

**KUZEY ATLANTİK SALINIMI VE GÜNEY SALINIM
İNDEKSİ İKLİM GÖSTERGELERİNİN SİNYAL ANALİZİ
YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE NORTH ATLANTIC
OSCILLATION AND SOUTHERN OSCILLATION INDEX
CLIMATE INDICES BY SIGNAL ANALYSIS METHODS**

BİRSEN GÜLER

Dr. Öğr. Üyesi YAKUP ÖZKAZANÇ

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2020

ÖZET

KUZEY ATLANTİK SALINIMI VE GÜNEY SALINIM İNDEKSİ İKLİM GÖSTERGELERİNİN SİNYAL ANALİZİ YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ

Birsen GÜLER

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ

Temmuz 2020, 188 sayfa

İklim, belirli bir bölgede uzun bir süre boyunca gözlenen sıcaklık, nem, hava basıncı, yağış miktarı, yağış şekli, rüzgâr hızı gibi meteorolojik olayların tipik davranışı ile ifade edilir. Buna bağlı olarak Dünya'nın iklim sistemi, atmosferin ve okyanusların doğal etkisiyle bir bölgenin rüzgâr, yağmur ve sıcaklık dağılımını kontrol eder. İklim sistemlerine bakıldığında durağan bir yapı değil, zaman içerisinde çeşitli etkenler sebebiyle değişen dinamik bir yapı gözlenmektedir ve bu değişim yerküre üzerindeki tüm çevreyi ve canlıları etkilemektedir. İklim sistemindeki değişiklikler iklim indeksleri ile ifade edilir. İklim indeksleri günlük, aylık, yıllık zaman serileridir ve hava basıncı, hava sıcaklığı, yağış, Güneş ışınması, deniz yüzeyi sıcaklığı, buz örtüsü gibi değişkenlerden meydana gelir. Bu tez çalışmasında Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda gözlenen iki farklı mevsimsel hareketlilik incelenmiş, bu hareketliliklerin yerküre üzerindeki periyodik ve aralıklı zamanlarda göstermiş olduğu etkiler araştırılmıştır. Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki iklimsel hareketliliğin karakteristiğini belirlemek için hava basıncına bağlı Kuzey Atlantik Salınım (NAO) iklim indeksi, Güney Pasifik Okyanusu'ndaki iklimsel hareketliliğin karakteristiğini belirlemek için ise hava

basıncına bağı Güney Salınım İndeksi (SOI) incelenmiştir. Bunun yanı sıra Güneş'ten gelen ışımanın yerküredeki iklim olaylarına etkisini incelemek için Güneş Lekesi Sayısı (SSN) iklim indeksi de çalışmaya dahil edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı veri kümelerinin periyotları yani döngüleri ayrı ayrı belirlenmeye çalışılmış, bu amaç doğrultusunda özilinti yöntemi, periyodogram analizi, değişkin periyodogram analizi ve Welch yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, iklim göstergelerinin birbirleri ile olan ilişkileri çapraz ilinti yöntemi ile incelenmiştir. Wigner-Ville Dönüşümü (WVD) yöntemi kullanılarak, NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı iklim göstergelerinin zaman-frekans dönüşüm analizleri yapılmış, bu sayede sinyallerin aynı anda hem zaman hem de frekans alanında incelenmeleri mümkün olmuştur. Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü (XWVD) yöntemi ile iklim göstergelerinin aralarındaki ilinti, zaman-frekans alanında ayrıca incelenmiştir. Çalışmanın son kısmında Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi kullanılarak Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI arasında dinamik bir sistem modeli tanımlanmış, iklimsel hareketliliklerin aralarındaki ilişki modellenmeye çalışılmıştır. Analizler sonucunda Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda gerçekleşen iklimsel hareketlilikler karakterize edilmeye çalışılmış, bu hareketliliklerin yerküre üzerinde yarattıkları etkileri incelenmiştir.

Periyot analizleri sonucunda Kuzey Atlantik Salınımı, Güney Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotların büyük bir kısmının ortak periyotlar olduğu görülmüştür. Ayrıca iki salınım içerisindeki tüm periyotların Güneş Lekesi veri kümesi periyotları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Çapraz analiz sonuçları ile Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda gerçekleşen iklimsel hareketliliklerin birbirleri ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Güneş Lekesi veri kümeleri ile gerçekleştirilen çapraz ilinti analizleri sonucunda Güneş'in iki salınım üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Güneş'in iki salınım üzerinde etkili olan temel bir olgu olduğu tez çalışmasının önemli bir sonucu olarak elde edilmiştir. Güneş Lekesi Sayısı veri kümesinin Wigner-Ville Dönüşümü sonucu ile Güneş yüzeyi üzerindeki enerji yoğunluğunun zaman içerisinde periyodik bir biçimde artıp azaldığı gözlenmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı veri kümesinin Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerin güçlü Kuzey Atlantik Salınımı evrelerine karşılık geldiği tespit edilmiştir. Güney Salınım İndeksi veri kümesinin Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda ise enerji

yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerin Dünya'nın iklimini etkileyen önemli El-Niño ve La-Niña evrelerine karşılık geldiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim İndeksi, Kuzey Atlantik Salınımı, Güney Salınım İndeksi, Güneş Lekesi Sayısı, Periyodogram Analizi, Welch Yöntemi, Wigner-Ville Dönüşümü, Kanonik Korelasyon Analizi, El-Niño, La-Niña.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE NORTH ATLANTIC OSCILLATION AND SOUTHERN OSCILLATION INDEX CLIMATE INDICES BY SIGNAL ANALYSIS METHODS

Birsen GÜLER

Master of Science, Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Lecturer Dr. Yakup ÖZKAZANÇ

July 2020, 188 pages

Climate is expressed as the typical trends of meteorological events such as temperature, humidity, air pressure, amount of precipitation, type of precipitation and wind speed observed over a long period of time in a particular area. Accordingly, the climate system of the world controls the distribution of wind, rain, and temperature of a region by the natural forces of the atmosphere and oceans. When the climate system is considered, it is not a static system, but it is a dynamic system that changes due to various factors over time and this fluctuation affects all the environment and living creature on earth. Changes in climate system are described with climate index. Climate indexes are daily, monthly, yearly time series and consist of parameters such as air pressure, air temperature, precipitation, solar radiation, sea surface temperature. In this thesis, two different climate motions occurring in the North Atlantic Ocean and South Pacific Ocean are investigated, their effects on the earth that are periodic or intermittent are searched. To determine the characteristic of climatic activity in the North Atlantic Ocean, the North Atlantic Oscillation (NAO) climate index that is air pressure index is examined. To determine the characteristic of climatic activity in the South Pacific Ocean, the Southern Oscillation

Index (SOI) which is air pressure index is examined. In addition, to examine the effect of radiation from the Sun on climate events in the Earth, Sunspot Number (SSN) climate index is also examined.

In the first stage of thesis, periods of data sets of NAO, SOI and Sunspot Number are determined by separately. For determining periods of data sets, autocorrelation method, periodogram analysis, modified periodogram analysis, and Welch's method are used. Moreover, the relationship between climate indicators is investigated by using cross correlation method. Afterwards, time-frequency transform analysis of data sets of NAO, SOI and Sunspot Number are examined by using Wigner-Ville Transformation (WVD). Thus, it is possible to observe the signal simultaneously in both time and frequency domain. The correlation between climate indicators is investigated in the time-frequency domain by using the Cross Wigner-Ville Transformation (XWVD) method. In the last part of thesis, a dynamic system model between Sunspot Number, NAO and SOI climate indexes is defined by using Canonical Correlation Analysis method. Thus, the relationship between climatic movements is tried to be modeled. As a result of the analyses, climatic movements in the North Atlantic Ocean and the South Pacific Ocean are tried to characterize and effects of these movements on the Earth are examined.

As a result of the period analysis, it is observed that most of the dominant periods observed in North Atlantic Oscillation and South Oscillation are common periods. In addition, it is determined that the all periods in the two oscillations are within the periods of the Sunspot data set. In cross-analysis results, it is observed that the climatic movements in the North Atlantic Ocean and the South Pacific Ocean are related to each other. As a result of the cross-correlation analysis performed with the Sunspot data set, it is observed that the Sun is effective on two oscillations. It is obtained as an important result of the thesis study that the Sun is a fundamental phenomenon affecting the two oscillations. As a result of the Wigner-Ville Transformation of the Sunspot Number data set, it is observed that the energy density on the solar surface increases and decreases periodically. As a result of the Wigner-Ville Transformation of the North Atlantic Oscillation data set, it is determined that dates with high energy density correspond to strong North Atlantic Oscillation phases. As a result of the Wigner-Ville Transformation of the South Oscillation Index data set, it is observed that the dates with high energy density correspond to important El-Niño and La-Niña phases that affect the Earth climate.

Keywords: Climate Index, North Atlantic Oscillation, Southern Oscillation Index, Sunspot Number, Periodogram Analysis, Welch's Method, Wigner-Ville Transformation, Canonical Correlation Analysis, El-Niño, La-Niña.

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen, sahip olduğu engin bilgi ve deneyimlerini paylaőan, her zaman pozitif ve yapıcı eleőtirilerde bulunan çok değerli tez danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ'a içtenlikle teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, desteklerinden dolayı güven ve huzur duyduğum başta ablam Meryem KIRICIOĞLU olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELER.....	x
ŞEKİLLER.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
SÖZLÜK.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
Tezin Amacı ve Akışı.....	3
2. İKLİM GÖSTERGELERİ.....	5
2.1. Kuzey Atlantik Salınımı (NAO).....	5
2.2. Güney Salınım İndeksi (SOI).....	8
2.3. Güneş Lekesi Sayısı (SSN).....	12
3. ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	13
3.1. Periyot Analizi.....	13
3.1.1. Özilinti Analizi.....	13
3.1.2. Periyodogram Analizi.....	14
3.1.3. Değişkin Periyodogram Analizi.....	16
3.1.4. Welch Yöntemi.....	16
3.2. Çapraz İlinti Analizi.....	17
3.2.1. Spektral Uyumluluk.....	17
3.3. Zaman-Frekans Analizi.....	18
3.3.1. Wigner-Ville Dönüşümü (WVD).....	19
3.3.2. Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü (XWVD).....	19
3.4. Kanonik Korelasyon Analizi.....	20
Kanonik Korelasyon Analizi ile Sistem Tanıma.....	22
4. İKLİM GÖSTERGELERİ PERİYOT ANALİZİ.....	23
4.1. Güneş Lekesi Sayısı Periyot Analizi.....	26
4.2. Kuzey Atlantik Salınımı Periyot Analizi.....	36

4.2.1. Kuzey Atlantik Salınımı Aylık Veri Kümesi Periyot Analizi.....	36
4.2.2. Kuzey Atlantik Salınımı Günlük Veri Kümesi Periyot Analizi	55
4.3. Güney Salınım İndeksi Periyot Analizi.....	65
4.3.1. Güney Salınım İndeksi Aylık Veri Kümesi Periyot Analizi	65
4.3.2. Güney Salınım İndeksi Günlük Veri Kümesi Periyot Analizi	89
4.4. İklim Göstergeleri Periyot Analizi: Genel Değerlendirme	98
5. İKLİM GÖSTERGELERİ ÇAPRAZ İLİNTİ ANALİZİ	100
5.1. Kuzey Atlantik Salınımı -Güneş Lekesi Sayısı Çapraz İlinti Analizi.....	100
5.2. Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Çapraz İlinti Analizi	102
5.3. Kuzey Atlantik Salınımı- Güney Salınım İndeksi Çapraz İlinti Analizi.....	104
5.4. Kuzey Atlantik Salınımı -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi ...	106
5.5. Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi.....	108
5.6. Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Spektral Uyumluluk Analizi	110
6. İKLİM GÖSTERGELERİ ZAMAN-FREKANS ANALİZİ.....	113
6.1. Güneş Lekesi Zaman Serisi Wigner-Ville Dönüşümü.....	113
6.2. Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü.....	118
6.3. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü	127
6.4. Güneş Lekesi Sayısı-Kuzey Atlantik Salınımı Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü	136
6.5. Güneş Lekesi Sayısı-Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü	139
6.6. Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü	142
7. GÜNEŞ LEKESİ SAYISI, NAO VE SOI DİNAMİK SİSTEM MODELİ	145
7.1. Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı Arasındaki Sistem Modeli ...	145
7.2. Güneş Lekesi Sayısı ve Güney Salınım İndeksi Arasındaki Sistem Modeli	150
7.3. Güneş Lekesi Sayısı, Güney Salınım İndeksi ve Kuzey Atlantik Salınımı Arasındaki Sistem Modeli.....	156
8. SONUÇLAR.....	171
KAYNAKLAR	178
EKLER	183
EK 1- Tezden Üretilmiş Bildiriler.....	183
EK 2- Tez Çalışması Orijinallik Raporu	187
ÖZGEÇMİŞ	188

ÇİZELGELER

Çizelge 4.1.	İklim İndeksleri Zaman Serilerinin Kaydedildiği Tarih Aralıkları.....	23
Çizelge 4.2.	264 Yıllık Zaman Uzunluğunun Harmonikleri.	26
Çizelge 4.3.	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analizi Sonuçları.	32
Çizelge 4.4.	Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Periyodogram Analizi).	35
Çizelge 4.5.	Kuzey Atlantik Salınımı Periyodogram Analizi Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).	38
Çizelge 4.6.	Kuzey Atlantik Salınımı (Aylık Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	39
Çizelge 4.7.	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Periyodogram Analizi).	41
Çizelge 4.8.	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.	41
Çizelge 4.9.	Kuzey Atlantik Salınımı Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).	43
Çizelge 4.10.	Kuzey Atlantik Salınımı (Aylık Veri Kümesi, Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	44
Çizelge 4.11.	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz).	46
Çizelge 4.12.	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.	46
Çizelge 4.13.	Kuzey Atlantik Salınımı Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).	48
Çizelge 4.14.	Kuzey Atlantik Salınımı (Aylık Veri Kümesi, Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	49
Çizelge 4.15.	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analiz Sonuçları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz).	51

Çizelge 4.16. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.	51
Çizelge 4.17. Kuzey Atlantik Salınımı Welch Yöntemi ile Periyot Analizi Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).	53
Çizelge 4.18. Kuzey Atlantik Salınımı (Aylık Veri Kümesi, Welch Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.....	54
Çizelge 4.19. Kuzey Atlantik Salınımı Periyodogram Analiz Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).	57
Çizelge 4.20. Kuzey Atlantik Salınımı (Günlük Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	58
Çizelge 4.21. Kuzey Atlantik Salınımı Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).	60
Çizelge 4.22. Kuzey Atlantik Salınımı (Günlük Veri Kümesi, Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.....	61
Çizelge 4.23. Kuzey Atlantik Salınımı Welch Yöntemi ile Periyot Analizi (Günlük Veri Kümesi).	63
Çizelge 4.24. Kuzey Atlantik Salınımı (Günlük Veri Kümesi, Welch Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.....	64
Çizelge 4.25. Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analiz Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).	67
Çizelge 4.26. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	68
Çizelge 4.27. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Kuzey Atlantik Salınımı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	69
Çizelge 4.28. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Periyodogram Analizi).....	71
Çizelge 4.29. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.....	71
Çizelge 4.30. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Periyodogram Analizi) ile Kuzey Atlantik Salınımı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.....	72

Çizelge 4.31. Güney Salınım İndeksi Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).	74
Çizelge 4.32. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	75
Çizelge 4.33. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Kuzey Atlantik Salınımı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	76
Çizelge 4.34. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).	77
Çizelge 4.35. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.	78
Çizelge 4.36. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Kuzey Atlantik Salınımı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.	79
Çizelge 4.37. Güney Salınım İndeksi Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).	81
Çizelge 4.38. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotları.	82
Çizelge 4.39. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Kuzey Atlantik Salınımı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	83
Çizelge 4.40. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).	84
Çizelge 4.41. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.	85
Çizelge 4.42. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Kuzey Atlantik Salınımı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.	86
Çizelge 4.43. Güney Salınım İndeksi Welch Yöntemi ile Periyot Analizi Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).	87

Çizelge 4.44. Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analiz Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).....	91
Çizelge 4.45. Güney Salınım İndeksi (Günlük Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	92
Çizelge 4.46. Güney Salınım İndeksi Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).....	94
Çizelge 4.47. Güney Salınım İndeksi (Günlük Veri Kümesi, Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.	95
Çizelge 4.48. Güney Salınım İndeksi Welch Yöntemi ile Periyot Analizi Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).....	97
Çizelge 4.49. Güney Salınım İndeksi (Günlük Veri Kümesi, Welch Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.....	97
Çizelge 6.1. Güneş Lekesi Sayısı 1754-2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşüm Analiz Sonuçları.....	114
Çizelge 6.2. Güneş Lekesi Sayısı 1951-2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşüm Analiz Sonuçları.....	117
Çizelge 6.3. Negatif NAO ve Pozitif NAO Yılları [55], [56], [57], [58].....	119
Çizelge 6.4. Kuzey Atlantik Salınımı 1950 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.	123
Çizelge 6.5. Kuzey Atlantik Salınımı 1969 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.	124
Çizelge 6.6. Kuzey Atlantik Salınımı 1990 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.	125
Çizelge 6.7. El-Niño ve La-Niña Yılları [59].....	128
Çizelge 6.8. Güney Salınım İndeksi 1995 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.	132
Çizelge 6.9. Güney Salınım İndeksi 2004 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.	133
Çizelge 6.10. Güney Salınım İndeksi 2009 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.	134
Çizelge 6.11. Kuzey Atlantik Salınımı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.	144

Çizelge 7.1.	Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları, Rezonans Periyotlarının Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	148
Çizelge 7.2.	Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları, Rezonans Periyotlarının Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	153
Çizelge 7.3.	SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları.	160
Çizelge 7.4.	SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotlarının NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	162
Çizelge 7.5.	NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları.	166
Çizelge 7.6.	NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotlarının SOI, NAO ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	168

ŞEKİLLER

Şekil 1.1.	Küresel Taşıma Bandı (Global Conveyor Belt) [4].	2
Şekil 2.1.	Kuzey Atlantik Salınım Fazları, Pozitif NAO ve Negatif NAO [14].	6
Şekil 2.2.	Kuzey Atlantik Salınımı Etkileri [16].	7
Şekil 2.3.	Pasifik Okyanusu [19].	8
Şekil 2.4.	Güney Salınım İndeksi Fazları, La Niña ve El Niño [20].	10
Şekil 3.1.	Doğrusal Dinamik Sistem Modeli.	22
Şekil 4.1.	Kuzey Atlantik Salınım İndeksi Aylık Zaman Serisi.	24
Şekil 4.2.	Güney Salınım İndeksi Aylık Zaman Serisi.	24
Şekil 4.3.	Güneş Lekesi Sayısı Aylık Zaman Serisi.	25
Şekil 4.4.	a) Güneş Lekesi Sayısı Özilinti Analizi b) Özilinti Analizi Detaylı Gösterimi.	29
Şekil 4.5.	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analizi (Frekans-Güç).	30
Şekil 4.6.	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analizi (Periyot-Güç).	31
Şekil 4.7.	Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Frekans Analizi (Periyodogram Analizi).	34
Şekil 4.8.	Kuzey Atlantik Salınımı Özilinti Analizi (Aylık Veri Kümesi).	36
Şekil 4.9.	Kuzey Atlantik Salınımı Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).	37
Şekil 4.10.	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi (Periyodogram Analizi).	40
Şekil 4.11.	Kuzey Atlantik Salınımı Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).	42
Şekil 4.12.	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).	45
Şekil 4.13.	Kuzey Atlantik Salınımı Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).	47
Şekil 4.14.	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).	50
Şekil 4.15.	Kuzey Atlantik Salınımı Welch Analizi (Aylık Veri Kümesi).	52
Şekil 4.16.	Kuzey Atlantik Salınımı Özilinti Analizi (Günlük Veri Kümesi).	55
Şekil 4.17.	Kuzey Atlantik Salınımı Periyodogram Analizi (Günlük Veri Kümesi).	56

Şekil 4.18.	Kuzey Atlantik Salınımı Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Günlük Veri Kümesi).....	59
Şekil 4.19.	Kuzey Atlantik Salınımı Welch Analizi (Günlük Veri Kümesi).....	62
Şekil 4.20.	Güney Salınım İndeksi Özilinti Analizi (Aylık Veri Kümesi).	65
Şekil 4.21.	Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).....	66
Şekil 4.22.	Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi (Periyodogram Analizi).	70
Şekil 4.23.	Güney Salınım İndeksi Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).	73
Şekil 4.24.	Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).	77
Şekil 4.25.	Güney Salınım İndeksi Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).	80
Şekil 4.26.	Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).	84
Şekil 4.27.	Güney Salınım İndeksi Welch Analizi (Aylık Veri Kümesi).....	87
Şekil 4.28.	Güney Salınım İndeksi Özilinti Analizi (Günlük Veri Kümesi).	89
Şekil 4.29.	Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analizi (Günlük Veri Kümesi)...	90
Şekil 4.30.	Güney Salınım İndeksi Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Günlük Veri Kümesi).....	93
Şekil 4.31.	Güney Salınım İndeksi Welch Analizi (Günlük Veri Kümesi).....	96
Şekil 5.1.	a) Kuzey Atlantik Salınımı- Güneş Lekesi Sayısı Çapraz İlinti Analizi b) Çapraz İlinti Analizi Detaylı Gösterimi.....	100
Şekil 5.2.	a) Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Çapraz İlinti Analizi b) Çapraz İlinti Analizi Detaylı Gösterimi.....	102
Şekil 5.3.	Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Çapraz İlinti Analizi.	104
Şekil 5.4.	Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Çapraz İlinti Analizi (Normalize).....	105
Şekil 5.5.	Kuzey Atlantik Salınımı -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi (Frekans – Uyumluluk Katsayısı).	106
Şekil 5.6.	Kuzey Atlantik Salınımı -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi (Periyot -Uyumluluk katsayısı).....	107

Şekil 5.7.	Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi (Frekans – Uyumluluk Katsayısı).	108
Şekil 5.8.	Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi (Periyot -Uyumluluk katsayısı).	109
Şekil 5.9.	Kuzey Atlantik Salınımı -Güney Salınım İndeksi Spektral Uyumluluk Analizi (Frekans – Uyumluluk Katsayısı).....	110
Şekil 5.10.	Kuzey Atlantik Salınımı -Güney Salınım İndeksi Spektral Uyumluluk Analizi (Periyot -Uyumluluk katsayısı).	111
Şekil 6.1.	Güneş Lekesi Sayısı 1754-2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.	113
Şekil 6.2.	Güneş Lekesi Sayısı 01/1951-10/2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.	115
Şekil 6.3.	a) Güneş Lekesi Sayısı 1951-2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı, b) Faz Cevabı.	116
Şekil 6.4.	Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü Zaman Analizi.	118
Şekil 6.5.	Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü Frekans Analizi. ...	120
Şekil 6.6.	a) Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı, b) Faz Cevabı.	121
Şekil 6.7.	Kuzey Atlantik Salınımı 1950 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.	122
Şekil 6.8.	Kuzey Atlantik Salınımı 1969 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.	123
Şekil 6.9.	Kuzey Atlantik Salınımı 1990 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.	125
Şekil 6.10.	Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü Sonuçlarının Histogram Analizi.	126
Şekil 6.11.	Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü Zaman Analizi.	127
Şekil 6.12.	Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü Frekans Analizi.	129
Şekil 6.13.	Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı, b) Faz Cevabı.	130
Şekil 6.14.	Güney Salınım İndeksi 1995 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.	131
Şekil 6.15.	Güney Salınım İndeksi 2004 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.	132

Şekil 6.16.	Güney Salınım İndeksi 2009 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.....	133
Şekil 6.17.	Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü Sonuçlarının Histogram Analizi.	135
Şekil 6.18.	Güneş Lekesi Sayısı- Kuzey Atlantik Salınımı Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü.....	136
Şekil 6.19.	Güneş Lekesi Sayısı- Kuzey Atlantik Salınımı Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı.	137
Şekil 6.20.	Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü, Güneş Lekesi Sayısı Wigner-Ville Dönüşümü Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarihler.	138
Şekil 6.21.	Güneş Lekesi Sayısı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü.....	139
Şekil 6.22.	Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü ile Güneş Lekesi Sayısı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü Karşılaştırılması.	140
Şekil 6.23.	Güneş Lekesi Sayısı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı.	141
Şekil 6.24.	Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü, Güneş Lekesi Sayısı Wigner-Ville Dönüşümü Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarihler.	142
Şekil 6.25.	Kuzey Atlantik Salınımı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü.....	143
Şekil 7.1.	Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistem Modeli.	145
Şekil 7.2.	Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistem Modeli U ve V Kanonik Değişkenleri Arasındaki İlişkisi, $\rho= 0,8276$	146
Şekil 7.3.	Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistem Modeli HNS(z) Bode Diyagramı.....	147
Şekil 7.4.	Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli.	150
Şekil 7.5.	Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli U ve V Kanonik Değişkenleri Arasındaki İlişkisi, $\rho= 0,8585$	151
Şekil 7.6.	Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli HSS(z) Bode Diyagramı.....	152
Şekil 7.7.	Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI Arasındaki İlişki.....	156

Şekil 7.8.	Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli.	156
Şekil 7.9.	SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistem Modeli HNS(z) Bode Diyagramı.....	159
Şekil 7.10.	NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli HSS(z) Bode Diyagramı.	165

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ENSO	El-Nino/Güney Salınımı El-Nino/Southern Oscillation
NAO	North Atlantic Oscillation Kuzey Atlantik Salınımı
SLP	Sea Level Pressure Deniz Seviyesi Basıncı
SO	Southern Oscillation Güney Salınımı
SOI	Southern Oscillation Index Güney Salınım İndeksi
SSN	Sunspot Number Güneş Lekesi Sayısı
SST	Sea Surface Temperature Deniz Yüzeyi Sıcaklığı
WWD	Wigner-Ville Distribution Wigner-Ville Dağılımı
XWWD	Cross Wigner-Ville Transformation Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü

SÖZLÜK

Çapraz Dağılım	Cross Distribution
Çapraz İlinti	Cross Correlation
Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü	Cross Wigner-Ville Transformation
Değişkin Periyodogram	Modified Periodogram
Deniz Seviyesi Basıncı	Sea Level Pressure
Deniz Yüzeyi Sıcaklığı	Sea Level Temperature
El-Nino/Güney Salınımı	El-Nino/Southern Oscillation
Enlem	Latitude
Güneş Lekesi Sayısı	Sunspot Number
Güney Pasifik Okyanusu	South Pacific Ocean
Güney Salınım İndeksi	Southern Oscillation Index
Güney Salınımı	Southern Oscillation
Güç Spektral Kestirimi	Power Spectral Estimation
Güç Spektral Yoğunluğu	Power Spectral Density
Gün-Tün Eşitliği	Equinox
İki seviyeli	Biphase
İklim İndeksi	Climate Index
Kanonik Korelasyon	Canonic Correlation
Kıtasallık	Continentality
Kuzey Atlantik Okyanusu	North Atlantic Ocean
Kuzey Atlantik Salınımı	North Atlantic Oscillation
Küresel Taşıma Bandı	Global Conveyor Belt
Özilinti	Autocorrelation
Periyodogram	Periodogram

Spektral Uyumluluk

Spectral Coherence

Uzak Bağlantı

Teleconnection

Yükselti

Elevation

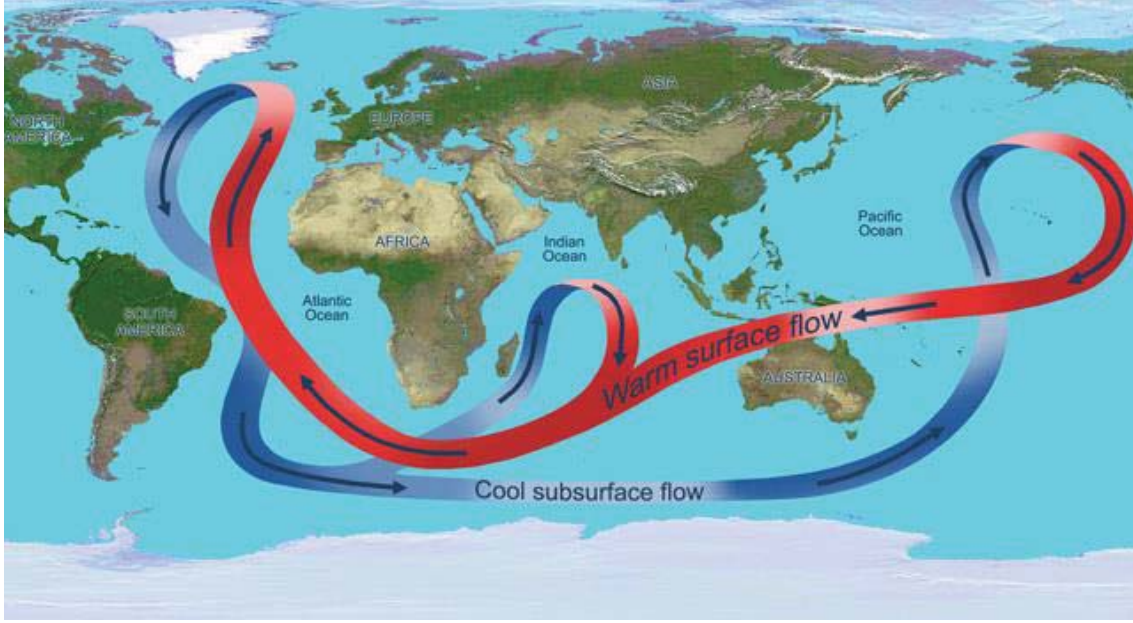
Wigner-Ville Dönüşümü

Wigner-Ville Transformation

1. GİRİŞ

İklim, belirli bir bölgede uzun bir süre boyunca gözlenen sıcaklık, nem, hava basıncı, yağış miktarı, yağış şekli, rüzgâr hızı gibi meteorolojik olayların ortalaması ile ifade edilir ve klimatoloji bilimi tarafından incelenir [1]. Dünya'nın iklim sistemi, Güneş, okyanuslar, atmosfer, kriyosfer, kara yüzeyi ve biyosfer arasındaki karmaşık bir etkileşimden oluşur ve bu sistem zaman içerisinde değişen dinamik bir yapıya sahiptir [2].

İklim sistemini etkileyen başlıca faktörler okyanus akıntıları, karasallık, rüzgâr, yükselti ve enlemdir. Okyanus akıntıları bu faktörler arasında önemli bir yere sahiptir. Dünya'nın şeklinden ve yörüngesel hareketin niteliğinden dolayı yıl boyunca ekvatorial bölgeler kutuplara yakın bölgelere oranla daha fazla güneş enerjisi alırlar. Bu durum tropikal okyanusların ve karaların yerkürenin diğer bölgelerine göre daha fazla ısı soğumasına neden olur. Bu bölgelerde toplanan ısıyı yerkürenin diğer bölgelerine dağıtmak için hava küre ve okyanuslar birlikte hareket eder. Sıcak ekvator suları okyanus yüzeyi çevresindeki havayı ısıtıp genişleterek yükseltir ve havanın kutuplara doğru hareketini sağlar. Kutuplardaki soğuk ve yoğun hava ise sıcak havanın yerini doldurmak için ekvatora doğru ilerler. Kutuplardaki soğuk ve yoğun hava ile ekvatordan gelen sıcak hava yer değiştirmiş olur. Sürekli gerçekleşen bu ısı akışı, Dünya'nın batıdan doğuya doğru dönüşü ve Coriolis kuvvetinin de etkisiyle birlikte yüksek jet akımları ve hâkim batı rüzgarlarını oluşturur. Rüzgarlar Dünya'nın dönüşü ile güçlü okyanus akıntılarını sebep olur. Bu okyanus akıntıları Atlantik Okyanusu ve Pasifik Okyanusu arasında yer alan "Küresel Taşıma Bandını (Global Conveyor Belt)" oluşturur. Kuzey Atlantik'teki Gulf Stream bilinen en büyük okyanus akıntısıdır. Akıntılar tropik alanlardaki ılık suları kutuplara doğru dağıtma işlevi görür. Aynı zamanda okyanusların besin ve karbon dioksit döngülerinin hayati bir bileşenidir. Sıcak yüzey sularında besin maddeleri ve karbondioksit tükenir, ancak akıntılar sayesinde derinden veya alt katmanlar halinde ilerleyen soğuk sular tekrar zenginleşir. Atmosfer ve okyanuslar arasındaki bu döngü iklimin ve hava durumunun belirlenmesindeki temel faktörlerden biridir [3].



Şekil 1.1. Küresel Taşıma Bandı (Global Conveyor Belt) [4].

Karasallık, yerküre üzerindeki kara ve denizlerin dağılımıdır ve kıyı bölgelerin iklimini etkileyen en temel faktördür. Denizler karalara göre daha uzun sürede ısınır ve soğur bu sebeple kıyı bölgelerinde kış dönemi karasallık etkisiyle sıcak geçerken yaz dönemi ise karasal bölgelere göre daha serin geçmektedir.

Rüzgâr, havanın yüksek basınçlı bölgeden düşük basınçlı bölgeye doğru yaptığı yatay ağırlıklı harekettir. Rüzgârın hızı iki bölge arasındaki basınç farkıyla belirlenir ve fark ne kadar büyükse rüzgâr o kadar hızlı eser. Yerküre üzerinde ekvatorun kutuplara doğru esen rüzgarlar sıcaklığı artırırken, kutuplardan ekvatora doğru esen rüzgarlar ise soğutucu etki gösterirler.

Yükselti, bir bölgenin deniz seviyesinden olan yüksekliğidir. Sıcaklık yükseltiye bağlı olarak her 100 metrede ortalama $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ azalır.

Enlem, ekvatorun kuzeyindeki veya güneyindeki herhangi bir noktanın ekvatora olan mesafesinin açısal ölçümüdür. Güneş ışınlarının geliş açısı ekvatorunda daha diktir ve kutuplara doğru bu açı küçülür. Dolayısıyla, ekvatorun kutuplara doğru gidildikçe sıcaklıkta düşüş gerçekleşir.

