleri (gözlem(düz çizgi) tahmin(kesikli çizgi))



Şekil 4.6. Gözlem ve Tahmin Veri Seti arası ilişki

4.2. Simpleks Projeksiyonu Bulguları

Simpleks projeksiyonu modelindeki parametreleri elde etmek için öncelikle gömme boyutları ve gecikme zamanları belirlenmelidir. Çalışmamızda eğitim verisi olarak ilk 19 Güneş çevrimine ait veriler kullanılıp modelin doğruluğunun SC20-24 ile kontrolü sağlanmıştır. R programlama dilinde Ocak 1749 ile Temmuz 2023 arasındaki zaman dilimi kapsayan Belçika Kraliyet Gözlemevi Dünya Veri Merkezi SILSO tarafından sağlanan Uluslararası Güneş Leke Sayısı'nın (ISSN) ikinci versiyonu kullanılarak zaman serisi verisi Şekil 4.3 de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Bozulmaya başlamış attractor (çekici)

R programlama dilinde rEDM kütüphanesi kullanılarak güneş çevrimlerini tek tek ele alarak başlangıç-bitiş noktaları arasında en uygun E (gömme boyutu) ve τ (zaman gecikmesi) değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. SC 20 için Şekil 4.8 (a) da gösterildiği üzere gömme boyutları ve bu gömme boyutlarının tahmin performansı değerleri görülmektedir. Ancak bu optimal E değerini doğrudan temsil etmez. Yöntem gereği taken grafiğinde kaotik yapıların korunması gerekmektedir. Elde edilen bütün E değerlerinin Şekil 4.7 görüldüğü üzere çekici çizimi yapılarak yapıların korunup konulmadığı kontrolü sağlanıp yapıların bozulmadığı kontrol edilmiştir. SC 20 için çekici yapıların korunduğu Şekil 4.8 b görülmektedir. Belirlenen E ve τ parametreleri ile simpleks projeksiyonu metodu kullanılarak SC 20 tahmin edilmiş ve gözlem değerleriyle karşılaştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir. Şekil 4.8 (c)).

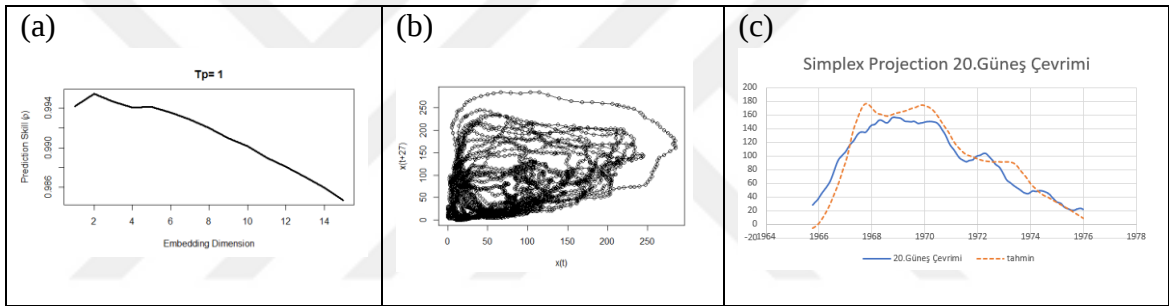
SC 21 için Şekil 4.9 (a) da gösterildiği üzere gömme boyutları ve bu gömme boyutlarının tahmin performansı değerleri görülmektedir. SC 21 için çekici yapıların korunduğu Şekil 4.9 b görülmektedir. Belirlenen E ve τ parametreleri ile simpleks projeksiyonu metodu kullanılarak SC 21 tahmin edilmiş ve gözlem değerleriyle karşılaştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir. Şekil 4.9 (c)).

SC 22 için Şekil 4.10 (a) da gösterildiği üzere gömme boyutları ve bu gömme boyutlarının tahmin performansı değerleri görülmektedir. SC 22 için çekici yapıların korunduğu Şekil 4.10 b görülmektedir. Belirlenen E ve τ parametreleri ile simpleks projeksiyonu metodu kullanılarak SC 22 tahmin edilmiş ve gözlem değerleriyle karşılaştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir (Şekil 4.10, c).