İklim sistemine bakıldığında yukarıda bahsedildiği gibi zaman içerisinde çeşitli etkenler sebebiyle değişen dinamik bir yapı gözlenmektedir ve bu dinamik yapıdaki durum ve değişiklikler iklim indeksleri ile ifade edilir. İklim indeksleri günlük, aylık ve yıllık zaman serileridir. Hava basıncı, hava sıcaklığı, yağış, Güneş ışıması gibi atmosferik değişkenler ve deniz yüzeyi sıcaklığı gibi atmosferik olmayan değişkenlerden oluşur [2].

Tezin Amacı ve Akışı

İklim sistemindeki hareketlilikler ve değişimler yerküre, ekosistem ve canlılar üzerinde önemli etkiye sahiptir. İklim sistemindeki hareketliliklerin incelenmesi ve anlaşılması başta tarım olmak üzere enerji, ulaşım, su kaynakları gibi çeşitli alanlar için büyük önem taşır. Bu tez çalışmasında Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda meydana gelen iklimsel hareketlilikler incelenerek, bu hareketliliklerin yerküre üzerindeki periyodik ve aralıklı zamanlarda göstermiş oldukları etkileri üzerinden yola çıkılmıştır. Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki iklimsel hareketliliğin karakteristiğini belirlemek için hava basıncına bağlı Kuzey Atlantik Salınım iklim indeksi, Güney Pasifik Okyanusu'ndaki iklimsel hareketliliğin karakteristiğini belirlemek için ise Güney Salınım İndeksi incelenmiştir. Çalışmada bu indekslerin aylık ve günlük veri setleri kullanılmıştır. Bunun yanı sıra Güneş'ten gelen ışımının Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda meydana gelen iklimsel hareketliliklere etkisini incelemek için Güneş Lekesi Sayısı aylık veri kümelerinden yararlanılmıştır.

Tez çalışmasında Kuzey Atlantik Salınımı iklim indeksinin ve Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin aylık verileri National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) web sitesinden elde edilmiştir [5],[6]. NOAA Amerika Birleşik Devletler Ticaret Bakanlığı'nın denetiminde olan ve 1807 yılında kurulmuş bilimsel bir araştırma kurumudur. İklim, hava, okyanus ve kıyılardaki değişimleri anlamak ve tahmin etmek için çalışır. Kuzey Atlantik Salınımı iklim indeksinin günlük verileri yine NOAA'nın web sitesinden elde edilmiştir [7]. Güney Salınım İndeksi günlük verileri Long Paddock adlı veri merkezinin web sitesinden alınmıştır [8]. Long Paddock Avustralya Hükümeti'nin girişimiyle 1995'ten beri bitki örtüsü ve iklim hakkında kamuoyuna bilgi sağlamakta olan bir kuruluştur. Güneş Lekesi Sayısı indeksinin aylık örnekler alınarak elde edilmiş veri kümesi ise SIDC-Solar Influences Data Analysis Center'ın web sitesinden elde edilmiştir [9].

Çalışmanın ilk aşamasında NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı zaman serilerinin periyotları belirlenmeye çalışılmış, bu amaç doğrultusunda özilinti yöntemi, periyodogram analizi, değişkin periyodogram analizi ve Welch yöntemi kullanılmıştır. İklim göstergelerinin birbirleri ile olan ilişkileri çapraz ilinti yöntemi ve spektral uyumluluk yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Sonrasında Wigner-Ville Dönüşümü yöntemi kullanılarak, iklim göstergeleri zaman serilerinin zaman-frekans dönüşüm analizleri yapılmış, bu sayede zaman serilerinin frekans ve zaman alanında aynı anda incelenmeleri mümkün olmuştur. Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü yöntemi ile iklim indisleri aralarındaki ilişki, zaman-frekans alanında araştırılmıştır. Çalışmanın son kısmında Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi kullanılarak iklim göstergeleri arasında dinamik bir sistem modeli oluşturulmuş, iklimsel hareketlilikler aralarındaki ilişki modellenmeye çalışılmıştır.

Analizler sonucunda Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki ve Güney Pasifik Okyanusu'ndaki iklimsel hareketlilikler karakterize edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, Güneş Lekesi zaman serisini inceleyerek Güneş'in Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda meydana gelen mevsimsel hareketliliklere herhangi bir etkisi olup olmadığı araştırılmıştır. İklim göstergeleri içerisinde gözlenen baskın periyotlar değerlendirilip, bu periyotların yerküre iklim sistemi içerisindeki yeri ve önemi hakkında bilgi sahibi olmak amaçlanmıştır. Sonuç olarak iki ayrı okyanusta görünen normal dışı hava hareketlerinin döngüsel davranışları ve bu iki okyanusta gerçekleşen mevsimsel olayların aralarındaki ilişki hakkında sonuçlar ortaya koyma çabası tez çalışmasının özgün değer katmaya çalıştığı en önemli istikamet olmuştur.

Tez çalışmasında Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI iklim göstergelerinin günlük ve aylık veri kümelerinin adı geçen sinyal işleme yöntemleri kullanılarak MATLAB ortamında modellenmesi yapılmış, simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir ve tartışılmıştır.

2. İKLİM GÖSTERGELERİ

İklim değışikliği mevsimsel değışimlerin yanı sıra El-Nino/Güney Salınımı (ENSO) veya Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) gibi atmosferik ve okyanus sirkülasyonundaki büyük çaplı varyasyonları içeren, ortalama iklim çevresindeki dönüşümlerdir [3]. İklim sisteminin durumu ve değışikliği zaman serilerinden oluşan iklim indeksleri ile ifade edilir. Her iklim indeksi belirli değışkenlere dayanır ve iklimin belirli yönlerini tanımlar. Bu nedenle birden fazla iklim indeksi bulunmaktadır. İndeksler, hava sıcaklığı, yağış, hava basıncı, deniz yüzeyi sıcaklığı, Güneş ışınması gibi ölçülebilir değışkenlerdir. Her bir iklim indeksi için zaman serilerinin ortalama değeri, uç değeri, lineer trendleri ve standart sapmaları hesaplanır [10]. Hesaplanan bu değere bakılarak iklimdeki değışimler hakkında çıkarımlar yapılır. Hava sıcaklığı ve yağışa bağlı iklim indekslerini hesaplamak için seçilen bir istasyondan alınan uzun süreli istasyon verilerine ihtiyaç vardır [10]. Bu veriler belirli bir istasyona karşılık gelse de ortamın homojenliğine göre daha geniş bir alana genişletilebilir. Hava basıncı iklim indekslerini hesaplamak için ise farklı bir yöntem kullanılır. Burada tek bir istasyon verisinin mutlak değeri kullanılmaz, iki farklı istasyon arasındaki basınç farkı hesaplanır [10].

2.1. Kuzey Atlantik Salınımı (NAO)

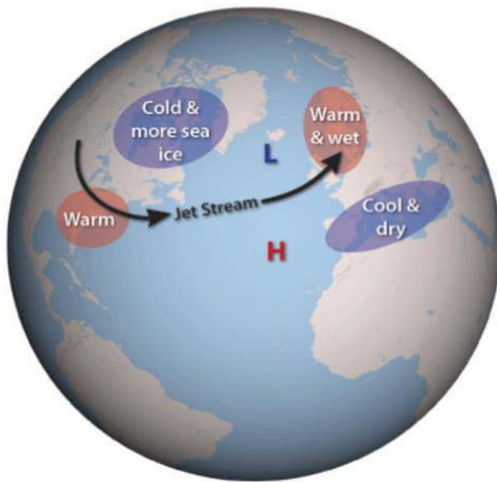
Kuzey Atlantik Salınım indeksi, Kuzey Atlantik Okyanusu'nun kuzey bölgesinde bulunan İzlanda ile daha güneyde yer alan Azor Adaları arasındaki deniz seviyesi basınç (SLP) farkı olarak tanımlanır [11]. İzlanda'da Stykkisholmur (65,07° K, 22,73° B) ve Azor Adaları'nda Ponta Delgada (37,74° K, 25,67° B)'da bulunan istasyonlardan alınan deniz seviyesi basınç değeri kullanılarak hesaplanır. Alınan değeri farkı uzun yıllar boyu kayıt altına alınan geçmiş değeri ortalamaıyla normalize edilir [12].

İzlanda ve Azor Adaları çevre bölgelere göre farklı basınç durumlarına sahiptir. İzlanda ve yakınındaki yüksek enlemlerde genellikle çevre bölgelere göre daha düşük hava basıncı hakimdir. Daha güneyde bulunan Azor Adaları'nda ise çevre bölgelere göre genellikle daha yüksek bir hava basıncı hakimdir. Bu durum kutup altı alçak basınç ve ekvator üstü yüksek basınç olarak adlandırılır. İki bölge arasındaki hava basıncı farkı Kuzey Atlantik Salınımı'na neden olur. Özellikle kış aylarında NAO, Kuzey Atlantik bölgesi üzerinde iklime etki eden atmosferik değışkenliğin baskın modelidir ve El Niño /Güney Salınımı (ENSO) ile yer küre üzerindeki mevsimsel değışkenliğin ana kaynağıdır

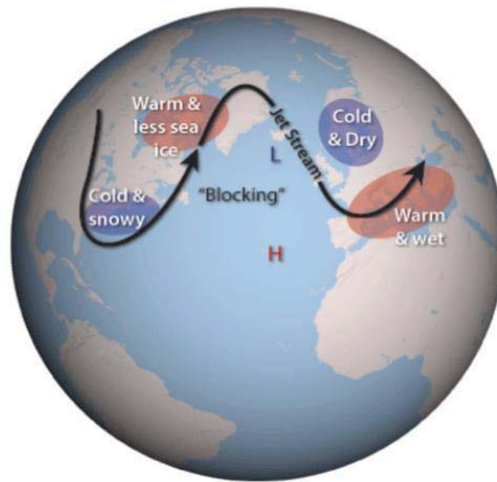
[12],[13]. NAO, Kuzey Atlantik-Avrupa bölgesinin en önemli “uzak bağlantısını” temsil eder [12]. Uzak bağlantı (Teleconnection), meteoroloji literatüründe birbirinden uzak bölgelerde birbiriyle bağlantılı iklim değişimleri olarak tanımlanmaktadır [12].

NAO fenomeni ile ilgili ilk yazılı kanıt, 18.yy’a kadar uzanmaktadır. Araştırmacı Hans Egede Saabye yazmış olduğu günlüğünde 1770-1778 yılları arasında Grönland’da bütün kışların şiddetli ancak, biri biriyle aynı olmadığını vurgulamıştır [12]. Yine aynı yıllarda Danimarkalı tüccarlar Grönland’ı ziyaretlerinde Danimarka’da kışların sert geçtiği yıllarda Grönland’da daha ılıman bir kış mevsiminin hâkim olduğunu ve iki bölge arasındaki kış şartlarının tam tersi özellikler gösterdiklerini gözlemlemişlerdir [12]. Araştırmacı Sir Gilbert Walker’ın 1920’li yıllarda “İzlanda-Azor Adaları Salınımı” ve Kuzey Atlantik’te yer alan olağandışı basınç durumu üzerine çalışmalar yapmıştır ve 1924’te Kuzey Atlantik Salınımı konusu üzerinde yapıtaş sayılan makalesini yayınlamıştır [12]. Walker’ın çalışmasına göre, yerkürenin iklim sistemine etki eden üç temel durum vardır ve bunlar Kuzey Atlantik Salınımı, Kuzey Pasifik Salınımı ve Güney Salınımı’dır. Araştırmacı Hurrell 1995’te yayınladığı makalesinde Kuzey Atlantik Salınımı’nın Avrupa kıtasındaki sıcaklık ve basınç değişikliğine etkisini araştırmıştır ve 1996’daki çalışmasında belirgin olarak NAO’nun kış sıcaklığı üzerindeki etkisinin önemini ortaya koymuştur [12],[13]. Hurrell’in bu araştırmasından sonra NAO önemli ölçüde bilim adamlarının dikkatini çekmiş ve bu alanda pek çok araştırma yapılmış, halen de yapılmaktadır.

Positive NAO phase



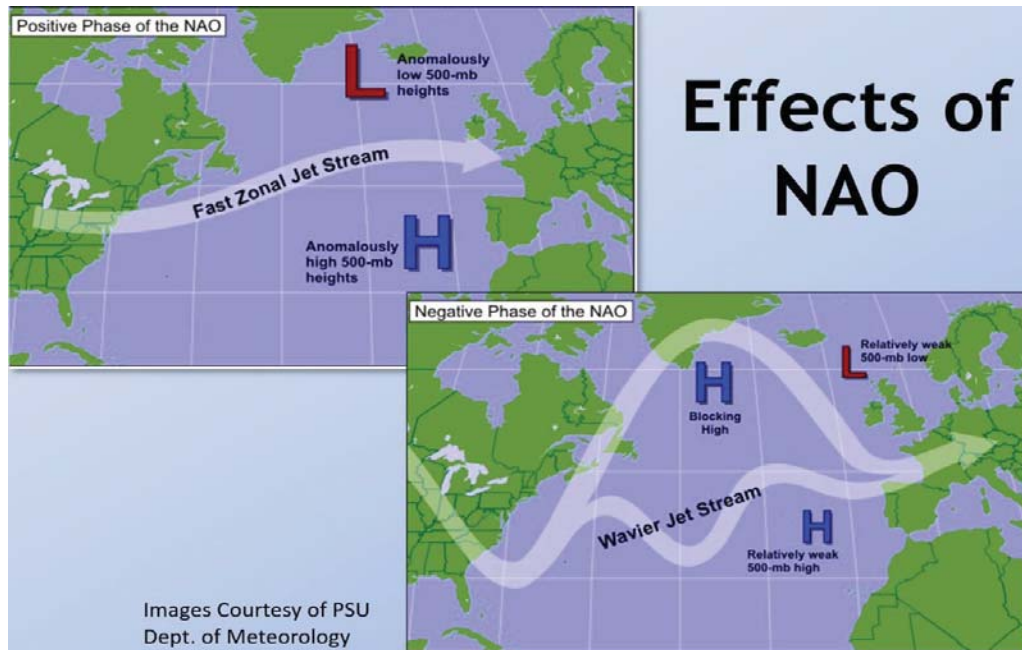
Negative NAO phase



Şekil 2.1. Kuzey Atlantik Salınım Fazları, Pozitif NAO ve Negatif NAO [14].

Kuzey Atlantik Salınımı, pozitif NAO ve negatif NAO olmak üzere iki faza sahiptir. Kuzey Atlantik Salınımı'nın pozitif fazında Azor Adalarındaki yüksek hava basıncı normalden daha yüksek, İzlanda da ise alçak hava basıncı normalden daha düşüktür. Bu durum Kuzey Atlantik üzerindeki deniz seviyesi basınç farkının çok güçlü bir hal almasına sebep olur. Kuzey Atlantik üzerinde oluşan büyük basınç farkı Atlantik çevresinde güçlü rüzgarların oluşmasına sebep olur. Bu rüzgarlar Atlantik jet akımlarıdır. Alçak enlemlerden hareket eden bu ılık ve nemli hava kütlelerinin Kuzey Avrupa bölgesine doğru keskin bir hareketi söz konusudur. Bu durum sayesinde, Kuzey Avrupa, İskoçya ve güneybatı Norveç'te kış dönemi yağışlı ve ortalama üstü bir sıcaklık değerine sahip olur. Bunun tersine, Güney Avrupa, Kuzey Kanada ve Grönland bölgelerinde kış dönemi sert, kuru, soğuk ve daha az yağışlıdır [15].

Kuzey Atlantik Salınımı'nın negatif fazında Azor Adalarındaki hava basıncı normalden daha düşük, İzlanda da ise hava basıncı normal basınç değerinden daha yüksektir. Dolayısıyla, Kuzey Atlantik üzerindeki iki bölge arasındaki deniz seviyesi basınç farkı azalır. Azalan basınç farkı Atlantik jet akımlarının dalgalı bir biçimde batı bölgelerden doğu bölgelere doğru hareketine neden olur. Atlantik jet akımlarının taşıdığı ılık ve nemli hava Güney Avrupa'ya doğru ilerler. Güney Avrupa, Akdeniz Bölgesi, Kuzey Kanada, Grönland'da kış ayları ılıman geçerken, Kuzey Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri'nin doğu kıyısı kış dönemini sert, soğuk ve daha az yağışlı bir şekilde geçirir [15].

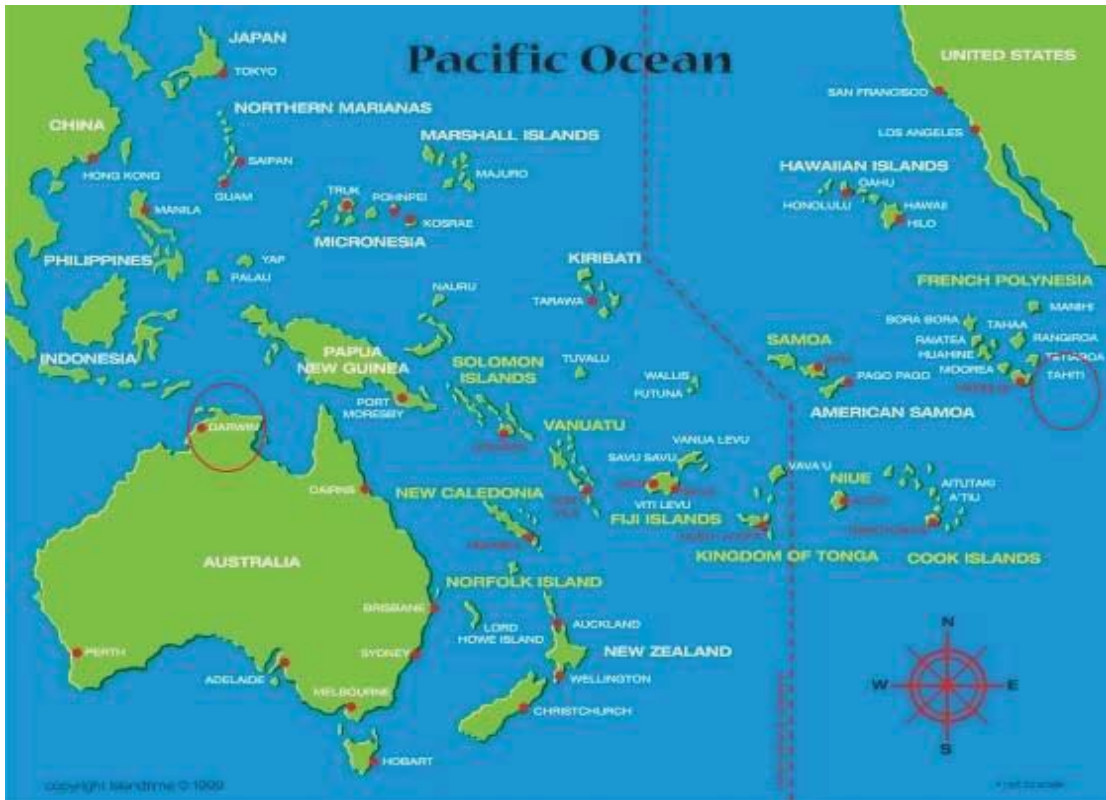


Şekil 2.2. Kuzey Atlantik Salınımı Etkileri [16].

İklim ve hava durumu insan yaşamı, hayvanlar, bitkiler ve tüm ekosistem üzerinde güçlü etkilere sahiptir. Yukarıda bahsettiğimiz durumları göz önüne alarak, Kuzey Atlantik Salınımı'nın Atlantik çevresindeki iklimsel etkisinin ekosistemden insan faaliyetlerine kadar uzandığını söyleyebiliriz. NAO deniz buzu dağılımını ve buna bağlı olarak deniz ekolojisini de etkiler. Göç eden kuşlar NAO'nun farklı fazlarında farklı hava koşullarına maruz kalırlar. Ekonomi açısından etkilerine baktığımızda ise, denizcilik, petrol sondajı, balıkçılık, hidroelektrik enerji üretimi ve üretilen-tüketilen enerji miktarı, tarımsal faaliyetler ve su yönetimi Kuzey Atlantik Salınımı'nın etkisi altındadır [17]. Kuzey Atlantik Salınımı'nın ekosistem üzerindeki etki ve öneminden dolayı yapmış olduğumuz çalışmalar ile onun hangi fazda olduğunu ve yoğunluğundaki değişimleri öngörme yeteneği geliştirmek, gelecekteki iklim değişikliğinin hayatımız üzerindeki etkilerini azaltmak açısından önemli bir yere sahiptir.

2.2. Güney Salınım İndeksi (SOI)

Güney Salınım İndeksi, Pasifik Okyanusu'nun batı bölgesinde bulunan Avustralya'nın Darwin şehri ile Fransız Polinezyası'nda bulunan Tahiti arasında meydana gelen hava basıncındaki büyük çaplı dalgalanmanın bir ölçüsüdür [18].



Şekil 2.3. Pasifik Okyanusu [19].

Bu iklim indeksi, Şekil 2.3'te gösterilen Tahiti (17,64° G, 149,43° B) ile Darwin (12,46° G, 130,85° D) şehirleri arasındaki normalleştirilmiş deniz seviyesi basınç (SLP) farkıyla şu şekilde hesaplanır:

$$SOI = \frac{\text{Standartlaştırılmış Tahiti Basıncı} - \text{Standartlaştırılmış Darwin Basıncı}}{\text{Aylık Standart Sapma}} \quad (2.1)$$

$$\text{Standartlaştırılmış Tahiti Basıncı} = \frac{\text{Gerçek Tahiti SLP} - \text{Ortalama Tahiti SLP}}{\text{Standart Sapma Tahiti}} \quad (2.2)$$

$$\text{Standart Sapma Tahiti} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Gerçek Tahiti SLP} - \text{Ortalama Tahiti SLP})^2}{\text{Ay Sayısı}}} \quad (2.3)$$

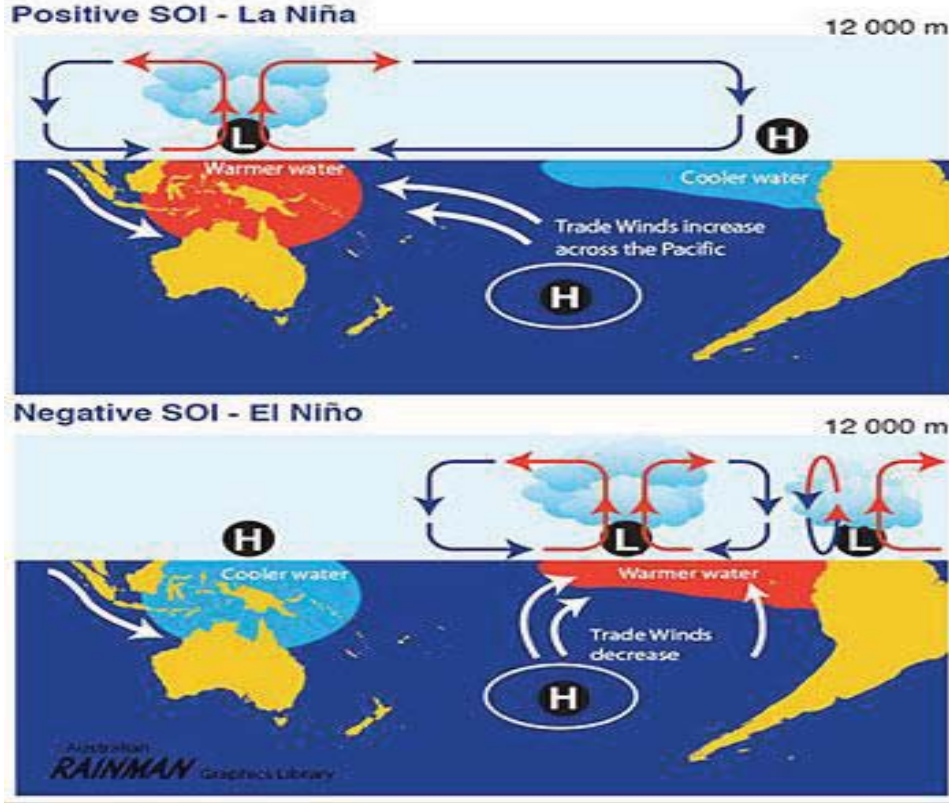
$$\text{Standartlaştırılmış Darwin Basıncı} = \frac{\text{Gerçek Darwin SLP} - \text{Ortalama Darwin SLP}}{\text{Standart Sapma Darwin}} \quad (2.4)$$

$$\text{Standart Sapma Darwin} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Gerçek Darwin SLP} - \text{Ortalama Darwin SLP})^2}{\text{Ay Sayısı}}} \quad (2.5)$$

$$\text{Aylık Standart Sapma} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Standartlaştırılmış Tahiti B.} - \text{Standartlaştırılmış Darwin B.})^2}{\text{Ay Sayısı}}} \quad (2.6)$$

Güney Salınımı (SO) ilk olarak 1930'larda Sir Albert Walker tarafından belgelenmiştir. Walker, Avustralya'nın Darwin şehrinde hava basıncı yüksek olduğunda Tahiti'de düşük olduğunu, Darwin şehrinde hava basıncı düştüğünde Tahiti'de yüksek olduğunu fark etmiştir [21]. Ayrıca bu basınç değişiminin düzenli bir şekilde değiştiğini yani salındığını gözlemlemiştir.

Walker'ın gözlemlediği durum Güney Salınımı'nın negatif ve pozitif fazını ifade etmektedir. Negatif fazda Tahiti'de normalin altında bir hava basıncı, Darwin'de ise normalin üzerinde bir hava basıncı hakimdir. Pozitif fazda ise tam tersi durum söz konusudur, Tahiti'de normalin üzerinde bir hava basıncı, Darwin şehrinde ise normalin altında bir hava basıncı görülmektedir. Pasifik Okyanusu'nun doğu ve batı kesimlerinde oluşan bu normal dışı basınç farklılıkları, El Niño ve La Niña olaylarını açıklamaktadır [21].



Şekil 2.4. Güney Salınım İndeksi Fazları, La Niña ve El Niño [20].

El Niño olayı Güney Salınımı'nın negatif fazı olarak açıklanır ve Güney Pasifik'in Doğu kıyılarındaki okyanus sularında ortalama üstü ısınmasını ifade eder. La Niña ise Güney Salınımı'nın pozitif fazı olarak açıklanır ve yine aynı bölgede okyanus sularında ortalamanın altında bir soğumayı ifade eder. Perulular 1600'lü yıllarda Doğu Pasifik'teki suların bazı yıllarda ortalamanın üzerinde ısındığını fark etmişler ve ısınma genellikle aralık ayının sonlarında başladığı için bu duruma İspanyolca "çocuk mesih" anlamına gelen El Niño adını vermişlerdir [21], [22]. La Niña ise etki olarak El Niño un tam tersi özellikler gösterir ve İspanyolca 'küçük kız' anlamı taşır [21], [22].

Güney Pasifik'teki normal basınç durumuna baktığımızda, Pasifiğin batı kıyılarındaki alçak basınç, doğu kıyılarındaki ise yüksek basınç hakimdir ve okyanus üzerinde doğudan batıya doğru esen alize rüzgarları mevcuttur. Alize rüzgarlarının etkisiyle Pasifik Okyanusu yüzeyindeki sular doğudan batıya doğru hareket eder. Bu yüzey suları Güneş ışınlarının etkisiyle ısınır ve Doğu Pasifik kıyılarından hareketlenen sıcak yüzey sularının yerine soğuk sular hareket eder [2]. Batı Pasifiğe doğru hareket eden sıcak okyanus suları o

bölgenin nemli havasını ısıtarak yükseltir ve yağmur bulutlarını oluşturur. Bu sebepten Pasifiğin batı kesimleri daha fazla yağış almaktadır [23].

Güney Salınımı'nın La Niña evresi yukarıda bahsedilen normal durumunun yoğun hali olarak ifade edilir. Bu evrede Avusturalya çevresinde basınç değeri ortalamaların altına iner, Tahiti çevresinde ise tam tersi durum gözlenir ve basınç değeri artar. Bunun sonucunda Tahiti ve Darwin bölgeleri arasındaki hava basıncı farkı artar, alize rüzgarları batı yönünde güçlenir. Bu güçlü rüzgarlar sayesinde Kuzey Avusturalya, Yeni Gine ve Endonezya adalarında normalden daha yüksek deniz yüzeyi sıcaklığı seviyeleri ve aşırı yağışlar gözlenir [24]. Doğu Pasifik'te ise ortalamanın altında deniz yüzeyi sıcaklığı gözlenir. Bu sebepten La Niña Güney Salınımı'nın soğuk evresi olarak adlandırılır ve orta-doğu Pasifik'teki ortalamanın altındaki deniz yüzey sıcaklığını temsil eder [22]. La Niña evresinde Muson dönemi daha yoğun yani yağışlı geçer.

El Niño olayının oluşum sürecinde Avusturalya ve Endonezya kıyılarındaki alçak hava basıncı yüksek konuma geçer ve Pasifiğin orta kısımlarından Tahiti'ye kadar olan kısma kadar alçalır. Bu durum Pasifik Okyanusu üzerindeki hava basıncı farkının düşmesine sebep olur ve okyanus üzerindeki güçlü alize rüzgarları zayıflayarak batıdan doğuya doğru bir yönelim gösterir [22]. Rüzgarlarının etkisiyle Pasifik Okyanusu yüzeyindeki sular batıdan doğuya doğru hareket eder ve sular Güneş ışınlarının etkisiyle ısınır. Batı Pasifik kıyılarından hareketlenen bu sıcak yüzey sularının yerine soğuk sular hareket eder. Sıcak okyanus suları gittiği bölgenin nemli havasını ısıtarak yükseltir ve yağmur bulutlarını oluşturur, bu bölgenin aşırı yağış almasına neden olur. İklimsel etkisi La Niña evresinin tam tersi yönündedir.

Okyanus yüzeyi sıcaklığındaki bu sapmaların sadece o bölgede değil, küresel alanda da etkileri vardır. Peru normalde az yağış alan bir bölge olmasına rağmen, El Niño evresinde ısınan okyanus suyunun etkisiyle yağışlar ve seller oluşur. Pasifiğin doğu kıyıları Endonezya, Avustralya, Filipinler normalde bol yağış almasına rağmen bu dönemde aşırı kuraklıklar görülür [2]. 1997'deki güçlü El Niño döneminde batı Pasifik'te gerçekleşen Winnie tayfunu Tayvan ve Çin'i vurmuş, 200'den fazla insan ölmüş ve 1 milyar dolardan fazla maddi zarar oluşmuştur [24]. Ekosistem açısından bakıldığında ise, El Niño evresinde Peru kıyılarındaki suyun ısınması ile o bölgedeki balıkların ölmesine ve göç etmesine neden olur. Bu durumda doğrudan bölgenin besin zincirini etkiler. Ayrıca yine

El Niño döneminde Muson yağışları azaldığı için bu yağışların çok önemli olduğu Hindistan'da tarımsal faaliyetler olumsuz olarak etkilenir.

2.3. Güneş Lekesi Sayısı (SSN)

Güneş yüzeyi üzerinde bulunan Güneş Lekeleri veya koyu lekeler Güneş'te gerçekleşen bir hareketliliğin göstergesidir. Güneş Lekeleri, Güneş yüzeyinde, güçlü Güneş fırtınaları ile güçlü elektromanyetik faaliyetlerin varlığını gösteren siyah noktalarıdır. 1848 yılında Rudolph Wolf tarafından geliştirilen bir denklem kullanılarak Güneş Lekelerinin sayı dizisi oluşturulmaya başlanmıştır [25]. Günümüzde Güneş Lekesi Sayısı değerleri NOAA tarafından hesaplanmaktadır. Güneş Lekesi Sayısı'nın yaklaşık olarak 11 yıllık bir periyoda sahip olduğu gözlenmiştir [26], [27], [28].

Güneş Lekesi Sayısı (R) şu şekilde hesaplanır:

$$R = K(10G + I) \quad (2.7)$$

G: Güneş üzerinde görünen Güneş Lekesi gruplarının sayısı

I: Görülebilir toplam bireysel nokta sayısı

K: Gözlemciler ve gözlemevleri arasındaki farklılıkları göz önünde bulunduran düzelme faktörü.

3. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Çalışmanın ilk aşamasında NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı zaman serilerinin periyotları belirlenmeye çalışılmış, bu amaç doğrultusunda özilinti analizi, periyodogram analizi, değişkin periyodogram analizi ve Welch yöntemi kullanılmıştır. İklim göstergelerinin birbirleri ile olan ilişkileri çapraz ilinti analizi ve spektral uyumluluk analizi yöntemleri ile incelenmiştir. Sonrasında Wigner-Ville Dönüşümü kullanılarak, iklim göstergelerinin zaman-frekans dönüşüm analizleri yapılmıştır. Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü yöntemi ile iklim göstergeleri aralarındaki ilinti, zaman-frekans alanında incelenmiştir. Çalışmanın son kısmında Kanonik Korelasyon analizi kullanılarak, indislerin zaman serileri arasındaki dinamik yapı modellenmeye çalışılmıştır. Bu bölümde, çalışma sürecinde yararlanılan analiz yöntemleri sunulmaktadır.

3.1. Periyot Analizi

NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı zaman serilerinin periyotlarını belirlemek için özilinti analizi, periyodogram analizi, değişkin periyodogram analizi ve Welch yöntemi kullanılmıştır.

3.1.1 Özilinti Analizi

Özilinti, verilen bir zaman serisi ile ardışık zaman aralıklarında kendisinin gecikmeli hali arasındaki benzerlik derecesinin matematiksel bir gösterimidir. Daha iyi ifade etmek açısından, bir değişkenin mevcut değeri ile geçmiş değerleri arasındaki ilişkiyi ölçer. Özilinti değeri güçlü pozitif ilişki durumunda +1 değeri, güçlü negatif ilişki durumunda -1 değeri ve arada bir ilişki olmaması durumunda 0 değerini alır.

Sürekli zamanlı sinyaller için özilinti fonksiyonu şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_T^{-T} x(t)x(t + \tau) dt \quad (3.1)$$

* τ : zaman kaydırma

* T : ölçüm süresi.

Ayrık zamanlı sinyaller için ise özilinti fonksiyonu şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$R_{xx}(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-i+1} x(k)x(k+i-1) \quad (3.2)$$

Özilinti yöntemi bir zaman serisinde tekrar eden döngüleri yani periyotları belirlemek için kullanılabilir.

3.1.2. Periyodogram Analizi

Bir zaman serisinin döngüsel davranışı veya periyod bilgisi frekans uzayında gerçekleştirilen analizler ile elde edilir. Zaman uzayından frekans uzayına geçmek için Fourier Dönüşümü kullanılan yöntemlerden birisidir. Fourier Dönüşümü, zaman içinde değişen bir sinyali, sinüzoidal frekans bileşenlerine ayırır ve herhangi bir dalga formunun sinüzoidal fonksiyonların toplamı olarak yeniden yazılabileceğini göstermektedir.

Sürekli zamanlı sinyaller için Fourier Dönüşümü şu şekilde ifade edilir:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (3.3)$$

Sürekli zamanlı sinyaller için ters Fourier Dönüşümü şu şekilde ifade edilir:

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f)e^{j2\pi ft} df \quad (3.4)$$

Ayrık zamanlı sinyaller için Fourier Dönüşümü şu şekilde ifade edilir:

$$S(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(n)e^{-j\omega n} , \omega \in [-\pi, +\pi) \quad (3.5)$$

Ayrık zamanlı sinyaller için ters Fourier Dönüşümü şu şekilde ifade edilir:

$$s(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(e^{j\omega})e^{j\omega n} d\omega \quad (3.6)$$

Periyodik veya rastgele sinyallerin baskın frekansları, gücü, harmonikleri, bant aralığı ve zaman uzayında kolayca fark edilemeyen diğer bileşenleri frekans uzayında spektral analiz yöntemleri kullanılarak elde edilebilir. Güç Spektral Yoğunluğu (PSD), sinyalin gücünün sinyali oluşturan frekanslar üzerine dağılımının ifadesidir, Hertz başına Watt olarak ifade edilir [29]. Güç Spektral Yoğunluğu, durağan (WSS) rastgele bir sinyalin öziliinti fonksiyonunun Fourier Dönüşümüdür [30].

Sürekli zamanlı sinyaller için Güç Spektral Yoğunluğu şu şekilde ifade edilir:

$$S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3.7)$$

Birim zamanda örneklenmiş sinyaller için Güç Spektral Yoğunluğu şu şekilde ifade edilir:

$$S_{xx}(e^{j\omega}) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_{xx}(k) e^{-j\omega k} \quad (3.8)$$

Güç Spektral Yoğunluğu tahmini için Güç Spektral Kestirim (PSE) yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olarak ikiye ayrılır. Periyodogram analizi durağan ve rastgele (WSS) sinyallerin Güç Spektral Yoğunluğunun tahmini için kullanılan etkili, parametrik olmayan bir Güç Spektral Kestirim yöntemidir.

Birim zamanda örneklenmiş sinyaller için periyodogram fonksiyonu şu şekilde ifade edilir:

$$P(f) = \frac{\Delta t}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi f n} \right|^2, \quad -\frac{1}{2\Delta t} < f \leq \frac{1}{2\Delta t} \quad (3.9)$$

* Δt : Örnekleme aralığı

* N : Örnekleme sayısı

Eş. (3.9) ile ifade edilen periyodogram fonksiyonu ile zaman serisi içerisindeki baskın periyotlar (frekanslar) belirlenir.

3.1.3. Değişkin Periyodogram Analizi

Değişkin periyodogram analizi parametrik olmayan bir diğer Güç Spektral Kestirim yöntemidir. Periyodogram yönteminde $x(n)$ sinyali dikdörtgen bir pencereden geçirilerek analiz edilirken, değişkin periyodogram yönteminde pencere türü genelleştirilir. Hamming pencere, Bartlett pencere ve Blackman pencere kullanılan pencereler arasındadır.

$$P(f) = \frac{\Delta t}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} h(n)x(n)e^{-j2\pi fn} \right|^2, \quad -\frac{1}{2\Delta t} < f \leq \frac{1}{2\Delta t} \quad (3.10)$$

* $h(n)$: Pencere fonksiyonu

Farklı pencereler kullanılması spektral çözünürlüğü etkilediği için, sinyali farklı açılardan analiz etmek sinyal hakkında daha ayrıntılı bilgiye sahip olmamızı sağlar [31].

3.1.4. Welch Yöntemi

Welch yöntemi parametrik olmayan diğer bir Güç Spektral Kestirim yöntemidir. Diğer iki yöntemden farklı olarak burada N uzunluğunda bir sinyal, verileri üst üste örtüşecek şekilde L uzunluğunda K tane bölüme ayrılır ve her bir bölüme ayrı ayrı değişkin periyodogram yöntemi uygulanır. Son olarak elde edilen periyodogram sonuçlarının ortalaması alınır [31]. Welch yöntemi şu şekilde uygulanır:

$$x_m(n) \triangleq w(n)x(n + mD), \quad n = 0, 1, \dots, L - 1, \quad m = 0, 1, \dots, K - 1, \quad (3.11)$$

* $w(n)$: Pencere fonksiyonu

$$D(K - 1) - L = N, \quad L - D: \text{örtüşmüş data sayısı} \quad (3.12)$$

$$P(f) = \frac{1}{KLU} \sum_{m=0}^{K-1} \left| \sum_{n=0}^{L-1} x_m(n)e^{-j2\pi fn} \right|^2, \quad U = \frac{1}{L} \sum_{n=0}^{L-1} |w(n)|^2 \quad (3.13)$$

Eş. (3.13) ile ifade edilen Welch fonksiyonu ile zaman serisi içerisinde baskın periyotlar (frekanslar) belirlenmeye çalışır.

3.2. Çapraz İlinti Analizi

Çapraz ilinti analizi rastgele değişen iki sinyal arasındaki ilişki bilgisini verir. Güçlü pozitif ilişki için ilinti katsayısı +1 değerini, güçlü negatif ilişki için -1 değerini ve arada hiçbir ilişki olmadığında 0 değerini alır. $x(t)$ ve $y(t)$ durağan sinyaller olarak kabul edilirse, sürekli zamanlı sinyaller için çapraz ilinti fonksiyonu R_{xy} şu şekilde ifade edilir:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_T^{-T} x(t)y(t + \tau) dt \quad (3.14)$$

$$R_{yx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_T^{-T} y(t)x(t + \tau) dt \quad (3.15)$$

*T: ölçüm süresi.

Ayrık zamanlı sinyaller için çapraz ilinti fonksiyonu R_{xy} şu şekilde ifade edilmektedir.

$$R_{xy}(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-i+1} x(k)y(k + i - 1) \quad (3.16)$$

$$R_{yx}(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-i+1} y(k)x(k + i - 1) \quad (3.17)$$

*N: Örnekleme sayısı

*i: 1, 2, 3, ..., N+1

3.2.1. Spektral Uyumluluk

Sinyal işlemede uyumluluk (coherence), iki sinyal veya veri kümesi arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılabilir bir istatistiktir. Spektral uyumluluk (Spectral Coherence) 0 ile 1 arasında değerler alan bir frekans fonksiyonudur. Spektral uyumluluk fonksiyonu ile iki sinyal arasındaki uyumlu davranışın hangi frekansta yoğunlaştığını gözlenir. $x(t)$ ve $y(t)$ durağan sinyaller olarak kabul edilir, Eş. (3.14) ile sinyallerin $R_{xy}(\tau)$ çapraz ilinti fonksiyonu tanımlanmıştır.

Çapraz ilinti fonksiyonunun Fourier Dönüşümü ile ifade edilen çapraz Güç Spektral Yoğunluk fonksiyonu sürekli zamanlı sinyaller için şu şekilde ifade edilir:

$$S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3.18)$$

Birim zamanda örneklenmiş sinyaller için çapraz Güç Spektral Yoğunluk fonksiyonu şu şekilde ifade edilmektedir.

$$S_{xy}(e^{j\omega}) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_{xy}(k) e^{-j\omega k} \quad (3.19)$$

$S_{xx}(f)$, $S_{yy}(f)$ Eş. (3.7) ile ifade edilen $x(t)$ ve $y(t)$ sinyallerinin Güç Spektral Yoğunluk fonksiyonlarıdır. Verilen bilgiler doğrultusunda, spektral uyumluluk fonksiyonunun matematiksel gösterimi şu şekilde ifade edilmektedir.

$$C_{xy}(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{|S_{xx}(f)||S_{yy}(f)|} \quad (3.20)$$

Eş. (3.20) ile ifade edilen Spektral uyumluluk fonksiyonu iki sinyal içerisindeki ortak frekansları ön plana çıkarır.

3.3. Zaman-Frekans Analizi

Fourier Dönüşümü özellikle durağan sinyallerin spektral içeriğini incelemek için güçlü bir yöntemdir. Ancak gerçek hayattaki sinyallerin büyük bir çoğunluğu durağan sinyaller olmadığı için; Fourier Dönüşümü yetersiz kalabilmektedir [32]. Bu noktada zaman-frekans dönüşüm yöntemleri kullanılarak durağan olmayan sinyallerin spektral içerik bilgilerine ulaşılr. Zaman-frekans analizi bir sinyalin toplam enerjisinin belirli bir zaman ve frekansta dağılımına odaklanır. Başlıca zaman-frekans dönüşüm yöntemleri, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü, Dalgacık Dönüşümü ve Wigner-Ville Dönüşümü'dür [32], [33]. Bu tez çalışması içerisinde Wigner-Ville Dönüşümü kullanılarak iklim indeksleri zaman serilerinin zaman-frekans dönüşüm analizleri yapılmış, bu sayede sinyaller zaman ve frekans alanında aynı anda incelenmiştir.

3.3.1. Wigner-Ville Dönüşümü (WVD)

Wigner-Ville Dönüşümü zaman-frekans analizinde önemli bir yere sahiptir. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümünde pencere boyutunun seçimi frekans ve zaman çözünürlüğü açısından ödünleşmeli bir durum yaratmaktadır. Wigner-Ville Dönüşümü içerisinde pencere kullanılmadığı için bu durum ortadan kalkmaktadır. Durağan olmayan sinyaller için Wigner-Ville Dönüşümü zaman ve frekans alanında yüksek çözünürlüğe sahiptir [34]. Wigner-Ville Dönüşümü ile bir sinyalin toplam enerjisinin belirli bir zaman ve frekansta nasıl bir dağılıma sahip olduğu yüksek çözünürlükle gözlenir [35].

Sürekli zamanlı bir $x(t)$ sinyali için Wigner-Ville Dönüşümü şu şekilde hesaplanır:

$$W(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3.21)$$

Spektral açısından şu şekilde hesaplanır:

$$W(f, t) = \int_{-\infty}^{\infty} X\left(f + \frac{\theta}{2}\right) X^*\left(f - \frac{\theta}{2}\right) e^{-j2\pi\theta t} d\theta \quad (3.22)$$

Ayrık zamanlı bir $x(n)$ sinyali için Wigner-Ville Dönüşümü şu şekilde hesaplanır:

$$W[n, k] = \sum_{m=-N}^N x\left(n + \frac{m}{2}\right) x^*\left(n - \frac{m}{2}\right) e^{-j2\pi km/N} \quad (3.23)$$

*N: Örnekleme sayısı

Wigner-Ville Dönüşümü yöntemi Eş. (3.21)'den anlaşılacağı üzere sinyalin τ kadarlık herhangi bir zaman gecikmesine bağlı anlık korelasyonunun Fourier Dönüşümüdür [36].

3.3.2. Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü (XWVD)

Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü iki sinyal arasındaki ilişkinin zaman ve frekans alanında aynı anda incelenmesine olanak sağlar. Sürekli zamanlı $x(t)$ ve $y(t)$ sinyalleri için Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü şu şekilde hesaplanır:

$$W_{xy}(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) y^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3.24)$$

Ayrık zamanlı sinyaller için Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü şu şekilde hesaplanır:

$$W_{xy}[n, k] = \sum_{m=-N}^N x\left(n + \frac{m}{2}\right) y^*\left(n - \frac{m}{2}\right) e^{-j2\pi km/N} \quad (3.25)$$

*N: Örnekleme sayısı

3.4. Kanonik Korelasyon Analizi

Kanonik Korelasyon analizi iki değişken kümesi arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılan bir istatistiksel analiz yöntemidir. Analizde değişken kümelerinin doğrusal fonksiyonları arasındaki ilintinin maksimum olması amaçlanarak çalışma yapılır [37]. \mathbf{X} ve \mathbf{Y} , içerisinde p ve q boyutlu değişken vektörler olan veri matrisleridir. p ve q boyutlu değişken vektörleri içerisinde n tane veri bulunur. Bu iki matris Eş. (3.26) ile tanımlanır.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix}_{p \times n} \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_q \end{bmatrix}_{q \times n} \quad X_i \in \mathbb{R}^{1 \times p}, \quad Y_i \in \mathbb{R}^{1 \times q} \quad (3.26)$$

Eş. (3.27) ile tanımlanan \mathbf{U} ve \mathbf{V} , veri matrislerinin doğrusal bileşenleridir ve kanonik değişkenler olarak adlandırılır. Doğrusal bileşenler arasındaki ilinti değerlerini maksimum yapacak olan sırasıyla $p \times 1$ ve $q \times 1$ boyutlu \mathbf{a} ve \mathbf{b} kanonik ağırlık vektörlerini bulmak Kanonik korelasyon analizinin temel amacıdır. Uygun \mathbf{a} ve \mathbf{b} vektörlerini bulmak \mathbf{U} ve \mathbf{V} kanonik değişkenlerinin birim değışinti olması şartı ile sağlanır [37].

$$\mathbf{U} = \mathbf{a}^T \mathbf{X}, \quad \mathbf{V} = \mathbf{b}^T \mathbf{Y} \quad (3.27)$$

$$[a_{i1} \ a_{i2} \ \dots \ a_{ip}] \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix} \leftrightarrow [b_{i1} \ b_{i2} \ \dots \ b_{iq}] \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_q \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

$$a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p = U_i \leftrightarrow V_i = b_{i1}Y_1 + b_{i2}Y_2 + \dots + b_{iq}Y_q \quad (3.29)$$

Kanonik değişkenler \mathbf{U} ve \mathbf{V} arasındaki korelasyona kanonik korelasyon (ρ) denir.

$$\text{corr}(U_i, V_i) = \rho_i, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (p < q) \quad (3.30)$$

$$\mathbf{a}, \mathbf{b} = \text{argmax}(\text{corr}(\mathbf{U}, \mathbf{V})) \quad (3.31)$$

Kanonik Korelasyon katsayısı ρ , iki değişken arasındaki ilintinin bir ölçütüdür ve 0 ila +1 arasında değerler alır. Güçlü pozitif ilinti durumunda +1 değeri, arada bir ilinti olmaması durumunda 0 değerini alır [37].

Kanonik Korelasyon probleminin çözümünde \mathbf{X} ve \mathbf{Y} veri matrislerinin özortak değişinti matrisleri ve ortak değişinti matrisleri hesaplanır. \mathbf{C}_{xx} , \mathbf{X} matrisinin özortak değişinti matrisini, \mathbf{C}_{yy} , \mathbf{Y} matrisinin özortak değişinti matrisini, \mathbf{C}_{xy} ve \mathbf{C}_{yx} ise \mathbf{X} ve \mathbf{Y} matrisleri arasındaki ortak değişinti matrislerini temsil eder.

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{xx} & \mathbf{C}_{xy} \\ \mathbf{C}_{yx} & \mathbf{C}_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

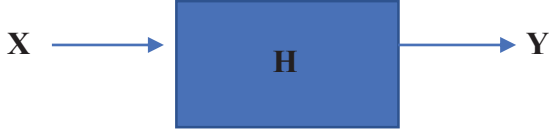
Kanonik Korelasyon analiz problemi yukarıda verilen bilgiler ışığında genelleştirilmiş özdeğer-özvektör probleminin çözümü olarak ifade edilir [37],[38].

$$\begin{bmatrix} 0 & \mathbf{C}_{xy} \\ \mathbf{C}_{yx} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{a} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{xx} & 0 \\ 0 & \mathbf{C}_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{a} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

Problemin çözümünden elde edilen en büyük genelleştirilmiş özdeğer maksimum kanonik korelasyon katsayısını (ρ_{\max}), en büyük özdeğere karşılık gelen özvektör ise \mathbf{a} ve \mathbf{b} kanonik ağırlık vektörlerini vermektedir.

Kanonik Korelasyon Analizi ile Sistem Tanıma

Kanonik Korelasyon yöntemi kullanılarak dinamik sistemlerden elde edilen iki veri kümesi arasındaki doğrusal sistem modeli tanımlanabilir. Kanonik Korelasyon yönteminde bahsedilen **X** ve **Y** veri matrisleri doğrusal bir sistemde girdi ve çıktı kısmını oluşturmaktadır.



Şekil 3.1. Doğrusal Dinamik Sistem Modeli.

Bu tez çalışmasında zaman serileri kullanılarak analizler yapıldığı için Kanonik Korelasyon yöntemi ile karakterize edilecek sistem ayrık zamanlı bir sistem modelidir. Bu sistem Z dönüşümü kullanılarak Eş. (3.34)'te gösterildiği şekildeki transfer fonksiyonu ile tanımlanır.

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_pz^{-p}}{b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_qz^{-q}} = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (3.34)$$

Eş. (3.34)'te gösterilen ayrık zaman sistem fark denklemi olarak da tanımlanabilir. Fark denklemi, Eş. (3.35)'te gösterilmektedir.

$$\sum_{k=0}^{k=p} a_k x[n-k] = \sum_{k=0}^{k=q} b_k y[n-k] \quad (3.35)$$

Eş. (3.35) açık olarak yazıldığında Eş. (3.36) elde edilir.

$$a_0x[n] + a_1x[n-1] + \dots + a_px[n-p] = b_0y[n] + b_1y[n-1] + \dots + b_qy[n-q] \quad (3.36)$$

Şekil 3.1'de gösterilen ve Eş. (3.34) ile ifade edilen ayrık zamanlı bu sistem Kanonik Korelasyon yöntemi kullanılarak elde edilen **a** ve **b** kanonik ağırlık vektörleri ile tanımlanır. Analizden elde edilen **a** ve **b** vektörleri Eş. (3.34) ve Eş. (3.35)'te yer alan sabit katsayılarıdır. Kanonik Korelasyon analizi ile belirlenen **a** ve **b** katsayıları kullanılarak **X** ve **Y** arasındaki ilişkiyi en iyi ifade eden doğrusal sistem modeli tanımlanır [38].

4. İKLİM GÖSTERGELERİ PERİYOT ANALİZİ

NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı iklim göstergelerinin ilk olarak periyotları ayrı ayrı belirlenmeye çalışılmış, bu amaç doğrultusunda sırasıyla özilinti analizi, periyodogram analizi, değişkin periyodogram analizi ve Welch yöntemleri kullanılmıştır.

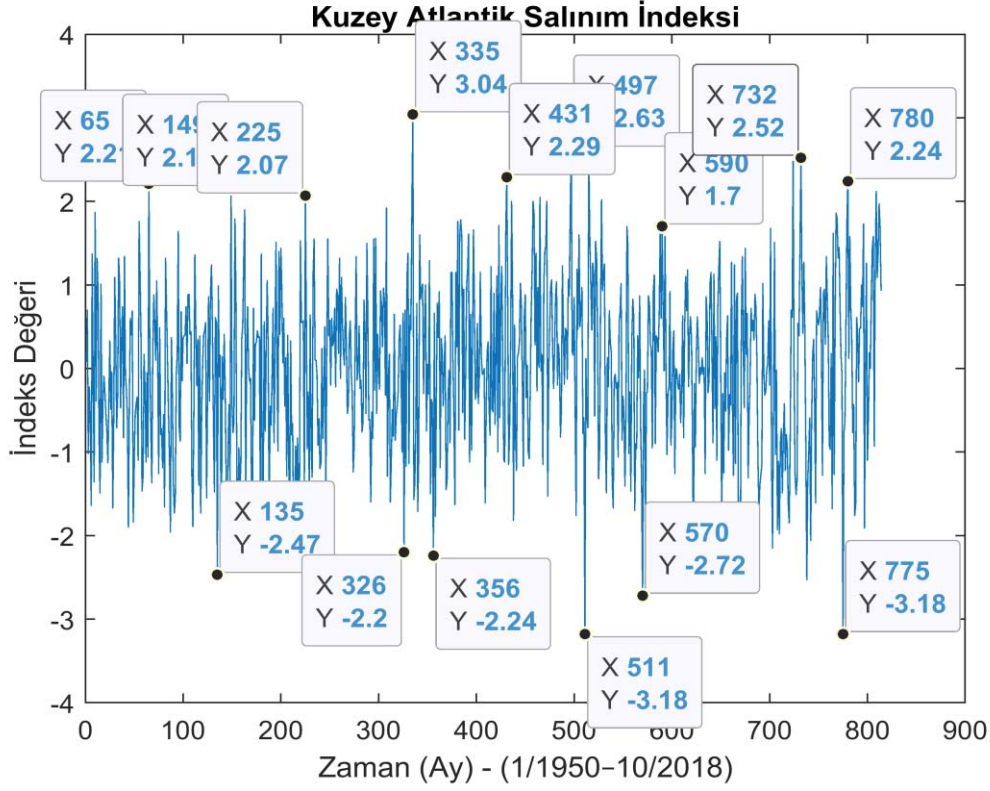
Tez çalışmasında NAO ve SOI iklim göstergelerinin aylık verileri National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)'nın web sitesinden elde edilmiştir [5], [6]. NAO iklim indeksinin günlük verileri yine NOAA'nın web sitesinden elde edilmiştir [7]. SOI iklim göstergesinin günlük verileri ise Long Paddock adlı iklim göstergeleri veri merkezinin web sitesinden alınmıştır [8]. Güneş Lekesi Sayısı aylık veri kümesi ise SIDC-Solar Influences Data Analysis Center adlı web sitesinden elde edilmiştir [9].

İklim indeksleri zaman serilerinin kaydedildiği tarih aralıkları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

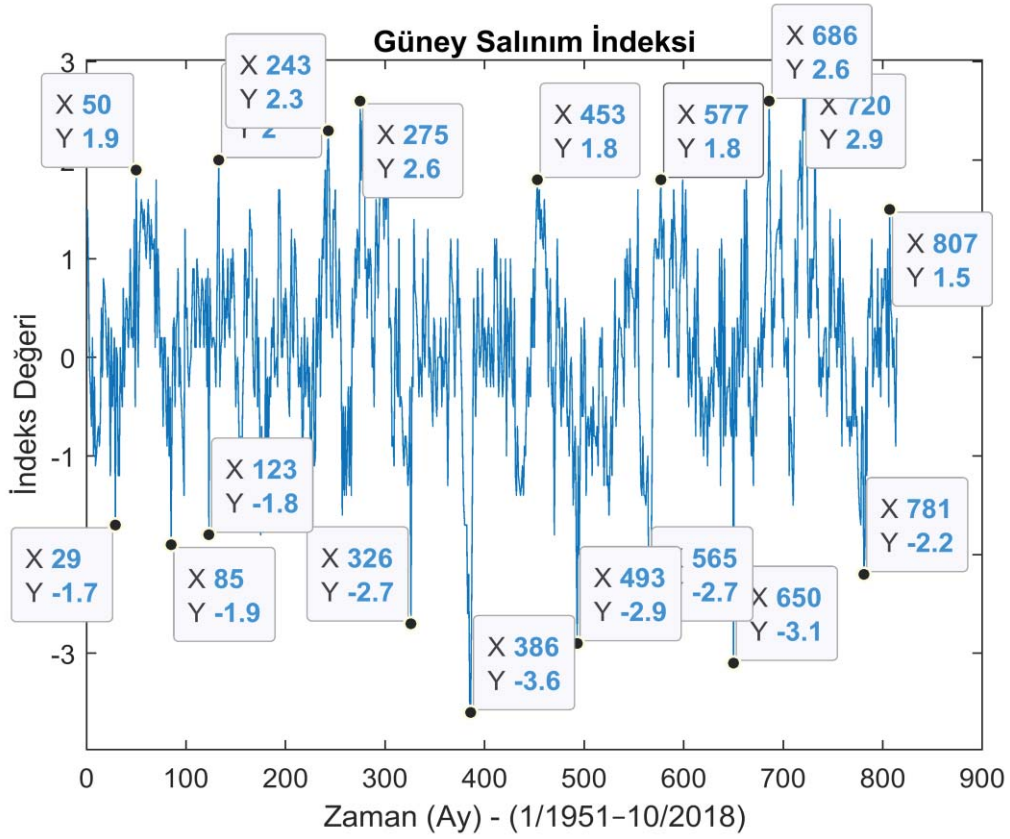
Çizelge 4.1. İklim İndeksleri Zaman Serilerinin Kaydedildiği Tarih Aralıkları.

İklim İndeksi	Tarih Aralığı
Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) (Aylık Veri)	1/1950- 10/2018
Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) (Günlük Veri)	1/1/1950- 31/10/2018
Güney Salınım İndeksi (SOI) (Aylık Veri)	1/1951-10/2018
Güney Salınım İndeksi (SOI) (Günlük Veri)	6/6/1991-10/12/2018
Güneş Lekesi Sayısı (Aylık Veri)	11/1754 – 10/2018

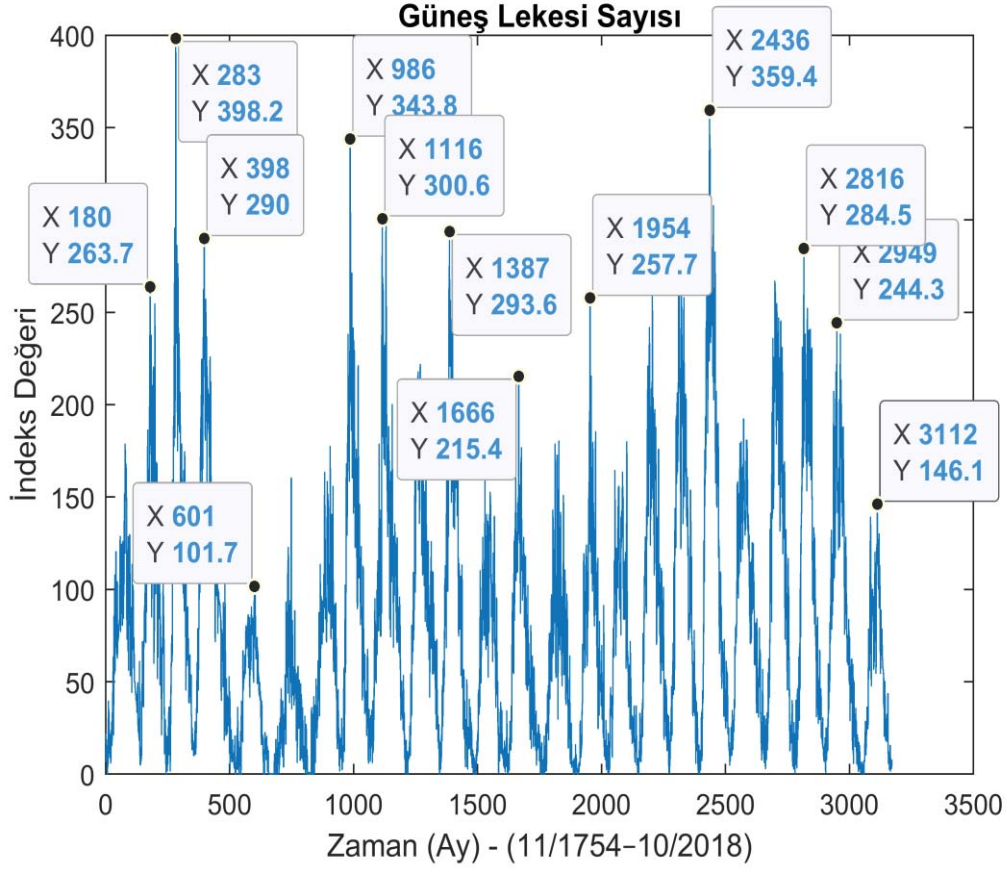
Çizelge 4.1'de yer alan Kuzey Atlantik Salınım İndeksi, Güney Salınım İndeksi ve Güney Lekesi Sayısı aylık zaman serileri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kuzey Atlantik Salınım İndeksi Aylık Zaman Serisi.



Şekil 4.2. Güney Salınım İndeksi Aylık Zaman Serisi.



Şekil 4.3. Güneş Lekesi Sayısı Aylık Zaman Serisi.

Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile Kuzey Atlantik Salınım İndeksi, Güney Salınım İndeksi ve Güney Lekesi Sayısı aylık zaman serileri gösterilmiş, grafik üzerindeki indeks değerinin yüksek olduğu tepe noktalarına karşılık gelen zaman değerleri ayrıca belirtilmiştir.

İklim göstergelerinin günlük ve aylık zaman serileri adı geçen sinyal analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Yapılan tüm analizler MATLAB ortamında gerçekleştirilmiş, simülasyon sonuçları yorumlanmaya çalışılmıştır.

4.1. Güneş Lekesi Sayısı Periyot Analizi

İklim göstergelerinde ortaya çıkan periyotların, Güneş ile olan ilişkisini yorumlayabilmek açısından, önce P=264'lik bir zaman uzunluğu esas alınmış ve bu zamanın harmonikleri hesaplanmıştır. 264 yılın n. harmoniğinin periyodu, $P_n = \frac{264}{n}$ yıl olarak hesaplanır. 264 yıla ait ilk 320 harmonik Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Çizelge 4.2 ile gösterilen değerler iklim göstergelerinin periyot analizi bölümünde referans olarak kullanılacaktır.