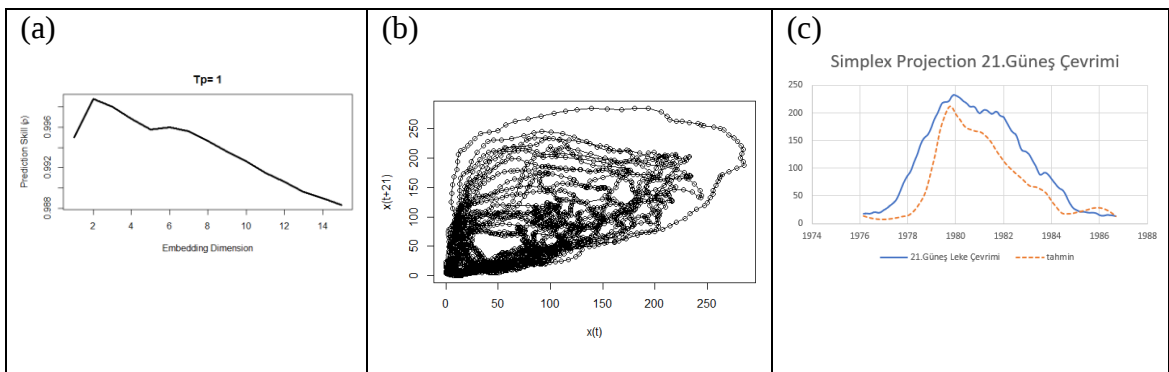
SC 23 için Şekil 4.11 a’da gösterildiği üzere gömme boyutları ve bu gömme boyutlarının tahmin performansı değerleri görülmektedir. SC 23 için çekici yapıların korunduğu Şekil 4. 11 b görünmektedir. Belirlenen E ve τ parametreleri ile simpleks projeksiyonu metodu kullanılarak SC 23 tahmin edilmiş ve gözlem değerleriyle karşılaştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir (Şekil 4. 11, c).

SC 24 için Şekil 4.12 a’da gösterildiği üzere gömme boyutları ve bu gömme boyutlarının tahmin performansı değerleri görülmektedir. SC 24 için çekici yapıların korunduğu Şekil 4.12 b görünmektedir. Belirlenen E ve τ parametreleri ile simpleks projeksiyonu metodu kullanılarak SC 24 tahmin edilmiş ve gözlem değerleriyle karşılaştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir (Şekil 4.12, c).

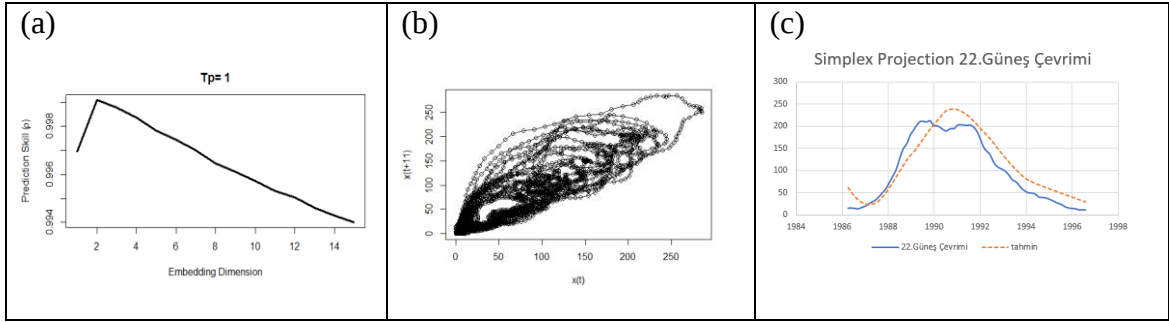
SC 25 için Şekil 4.13 a’da gösterildiği üzere gömme boyutları ve bu gömme boyutlarına karşın tahminlerindeki sonuçlar görülmektedir. Şekil 4.13 b’de SC 25 taken yapıların korunduğu grafik görünmektedir. Belirlenen E ve τ parametreleri ile simpleks projeksiyonu metodu kullanılarak SC 25 in 146,89 güneş leke sayısı değeri ile Ocak-2024’te ve 147,43 güneş leke sayısı değeri ile Mart 2025’ te maksimuma ulaşacağı tahmin edilmiştir (Şekil 4.1, c).