Çizelge 4.2. 264 Yıllık Zaman Uzunluğunun Harmonikleri.

n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)
1	264,00	23	11,48	45	5,87	67	3,94
2	132,00	24	11,00	46	5,74	68	3,88
3	88,00	25	10,56	47	5,62	69	3,83
4	66,00	26	10,15	48	5,50	70	3,77
5	52,80	27	9,78	49	5,39	71	3,72
6	44,00	28	9,43	50	5,28	72	3,67
7	37,71	29	9,10	51	5,18	73	3,62
8	33,00	30	8,80	52	5,08	74	3,57
9	29,33	31	8,52	53	4,98	75	3,52
10	26,40	32	8,25	54	4,89	76	3,47
11	24,00	33	8,00	55	4,80	77	3,43
12	22,00	34	7,77	56	4,71	78	3,39
13	20,31	35	7,54	57	4,63	79	3,34
14	18,86	36	7,33	58	4,55	80	3,30
15	17,60	37	7,14	59	4,48	81	3,26
16	16,50	38	6,95	60	4,40	82	3,22
17	15,53	39	6,77	61	4,33	83	3,18
18	14,67	40	6,60	62	4,26	84	3,14
19	13,89	41	6,44	63	4,19	85	3,11
20	13,20	42	6,29	64	4,13	86	3,07
21	12,57	43	6,14	65	4,06	87	3,04
22	12,00	44	6,00	66	4,00	88	3,00

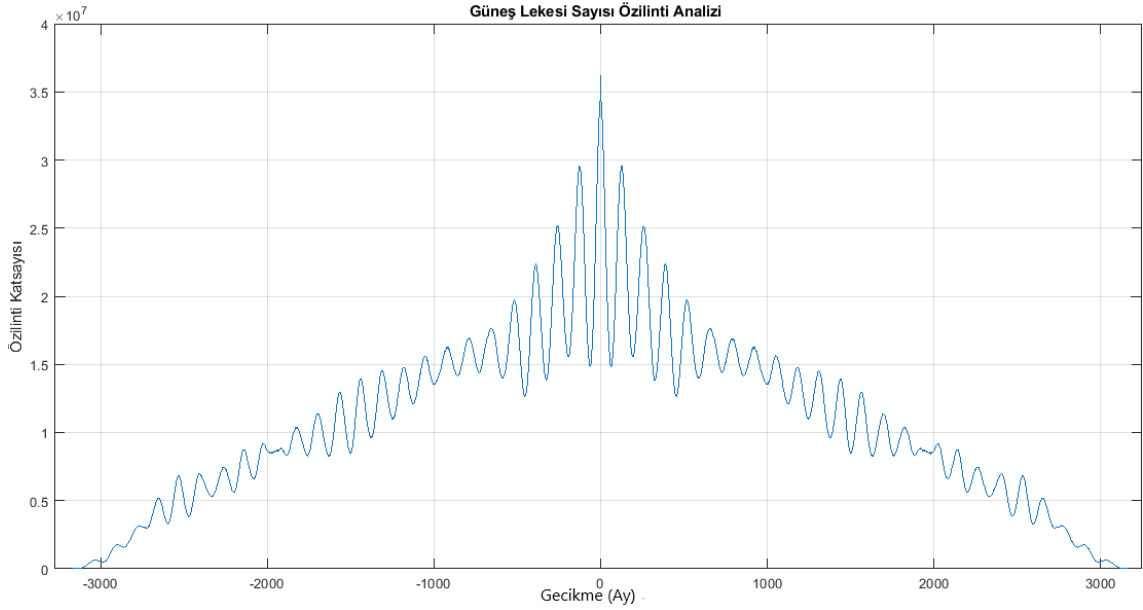
Çizelge 4.2. 264 Yıllık Zaman Uzunluğunun Harmonikleri (Devam).

n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)
89	2,97	118	2,24	147	1,80	176	1,50
90	2,93	119	2,22	148	1,78	177	1,49
91	2,90	120	2,20	149	1,77	178	1,48
92	2,87	121	2,18	150	1,76	179	1,48
93	2,84	122	2,16	151	1,75	180	1,47
94	2,81	123	2,15	152	1,74	181	1,46
95	2,78	124	2,13	153	1,73	182	1,45
96	2,75	125	2,11	154	1,71	183	1,44
97	2,72	126	2,10	155	1,70	184	1,44
98	2,69	127	2,08	156	1,69	185	1,43
99	2,67	128	2,06	157	1,68	186	1,42
100	2,64	129	2,05	158	1,67	187	1,41
101	2,61	130	2,03	159	1,66	188	1,40
102	2,59	131	2,02	160	1,65	189	1,40
103	2,56	132	2,00	161	1,64	190	1,39
104	2,54	133	1,99	162	1,63	191	1,38
105	2,51	134	1,97	163	1,62	192	1,38
106	2,49	135	1,96	164	1,61	193	1,37
107	2,47	136	1,94	165	1,60	194	1,36
108	2,44	137	1,93	166	1,59	195	1,35
109	2,4	138	1,91	167	1,58	196	1,35
110	2,400	139	1,90	168	1,57	197	1,34
111	2,38	140	1,89	169	1,56	198	1,33
112	2,36	141	1,87	170	1,55	199	1,33
113	2,34	142	1,86	171	1,54	200	1,32
114	2,32	143	1,85	172	1,54	201	1,31
115	2,30	144	1,83	173	1,53	202	1,31
116	2,28	145	1,82	174	1,52	203	1,30
117	2,26	146	1,81	175	1,51	204	1,29

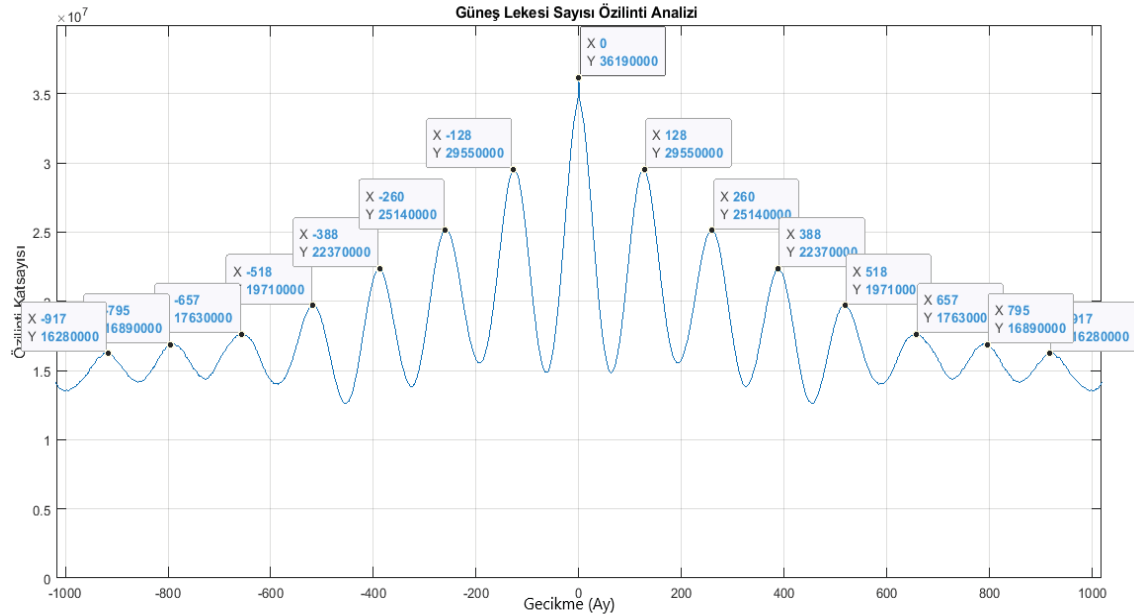
Çizelge 4.2. 264 Yıllık Zaman Uzunluğunun Harmonikleri (Devam).

n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)	n	Periyot (Yıl)
205	1,29	234	1,13	263	1,00	292	0,90
206	1,28	235	1,12	264	1,00	293	0,90
207	1,28	236	1,12	265	0,99	294	0,90
208	1,27	237	1,11	266	0,99	295	0,90
209	1,26	238	1,11	267	0,99	296	0,89
210	1,26	239	1,11	268	0,98	297	0,89
211	1,25	240	1,10	269	0,98	298	0,89
212	1,25	241	1,10	270	0,98	299	0,88
213	1,24	242	1,09	271	0,97	300	0,88
214	1,23	243	1,09	272	0,97	301	0,88
215	1,23	244	1,08	273	0,97	302	0,87
216	1,22	245	1,08	274	0,96	303	0,87
217	1,22	246	1,07	275	0,96	304	0,87
218	1,21	247	1,07	276	0,96	305	0,87
219	1,21	248	1,07	277	0,95	306	0,86
220	1,20	249	1,06	278	0,95	307	0,86
221	1,20	250	1,06	279	0,95	308	0,86
222	1,19	251	1,05	280	0,94	309	0,85
223	1,18	252	1,05	281	0,94	310	0,85
224	1,18	253	1,04	282	0,94	311	0,85
225	1,17	254	1,04	283	0,93	312	0,85
226	1,17	255	1,04	284	0,93	313	0,84
227	1,16	256	1,03	285	0,93	314	0,84
228	1,16	257	1,03	286	0,92	315	0,84
229	1,15	258	1,02	287	0,92	316	0,84
230	1,15	259	1,02	288	0,92	317	0,83
231	1,14	260	1,02	289	0,91	318	0,83
232	1,14	261	1,01	290	0,91	319	0,83
233	1,13	262	1,01	291	0,91	320	0,83

Güneş Lekesi Sayısı periyot analizinde 3168 adet aylık Güneş Lekesi Sayısı verisi kullanılmıştır. Periyot analizinde özilinti ve periyodogram yöntemi kullanılarak Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki döngü periyotları belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak özilinti analizi yöntemi ile Güneş Lekesi Sayısı periyot değeri belirlenmeye çalışılmış, Şekil 4.4'te özilinti analiz grafiği gösterilmiştir.



a)

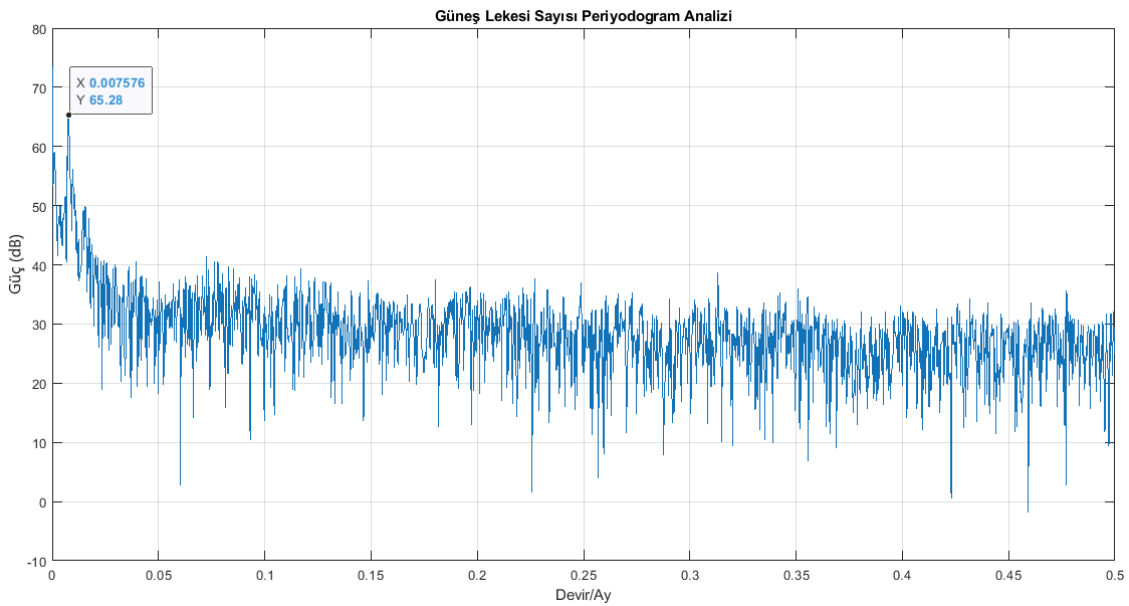


b)

Şekil 4.4. a) Güneş Lekesi Sayısı Özilinti Analizi b) Özilinti Analizi Detaylı Gösterimi.

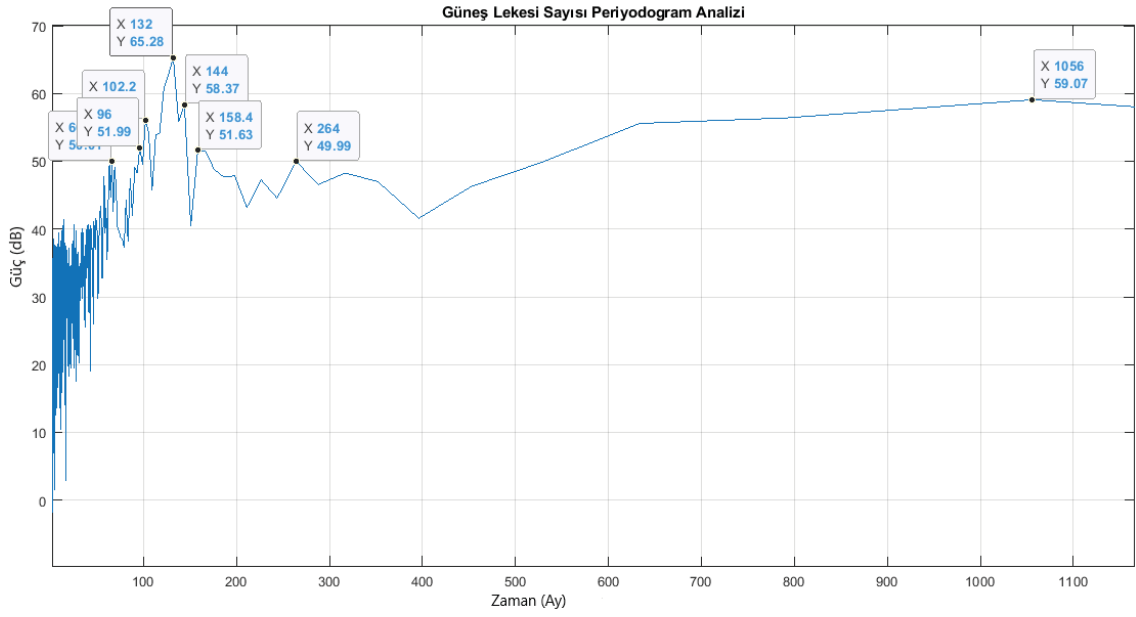
Şekil 4.4 ile gösterilen özilinti fonksiyonu grafiği üzerinde tüm tepe noktaları işaretlenip, bu tepelere karşılık gelen zaman değerlerinin aralarındaki farkların ortalaması alındığında elde edilen değer 132,79 ay olarak bulunur. 132,79 ay 11,07 yıla karşılık gelmektedir ve özilinti yöntemi ile elde edilen Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisindeki başat periyottur [26], [27], [28].

Kullanılan bir diğer periyot analiz yöntemi olan periyodogram analizi ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisindeki periyotlar incelendiğinde Şekil 4.5 ile gösterilen periyodogram fonksiyonu grafiği elde edilir.



Şekil 4.5. Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analizi (Frekans-Güç).

Şekil 4.5'te gösterilen periyodogram grafiğinde x eksenini frekans bilgisini içermektedir. Grafik üzerinde belirtildiği üzere maksimum güç değerindeki tepe noktası 0,007576 devir/ay frekansında bulunmaktadır, 0,007576 devir/ay periyot olarak 132 aya karşılık gelmektedir. 132 ay Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisindeki baskın periyot değerini ifade etmektedir ve 11 yıla eşittir [26], [27], [28]. Periyodogram analiz sonucunun ayrıntı incelenmesi için, x eksenini periyot bilgisini içerecek şekilde düzenlenmiş ve Şekil 4.6 ile gösterilen grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analizi (Periyot-Güç).

Şekil 4.6'da gösterilen analiz sonuç grafiğinde x eksenini periyot bilgisini içermektedir. Sonuç grafiği üzerinde yüksek güce sahip tepe noktaları işaretlenmiş, zaman karşılıkları belirlenmiştir. Grafikte belirtildiği üzere maksimum güç değerindeki tepe noktası 132 ay da gözlenmiştir.

Şekil 4.6 ile gösterilen sonuç grafiği üzerinde 38 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analizi Sonuçları.

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)	264/Yıl
65,2813	0,00757576	4017,67	132,00	11,00	24
59,0724	0,00094697	32141,34	1056,00	88,00	3
58,3720	0,00694444	4382,91	144,00	12,00	22
56,0972	0,00978535	3110,45	102,19	8,52	31
51,9889	0,01041666	2921,94	96,00	8,00	33
51,6297	0,00631313	4821,20	158,40	13,20	20
50,0060	0,01515152	2008,83	66,00	5,50	48
49,9872	0,00378788	8035,34	264,00	22,00	12
49,6286	0,01578283	1928,48	63,36	5,28	50
49,1305	0,01104798	2754,97	90,51	7,54	35
49,0893	0,01452020	2096,17	68,87	5,74	46
48,2579	0,00315657	9642,40	316,80	26,40	10
47,8463	0,00505051	6026,50	198,00	16,50	16
47,8221	0,01736111	1753,16	57,60	4,80	55
47,3976	0,01167929	2606,05	85,62	7,14	37
47,2918	0,00441919	6887,43	226,29	18,86	14
44,3610	0,01231060	2472,41	81,23	6,77	39
43,3450	0,01862374	1634,31	53,69	4,48	59
43,0318	0,01672980	1819,32	59,77	4,98	53
41,5912	0,02051768	1483,45	48,74	4,06	65
41,4123	0,07260101	419,23	13,77	1,15	230
41,1300	0,02146465	1418,00	46,59	3,88	68
40,7341	0,02430556	1252,26	41,14	3,43	77
40,5769	0,03945707	771,39	25,34	2,11	125
40,5730	0,02304293	1320,88	43,40	3,62	73
40,5423	0,07796717	390,38	12,83	1,07	247
40,4874	0,02556818	1190,42	39,11	3,26	81
40,4668	0,07638889	398,45	13,09	1,09	242
40,1174	0,02967172	1025,79	33,70	2,81	94

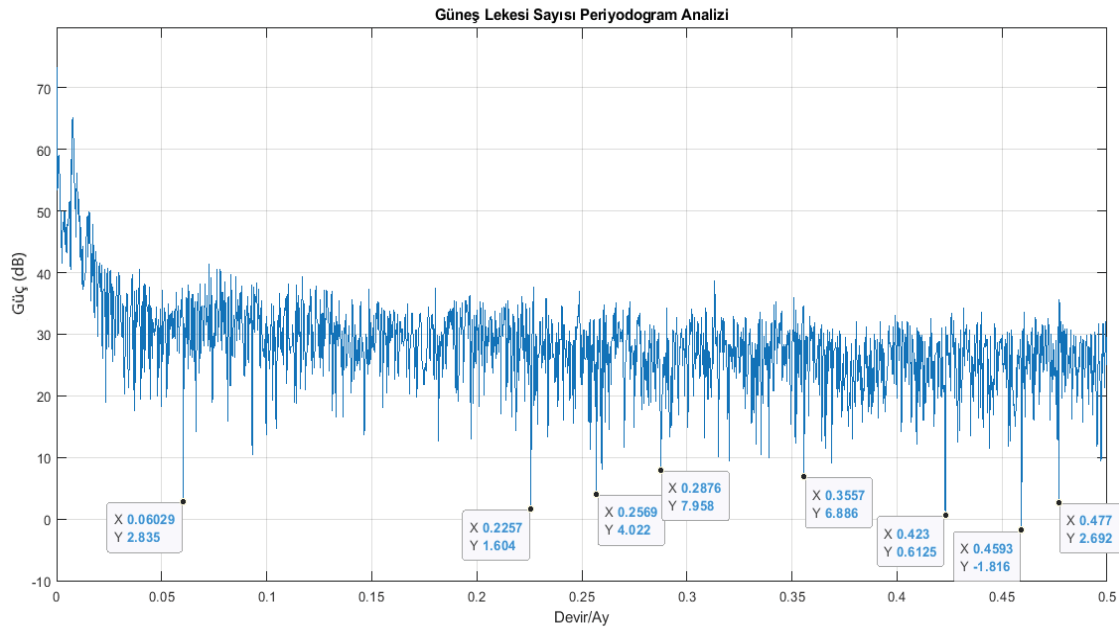
Çizelge 4.3. Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analizi Sonuçları (Devam).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)	264/Yıl
39,9439	0,02367424	1285,65	42,24	3,52	75
39,7178	0,03598485	845,82	27,79	2,32	114
39,6689	0,08301768	366,63	12,05	1,00	264
39,4249	0,02872475	1059,60	34,81	2,90	91
39,3969	0,11710859	259,90	8,54	0,71	371
39,2937	0,08522727	357,13	11,73	0,98	270
39,1775	0,07354798	413,84	13,60	1,13	233
38,6012	0,31313131	97,20	3,19	0,27	992
38,4407	0,08017677	379,62	12,47	1,04	254
38,3519	0,09532828	319,28	10,49	0,87	302
38,2457	0,04166667	730,49	24,00	2,00	132
38,2066	0,07070707	430,46	14,14	1,18	224
38,1673	0,11016414	276,29	9,08	0,76	349
38,1431	0,02619950	1161,74	38,17	3,18	83
38,1120	0,06818182	446,41	14,67	1,22	216
38,0490	0,06281566	484,54	15,92	1,33	199
38,0319	0,09280303	327,97	10,78	0,90	294
38,0028	0,11426768	266,36	8,75	0,73	362

Çizelge 4.3 incelendiğinde Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 132,00 ay, 1056,00 ay, 144,00 ay, 102,19 ay, 96,00 ay, 158,40 ay, 66,00 ay, 264,00 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler yıl olarak değerlendirildiğinde sırasıyla, 11 yıl, 88 yıl, 12 yıl, 8,516 yıl, 8 yıl, 13,2 yıl, 5,5 yıl ve 22 yıla eşittir [39], [40], [41]. Belirlenen başat periyotlar dışında Çizelge 4.3'te gösterilen diğer periyotlar da Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde olan periyotlardır ve yerküre üzerindeki iklimsel hareketliliklerde karşımıza çıkmaktadır. Zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlara karşılık gelen tepe noktalarının 264 yılın kaçınıcı harmoniği olduğu ayrıca tabloda gösterilmiştir. Buna göre 264 yılın 24. harmoniği olan 11,00 yıl Güneş Lekesi Sayısı'nın başat periyot değerini ifade etmektedir.

Periyodogram analizi ile yüksek güç değerlerine sahip tepe noktalarını ve bu noktalara karşılık gelen periyot değerlerini inceleyerek Güneş Lekesi Sayısı'nın zaman serisi içerisindeki periyot bilgisine ulaşılmıştır.

Ayrıca, Şekil 4.5'te gösterilen analiz sonuç grafiğinde düşük güç değerlerine sahip dip noktalarının frekans ve buna karşılık gelen periyot bilgisi incelenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Frekans Analizi (Periyodogram Analizi).

Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin periyodogram analiz grafiği incelendiğinde Şekil 4.7'de gösterilen grafikte de belirtildiği üzere bazı frekans değerlerinde düşük güce sahip dip noktaları mevcuttur. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları
(Periyodogram Analizi).

Güç (dB)	Anti-Rezonans Frekans (Devir/Ay)	Anti- Rezonans Periyot (Gün)	Anti- Rezonans Periyot (Ay)	Anti- Rezonans Periyot (Yıl)	264/Yıl
-1,816	0,4593	66,27	2,18	0,18	1467
0,6125	0,423	71,95	2,36	0,20	1320
1,604	0,2257	135,14	4,43	0,37	713
2,692	0,477	63,81	2,10	0,17	1553
2,835	0,06029	504,03	16,59	1,38	191
4,022	0,2569	118,48	3,89	0,32	825
7,958	0,2876	105,83	3,48	0,29	910
6,886	0,3557	85,57	2,81	0,23	1148

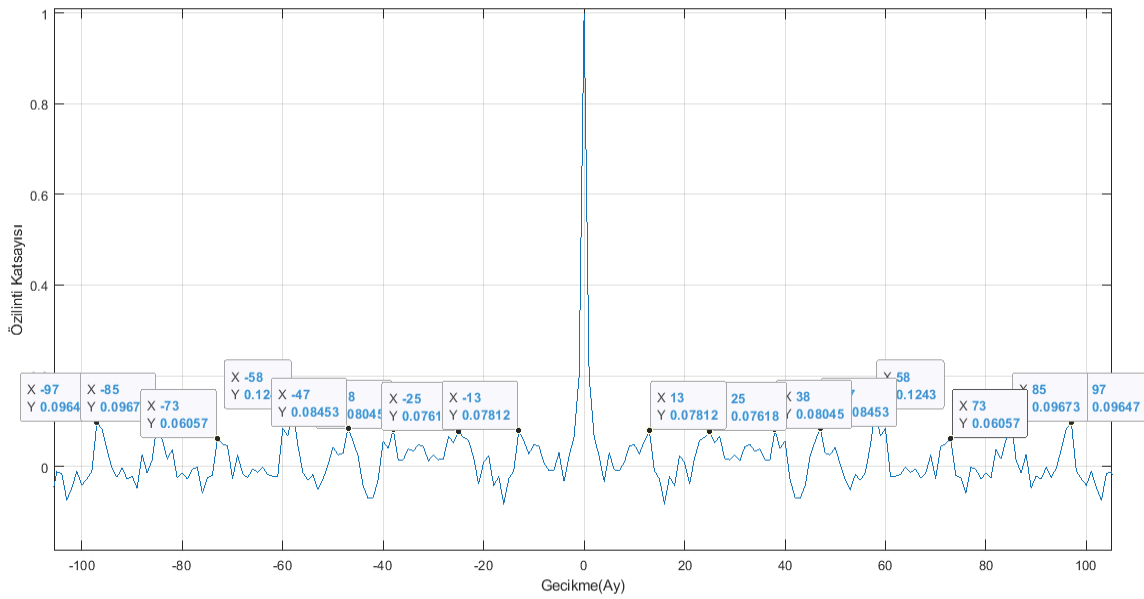
Çizelge 4.4'te gösterilen anti-rezonans periyotlarının daha çok düşük periyot bölgesinde olduğu gözlenmektedir. Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotları daha sonraki bölümlerde NAO ve SOI iklim göstergelerinin anti-rezonans periyot analizi bölümünde karşılaştırma amaçlı kullanılacaktır.

4.2. Kuzey Atlantik Salınımı Periyot Analizi

Kuzey Atlantik Salınımı'nın periyot analizinde öncelikle NAO'nun aylık veri kümesi incelenmiş, sonrasında iklim göstergesinin ayrıntılı periyot analizi amaçlanarak NAO'nun günlük veri kümesi de kullanılmıştır.

4.2.1. Kuzey Atlantik Salınımı Aylık Veri Kümesi Periyot Analizi

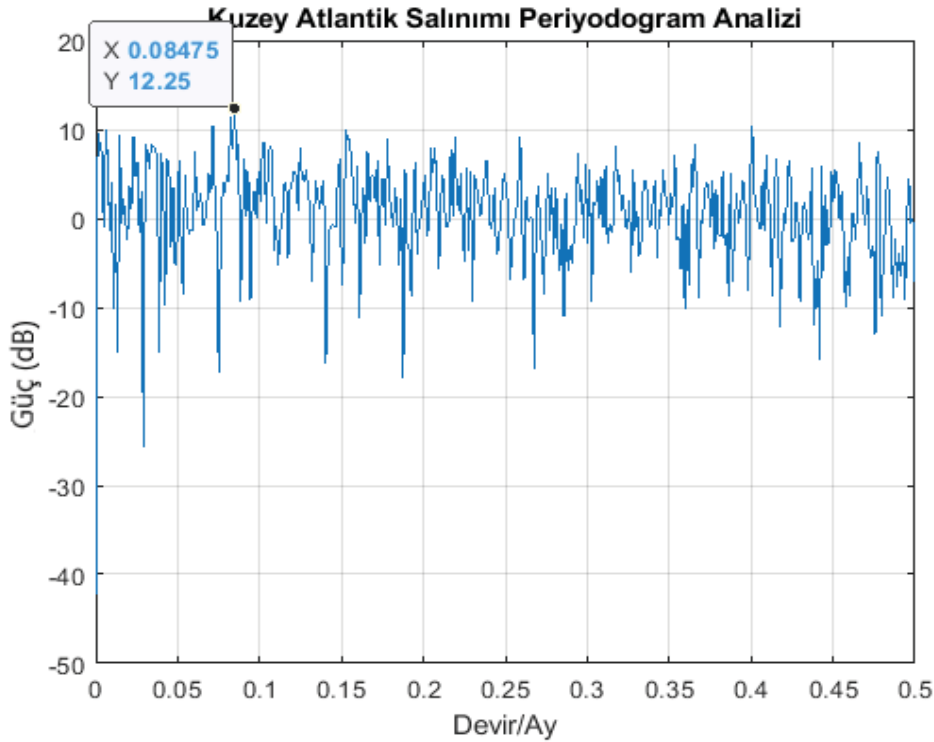
Çizelge 4.1'de gösterilen 1950 ile 2018 yılları arasında kayıtlı toplam 826 adet aylık NAO verisi kullanılmıştır. İlk olarak özilinti analizi yöntemi ile Kuzey Atlantik Salınımı'nın periyot değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.8'de özilinti analiz grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kuzey Atlantik Salınımı Özilinti Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.8 ile gösterilen Kuzey Atlantik Salınımı özilinti analiz grafiği üzerinde yüksek ilinti katsayısına sahip belirgin tüm tepe noktaları işaretlenmiştir. Bu analizde özilinti katsayısı 0,03'ten büyük tepe noktaları belirgin tepe noktaları kabul edilmiştir. Bu noktalara karşılık gelen zaman değerlerinin aralarındaki farkların ortalaması alındığında elde edilen periyot değeri 11,36 ay olarak belirlenmiştir. 11,36 ay özilinti yöntemi ile elde edilen Kuzey Atlantik Salınımı periyot değerini ifade etmektedir.

Kullanılan bir diğer periyot analiz yöntemi olan periyodogram analizi yöntemi ile Kuzey Atlantik Salınımı'nın periyot değeri araştırıldığında Şekil 4.9 ile gösterilen sonuç grafiği elde edilir.



Şekil 4.9. Kuzey Atlantik Salınımı Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.9'da gösterilen periyodogram grafiği üzerinde x eksen frekans bilgisini içermektedir. Analiz sonucundan anlaşılacağı üzere grafikte birden fazla yüksek güce sahip tepe noktaları elde edilmiştir. Maksimum güç değerine sahip tepe noktası Şekil 4.9'da belirtildiği üzere 0,08475 devir/ay frekans yani 11,80 aylık bir döngüye karşılık gelmektedir. 11,80 ay periyodogram yöntemi ile elde edilen Kuzey Atlantik Salınımı içerisindeki başat periyot değerini ifade etmektedir.

Şekil 4.9 ile gösterilen sonuç grafiği üzerinde 7 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Kuzey Atlantik Salınımı Periyodogram Analizi Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
12,2528	0,08474576	359,16	11,80	0,98
11,3071	0,08232446	369,72	12,15	1,01
10,3470	0,40072639	75,95	2,50	0,21
10,3453	0,07142857	426,12	14,00	1,17
9,9394	0,00605326	5028,18	165,20	13,77
9,8942	0,15254237	199,53	6,56	0,55
9,6382	0,00121065	25140,85	826,00	68,83
9,3950	0,01452785	2094,97	68,83	5,74
9,2686	0,02300242	1323,20	43,47	3,62
9,1654	0,21912833	138,90	4,56	0,38
9,1509	0,25907990	117,48	3,86	0,32
8,8511	0,17796610	171,03	5,62	0,47
8,4987	0,10169492	299,30	9,83	0,82
8,4418	0,46610170	65,30	2,15	0,18
8,4105	0,03026634	1005,63	33,04	2,75
8,3656	0,36561743	83,25	2,74	0,23
8,3362	0,03389831	897,89	29,50	2,46
8,2392	0,08716707	349,18	11,47	0,96
8,1427	0,10653753	285,69	9,39	0,78
8,0579	0,31719128	95,96	3,15	0,26
7,9133	0,20702179	147,02	4,83	0,40
7,8518	0,12469733	244,09	8,02	0,67
7,8382	0,20460048	148,76	4,89	0,41
7,8158	0,21670702	140,45	4,61	0,38
7,5056	0,47699758	63,92	2,10	0,18
7,4854	0,16585956	183,51	6,03	0,50
7,4387	0,06053269	502,82	16,52	1,38
7,2473	0,03995158	761,84	25,03	2,09

Çizelge 4.5'e baktığımızda Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotların 11,8 ay, 12,15 ay, 2,5 ay, 14 ay, 165,20 ay, 6,56 ay, 826 ay, 68,83 ay ve 43,47 ay olduğu tespit edilmiştir [42], [43], [44], [45]. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 826 ayın 70, 68, 59, 330, 5, 126, 1, 12 ve 19. harmonikleridir.

Belirlenen periyot değerleri yıl olarak değerlendirildiğinde 0,98 yıl, 1,01 yıl, 1,17 yıl, 0,21 yıl, 13,77 yıl, 0,55 yıl, 68,83 yıl, 5,74 yıl ve 3,62 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yıllın 269, 261, 226, 1257, 19, 480, 4, 46 ve 73. harmonikleridir. 4. harmonik ve 19. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

Güneş Lekesi ile Kuzey Atlantik Salınımı arasındaki ilişkiyi incelemek için, Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları ile Kuzey Atlantik Salınımı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış ve ortak olan periyotlar Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

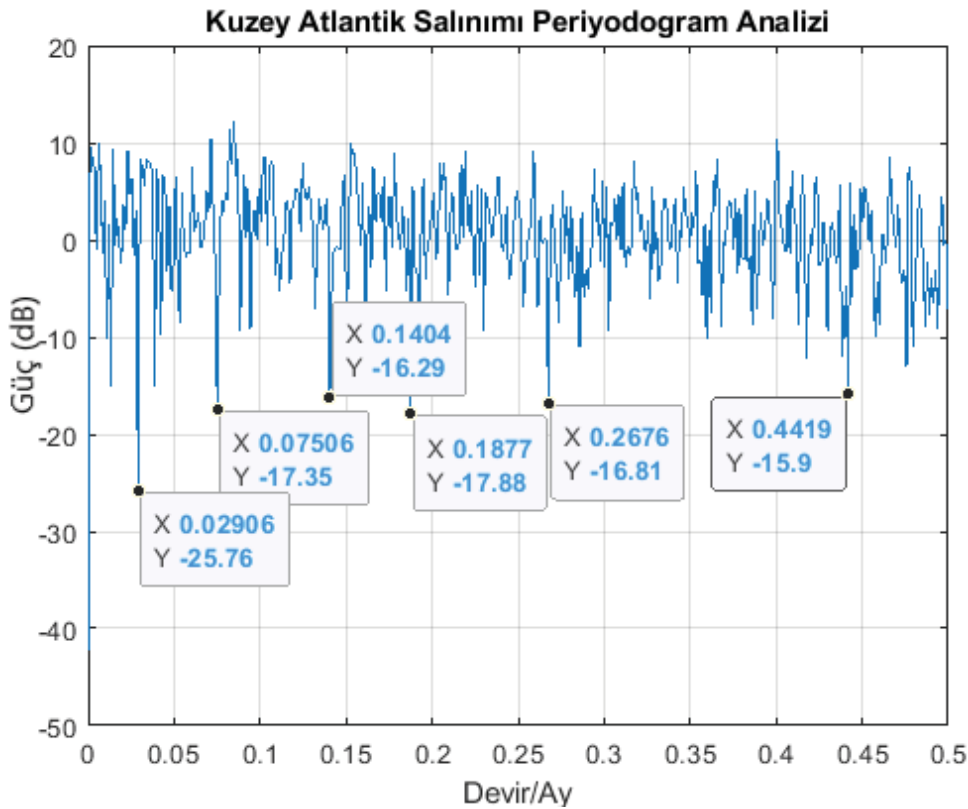
Çizelge 4.6. Kuzey Atlantik Salınımı (Aylık Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
165,20	158,40	%4,29
68,83	68,87	%0,06
43,47	43,40	%0,16
33,04	33,70	%1,96
29,50	27,79	%6,15
25,03	25,34	%1,22
16,52	15,92	%3,77
14,00	14,14	%0,99
12,15	12,05	%0,83
11,80	11,73	%0,60
9,39	9,08	%3,41
3,15	3,19	%1,25

Çizelge 4.6 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı periyodogram analiz sonuçlarının birçoğunun Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları ile yüksek oranda

benzerlik gösterdiği gözlenmektedir. Kuzey Atlantik Salınımı içerisindeki ön plana çıkan periyotların düşük yüzde hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı periyotları arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda Kuzey Atlantik Salınımı'nın sahip olduğu döngüsel davranışlarda Güneş'in etkili olduğu söylenebilmektedir [46], [47], [48], [49].

Şekil 4.9'da gösterilen periyodogram analiz grafiğinde düşük güç değerlerine sahip dip noktalarının frekans ve zaman bilgisi incelenmiş, kayıt altına alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.10 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi (Periyodogram Analizi).

Kuzey Atlantik Salınımı periyodogram analiz sonucu detaylı incelendiğinde Şekil 4.10 ile gösterilen grafikte de belirtildiği üzere bazı frekans değerlerinde düşük güce sahip dip noktaları mevcuttur. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Periyodogram Analizi).

Güç (dB)	Anti-Rezonans Frekans (Devir/Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Gün)	Anti-Rezonans Periyot (Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Yıl)
-25,76	0,02906	1047,38	34,41	2,87
-17,88	0,1877	162,16	5,33	0,44
-17,35	0,07506	405,50	13,32	1,11
-16,81	0,2676	113,74	3,74	0,31
-16,29	0,1404	216,79	7,12	0,59
-15,9	0,4419	68,88	2,26	0,19

Çizelge 4.7 ile gösterilen Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi içerisindeki anti-rezonans periyotlarını yorumlamak ve değerlendirmek için bu değerleri Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin periyodogram analizi sonucunda elde edilen periyot ve anti-rezonans periyotları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma tablosu Çizelge 4.8 ile gösterilmektedir.

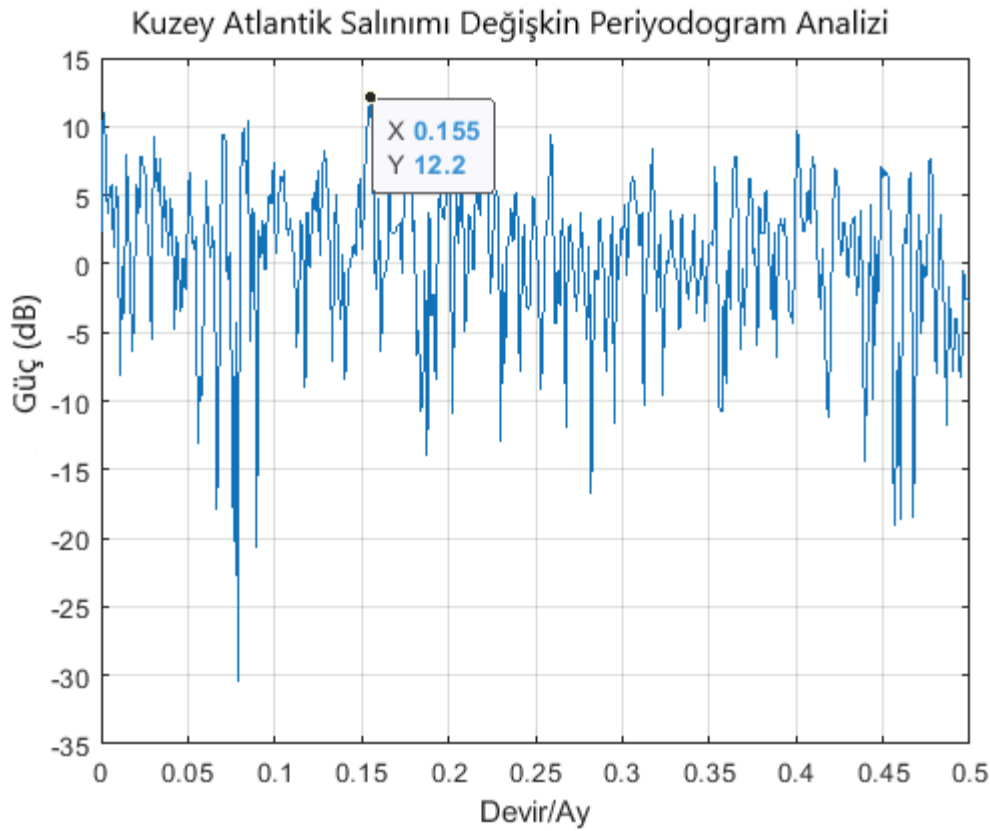
Çizelge 4.8. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
34,41	34,81	%1,15		
13,32	13,09	%1,76		
7,12				
5,33				
3,74			3,89	%3,86
2,26			2,18	%3,67

Çizelge incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı içerisindeki 34,41 aylık ve 13,32 aylık anti-rezonans periyotların düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi

içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı tespit edilmiştir. 3,74 aylık ve 3,26 aylık anti-rezonans periyotların ise düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde bulunan anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı görülmektedir.

Değişkin periyodogram yöntemi analizinde, periyodogram yönteminden farklı olarak Hamming ve Blackman pencereleri kullanılarak Kuzey Atlantik Salınımı'nın periyot analizi gerçekleştirilmiştir. Hamming pencere kullanılarak elde edilen periyot analiz sonucu Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Kuzey Atlantik Salınımı Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.11 ile gösterilen grafikteki maksimum güç değerine sahip tepe noktası periyodogram analizinden farklı olarak 0,155 devir/ay, periyot olarak 6,45 aya karşılık gelmektedir. Grafik üzerinde 7 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Kuzey Atlantik Salınımı Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
12,2006	0,15496368	196,32	6,45	0,54
11,0093	0,00121065	25140,85	826,00	68,83
10,3529	0,08474576	359,16	11,80	0,98
9,7868	0,08232446	369,81	12,15	1,01
9,7757	0,40072639	76,08	2,50	0,21
9,5022	0,07021792	433,43	14,24	1,19
9,4686	0,25907990	117,50	3,86	0,32
9,3209	0,03026634	1005,63	33,04	2,75
8,4057	0,31719128	95,88	3,15	0,26
8,2883	0,12832930	237,12	7,79	0,65
8,0069	0,17796610	171,06	5,62	0,47
7,9910	0,01452785	2094,97	68,83	5,74
7,8759	0,36561743	83,40	2,74	0,23
7,8124	0,02300242	1323,09	43,47	3,62
7,7868	0,40920097	74,25	2,44	0,20
7,7456	0,47699758	63,92	2,10	0,18
7,6381	0,03389831	897,88	29,50	2,46
7,4787	0,21912833	138,79	4,56	0,38
7,3815	0,09927361	306,51	10,07	0,84
7,1629	0,44915254	67,87	2,23	0,19
7,0350	0,35351090	86,12	2,83	0,24
7,0053	0,42251816	72,14	2,37	0,20

Çizelge 4.9 ile gösterilen analiz sonucuna göre Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotların 6,45 ay, 826 ay, 11,80 ay, 12,15 ay, 2,50 ay, 14,24 ay, 3,86 ay ve 33,04 ay olduğu tespit edilmiştir [42], [43]. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 826 ayın 128, 1, 70, 68, 330, 58, 214 ve 25. harmonikleridir.

Belirlenen periyotlar yıl olarak değerlendirildiğinde 0,54 yıl, 68,83 yıl, 0,98 yıl, 1,01 yıl, 0,21 yıl, 1,19 yıl, 0,32 yıl ve 2,75 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yılın 489, 4, 269, 261, 1257, 222, 825 ve 96. harmonikleridir. 4. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

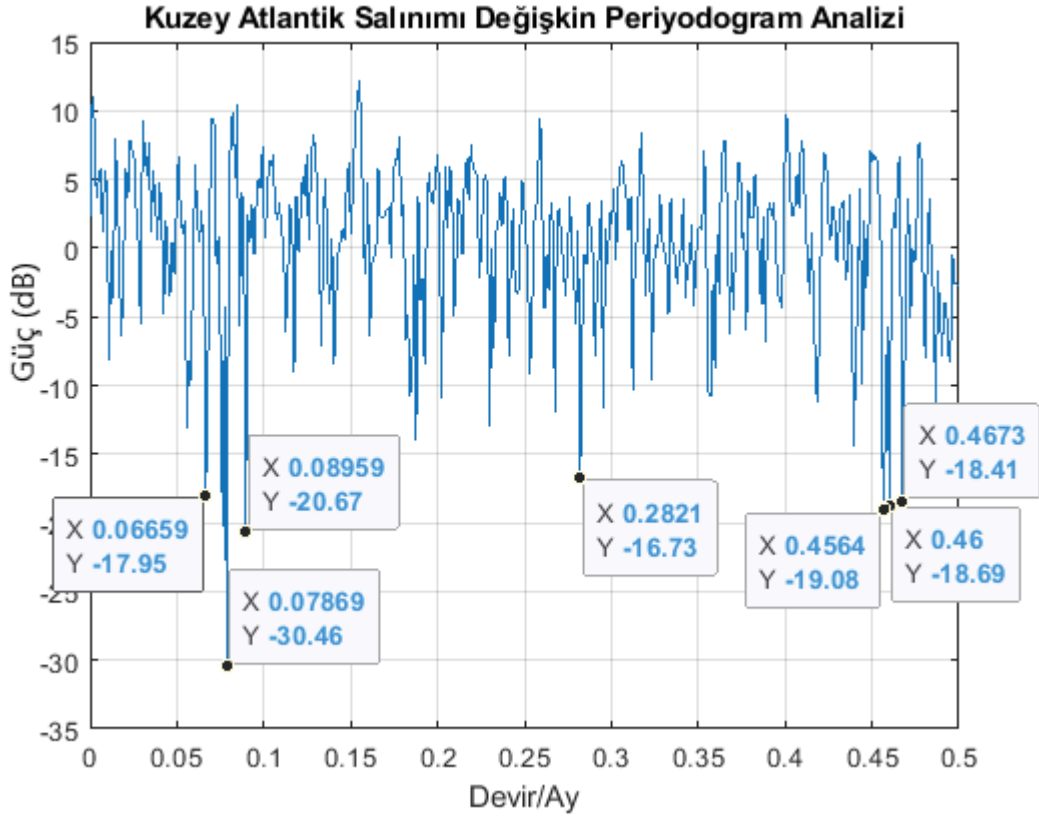
Kuzey Atlantik Salınımı Hamming pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Kuzey Atlantik Salınımı (Aylık Veri Kümesi, Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
68,83	68,87	%0,06
43,47	43,40	%0,16
33,04	33,70	%1,96
29,50	27,79	%6,15
14,24	14,14	%0,71
12,15	12,05	%0,83
11,80	11,73	%0,60
10,07	10,49	%4,00
3,15	3,19	%1,25

Çizelge 4.10 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisinin Hamming pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analizi sonucunda ön plana çıkan periyot değerleri düşük yüzde hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisindeki periyotlar arasında yer almaktadır. Özellikle 68,83 ay, 43,47 ay, 14,24 ay, 12,15 ay ve 11,80 ay düşük hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı'nın periyotları arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.11’de gösterilen Hamming pencere kullanılarak yapılan değişkin periyodogram analiz sonuç grafiğinde en az güç değerlerine sahip dip noktalarının frekans ve zaman bilgisi incelenmiş, kayıt altına alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.12 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).

Şekil 4.12 ile gösterilen sonuç grafiğinde belirtildiği üzere bazı frekans değerlerinde çok düşük güce sahip dip noktaları mevcuttur. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları
(Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz).

Güç (dB)	Anti-Rezonans Frekans (Devir/Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Gün)	Anti-Rezonans Periyot (Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Yıl)
-30,46	0,07869	386,79	12,71	1,06
-20,67	0,08959	339,74	11,16	0,93
-19,08	0,4564	66,69	2,19	0,18
-18,69	0,46	66,17	2,17	0,18
-18,41	0,4673	65,13	2,14	0,18
-17,95	0,06659	457,08	15,02	1,25
-16,73	0,2821	107,89	3,54	0,30

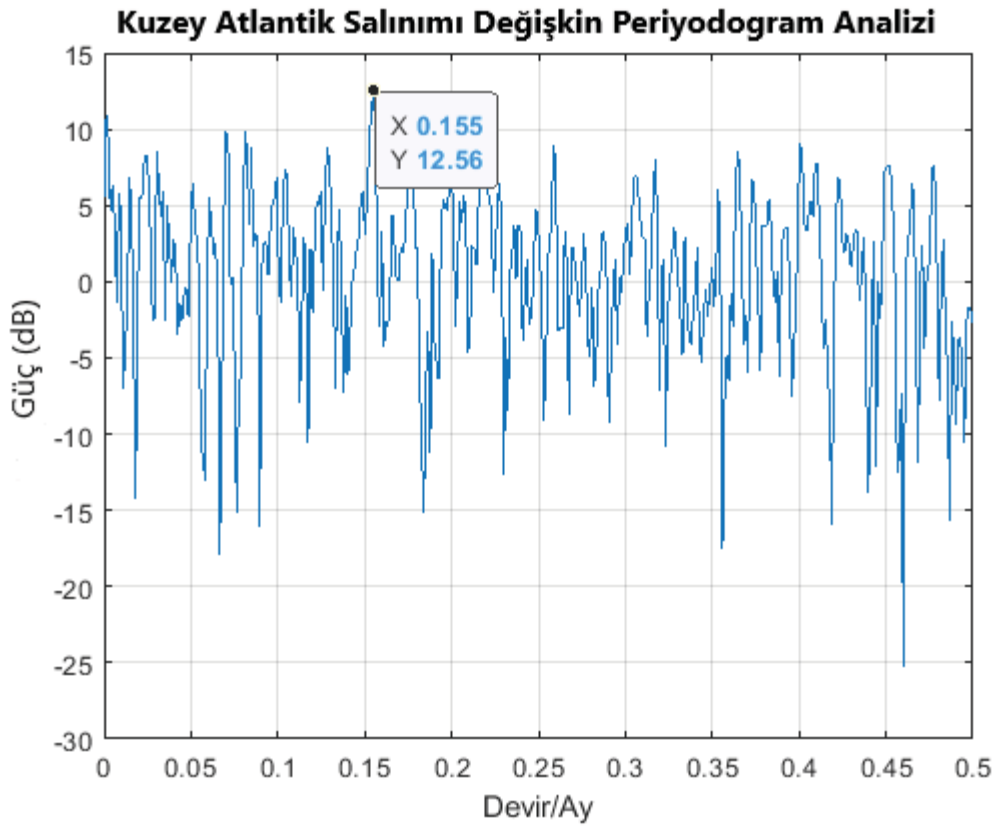
Çizelge 4.11 ile gösterilen Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi içerisindeki anti-rezonans periyotlarını yorumlamak ve değerlendirmek için bu değerler Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin periyodogram analizi ile elde edilen periyot ve anti-rezonans periyotları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma tablosu Çizelge 4.12 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
15,02	14,67	%2,39		
12,71	12,83	%0,94		
11,16	10,78	%3,53		
3,54			3,48	%1,72
2,19			2,18	%0,46
2,17				
2,14			2,10	%1,90

Çizelge 4.12 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı içerisindeki 15,02 aylık ,12,71 aylık ve 11,16 aylık anti-rezonans periyotların düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi'nin periyotları arasında yer aldığı gözlenmiştir. 3,54 aylık, 2,19 aylık ve 2,14 aylık anti-rezonans periyotların düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi zaman serisi içerisindeki anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı görülmektedir.

Blackman pencere kullanılarak gerçekleştirilen Kuzey Atlantik Salınımı değişkin periyodogram analiz sonuç grafiği Şekil 4.13'te gösterilmektedir



Şekil 4.13. Kuzey Atlantik Salınımı Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.13 ile gösterilen grafikte maksimum güç değerine sahip tepe noktası 0,155 devir/ay, periyot olarak 6,45 aya karşılık gelmektedir. Grafik üzerinde 7 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Kuzey Atlantik Salınımı Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
12,5601	0,15496368	196,32	6,45	0,54
10,9041	0,00121065	25140,85	826,00	68,83
9,8584	0,07021792	433,43	14,24	1,19
9,7877	0,08111380	375,29	12,33	1,03
9,0651	0,40072639	76,1	2,50	0,21
8,9427	0,25907990	117,46	3,86	0,33
8,8365	0,08474576	359,16	11,80	0,98
8,5457	0,03026634	1005,63	33,04	2,75
8,5084	0,12832930	237,12	7,79	0,65
8,4939	0,36440678	83,40	2,74	0,23
8,2651	0,02421308	1257,06	41,30	3,44
8,0647	0,31719128	95,88	3,15	0,26
7,9153	0,17675545	172,27	5,66	0,47
7,7788	0,41041162	74,25	2,44	0,20
7,6244	0,47699758	63,92	2,10	0,18
7,6090	0,45157385	67,28	2,21	0,18
7,3718	0,10411622	292,19	9,60	0,8
7,1218	0,19975787	152,49	5,01	0,42

Çizelge 4.13 ile gösterilen analiz sonucuna göre Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotların 6,45 ay, 826 ay, 14,24 ay, 12,33 ay, 2,5 ay, 3,86 ay, 11,8 ay ve 33,04 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 826 ayın 128, 1, 58, 67, 330, 214, 70 ve 25. harmonikleridir.

Belirlenen periyotlar yıl olarak değerlendirildiğinde 0,54 yıl, 68,83 yıl, 1,19 yıl, 1,03 yıl, 0,21 yıl, 0,33 yıl, 0,98 yıl ve 2,75 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yılın 489, 4, 222, 256,1257, 800, 269 ve 96. harmonikleridir. 4. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

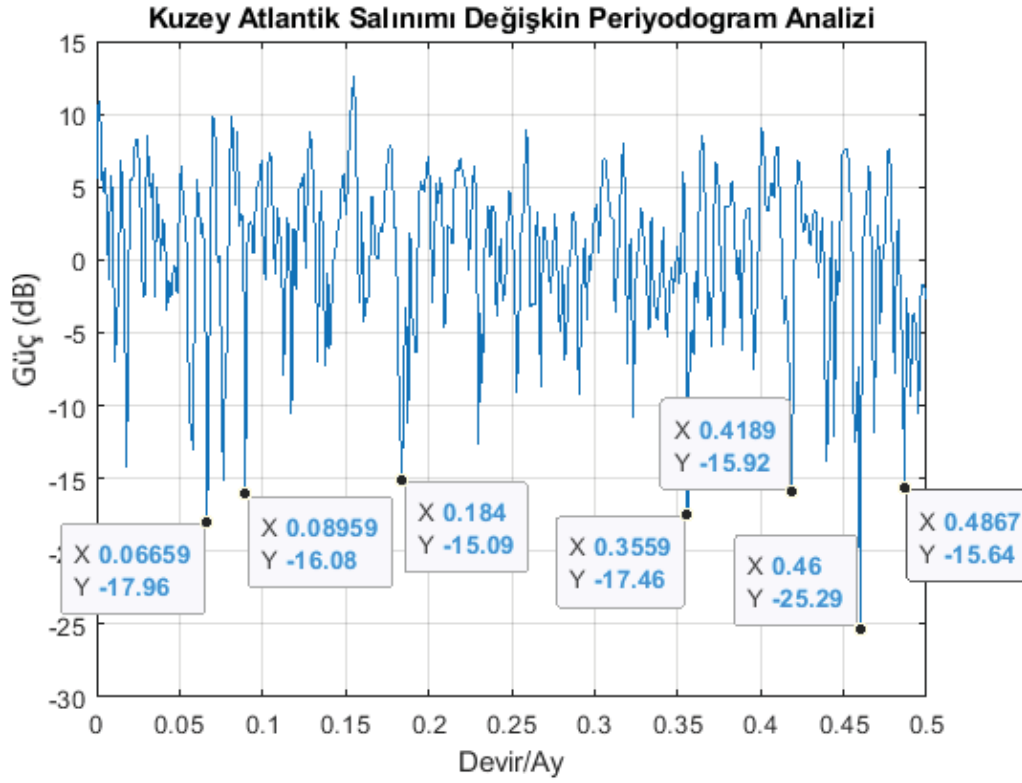
Kuzey Atlantik Salınımı Blackman pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.14’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Kuzey Atlantik Salınımı (Aylık Veri Kümesi, Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
41,30	41,14	%0,39
33,04	33,70	%1,96
14,24	14,14	%0,71
12,33	12,47	%1,12
11,80	11,73	%0,60
9,60	9,08	%5,73
3,15	3,19	%1,25

Çizelge 4.14 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı değişkin periyodogram analiz sonuçları içerisinde ön plana çıkan periyotların Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Dikkat edilen diğer bir nokta, Kuzey Atlantik Salınımı’nın periyodogram analiz sonuçları değişkin periyodogram analiz sonuçlarına göre daha geniş periyot bilgisine sahiptir.

Blackman pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuç grafiğinde en az güç değerlerine sahip dip noktalarının frekans ve zaman bilgisini incelenmiş, kayıt altına alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analizi (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).

Şekil 4.14 ile gösterilen analiz grafiğinin de belirtildiği üzere bazı frekans değerlerinde çok düşük güce sahip dip noktaları mevcuttur. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Frekans Analiz Sonuçları
(Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz).

Güç (dB)	Anti-Rezonans Frekans (Devir/Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Gün)	Anti-Rezonans Periyot (Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Yıl)
-25,29	0,46	66,05	2,17	0,18
-17,96	0,06659	457,08	15,02	1,25
-17,46	0,3559	85,52	2,81	0,23
-16,08	0,08959	339,74	11,16	0,93
-15,92	0,4189	72,66	2,39	0,20
-15,64	0,4867	62,54	2,05	0,17
-15,09	0,184	165,42	5,43	0,45

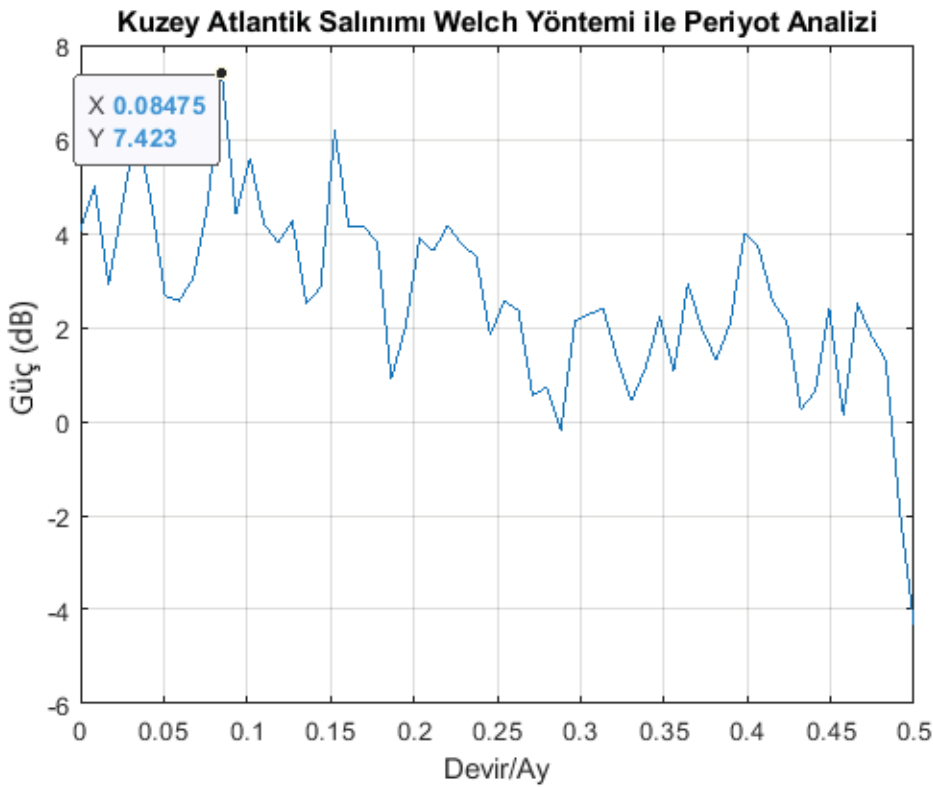
Çizelge 4.15 ile gösterilen Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi içerisindeki anti-rezonans periyotlarını yorumlamak ve değerlendirmek için bu değerleri Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin periyodogram analizi ile elde edilen periyot ve anti-rezonans periyotları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma tablosu Çizelge 4.16 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.16. Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
15,02	14,67	%2,39		
11,16	10,78	%3,53		
5,43				
2,81			2,81	%0
2,39			2,36	%1,27
2,17			2,18	%0,46
2,05			2,10	%2,38

Çizelge incelendiğinde 15,02 aylık 11,16 aylık anti-rezonans periyotların düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi'nin periyotları arasında yer aldığı gözlenmiştir. 2,81 aylık, 2,39 aylık, 2,17 aylık ve 2,05 aylık anti-rezonans periyotların çok düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi'nin anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı görülmektedir.

Kullanılan diğer bir periyot analiz yöntemi Welch yöntemidir. Uzunluğu 826 olan Kuzey Atlantik Salınımı aylık verisi her bir parçanın uzunluğu 118 olacak şekilde bloklara ayrılmış. Üst üste örtüştürülmüş veri sayısı her blok için 60 olarak ayarlanmıştır. Yapılan bu düzenlemelere göre elde edilen Welch analiz sonuç grafiği Şekil 4.15 ile gösterilmektedir



Şekil 4.15. Kuzey Atlantik Salınımı Welch Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.15 ile gösterilen sonuç grafiğinde birden fazla noktada tepe mevcuttur. Maksimum güç değerine sahip tepe noktası periyodogram analiz sonucu ile aynı olarak 0,08475 devir/ay, 11,80 aya karşılık gelmektedir. Grafikteki tüm tepe noktaları işaretlenip bu noktalara karşı gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Kuzey Atlantik Salınımı Welch Yöntemi ile Periyot Analizi Sonuçları
(Aylık Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
7,4233	0,08474576	359,14	11,80	0,98
6,2001	0,03389831	897,88	29,50	2,46
6,1683	0,15254237	199,64	6,56	0,55
5,5926	0,10169492	299,21	9,83	0,82
5,0030	0,00847458	3591,55	118,00	9,83
4,2580	0,12711864	239,53	7,87	0,66
4,1644	0,22033898	138,18	4,54	0,38
4,1492	0,16949153	179,55	5,90	0,49
3,9989	0,39830508	76,41	2,51	0,21
3,8862	0,20338983	149,75	4,92	0,41

Çizelge 4.17 ile gösterilen analiz sonuçları incelendiğinde Welch yöntemi ile detaylı periyot bilgisine ulaşılamadığı görülmüştür. Analiz sonucunda zaman serisi içerisinde ön plana çıkan periyotlar 11,80 ay, 29,50 ay, 6,56 ay ve 9,83 ay olarak gözlenmiştir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 826 ayın 70, 28, 126, 84. harmonikleridir. Welch yöntemi ile elde edilen periyot değerleri periyodogram yöntemi kullanılarak elde edilen periyot değerleri içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı'nın Welch analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Kuzey Atlantik Salınımı (Aylık Veri Kümesi, Welch Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

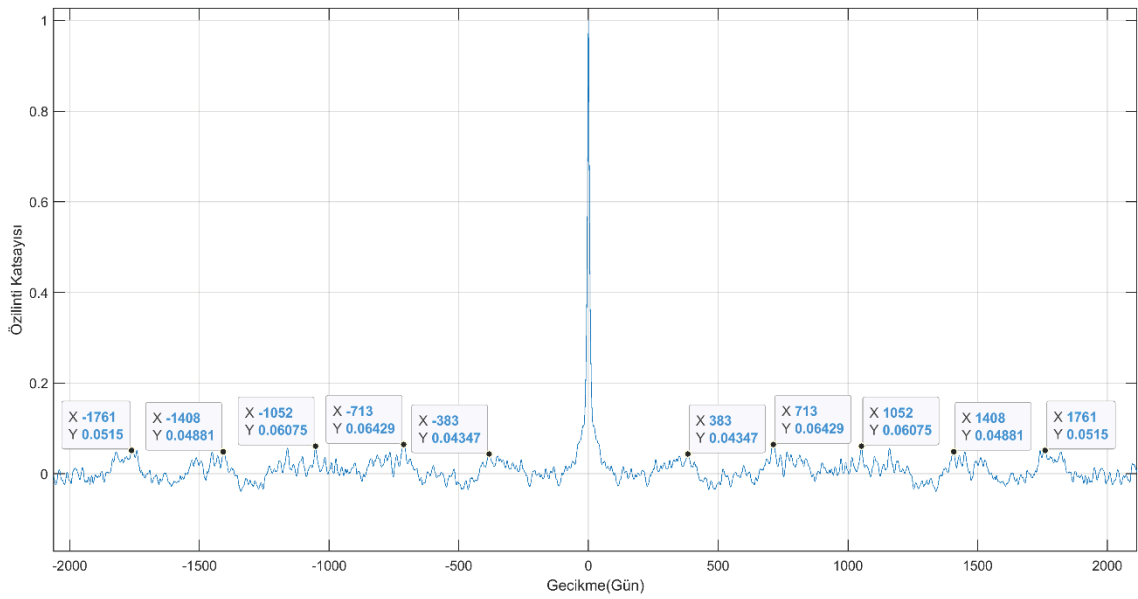
Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
29,50	27,79	%6,15
11,80	11,73	%0,60
7,87	8,54	%7,85

Çizelge 4.18 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımının Welch yöntemi analiz sonuçları içerisinde ön plana çıkan periyot değerlerinin Güneş Lekesi Sayısı periyot değerleri ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Özellikle NAO zaman serisi içerisindeki başat periyotlarından birisi olan 11,80 ayın Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin periyotları içerisinde yer alması Güneş'in Kuzey Atlantik Salınımı üzerindeki etkisi olarak yorumlanmaktadır [46].

Welch yöntemi ile periyodogram ve değişkin periyodogram yöntemine göre daha dar bir periyot bilgisine ulaşılmıştır. Dolayısıyla Çizelge 4.18'de gösterilen periyot karşılaştırması sonucunda Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar ile daha az sayıda örtüşme olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2. Kuzey Atlantik Salınımı Günlük Veri Kümesi Periyot Analizi

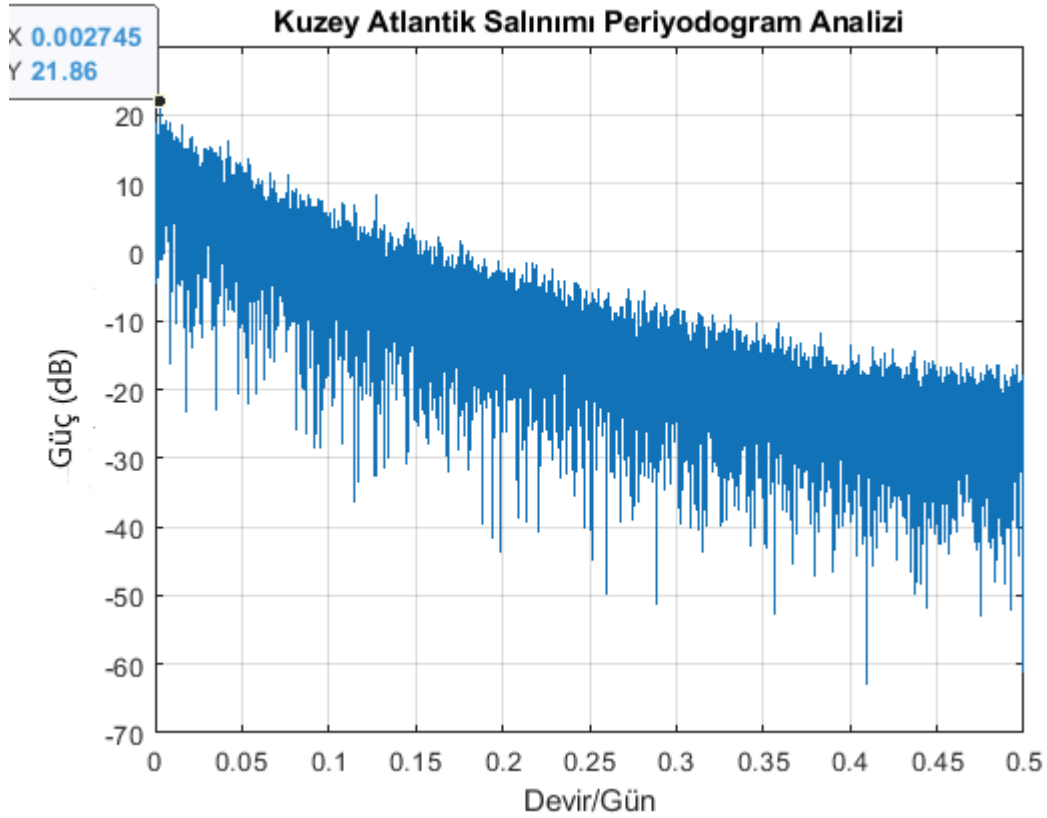
Kuzey Atlantik Salınımı'nın periyot ve döngüsel davranışları hakkında daha detaylı bilgiye sahip olmak için Kuzey Atlantik Salınımı'nın günlük veri kümesi ayrıca incelenmiştir. Çizelge 4.1'de gösterildiği üzere 1950 ile 2018 yılları arasında kayıtlı 25141 adet günlük NAO verisi kullanılmıştır. İlk olarak özilinti analizi ile NAO zaman serisi içerisindeki periyotlar belirlenmeye çalışılmış, Şekil 4.16'da özilinti analiz grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Kuzey Atlantik Salınımı Özilinti Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Şekil 4.16 ile gösterilen Kuzey Atlantik Salınımı özilinti grafiğinde birçok tepe noktası olduğu gözlenmiştir. Yüksek ilinti katsayısına sahip belirgin tüm tepe noktaları işaretlenmiştir. Grafik üzerinde özilinti katsayısı 0,035'ten büyük tepe noktaları belirgin tepe noktaları kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen zaman değerlerinin aralarındaki farkların ortalaması alındığında elde edilen değer 360,98 gün yani 11,86 ay olarak elde edilmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı'nın aylık veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen özilinti analizinde periyot değeri 11,36 ay olarak elde edilmiştir.

Periyodogram analiz yöntemi ile Kuzey Atlantik Salınımı'nın günlük veri kümesi kullanılarak zaman serisi içerisindeki periyotlar araştırıldığında, Şekil 4.17 ile gösterilen periyodogram grafiği elde edilmiştir.



Şekil 4.17. Kuzey Atlantik Salınımı Periyodogram Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Şekil 4.17 ile gösterilen sonuç grafiğinde maksimum güç değerine sahip tepe noktası grafikte belirtildiği üzere 0,002745 devir/gün yani 364,36 güne karşılık gelmektedir. 364,36 gün 11,97 aya eşittir. 11,97 ay periyodogram yöntemi ile elde edilen Kuzey Atlantik Salınımı içerisindeki başat periyodu ifade etmektedir. Kuzey Atlantik Salınımı'nın aylık veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen periyodogram analizinde bu değer 11,8 ay olarak gözlenmiştir.