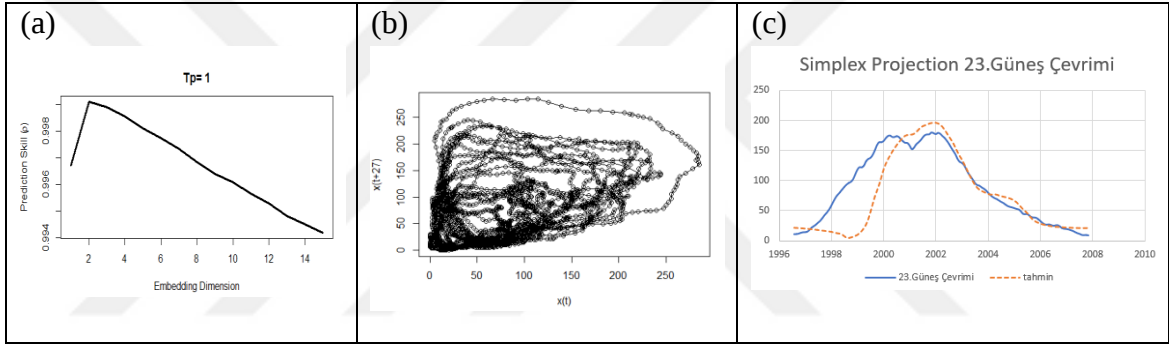
Şekil 4.8. a) 20. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 20. Güneş çevrimi çekici; c) 20. Güneş çevrimi tahmini



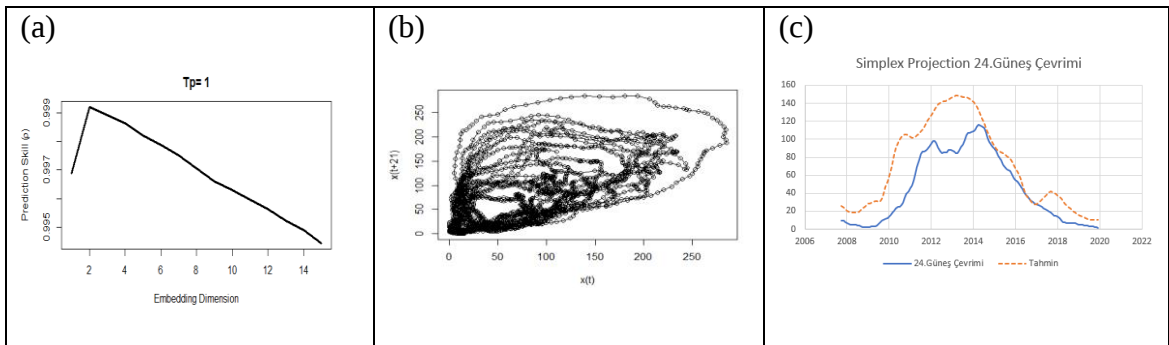
Şekil 4.9. a) 21. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 21. Güneş çevrimi çekici; c) 21. Güneş çevrimi tahmini



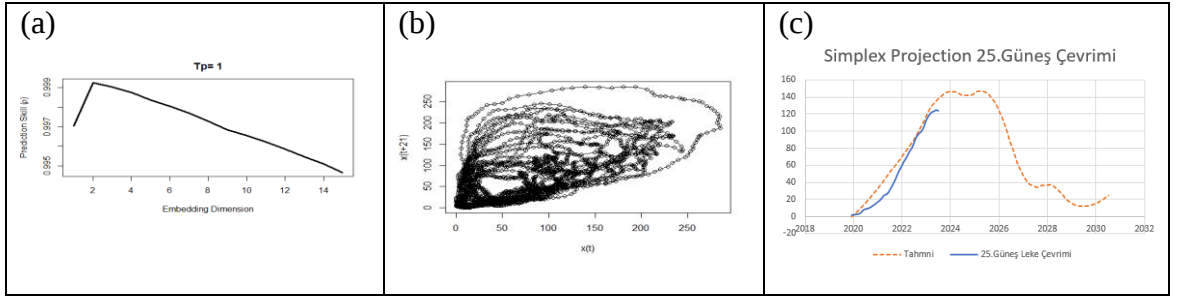
Şekil 4.10. a) 22. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 22. Güneş çevrimi çekici; c) 22. Güneş çevrimi tahmini