Şekil 4.17 ile gösterilen grafik üzerinde 17 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Kuzey Atlantik Salınımı Periyodogram Analiz Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Gün)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
21,8625	0,00274452	364,36	11,97	0,99
19,1731	0,00584702	171,03	5,62	0,47
19,1105	0,00234676	426,12	14,00	1,17
18,8502	0,00003978	25138,26	826,00	68,83
18,8027	0,00851199	117,48	3,86	0,32
18,6580	0,01531363	65,30	2,15	0,18
18,5451	0,00350026	285,69	9,39	0,78
18,5128	0,00501174	199,53	6,56	0,55
18,1444	0,00019888	5028,16	165,20	13,77
18,1376	0,00548904	182,18	5,99	0,49
17,2134	0,00047731	2095,08	68,83	5,74
17,9095	0,00075574	1323,21	43,47	3,62
17,6901	0,00672209	148,76	4,89	0,41
17,6579	0,00338093	295,78	9,72	0,81
17,6306	0,00719940	138,90	4,56	0,38
17,4080	0,00286385	349,18	11,47	0,96
17,2635	0,00982459	101,79	3,34	0,28
17,2287	0,00966549	103,46	3,40	0,28
17,1175	0,00099439	1005,64	33,04	2,75
17,0441	0,00111372	897,89	29,50	2,46
17,0389	0,00119327	838,03	27,53	2,29

Periyot analizinde bütünlük olması açısından elde edilen değerleri yorumlanırken ay ve yıl cinsinden yorumlanmıştır. Çizelge 4.19 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotların 11,97 ay, 5,62 ay, 14,00 ay, 826 ay, 3,86 ay, 2,15 ay, 9,39 ay, 6,56 ay, 165,20 ay ve 5,99 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 826 ayın 69, 147, 59, 1, 214, 330, 88, 126, 5 ve 138. harmonikleridir.

Belirlenen periyot değerleri yıl olarak değerlendirildiğinde 0,99 yıl, 0,47 yıl, 1,17 yıl, 68,83 yıl, 0,32 yıl, 0,18 yıl, 0,78 yıl, 0,55 yıl, 13,77 yıl ve 0,49 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yılın 267, 562, 226, 4, 825, 1467, 338, 480, 19 ve 539. harmonikleridir. 4. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

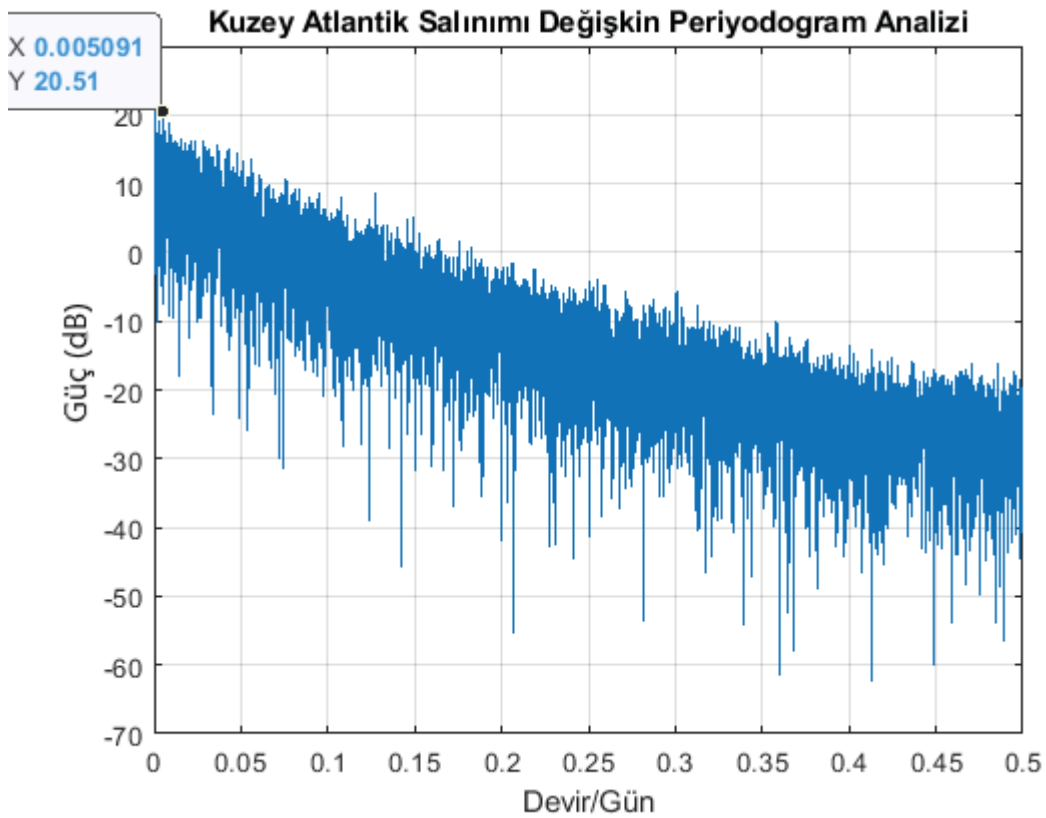
Çizelge 4.20. Kuzey Atlantik Salınımı (Günlük Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
165,20	158,40	%4,29
68,83	68,87	%0,06
43,47	43,40	%0,16
33,04	33,70	%1,96
27,53	27,79	%0,94
14,00	14,14	%0,99
12,15	12,05	%0,83
11,97	12,05	%0,66
11,47	10,78	%6,40
9,72	10,49	%7,34
9,39	9,08	%3,41
8,02	8,54	%6,09
3,34	3,19	%4,70

Çizelge 4.20 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen periyodogram analizi sonucu elde edilen periyot değerlerinin birçoğunun Güneş Lekesi Sayısı periyot değerleri ile yüksek oranda benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Güneş Lekesi Sayısı ile Kuzey Atlantik Salınımı içindeki ortak periyotların aynı zamanda Kuzey Atlantik Salınımı’nın ön plana çıkan periyotları olduğu gözlenmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı iklim göstergesinin günlük veri kümesi

kullanılarak gerçekleştirilen periyodogram sonuç grafiği üzerinde en az güç değerlerine sahip birçok dip noktasının olması ve bu noktaların birbirine çok yakın olmasından dolayı, dip noktalarının frekans ve zaman bilgisi tespit edilememiştir.

Değişkin periyodogram analizinde sadece Blackman pencere kullanılmıştır. Blackman pencere kullanılarak Kuzey Atlantik Salınımı'nın günlük zaman serisi için periyot analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuç grafiği Şekil 4.18'de gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Kuzey Atlantik Salınımı Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Grafik üzerinde maksimum güç değerine sahip tepe noktası 0,005091 devir/gün yani 196,43 güne karşılık geldiği gözlenmiştir. 196,43 gün ay cinsinden 6,45 aya eşittir. Grafik üzerinde 17 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. Kuzey Atlantik Salınımı Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Gün)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
22,0770	0,00003978	25141,00	826,00	68,83
20,5116	0,00509129	196,41	6,45	0,55
19,0492	0,00278430	359,16	11,80	0,98
18,6743	0,00851199	117,48	3,86	0,32
18,5276	0,00266497	375,24	12,33	1,03
18,2301	0,00230699	433,47	14,24	1,19
17,8279	0,00548904	182,18	5,99	0,50
17,7757	0,00584702	171,03	5,62	0,47
17,1556	0,00421622	237,18	7,79	0,65
17,0668	0,01002347	99,77	3,28	0,27

Çizelge 4.21 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı'nın yüksek güce sahip periyot değerleri 826 ay, 6,45 ay, 11,80 ay, 3,86 ay, 12,33 ay, 14,24 ay, 5,99 ay, 33,04 ay, 5,62 ay, 7,79 ay ve 3,28 ay olarak gözlenmiştir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 826 ayın 1, 128, 70, 214, 67, 58, 138, 25, 147, 106 ve 252. harmonikleridir.

Belirlenen periyotlar yıl olarak değerlendirildiğinde 68,83 yıl, 0,54 yıl, 0,98 yıl, 0,32 yıl, 1,03 yıl, 1,19 yıl, 0,50 yıl, 2,75 yıl, 0,47 yıl, 0,65 yıl ve 0,27 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yılın 4, 489, 269, 825, 256, 222, 528, 96, 562 ve 406. harmonikleridir. 4. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

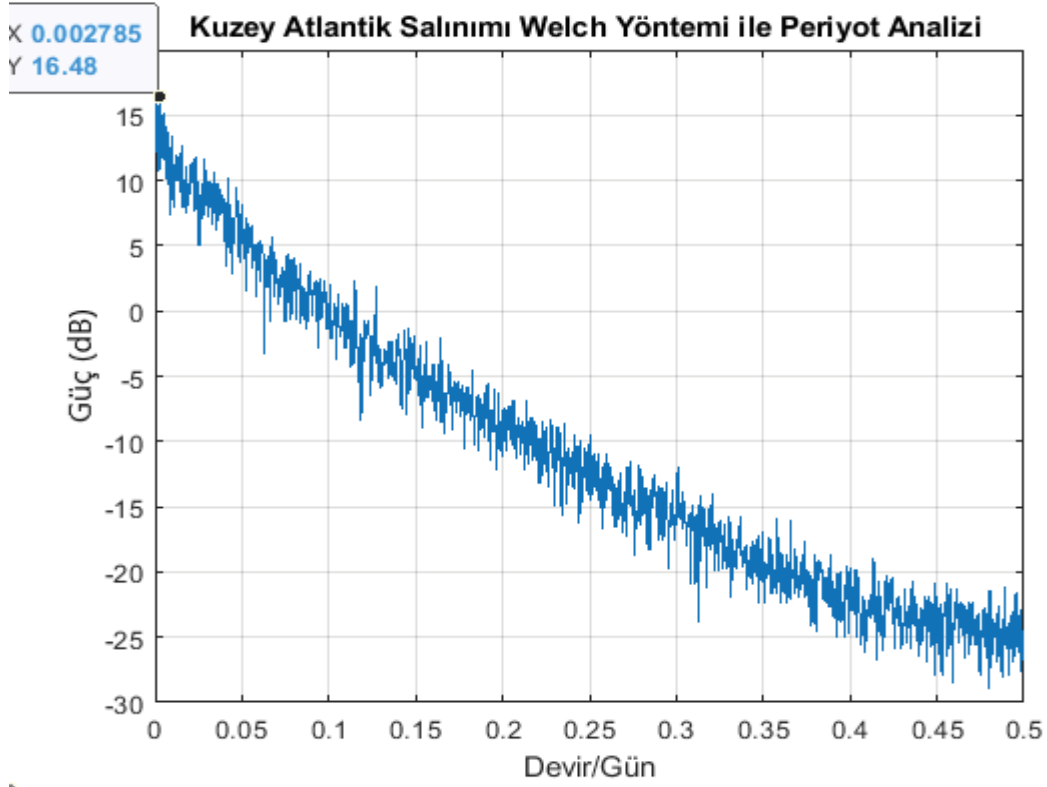
Kuzey Atlantik Salınımı'nın günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.22 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. Kuzey Atlantik Salınımı (Günlük Veri Kümesi, Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
33,04	33,70	%1,96
14,24	14,14	%0,71
12,33	12,47	%1,12
11,80	11,73	%0,60
7,79	8,54	%8,78
3,28	3,19	%2,82

Çizelge 4.22 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı günlük veri kümesinin değişkin periyodogram analiz sonuçları içerisindeki baskın periyotların, Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Kullanılan bir diğ er periyot analiz yöntemi Welch yöntemidir. Uzunluğ u 25141 olan Kuzey Atlantik Salınımı g ünlük verisi her bir parçanın uzunluğ u 3591 olacak şekilde bloklara ayrılmış . Üst üste örtüş türülmüş veri sayısı her blok için 1000 olarak seçilmiş tir. Yapılan düzenlemelere göre elde edilen Welch analiz grafiğ i ř ekil 4.19 ile gösterilmektedir.



Ş ekil 4.19. Kuzey Atlantik Salınımı Welch Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Welch analiz grafiğ inde maksimum güç değ erine sahip tepe noktası 0,002785 devir/gün yani 359,10 gün, 11,8 aya karş ılık gelmektedir. Kuzey Atlantik Salınımı'nın aylık veri kümesi kullanılarak geç ekleş tirilen Welch analizinde de bu değ er 11,8 ay olarak göz lenmiş tir.

Ş ekil 4.19'daki grafik üzerinde 12 dB güç değ eri ve üzerindeki güç değ erlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiş tir. Bu tepelere karş ılık gelen frekans ve periyot değ erleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Ç izelge 4.23'te gösterilmiş tir.

Çizelge 4.23. Kuzey Atlantik Salınımı Welch Yöntemi ile Periyot Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Gün)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
16,4812	0,00278474	359,10	11,80	0,98
16,0573	0,00111390	897,75	29,50	2,46
15,2339	0,00556948	179,55	5,90	0,49
14,9555	0,00362016	276,23	9,08	0,76
14,4940	0,00027847	3591	117,98	9,83
13,6569	0,00751880	133,00	4,37	0,36
13,5947	0,00417711	239,40	7,87	0,66
13,4130	0,00974659	102,60	3,37	0,28
12,6013	0,01531607	65,29	2,15	0,18
12,5926	0,00835422	119,70	3,93	0,33
12,3011	0,00640490	156,13	5,13	0,43
12,0920	0,01448065	69,06	2,27	0,19

Çizelge 4.23 ile gösterilen analiz sonucuna göre Kuzey Atlantik Salınımını zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 11,80 ay, 29,50 ay, 5,90 ay, 9,08 ay, 117,98 ay, 4,37 ay, 7,87 ay, 3,37 ay, 2,15 ay, 3,93 ay, 5,13 ay ve 2,27 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 826 ayın 70, 28, 140, 91, 189, 105, 245, 384, 210, 161 ve 364. harmonikleridir.

Kuzey Atlantik Salınımı günlük veri kümesinin Welch analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.24 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.24. Kuzey Atlantik Salınımı (Günlük Veri Kümesi, Welch Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Kuzey Atlantik Salınımı Periyot Değeri (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyot Değeri (Ay)	Yüzde Hata
29,50	27,79	%6,15
11,80	11,73	%0,60
9,08	9,08	%0
7,87	8,54	%7,85
3,37	3,19	%5,64

Çizelge 4.24 incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen Welch analiz sonuçlarının yalnızca ön plana çıkan periyotların Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları içinde yer aldığı gözlenmiştir.

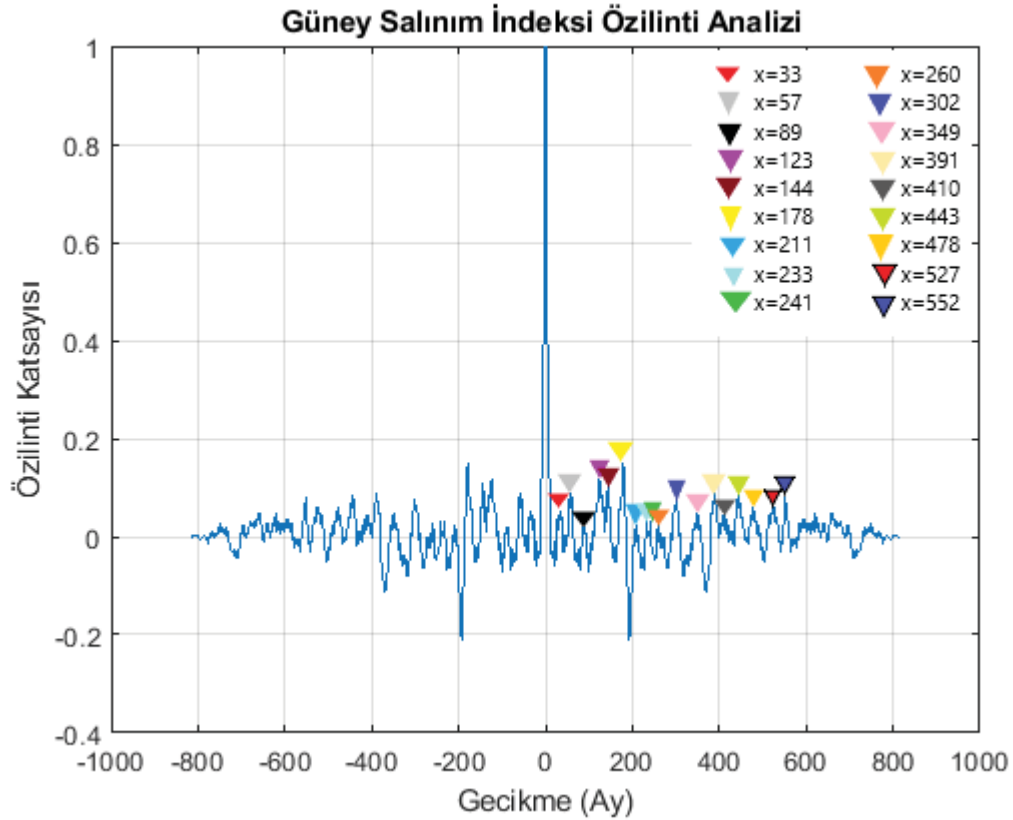
Kuzey Atlantik Salınımı periyot analizinde hem günlük hem de aylık veri kümeleri kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde benzer periyot değerleri elde edildiği gözlenmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı'nın elde edilen periyotların büyük bir kısmının düşük hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki periyotlar arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç Güneş'in Kuzey Atlantik Salınımı üzerindeki etkisini göstermektedir [46], [47], [48], [49].

4.3. Güney Salınım İndeksi Periyot Analizi

Güney Salınım İndeksi'nin periyot analizinde öncelikle SOI'nin aylık veri kümesi kullanılmış, sonrasında iklim göstergesinin ayrıntılı periyot analizi için SOI'nin günlük veri kümesi ayrıca kullanılmıştır.

4.3.1. Güney Salınım İndeksi Aylık Veri Kümesi Periyot Analizi

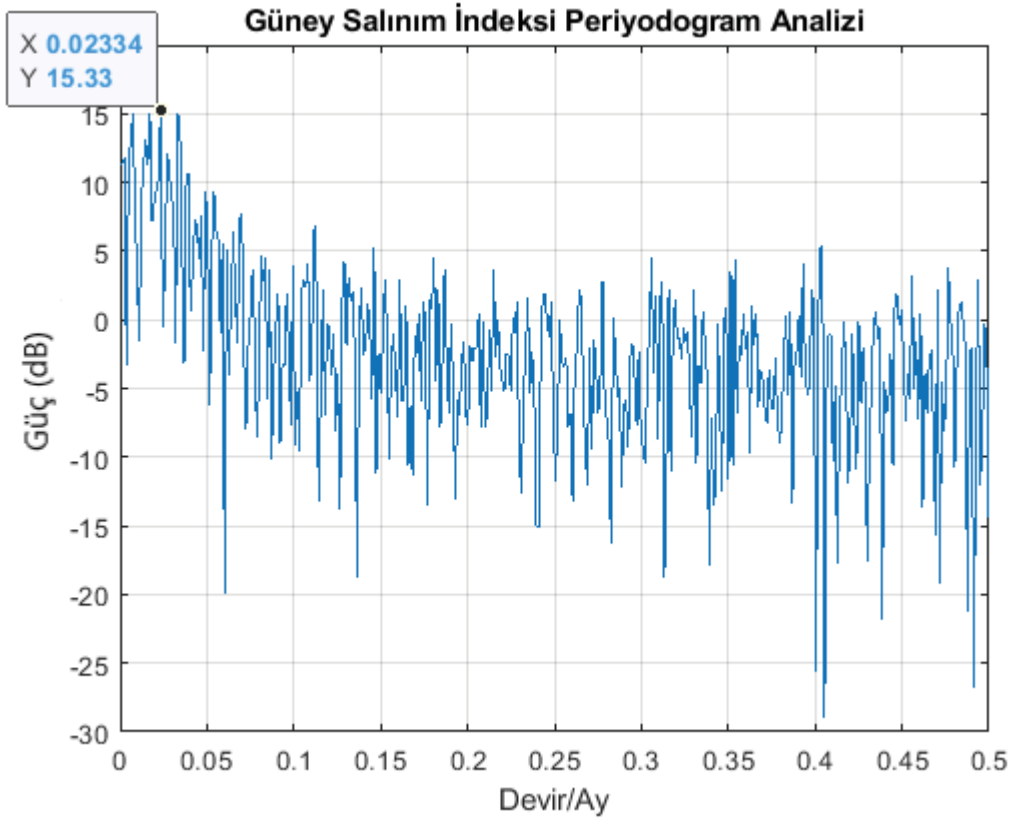
Periyot analizinde Çizelge 4.1'de gösterilen 1951 ile 2018 yılları arasında kayıtlı 814 adet aylık SOI verisi kullanılmıştır. İlk olarak özilinti analiz yöntemi ile Güney Salınımı içerisindeki periyot değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.20'de özilinti analiz grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Güney Salınım İndeksi Özilinti Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.20 ile gösterilen Güney Salınım İndeksi zaman serisinin özilinti fonksiyonunun grafiği üzerinde birçok tepe noktası olduğu gözlemlenmiştir. Belirgin tüm tepe noktaları grafik üzerinde işaretlenip, bu noktalara karşılık gelen zaman değerlerinin aralarındaki farkların ortalaması alındığında elde edilen periyot değeri 30,53 ay olarak hesaplanır. 30,53 ay özilinti yöntemi ile elde edilen Güney Salınımı periyot değerini ifade etmektedir.

Periyodogram analizi yöntemi ile Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisindeki periyot değerleri araştırıldığında Şekil 4.21 ile gösterilen periyodogram sonuç grafiği elde edilir.



Şekil 4.21. Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.21 ile gösterilen periyodogram grafiği üzerindeki maksimum güç değerine sahip tepe noktası belirtildiği üzere 0,02334 devir/ay, periyot olarak 42,84 aya karşılık gelmektedir. 42,84 ay periyodogram yöntemi ile elde edilen Güney Salınımı içerisindeki başat periyot değerini ifade etmektedir.

Şekil 4.21 ile gösterilen grafik üzerinde 5 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.25. Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analiz Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
15,3284	0,02334152	1303,98	42,84	3,57
15,0518	0,00737101	4129,27	135,67	11,31
15,0012	0,01719902	1769,69	58,14	4,85
14,9838	0,03316953	917,62	30,15	2,51
13,0806	0,01474201	2064,63	67,83	5,65
12,0856	0,02702703	1126,16	37,00	3,08
11,7948	0,00245700	12387,81	407,00	33,92
10,7001	0,03931204	774,24	25,44	2,12
9,2855	0,05405405	563,08	18,50	1,54
9,2664	0,04914005	619,39	20,35	1,70
7,7246	0,07002457	434,66	14,28	1,19
7,5528	0,04668305	651,99	21,42	1,79
7,2397	0,04299754	707,87	23,26	1,94
6,8780	0,11179361	272,26	8,95	0,75
6,3140	0,06511057	467,46	15,36	1,28
5,5094	0,05896806	516,16	16,70	1,41
5,2898	0,40417690	75,31	2,47	0,21
5,2129	0,14619164	208,20	6,84	0,57
5,1358	0,06142506	495,51	16,28	1,36

Çizelge 4.25 incelendiğinde Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 42,84 ay, 135,67 ay, 58,14 ay, 30,15 ay, 67,83 ay, 37,00 ay, 407,00 ay, 25,44 ay, 18,50 ay ve 20,35 ay olduğu tespit edilmiştir [22], [23], [50]. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 814 ayın 19, 14, 6, 27, 12, 22, 2, 32, 44 ve 40. harmonikleridir.

Belirlenen periyot değerleri yıl olarak değerlendirildiğinde 3,57 yıl, 4,85 yıl, 11,31 yıl, 2,51 yıl, 5,65 yıl, 3,08 yıl, 33,92 yıl, 2,12 yıl, 1,54 yıl ve 1,70 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yılın 74, 55, 23, 105, 47, 86,

8, 125, 171 ve 155. harmonikleridir. 55.harmonik, 23. harmonik ve 8. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir

Güney Salınım İndeksi periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
135,67	132,00	%2,78
67,83	68,87	%1,51
58,14	57,60	%0,94
42,84	42,24	%1,42
37,00	38,17	%3,07
25,44	25,34	%0,39
23,26	24,00	%3,08
15,36	15,92	%3,52
14,28	14,14	%0,99
8,95	9,08	%1,43

Çizelge 4.26 incelendiğinde Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen periyotların birçoğunun Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisindeki periyotlar ile yüksek oranda benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisindeki başat periyotların düşük yüzde hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı periyot değerleri arasında yer almaktadır. Dikkat edilen bir diğer nokta, Güneş'in başat periyodu olarak gözlenen 132 ayın Güney Salınımı periyotları içerisinde kendisini 135,67 ay olarak göstermiş olmasıdır. Bu sonuç doğrultusunda Güneş'in Güney Salınımı üzerinde bir etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir [51], [52], [53].

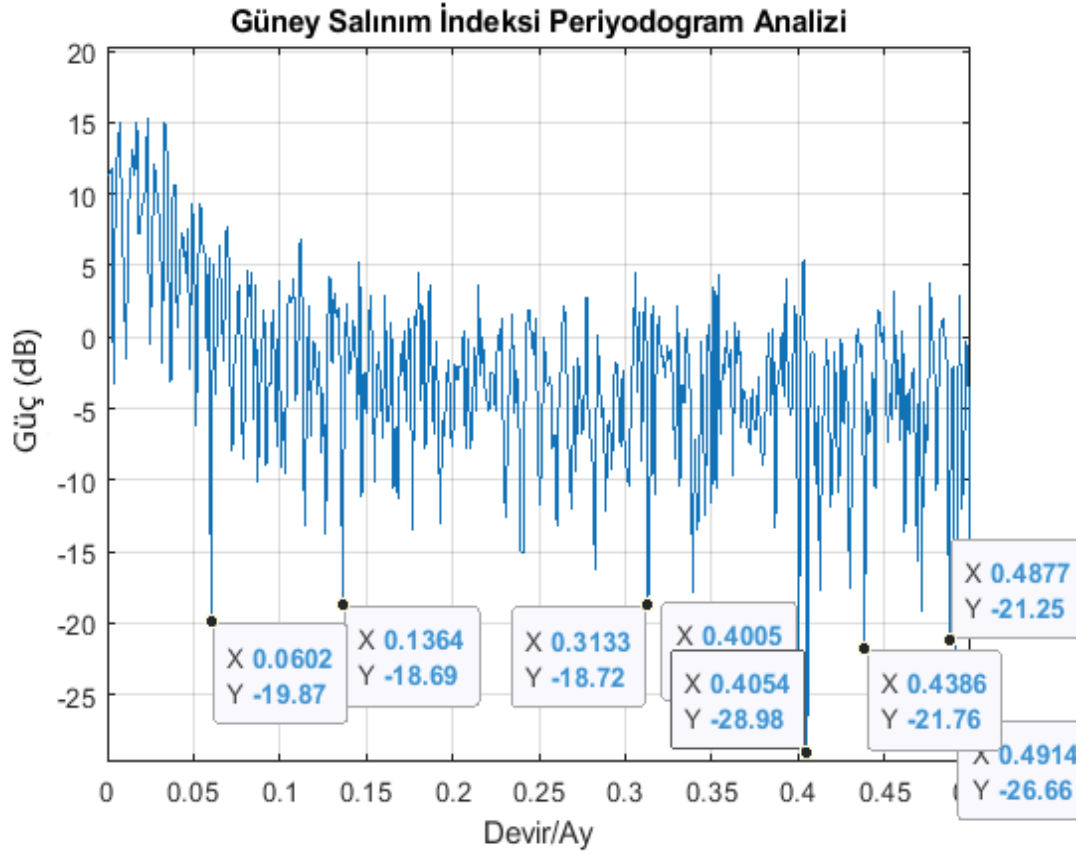
Güney Salınım İndeksi periyodogram analiz sonuçları ile Kuzey Atlantik Salınımı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Kuzey Atlantik Salınımı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
67,83	68,83	%1,45
42,84	43,47	%1,45
30,15	29,50	%2,20
25,44	25,03	%1,64
16,70	16,52	%1,09
14,28	14,00	%2,00
8,95	9,39	%4,69
6,84	6,56	%4,27
2,50	2,47	%1,21

Çizelge 4.27 incelendiğinde Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen baskın periyotların düşük hata oranları ile Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda Güney Salınımı ile Kuzey Atlantik Salınımı arasında bir ilinti olduğu yorumu yapılabilmektedir [49], [54].

Şekil 4.21’de gösterilen Güney Salınım İndeksi periyodogram analiz sonuç grafiğinde en az güç değerlerine sahip dip noktalarının frekans ve zaman bilgisi incelenmiş, kayıt altına alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.22 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi (Periyodogram Analizi).

Güney Salınım İndeksi periyodogram analiz sonucu detaylı incelendiğinde Şekil 4.22 ile gösterilen grafikte de belirtildiği üzere bazı frekans değerlerinde çok düşük güce sahip dip noktaları mevcuttur. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.28’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.28. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Periyodogram Analizi).

Güç (dB)	Anti-Rezonans Frekans (Devir/Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Gün)	Anti-Rezonans Periyot (Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Yıl)
-28,98	0,4054	75,08	2,47	0,21
-26,66	0,4914	61,94	2,04	0,17
-25,63	0,4005	76,00	2,50	0,21
-21,76	0,4386	69,40	2,28	0,19
-21,25	0,4877	62,41	2,05	0,17
-19,87	0,0602	505,60	16,61	1,38
-18,72	0,3133	97,15	3,19	0,27
-18,69	0,1364	223,14	7,33	0,61

Çizelge 4.28 ile gösterilen Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisindeki anti-rezonans periyotlar değerleri, Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı zaman serilerinin periyodogram analizi ile elde edilen periyot değerleri ve anti-rezonans periyot değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.30 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.29. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
16,61			16,59	%0,12
7,33				
3,19	3,19	%0		
2,47			2,36	%4,66
2,28			2,18	%4,59
2,05			2,10	%2,38
2,04			2,10	%2,86

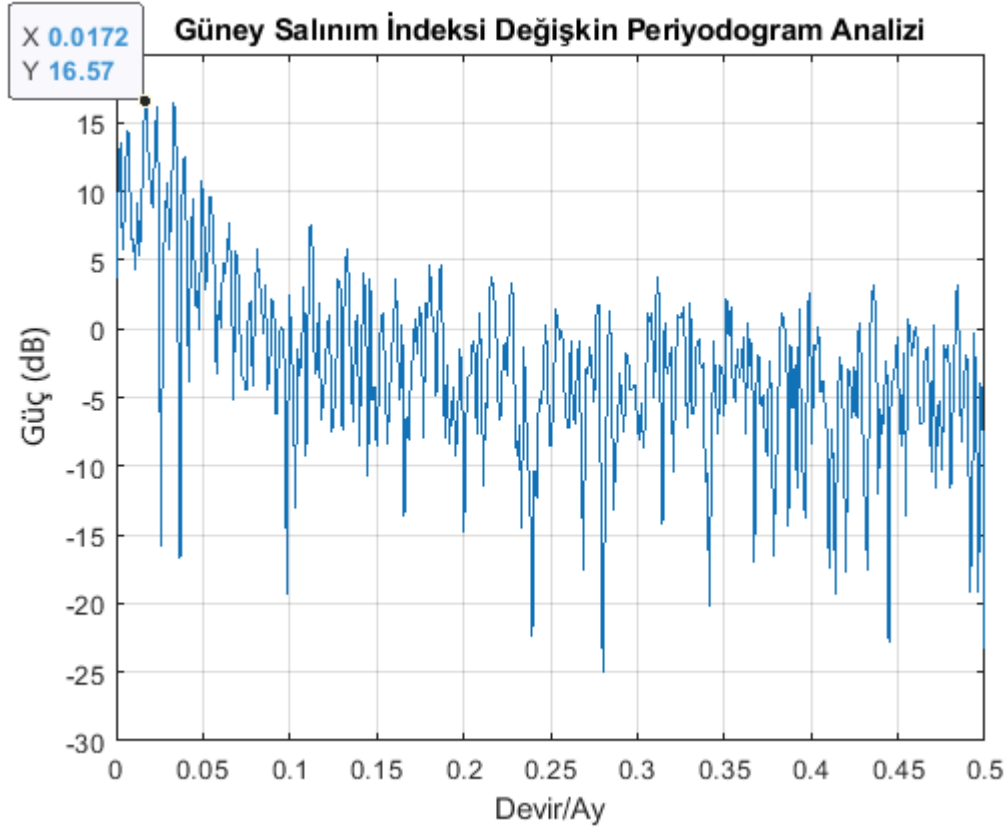
Çizelge incelendiğinde 16,61 aylık anti-rezonans periyodunun çok düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi Sayısı anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı gözlenmiştir. 3,19 aylık anti-rezonans periyodunun sıfır hata yüzdesi ile Güneş Lekesi Sayısı periyotları arasında yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 4.30. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Periyodogram Analizi) ile Kuzey Atlantik Salınımı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
16,61	16,52	%0,54		
7,33			7,12	%2,95
3,19	3,15	%1,27		
2,50	2,50	%0		
2,47	2,50	%1,2		
2,28			2,26	%0,88
2,05	2,10	%2,38		

Çizelge 4.30'da 16,61 aylık anti-rezonans periyodunun çok düşük hata yüzdesi ile Kuzey Atlantik Salınımı periyot değerleri arasında yer aldığı gözlenmiştir. 2,5 aylık anti-rezonans periyodunun sıfır hata yüzdesi ile Kuzey Atlantik Salınımı periyot değerleri arasında yer aldığı görülmektedir. 7,33 aylık ve 2,28 aylık anti-rezonans periyotları düşük hata oranları ile Kuzey Atlantik Salınımı anti-rezonans periyot değerleri arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

Değişkin periyodogram analizinde, periyodogram yönteminden farklı olarak Hamming ve Blackman pencereleri kullanılarak Güney Salınım İndeksi zaman serisinin periyot analizi gerçekleştirilmiştir. Hamming pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analizinin sonuçları Şekil 4.23'te gösterilmektedir.



Şekil 4.23. Güney Salınım İndeksi Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.23 ile gösterilen sonuç grafiğinde maksimum güç değerine sahip tepe noktası periyodogram analizi sonucundan farklı olarak 0,0172 devir/ay, periyot olarak 58,14 aya karşılık gelmektedir. Grafik üzerinde 5 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.31. Güney Salınım İndeksi Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
16,5734	0,01719902	1769,69	58,14	4,85
16,5229	0,03316953	917,62	30,15	2,51
16,1056	0,02334152	1303,98	42,84	3,57
14,4549	0,00614251	4955,12	162,80	13,57
13,6195	0,00245700	12387,81	407,00	33,92
12,5990	0,03931204	774,24	25,44	2,12
10,8194	0,04914005	619,39	20,35	1,70
10,5734	0,02948403	1032,32	33,92	2,83
9,6769	0,05405405	563,08	18,50	1,54
9,5106	0,04422604	688,21	22,61	1,88
9,1459	0,01228501	2477,56	81,40	6,78
7,6337	0,11179361	272,26	8,95	0,75
7,6316	0,06511057	467,46	15,36	1,28
5,8308	0,13267813	229,40	7,54	0,63
5,7527	0,08108108	375,39	12,33	1,03
5,6651	0,06879607	442,42	14,54	1,21

Çizelge 4.31'deki analiz sonuçlarına göre Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 58,14 ay, 30,15 ay, 42,84 ay, 162,80 ay, 407,00 ay, 25,44 ay, 20,35 ay, 33,92 ay, 18,50 ay, 22,61 ay ve 81,40 ay olduğu gözlenmiştir [50]. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 814 ayın 14, 27, 19, 5, 2, 32, 40, 24, 44, 36 ve 10. harmonikleridir.

Periyot değerleri yıl olarak değerlendirildiğinde 4,85 yıl, 2,51 yıl, 3,57 yıl, 13,57 yıl, 33,92 yıl, 2,12 yıl, 1,70 yıl, 2,83 yıl, 1,54 yıl, 1,88 yıl ve 6,78 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yılın 55, 105, 74, 19, 8, 125, 155, 93, 171, 140 ve 39. harmonikleridir. 55. harmonik, 19. harmonik ve 8. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

Güney Salınım İndeksi aylık veri kümesinin Hamming pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.32’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.32. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
162,80	158,40	%2,78
81,40	81,23	%0,21
58,14	57,60	%0,94
42,84	42,24	%1,42
33,92	33,70	%0,65
25,44	25,34	%0,39
22,61	24,00	%5,79
15,36	15,92	%3,52
14,54	14,67	%0,89
12,33	12,47	%1,12
8,95	9,08	%1,43

Çizelge 4.32 incelendiğinde Güney Salınım İndeksi içerisinde gözlenen baskın periyotların düşük hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisindeki periyotlar içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda Güneş’in Güney Salınımı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir.

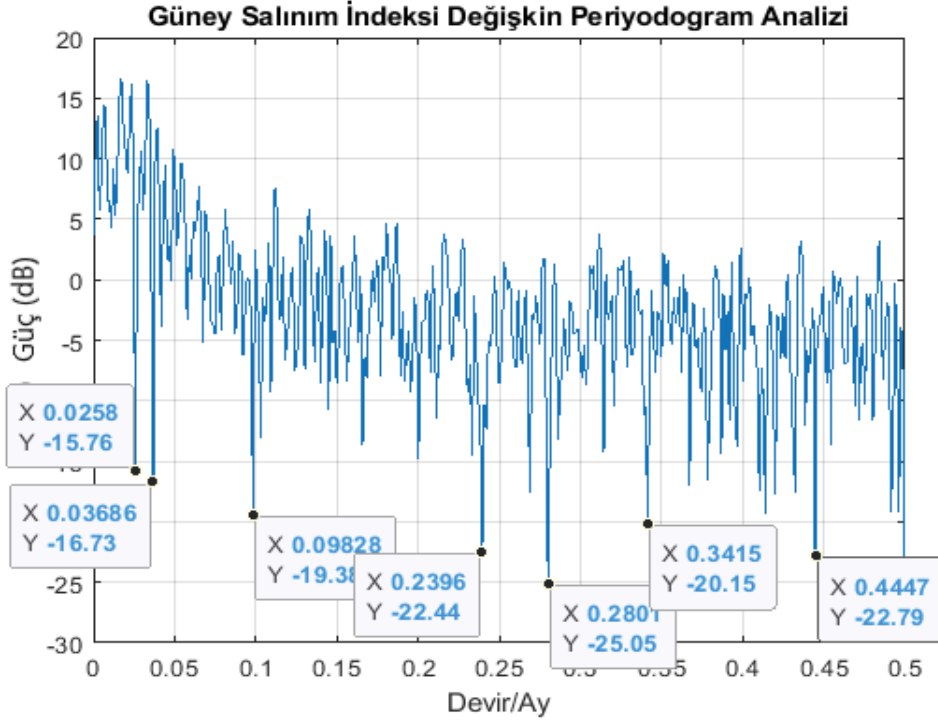
Güney Salınım İndeksi aylık veri kümesinin Hamming pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçları ile Kuzey Atlantik Salınımı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyot değerleri Çizelge 4.33'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.33. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Kuzey Atlantik Salınımı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
162,80	165,20	%1,45
42,84	43,47	%1,45
33,92	33,04	%2,66
30,15	29,50	%2,20
25,44	25,03	%1,64
14,54	14,00	%3,86
12,33	12,15	%1,48
8,95	9,39	%4,69

Çizelge 4.33 incelendiğinde Güney Salınımı'nın başat periyotlarının düşük hata oranı ile Kuzey Atlantik Salınımı periyotları arasında yer aldığı gözlenmiştir. Özellikle 42,84 ay Güney Salınımı içinde gözlenen en baskın periyot değeridir ve en düşük hata oranı ile Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde kendini göstermiştir. Tabloda gösterilen ortak periyot değerleri Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınımı zaman serileri içerisindeki başat periyotlar olduğu ayrıca tespit edilmiştir.

Güney Salınım İndeksi zaman serisinin Hamming pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analizi sonuç grafiğinde en az güç değerlerine sahip dip noktalarının frekans ve zaman bilgisi incelenmiş, kayıt altına alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.24 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).

Şekil 4.24 ile gösterilen sonuç grafiğinde belirtildiği üzere bazı frekans değerlerinde çok düşük güce sahip dip noktaları mevcuttur. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.34'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.34. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).

Güç (dB)	Anti-Rezonans Frekans (Devir/Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Gün)	Anti-Rezonans Periyot (Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Yıl)
-25,05	0,2801	108,66	3,57	0,30
-22,79	0,4447	68,44	2,25	0,19
-22,44	0,2396	127,03	4,17	0,35
-20,15	0,3415	89,13	2,93	0,24
-19,38	0,09828	309,70	10,18	0,85
-16,73	0,03686	825,74	27,13	2,26
-15,76	0,0258	1179,72	38,76	3,23

Çizelge 4.34’te gösterilen Güney Salınımı içerisindeki anti-rezonans periyotları, Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı zaman serilerinin periyodogram analizi ile elde edilen periyot ve anti-rezonans periyotları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar Çizelge 4.35 ve Çizelge 4.36 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.35. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
38,76	39,11	%0,89		
27,13	27,79	%2,37		
10,18	10,49	%2,96		
4,17			4,43	%5,87
3,57			3,48	%2,59
2,93			2,81	%4,27
2,25			2,18	%3,21

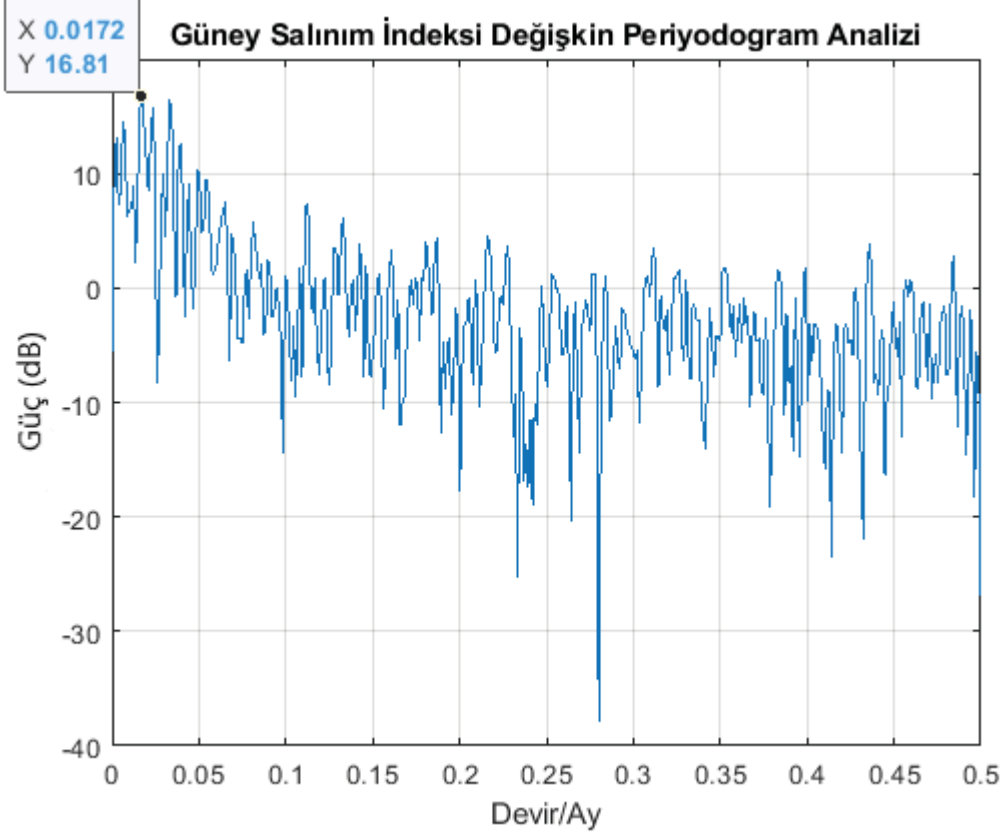
Çizelge 4.35 incelendiğinde 38,76 aylık, 27,13 aylık ve 10,18 aylık anti-rezonans periyotlarının düşük hata oranı ile Güneş Lekesi içerisindeki periyotlar arasında yer aldığı, diğer anti-rezonans periyotlarının tamamının ortalama bir hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı görülmektedir. Güney Salınımı içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotlarının yüksek genliğe sahip olanlarının Güneş Lekesi Sayısı periyotları içerisinde yer aldığı, düşük değerliğe sahip anti-rezonans periyotların ise Güneş Lekesi Sayısı anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.36. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Hamming Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Kuzey Atlantik Salınımı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
38,76				
27,13				
10,18	9,83	%3,56		
4,17				
3,57			3,74	%4,55
2,93	3,15	%6,98		
2,25			2,26	%0,44

Çizelge 4.36'da gösterilen Güney Salınımı anti-rezonans periyodlarının düşük bir kısmının Kuzey Atlantik Salınımı'nın periyot ve anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı gözlenmiştir.

Şekil 4.25 ile gösterilen grafik Güney Salınım İndeksi aylık veri kümesi için Blackman pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.25. Güney Salınım İndeksi Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.25 ile gösterilen sonuç grafiğinde maksimum güç değerine sahip tepe noktası 0,0172 devir/ay, periyot olarak 58,14 aya karşılık gelmektedir. Grafik üzerinde 5 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.37’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.37. Güney Salınım İndeksi Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
16,8147	0,01719902	1771,42	58,14	4,85
16,4842	0,03316953	916,76	30,15	2,51
15,7310	0,02334152	1303,92	42,84	3,57
14,5056	0,00614251	4956,34	162,80	13,57
13,1061	0,00245700	12389,03	407,00	33,92
12,6357	0,03931204	774,31	25,44	2,12
10,3892	0,04914005	620,61	20,35	1,70
9,9376	0,02948403	1033,63	33,92	2,83
9,5397	0,05405405	562,47	18,50	1,54
9,0306	0,04422604	686,66	22,61	1,88
8,8590	0,01228501	2476,34	81,40	6,78
7,4485	0,06511057	467,51	15,36	1,28
7,3995	0,11179361	273,93	8,95	0,75
6,0915	0,13267813	230,10	7,54	0,63
5,6947	0,08108108	376,20	12,33	1,03

Çizelge 4.37 ile gösterilen analiz sonuçlarına göre Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 58,14 ay, 30,15 ay, 42,84 ay, 162,80 ay, 407,00 ay, 25,44 ay, 20,35 ay, 33,92 ay, 18,50 ay, 22,61 ay ve 81,40 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 814 ayın 14, 27, 19, 5, 2, 32, 40, 24, 44, 36 ve 10. harmonikleridir.

Periyot değerleri yıl olarak değerlendirildiğinde 4,85 yıl, 2,51 yıl, 3,57 yıl, 13,57 yıl, 33,92 yıl, 2,12 yıl, 1,70 yıl, 2,83 yıl, 1,54 yıl, 1,88 yıl ve 6,78 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yılın 55, 105, 74, 19, 8, 125, 155, 93, 171, 140 ve 39. harmonikleridir. 55. harmonik, 19. harmonik ve 8. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

Güney Salınım İndeksi aylık veri kümesi için Blackman pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış ve ortak olan periyotlar Çizelge 4.38’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.38. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotları.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
162,80	158,40	%2,78
81,40	81,23	%0,21
58,14	57,60	%0,94
42,84	42,24	%1,42
33,92	33,70	%0,65
25,44	25,34	%0,39
22,61	24,00	%5,79
15,36	15,92	%3,52
12,33	12,47	%1,12
8,95	9,08	%1,43

Çizelge 4.38 incelendiğinde Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen baskın periyotların düşük yüzde hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisindeki periyotları arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

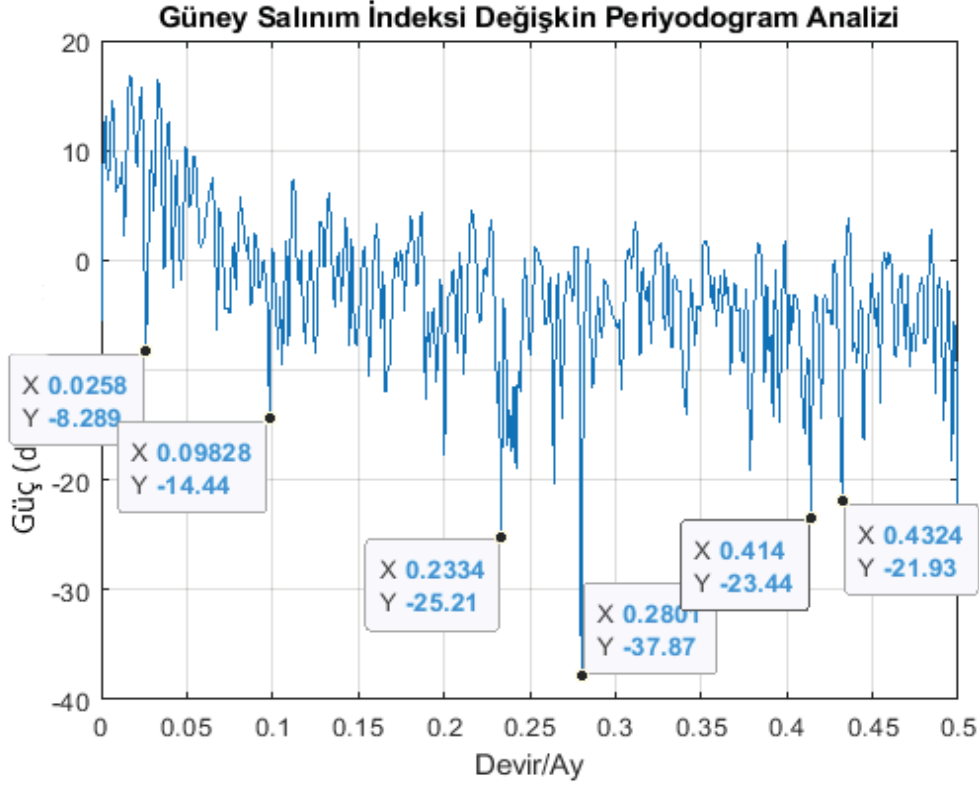
Güney Salınım İndeksi aylık veri kümesi için Blackman pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçları ile Kuzey Atlantik Salınımı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.39’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.39. Güney Salınım İndeksi (Aylık Veri Kümesi, Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Kuzey Atlantik Salınımı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
162,80	165,20	%1,45
42,84	43,47	%1,45
33,92	33,04	%2,66
30,15	29,50	%2,20
25,44	25,03	%1,64
12,33	12,15	%1,48
8,95	9,39	%4,69

Çizelge 4.39 incelendiğinde Güney Salınımı’nın ön plana çıkan periyot değerlerinden 162,80 ay, 42,84 ay, 33,92 ay, 30,15 ay ve 25,44 ay düşük yüzde hata oranı ile Kuzey Atlantik Salınımı periyotları arasında yer aldığı gözlenmiştir.

Şekil 4.25’te gösterilen Güney Salınım İndeksi aylık veri kümesi için Blackman pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuç grafiğinde en az güç değerlerine sahip dip noktalarının frekans ve zaman bilgisi incelenmiş, sonuçlar Şekil 4.26 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).

Şekil 4.26 ile gösterilen sonuç grafiğinde belirtildiği üzere bazı frekans değerlerinde çok düşük güce sahip dip noktaları mevcuttur. Bu noktalara karşılık gelen frekans ve zaman değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.40 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.40. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Frekans Analizi Sonuçları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi).

Güç (dB)	Anti-Rezonans Frekans (Devir/Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Gün)	Anti-Rezonans Periyot (Ay)	Anti-Rezonans Periyot (Yıl)
-37,87	0,2801	108,66	3,57	0,30
-25,21	0,2334	130,41	4,28	0,35
-23,44	0,414	73,52	2,42	0,20
-21,93	0,4324	70,39	2,31	0,19
-14,44	0,09828	309,70	10,18	0,85
-8,289	0,0258	1179,72	38,76	3,23

Çizelge 4.40 ile gösterilen Güney Salınım İndeksi içerisindeki anti-rezonans periyotları, Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı zaman serilerinin periyodogram analizi ile elde edilen periyotları ve anti-rezonans periyotları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.41 ve Çizelge 4.42 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.41. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Güneş Lekesi Sayısı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
38,76	38,17	%1,55		
10,18	10,49	%2,95		
4,28			4,43	%3,39
3,57			3,48	%2,59
2,42			2,36	%2,54
2,31			2,36	%2,12

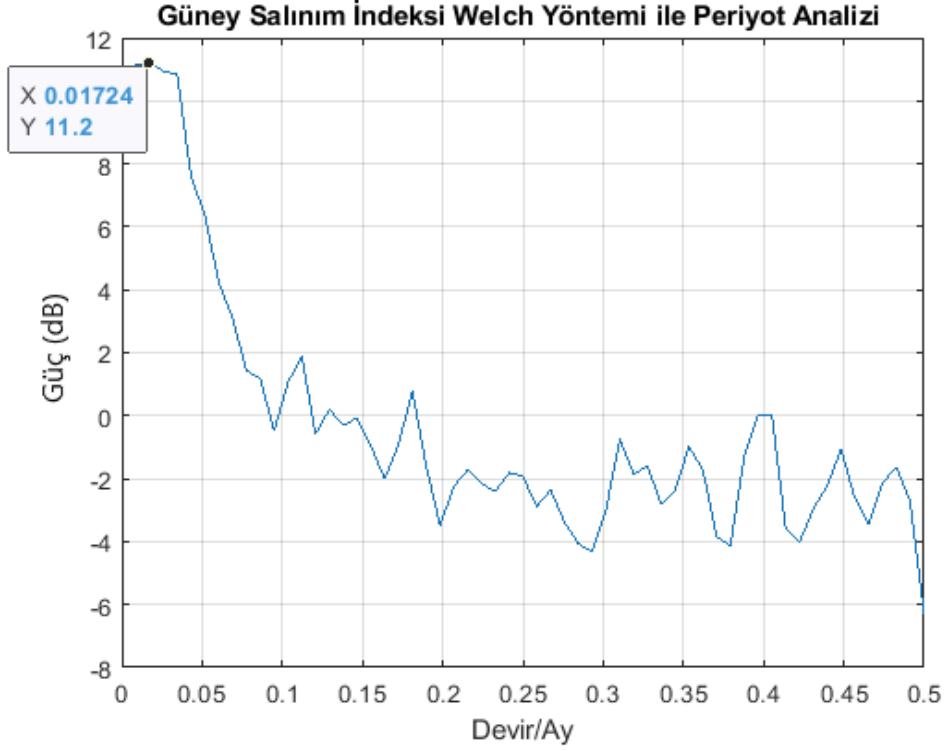
Çizelge 4.41’de yer alan Güney Salınımı’nın 38,76 aylık ve 10,18 aylık anti-rezonans periyotlarının düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı, diğer anti-rezonans periyotlarının düşük hata yüzdesi ile Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.42. Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ile Kuzey Atlantik Salınımı Periyot ve Anti-Rezonans Periyotlarının Karşılaştırması.

Güney Salınım İndeksi Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Kuzey Atlantik Salınımı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata	Kuzey Atlantik Salınımı Anti-Rezonans Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
38,76				
10,18	9,83	%3,56		
4,28	4,56	%6,14		
3,57			3,74	%4,55
2,42	2,50	%3,2		
2,31			2,26	%2,21

Çizelge 4.42 incelendiğinde Güney Salınımı içerisinde yüksek genliğe sahip anti-rezonans periyotları ile Kuzey Atlantik Salınımı içerisindeki periyot ve anti-rezonans periyotlar arasında bir benzerlik tespit edilememiştir. Güney Salınımı içerisindeki yüksek genlik haricindeki anti-rezonans periyotlarının bir kısmının ise belirli bir hata oranı ile Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen periyot ve anti-rezonans periyotları arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin periyot analizde kullanılan bir diğer yöntem periyot analiz yöntemi Welch yöntemidir. Uzunluğu 814 olan Güney Salınım İndeksi aylık veri kümesi her bir parçanın uzunluğu 116 olacak şekilde bloklara ayrılmış. Üst üste örtüştürülmüş veri sayısı her blok için 100 olarak belirlenmiştir. Yapılan bu düzenlemelere göre elde edilen Welch analizi sonuç grafiği Şekil 4.27 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.27. Güney Salınım İndeksi Welch Analizi (Aylık Veri Kümesi).

Şekil 4.27 ile gösterilen Welch grafiği üzerinde maksimum güç değerine sahip tepe noktası 0,01724 devir/ay, periyot olarak 58,00 aya karşılık gelmektedir. Grafik üzerinde tüm tepe noktaları belirlenip bu noktalara karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.43'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.43. Güney Salınım İndeksi Welch Yöntemi ile Periyot Analizi Sonuçları (Aylık Veri Kümesi).

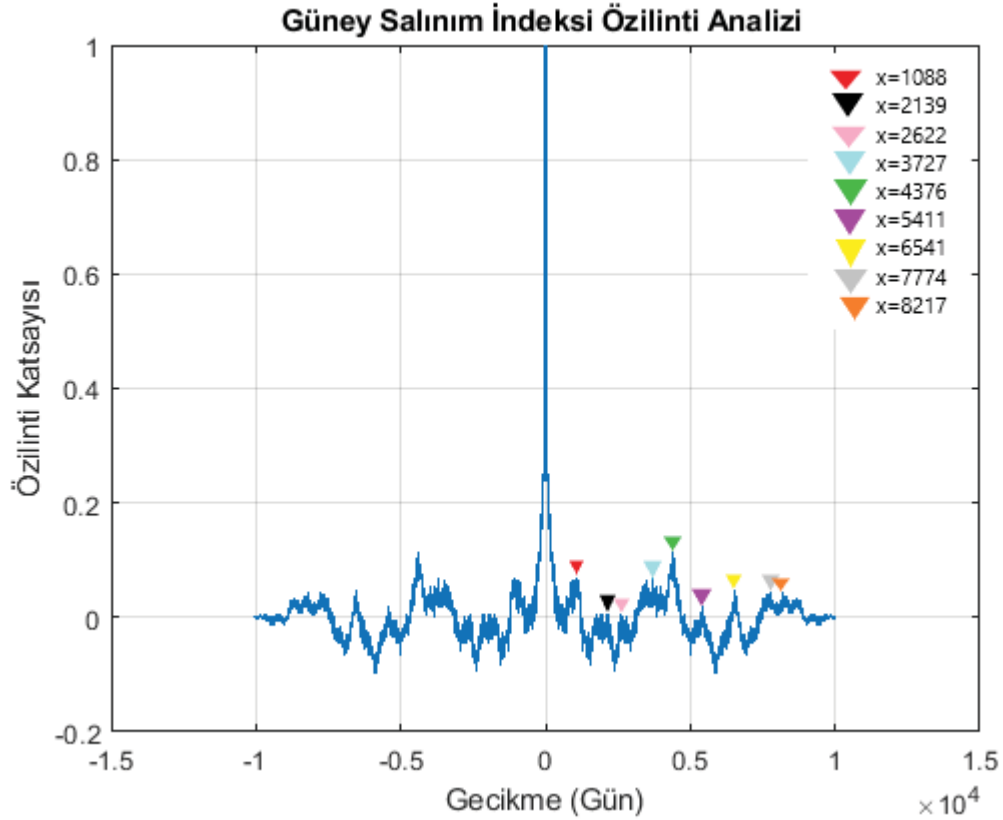
Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
11,1991	0,01724137	1764,12	58,00	4,83
1,8925	0,11206897	270,28	8,92	0,74
0,7928	0,18103448	168,01	5,52	0,46
0,1997	0,12931034	233,76	7,73	0,64
0,0418	0,39655172	76,70	2,52	0,21
-0,0775	0,14655172	208,19	6,82	0,57
-0,7518	0,31034483	98,62	3,22	0,27
-0,9817	0,35344828	87,66	2,83	0,24

Çizelge 4.43 ile gösterilen analiz sonuçlarına göre Güney Salınımı içindeki baskın periyot 58 ay olarak elde edilmiştir. Güney Salınım İndeksi zaman serisinin değişkin periyodogram analizinde başat periyot değeri 58,14 ay olarak elde edilmiştir.

Güney Salınım İndeksi'nin aylık örneklemelemlerden oluşan veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen Welch analizi sonucunda ayrıntılı periyot bilgisine ulaşılmadığı gözlenmiş, sadece düşük genliğe sahip periyot değerleri elde edilebilmiştir. Bu sebepten Güneş Lekesi Sayısı periyot değerleri ve Kuzey Atlantik Salınımı periyot değerleri ile karşılaştırma yapılamamıştır.

4.3.2. Güney Salınım İndeksi Günlük Veri Kümesi Periyot Analizi

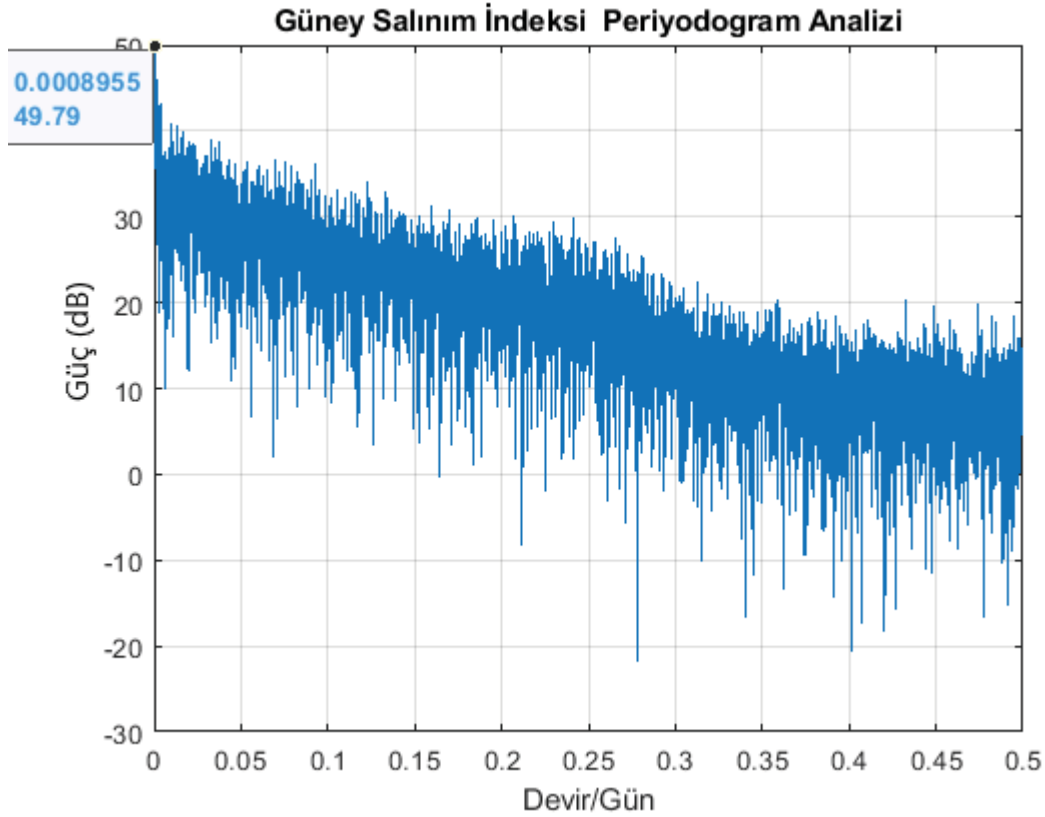
Güney Salınımı'nın periyot ve döngüsel davranışı hakkında daha ayrıntılı bilgiye sahip olmak için Güney Salınım İndeksi'nin günlük veri kümesi ayrıca incelenmiştir. Bu analizde Çizelge 4.1'de gösterilen 1991 ile 2018 yılları arasında kayıtlı 10050 adet günlük SOI verisi kullanılmıştır. İlk olarak özilinti analizi yöntemi ile SOI'nin periyot değeri belirlenmeye çalışılmış, Şekil 4.28'de özilinti analiz grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Güney Salınım İndeksi Özilinti Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Güney Salınım İndeksi günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen özilinti analizi grafiği üzerinde yüksek ilinti katsayısına sahip tüm tepe noktaları belirlenmiştir. Bu noktalara karşılık gelen zaman değerlerinin aralarındaki farkların ortalaması alındığında periyot değeri 891,13 gün olarak elde edilmiştir. 891,13 gün 29,28 aya eşittir. Güney Salınım İndeksi'nin aylık veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen özilinti analizinde periyot değeri 30,53 ay olarak elde edilmiştir.

Periyodogram analizi yöntemi ile Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisindeki periyot bilgisi araştırıldığında Şekil 4.29 ile gösterilen sonuç grafiği elde edilir.



Şekil 4.29. Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Şekil 4.29 ile gösterilen periyodogram grafiğinde maksimum güç değerine sahip tepe noktası grafikte belirtildiği üzere 0,0008955 devir/gün yani 1116,69 güne karşılık gelmektedir. 1116,69 gün 36,69 aya eşittir. Güney Salınım İndeksi'nin aylık veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen periyodogram analizinde başat periyot değeri 42,84 ay olarak gözlenmiştir.

Şekil 4.29 ile gösterilen grafik üzerinde 40 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.44'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.44. Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analiz Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Gün)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
49,7912	0,00089552	1116,69	36,69	3,06
49,3402	0,00019900	5025,13	165,10	13,76
49,2269	0,00109453	913,63	30,02	2,50
48,0780	0,00049751	2010,01	66,04	5,50
44,8825	0,00228856	436,96	14,36	1,20
44,8007	0,00179104	558,33	18,34	1,53
43,1950	0,00348259	287,14	9,43	0,79
42,2469	0,00149254	670,00	22,01	1,83
40,9049	0,00278607	358,86	11,79	0,98
40,8070	0,01024876	97,57	3,21	0,27
40,5924	0,01323383	75,56	2,48	0,20
40,1225	0,01283582	77,91	2,56	0,21
40,0713	0,00368159	271,62	8,92	0,74

Periyot analizinde bütünlük olması açısından elde edilen baskın döngü periyotları yorumlanırken ay ve yıl cinsinden yorumlanmıştır. Çizelge 4.44 incelendiğinde Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 36,69 ay, 165,10 ay, 30,02 ay, 66,04 ay, 14,36 ay, 18,34 ay, 9,43 ay ve 22,01 ay olduğu tespit edilmiştir.

Periyot değerleri yıl olarak değerlendirildiğinde 3,06 yıl, 13,76 yıl, 2,50 yıl, 5,50 yıl, 1,20 yıl, 1,53 yıl, 0,79 yıl ve 1,83 yıl olarak sıralanabilir. Bu zaman değerlerine karşılık gelen tepe noktaları sırasıyla 264 yılın 86, 19, 105, 48, 220, 173, 334 ve 144. harmonikleridir. 19. harmonik ve 105. harmonik yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

Güney Salınım İndeksi günlük veri kümesi için gerçekleştirilen periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış ve ortak olan periyotlar Çizelge 4.45'te gösterilmiştir.