Şekil 4.11. a) 23. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 23. Güneş çevrimi çekici; c) 23. Güneş çevrimi tahmini



Şekil 4.12. a) 24. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 24. Güneş çevrimi çekici; c) 24. Güneş çevrimi tahmini



Şekil 4.13. a) 25. Güneş çevrimi gömme boyutu; b) 25. Güneş çevrimi çekici; c) 25. Güneş çevrimi tahmini

5. SONUÇLAR

Bu Tez çalışması kapsamında SARIMA ve Simpleks Projeksiyonu modelleri, Belçika, Brüksel'deki Kraliyet Gözlemevi WDC-SILSO tarafından sağlanan 13 aylık düzleştirilmiş güneş lekesi sayısı verileri veri seti kullanılarak SARIMA modeli 20-24. Güneş Çevrimlerindeki güneş leke sayılarını %77 doğrulukla tahmin etmektedir. 20-24. Güneş Çevrimlerinde elde edilen genlik değerleri sırasıyla 254, 205, 196, 215, 181 olarak belirlenmiştir. 25. Güneş Çevrimi tahmini SARIMA modelinde ilk pik için Haziran 2023'te 124 ± 51 leke sayısı olarak, ikinci pik için ise Mayıs 2024 de 120 ± 3 leke sayısı olarak tespit edilmiştir.

Simpleks Projeksiyonu modeli 20-24. Güneş Çevrimlerindeki güneş leke sayılarını %92 doğrulukla tahmin etmektedir. Buna göre, 20-24. Güneş Çevrimlerinde elde edilen genlik değerleri sırasıyla 174,211,239,197,155 olarak belirlenmiştir. 25. Güneş leke Çevrimi tahmini Simpleks Projeksiyonu modelinde ilk pik Ocak 2024'te 146 ± 89 leke sayısı olarak, ikinci pik ise Mart 2025'te 147 ± 43 leke sayısı olarak elde edilmiştir.

Hem Simpleks Projeksiyonu hem de SARIMA metotlarının 25. Güneş Çevrimi tahminlerinde başarılı olduğu ve 25. Güneş Çevriminin 24. Güneş Çevrimine göre biraz daha güçlü olacağı sonucu elde edilmiştir. Bu sonuç, Aleix Espuña Fontcuberta vd. (2023), J. Y. LU vd. (2022), Amrita Prasad vd. (2023), Hongbnig Zhu vd. (2023), Xu Su vd. (2023), Sayed S R Moustafa vd. (2023) gibi çalışmalarda da elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Ayrıca, yukarıda verilen çalışmalar incelendiğinde 25. Güneş Çevrimi için 13 adımda yürüyen ortalama kullanılarak elde edilen güneş leke sayısının 100 – 150 maksimum genlik arasında olması beklenmektedir.

Sonuç olarak SARIMA ve Simpleks Projeksiyonu metotlarının 25. Güneş Çevrimi dönemini başarıyla tahmin ettiği ve 25. Güneş leke çevriminin 24. Güneş leke Çevrimine göre daha güçlü bir çevrim olacağı tespit edilmiştir. Yine çalışma sonucunda elde edilen bir diğer bulgu da 25. Güneş leke Çevriminin de çift pike sahip bir çevrim olması beklenmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde özellikle simpleks projeksiyon yöntemi ile tahmin yapılırken parametrelerin hassasiyetle ve doğru seçilmesi gerektiğini sonucuna ulaşılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Anonymous 1. rEDM file online. <https://cran.rproject.org/web/packages/rEDM/index.html> [Son erişim tarihi: 15.08.2024].
- Aschwanden, M. J. 2007. The Sun. In L.-A. McFadden, P. R. Weissman, & T. V. Johnson (Eds.), *Encyclopedia of the Solar System* (2nd ed., pp. 71-98). Academic Press.
- Babcock, H.W. 1961. The topology of the Sun's magnetic field and the 22-year cycle. *Astrophys. J.*, 133: 572–587.
- Cameron, R.H., Dikpati, M. and Brandenburg, A. 2017. The global solar dynamo. *Space Science Reviews*, 210: 367-395.
- Espuña Fontcuberta, A., Ghosh, A., Chatterjee, S. *et al.* 2023. Forecasting Solar Cycle 25 with Physical Model-Validated Recurrent Neural Networks. *Sol Phys* **298**, 8. <https://doi.org/10.1007/s11207-022-02104-3>
- Evans, J.W. 1970. Introductory Review of Solar Activity. In McIntosh, P.S. and Dryer, M. (Ed.), *Solar Activity Observations Predictions*. MIT Press, England, pp. 3-4.
- Kilcik, A., Anderson, J.N.K., Rozelot, J.P., Ye, H., Sugihara, G. and Özgüç, A. 2009. Nonlinear prediction of solar cycle 24. *Astrophys. J.*, 693: 1173-117.
- Lu, J. Y., Xiong, Y. T., Zhao, K., Wang, M., Li, J. Y., Peng, G. S., & Sun, M. 2022. A Novel Bimodal Forecasting Model for Solar Cycle 25. *The Astrophysical Journal*, 924(2), 59. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac3488>
- Mirkan Y Kalkan, Diaa E Fawzy, A Talat Saygac, 2023 Predictions of solar activity cycles 25 and 26 using non-linear autoregressive exogenous neural networks, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 523, Issue 1, July 2023, Pages 1175–1181, <https://doi.org/10.1093/mnras/stad1460>
- Moustafa, S. S. R., & Khodairy, S. S. 2023. Comparison of different predictive models and their effectiveness in sunspot number prediction. *Physica Scripta*, 98(4), 045022. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/acc21a>
- Petchey, O. L. 2016. Simplex projection walkthrough. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.57081>
- Prasad, A., Roy, S., Sarkar, A. *et al.* 2023. An Improved Prediction of Solar Cycle 25 Using Deep Learning Based Neural Network. *Sol Phys* **298**, 50. <https://doi.org/10.1007/s11207-023-02129-2>
- Sarp, V., Kilcik, A., Yurchyshyn, V., Rozelot, J. P., & Ozguc, A. 2018. Prediction of solar cycle 25: A non-linear approach. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 481(3), 2981–2985. <https://doi.org/10.1093/mnras/sty2470>
- Stix, M. (2004). *The Sun: An Introduction*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 1-12.
- Su, X., Liang, B., Feng, S., Dai, W., & Yang, Y. 2023. Solar Cycle 25 Prediction Using N-BEATS. *The Astrophysical Journal*, 947(2), 50. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/acc799>

- Sugihara, G. and May, R.M. 1990. Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time series. *Nature*, 344: 734–41.
- Takens, F. 1981. Detecting strange attractors in turbulence. *Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics*, 898: 366–381. (Taken 1981).
- Tatum, J. 2022. Stellar atmospheres. In: *University of Victoria* (pp. 76-81).
- Xu, Q., Jain, R. & Xing, W. 2024 Data-Driven Forecasting of Sunspot Cycles: Pros and Cons of a Hybrid Approach. *Sol Phys* **299**, 25 . <https://doi.org/10.1007/s11207-024-02270-6>
- Zhu, H., Chen, H., Zhu, W., & He, M. 2023. Predicting Solar cycle 25 using an optimized long short-term memory model based on sunspot area data. *Advances in Space Research*, 71(8), 3521–3531. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.01.042>



ÖZGEÇMİŞ

Onur ÖZMEN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2020-2024	Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi
2012-2016	Fen Fakültesi, Bilgisayar Bilimleri Bölümü, İzmir

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Yazılım Geliştirici	SAN TSG, Android Geliştirici
2023-Devam Ediyor	Kotlin, Java, Sql Antalya
Yazılım Geliştirici	Kod Yazılım, Backend-Frontend Geliştirici
2021-2023	Kotlin, Java, Sql, C#, TypeScript, Html, CSS Antalya
Yazılım Geliştirici	Bilset Bilgisayar, Masaüstü Geliştirici, İzmir
2016-2018	C#, Sql , DevExpress

ESERLER

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve poster/sunumlar

1- Calisir M.A., Ozmen O., Kilcik A. 2023, “Prediction of the Solar Cycles 25 and 26 Using the Machine Learning Method (SARIMA)”, The 15th workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere, Book of Abstracts, Fifteenth Workshop, doi: 10.31401/WSoz.2023.abs