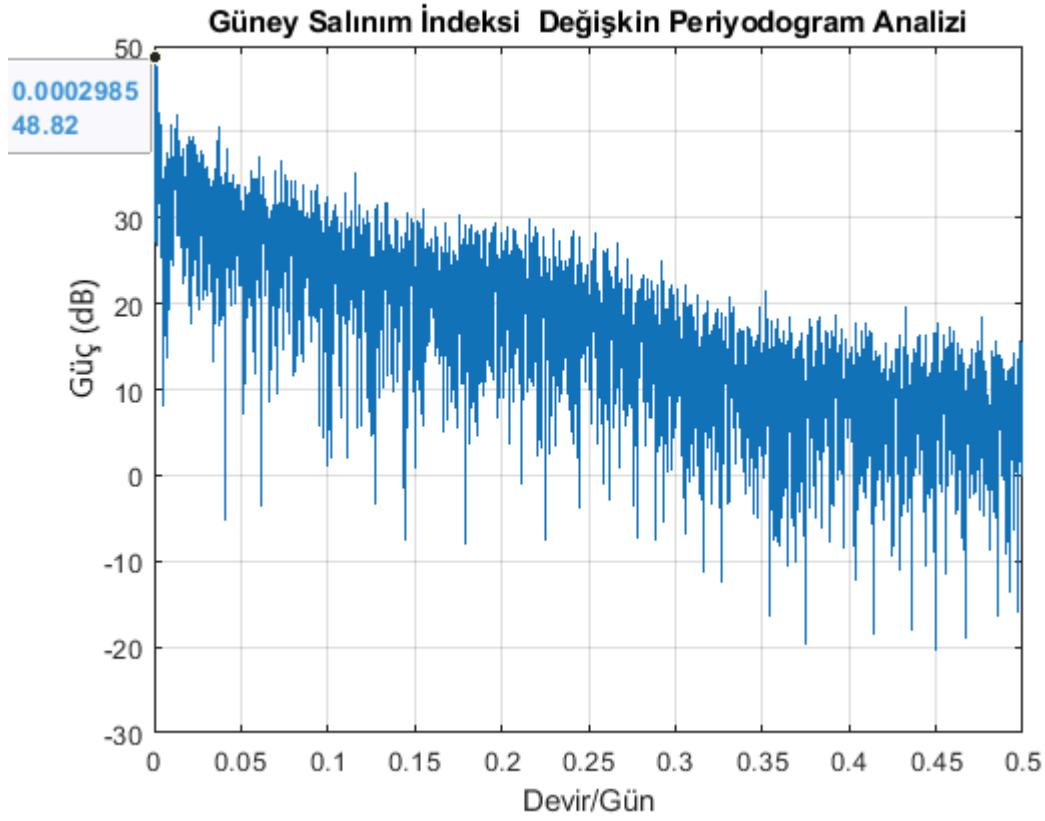
Çizelge 4.45. Güney Salınım İndeksi (Günlük Veri Kümesi, Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
165,10	158,40	%4,23
66,04	66,00	%0,06
36,69	38,17	%3,88
30,02	27,79	%8,02
22,01	24,00	%8,29
14,36	14,14	%1,56
11,79	11,73	%0,51
8,92	9,08	%1,76
3,21	3,19	%0,63

Çizelge 4.45 incelendiğinde Güney Salınım İndeksi günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen periyodogram analizi sonucu elde edilen periyot değerlerinin birçoğunun Güneş Lekesi Sayısı periyot değerleri ile yüksek oranda benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı periyotları ile karşılaştırma işlemleri Güney Salınım İndeksi'nin aylık veri kullanılarak gerçekleştirilen periyot analizinde gerçekleştirildiği için bu kısımda tekrar bir periyot karşılaştırılması yapılmamıştır.

Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen periyodogram analizi sonucunda grafik üzerinde en az güç değerlerine sahip birçok dip noktasının olması ve bu noktaların birbirine çok yakın olmasından dolayı, dip noktalarının frekans ve zaman bilgisi incelenememiştir.

Değişkin periyodogram analizinde Blackman pencere kullanılarak Güney Salınım İndeksi günlük veri kümesi için periyot analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuç grafiği Şekil 4.30'da gösterilmektedir.



Şekil 4.30. Güney Salınım İndeksi Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Şekil 4.30 ile gösterilen değişkin periyodogram grafiğinde maksimum güç değerine sahip tepe noktası 0,0002985 devir/gün yani 3350,08 güne karşılık gelmektedir. 3350,08 gün 110,06 aya eşittir. Grafik üzerinde 40 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.46'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.46. Güney Salınım İndeksi Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analiz Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Gün)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
48,8162	0,00029850	3350,00	110,06	9,17
48,3917	0,00109453	913,63	30,02	2,50
44,8710	0,00069652	1435,71	47,17	3,93
44,7617	0,00159204	628,13	20,64	1,72
44,1281	0,00089552	1116,67	36,69	3,06
42,3194	0,00268657	372,22	12,23	1,02
41,9857	0,01283582	77,91	2,56	0,21
41,9134	0,00179104	558,33	18,34	1,53
41,7554	0,00049751	2010,00	66,04	5,50
40,9323	0,01014925	98,53	3,24	0,27
40,7967	0,00348259	287,14	9,43	0,79
40,6286	0,03691542	27,09	0,89	0,07
40,4817	0,01333333	75,00	2,46	0,21
40,3984	0,01184080	84,45	2,77	0,23

Çizelge 4.46 ile gösterilen analiz sonuçlarına göre Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 110,06 ay, 30,02 ay, 47,17 ay, 20,64 ay, 36,69 ay, 12,23 ay, 2,56 ay, 18,34 ay ve 66,04 ay olduğu tespit edilmiştir.

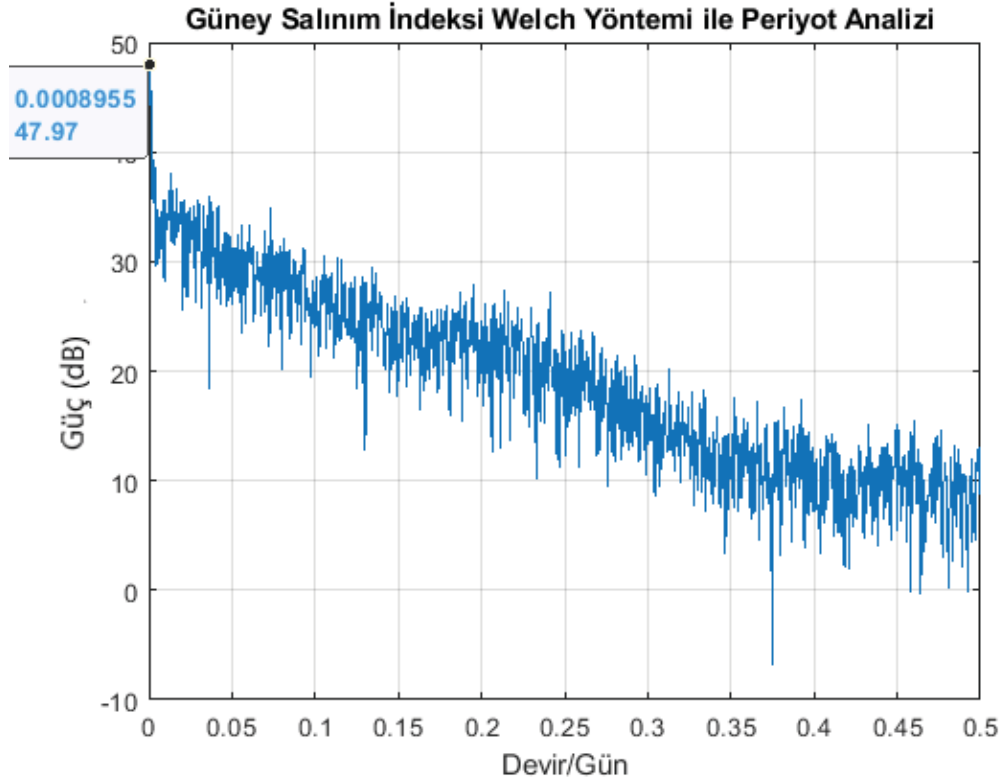
Güney Salınım İndeksi günlük veri kümesi için Blackman pencere kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.47’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.47. Güney Salınım İndeksi (Günlük Veri Kümesi, Blackman Pencere Kullanılarak Değişkin Periyodogram Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
110,06	102,19	%7,70
66,04	66,00	%0,06
47,17	46,59	%1,24
36,69	38,17	%3,88
30,02	27,79	%8,02
12,23	12,05	%1,49
9,43	9,08	%3,85
3,24	3,19	%1,57

Çizelge 4.47 incelendiğinde Güney Salınım İndeksi günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen değişkin periyodogram analizi sonucunda elde edilen başat periyotların Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki periyotlar ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Dikkat edilen diğer bir nokta, Güney Salınım İndeksi’nin periyodogram analizinde değişkin periyodogram analizine göre daha geniş periyot bilgisine ulaşılmıştır. Dolayısıyla, Güney Salınım İndeksi periyodogram analizi sonucunda Güneş Lekesi Sayısı periyot değerleri ile daha fazla sayıda örtüşen periyot değeri elde edilmiştir

Kullanılan diğer periyot analiz yöntemi Welch yöntemidir. Uzunluğu 10050 olan Güney Salınım İndeksi günlük verisi her bir parçanın uzunluğu 3350 olacak şekilde bloklara ayrılmış. Üst üste örtüştürülmüş veri sayısı her blok için 1000 olarak belirlenmiştir. Yapılan bu düzenlemelere göre elde edilen sonuç grafiği Şekil 4.31 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.31. Güney Salınım İndeksi Welch Analizi (Günlük Veri Kümesi).

Welch analiz grafiği üzerinde maksimum güç değerine sahip tepe noktası 0,0008955 devir/gün yani 1116,69 güne a karşılık gelmektedir. 1116,69 gün a 36,69 aya eşittir. Grafik üzerinde 38 dB güç değeri ve üzerindeki güç değerlerine sahip tepe noktaları belirgin tepe noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu tepelere karşılık gelen frekans ve periyot değerleri gün, ay ve yıl cinsinden hesaplanıp Çizelge 4.48'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.48. Güney Salınım İndeksi Welch Yöntemi ile Periyot Analizi Sonuçları (Günlük Veri Kümesi).

Güç (dB)	Frekans (Devir/Gün)	Periyot (Gün)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)
47,9727	0,00089552	1116,67	36,69	3,06
45,8506	0,00029850	3350,00	110,06	9,17
42,7296	0,00179104	558,33	18,34	1,53
39,3348	0,00298507	335,00	11,01	0,92
38,6494	0,00358209	279,16	9,17	0,76
38,0883	0,01313433	76,14	2,50	0,21

Çizelge 4.48 ile gösterilen analiz sonucuna göre Güney Salınımı içerisindeki periyotlar sırasıyla 36,69 ay, 110,06 ay, 18,34 ay, 11,01 ay, 9,17 ay ve 2,50 ay olarak gözlenmiştir.

Güney Salınım İndeksi günlük veri kümesi için gerçekleştirilen Welch analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyodogram analiz sonuçları karşılaştırılmış, ortak olan periyotlar Çizelge 4.49 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.49. Güney Salınım İndeksi (Günlük Veri Kümesi, Welch Analizi) ve Güneş Lekesi Sayısı İçerisindeki Ortak Periyotlar.

Güney Salınım İndeksi Periyotları (Ay)	Güneş Lekesi Sayısı Periyotları (Ay)	Yüzde Hata
110,06	102,19	%7,70
36,69	38,17	%3,88
11,01	10,78	%2,13
9,17	9,08	%0,99

Çizelge 4.49 incelendiğinde, Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin günlük veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen Welch analiz sonucunda elde edilen periyotların bir kısmının Güneş Lekesi Sayısı iklim göstergesinin periyodogram analiz sonuçları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Güney Salınım İndeksi periyot analizinde hem günlük hem de aylık veri kümeleri kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde tüm analiz sonuçlarında benzer periyot değerleri gözlenmiştir. Güney

Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen periyot değerlerinin büyük bir kısmının düşük hata oranları ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç Güneş'in Güney Salınımı üzerindeki etkisi şeklinde yorumlanmıştır [51], [52], [53].

4.4. İklim Göstergeleri Periyot Analizi: Genel Değerlendirme

Periyot analizi bölümünde Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda meydana gelen iki farklı mevsimsel hareketliliği karakterize eden Kuzey Atlantik Salınım (NAO) İndeksi ve Güney Salınımı İndeksi (SOI) incelenmiş. Güneş'ten gelen ışımanın Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda meydana gelen mevsimsel hareketliliklere herhangi bir etkisi olup olmadığı konusunda bilgi sahibi olmak için Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi incelenmiştir.

Güneş Lekesi Sayısı periyot analizi sonucunda zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların sırasıyla 11 yıl, 88 yıl, 12 yıl, 8,5 yıl, 8 yıl, 13,2 yıl, 5,5 yıl ve 22 yıl olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen periyotların 264 yılın harmonikleri olduğu gözlenmiştir. 264 yılın 24. harmoniği olan 11,00 yıl Güneş Lekesi Sayısı'nın başat periyodu olarak gözlenmiştir. Ayrıca, periyot analizi sonucunda Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde bazı anti-rezonans periyotlarının olduğu tespit edilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı periyot analizinde iklim göstergesinin aylık ve günlük veri kümeleri kullanılmıştır. Aylık ve günlük veri kümeleri için kullanılan periyot analiz yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı periyot analizi sonucunda zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 6,56 ay, 11,80 ay, 826 ay, 12,15 ay, 14,00 ay, 29,50 ay, 33,04 ay, 43,47 ay, 68,83 ay ve 165,20 ay olduğu tespit edilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı periyot analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyot analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen periyotların ortalama %1,95 hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi periyotları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç Güneş'in NAO üzerindeki etkisini ifade etmektedir [46], [47], [48], [49].

Periyot analizi sonucunda Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde bazı anti-rezonans periyotları olduğu ayrıca gözlenmiştir. Anti-rezonans periyotların yüksek değerlikte olanların ortalama %1,95 ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı, bunların haricindeki anti-rezonans periyotlarının ortalama %1,75 hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotlar arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

Güney Salınımı İndeksi periyot analizinde iklim göstergesinin aylık ve günlük veri kümeleri kullanılmıştır. Aylık ve günlük veri kümeleri için kullanılan periyot analiz yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Güney Salınım İndeksi periyot analizi sonucunda zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 42,84 ay, 58,14 ay, 135,67 ay, 30,15 ay, 67,83 ay, 37,00 ay, 407 ay, 162,80 ay, 25,44 ay, 33,92 ay, 18,50 ay, 20,35 ay, 14,28 ay, 12,33 ay olduğu tespit edilmiştir. Güney Salınımı içerisinde gözlenen 135,67 aylık periyot Güneş Lekesi Sayısı başat periyot değeri 132 ayı ifade etmektedir. Ayrıca, NAO ve SOI içerisinde gözlenen periyotlar yıl olarak değerlendirildiğinde hemen hemen tamamının 264 yılın harmonikleri olduğu gözlenmiştir.

Güney Salınım İndeksi periyot analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyot analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Güney Salınımı içerisinde gözlenen periyotların ortalama %1,75 hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi periyotları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu analiz sonucu Güneş'in Güney Salınımı üzerindeki etkisini göstermektedir [51], [52], [53].

Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar ile Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar karşılaştırıldığında, iki iklim zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların büyük bir kısmının ortak olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca dayanarak iki salınım arasında bir ilişki olduğu bilgisine ulaşılmıştır [49], [54].

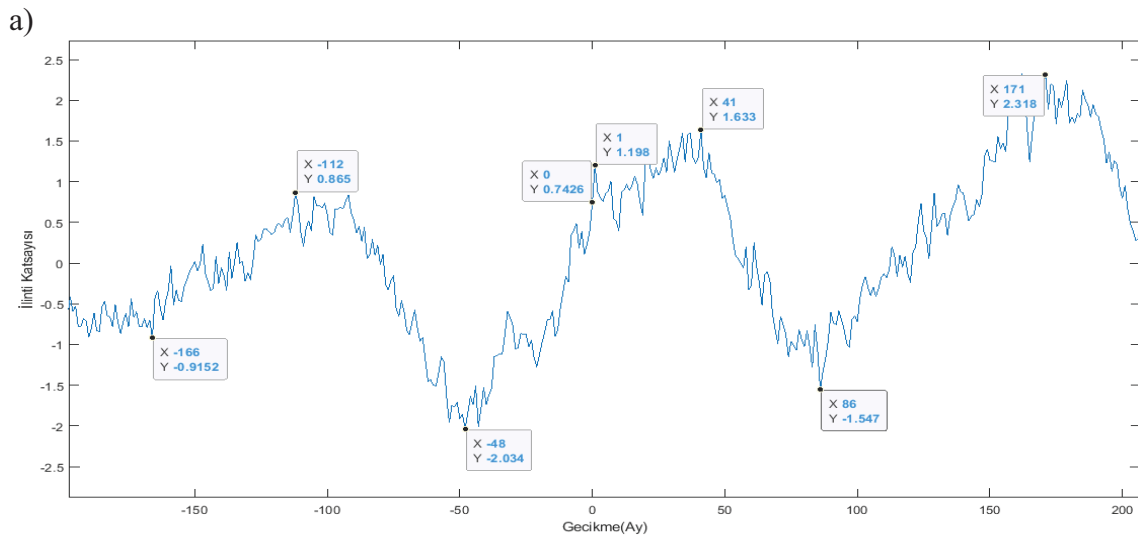
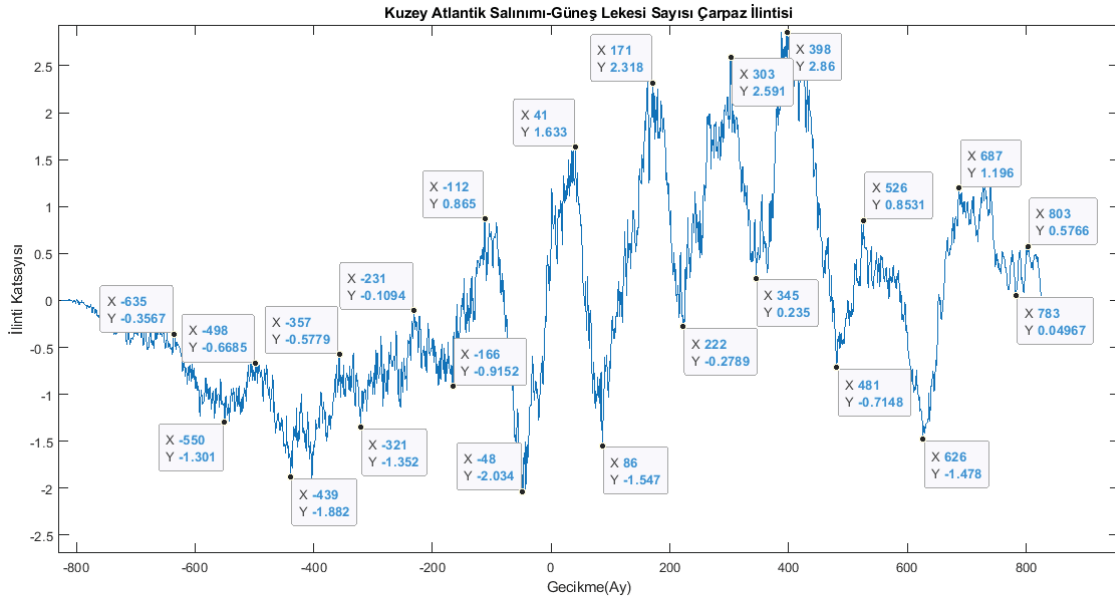
Periyot analizi sonucunda Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde bazı anti-rezonans periyotları olduğu ayrıca gözlenmiştir. Anti-rezonans periyotların bir kısmının ortalama %1,56 hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı, bir kısmının ortalama %3,22 hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotlar arasında yer aldığı saptanmıştır.

5. İKLİM GÖSTERGELERİ ÇAPRAZ İLİNTİ ANALİZİ

Bu bölümde Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI zaman serilerinin birbirleri ile olan ilişkilerini incelemek için çapraz ilinti yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizde 1951 ile 2018 yılları arasında kayıtlı 814 adet aylık veri kümeleri kullanılmıştır [5],[6],[9].

5.1. Kuzey Atlantik Salınımı -Güneş Lekesi Sayısı Çapraz İlinti Analizi

Kuzey Atlantik Salınımı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serileri arasındaki ilişki çapraz ilinti analiz yöntemi ile araştırılmış, çapraz ilinti fonksiyonu Şekil 5.1 ile gösterilmiştir.



b)

Şekil 5.1. a) Kuzey Atlantik Salınımı- Güneş Lekesi Sayısı Çarpaz İlinti Analizi

b) Çarpaz İlinti Analizi Detaylı Gösterimi.

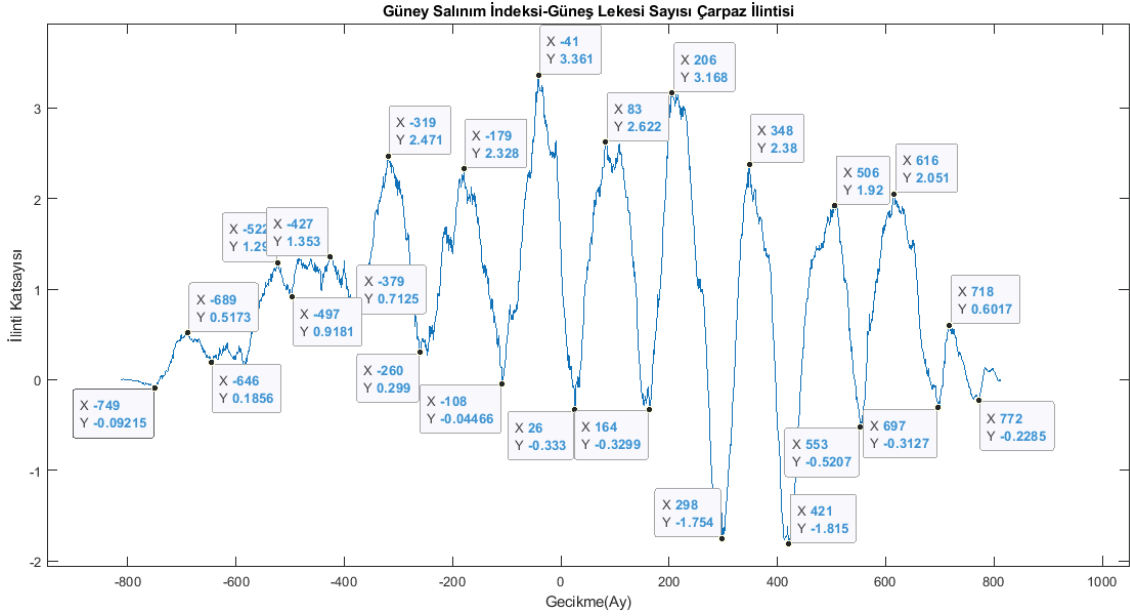
Şekil 5.1.a ile gösterilen Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı çapraz ilinti fonksiyonunun grafiği incelendiğinde maksimum ilinti katsayısının bulunduğu tepe noktasına karşılık gelen zaman değeri 398 ay yani 33,17 yıl olduğu gözlenmiştir. Maksimum ilinti katsayısına sahip gecikme değerinin pozitif olması, Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin karakterize ettiği Güneş'te gerçekleşen bir takım hareketlenmenin 33,17 yıl sonra Kuzey Atlantik'te etkisinin görülebileceğini şeklinde yorumlanmıştır.

Grafik üzerinde işaretlenen yüksek ilinti katsayısına sahip tepe noktalarına karşılık gelen gecikme değerlerinin mutlak değerleri arasındaki uzaklık farkının ortalaması hesaplandığında 130,73 aylık bir periyot değeri elde edilmiştir. 130,73 ay 10,89 yıla eşittir. Dip noktalarına karşılık gelen gecikme değerlerinin mutlak değerleri arasındaki uzaklık farkının ortalaması hesaplandığında ise 133,6 ay yani 11,13 yıl elde edilmiştir. Yaklaşık olarak 11 yıla karşılık gelen bu iki değer daha önce periyot analizinde elde edilen Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen başat periyot değerini ifade etmektedir. Çapraz ilinti analizinde Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki başat periyodun elde edilmesi, 11 yılın Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı'nı etkileyen ortak bir periyot olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde periyot analizinde 11 yıllık bir periyot değeri gözlenmemiş olmasına karşın, Güneş Lekesi ile olan çapraz ilinti analizi sonucunda Kuzey Atlantik Salınımı'nı etkilenen yaklaşık olarak 11 yıllık döngüsel bir hareketin var olduğu gözlenmiştir.

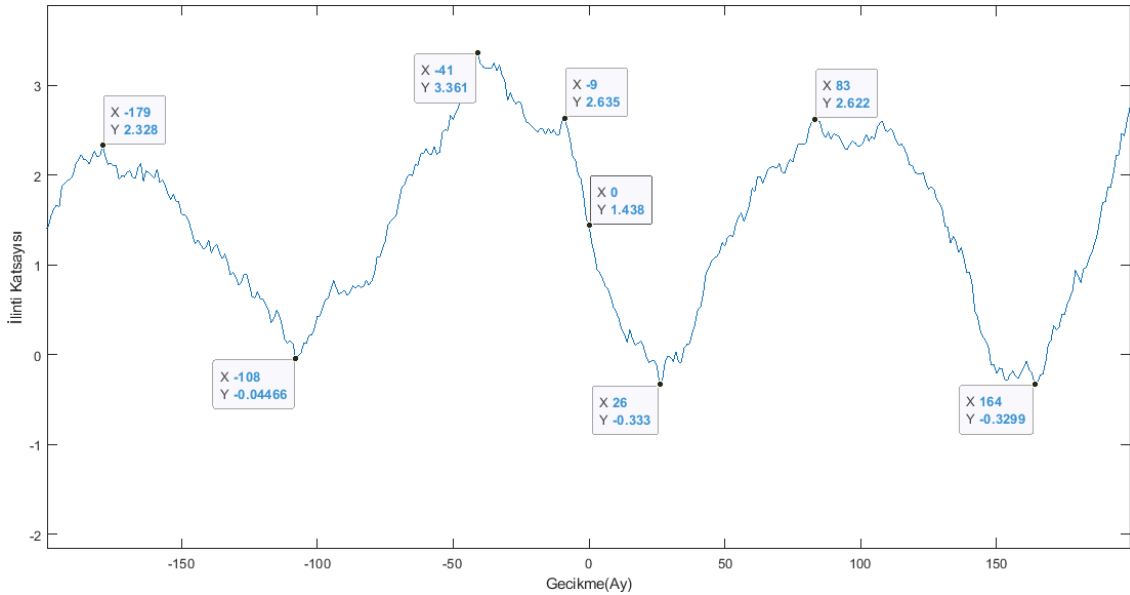
Şekil 5.1.b ile gösterilen çapraz ilinti analiz sonucunun sıfır çevresindeki detaylı gösteriminin grafiği incelendiğinde 1 ay da belirgin olarak tepe noktası olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 0 aya karşılık gelen ilinti katsayısı 0,74 olarak tespit edilmiştir.

5.2. Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Çapraz İlinti Analizi

Güneş Lekesi Sayısı iklim göstergesi ile Güney Salınım İndeksi iklim göstergesi arasındaki ilişki çapraz ilinti yöntemi ile araştırılmış, çapraz ilinti fonksiyonu Şekil 5.2 ile gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 5.2. a) Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Çapraz İlinti Analizi b) Çapraz İlinti Analizi Detaylı Gösterimi.

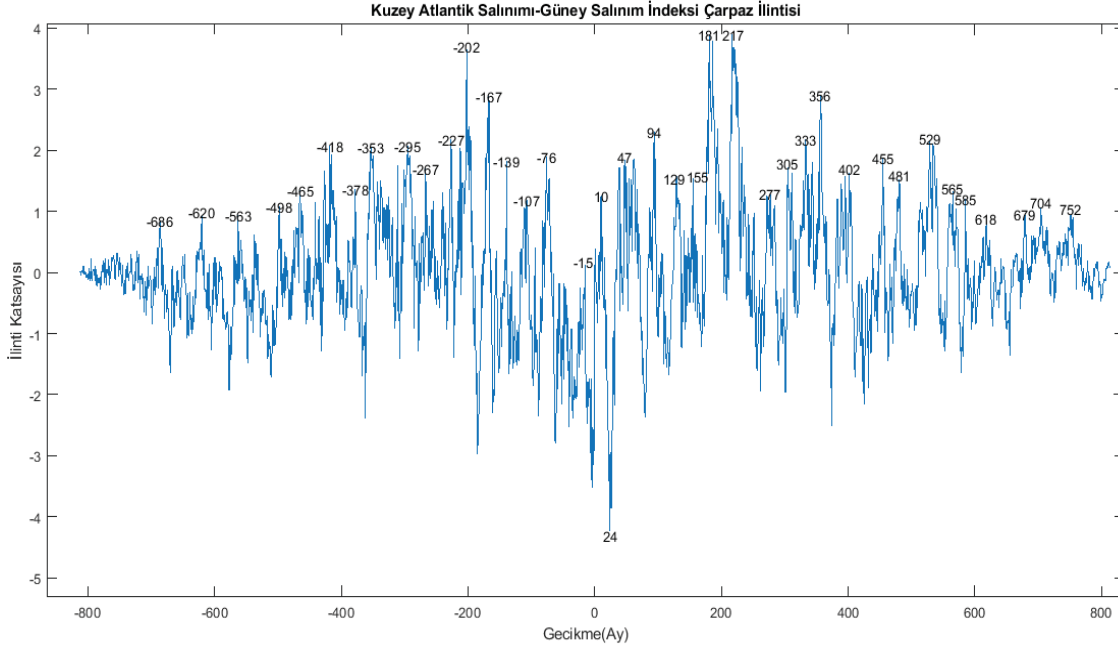
Şekil 5.2.a ile gösterilen Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı çapraz ilinti fonksiyonunun grafiği incelendiğinde maksimum ilinti katsayısının bulunduğu tepe noktasına karşılık gelen zaman değeri -41 ay olduğu gözlenmiştir. Yaklaşık olarak 41 aylık periyot değeri periyot analizi bölümünde her iki zaman serisi içerisinde de gözlemlenen periyotlardan bir tanesidir.

Grafik üzerinde işaretlenen yüksek ilinti katsayısına sahip tepe noktalarına karşılık gelen gecikme değerlerinin mutlak değerleri arasındaki uzaklık farkının ortalaması hesaplandığında 127,91 aylık bir periyot değeri elde edilmiştir. 127,91 ay 10,66 yıla eşittir. Dip noktalarına karşılık gelen gecikme değerlerinin mutlak değerleri arasındaki uzaklık farkının ortalaması hesaplandığında 126,75 ay, yıl olarak 10,56 yıl elde edilmiştir. Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen 11 yıllık başat periyodun çapraz ilinti analizinde elde edilmesi, 11 yılın Güneş Lekesi Sayısı ve Güney Salınımı'nı etkileyen ortak bir periyot olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Periyot analizi sonucunda ve çapraz ilinti analizi sonucunda yaklaşık olarak 11 yıllık bir değer Güney Salınımı içerisinde kendini göstermesi, Güneş'in Güney Salınımı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Şekil 5.2.b ile gösterilen çapraz ilinti analiz sonucunun sıfır çevresindeki detaylı gösteriminin grafiği incelendiğinde 9 ay da belirgin olarak tepe noktası olduğu gözlenmektedir. Ayrıca 0 aya karşılık gelen ilinti katsayısı 1,44 olarak tespit edilmiştir.

5.3. Kuzey Atlantik Salınımı- Güney Salınım İndeksi Çarpaz İlinti Analizi

Kuzey Atlantik Salınımı iklim göstergesi ile Güney Salınım İndeksi iklim göstergesi arasındaki ilişki çarpaz ilinti yöntemi ile araştırılmış, çarpaz ilinti fonksiyonu Şekil 5.3 ile gösterilmiştir.



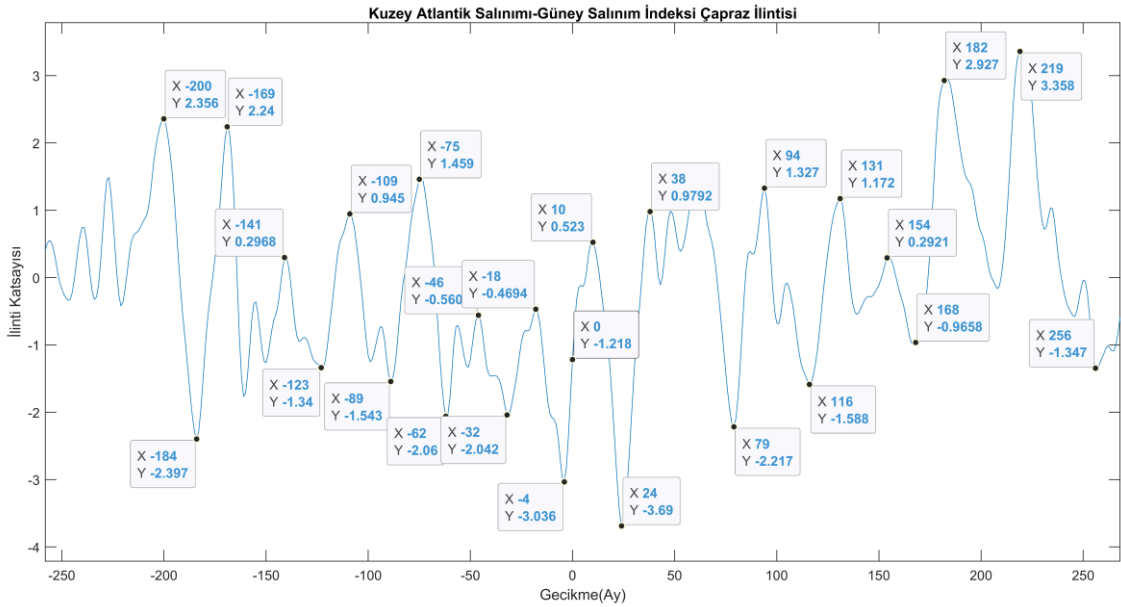
Şekil 5.3. Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Çarpaz İlinti Analizi.

Şekil 5.3 ile gösterilen çarpaz ilinti fonksiyonu grafiğinde yüksek ilinti katsayısına sahip tüm tepe noktalarına karşılık gelen gecikme değerleri gösterilmektedir. Gecikme değerlerinin mutlak değerleri arasındaki uzaklık farkı sırası ile 66 ay, 57 ay, 65 ay, 33 ay, 47 ay, 40 ay, 25 ay, 58 ay, 28 ay, 40 ay, 25 ay, 35 ay, 28 ay, 32 ay, 31 ay, 61 ay, 25 ay, 37 ay, 47 ay, 35 ay, 26 ay, 26 ay, 36 ay, 60 ay, 28 ay, 28 ay, 23 ay, 46 ay, 53 ay, 26 ay, 48 ay, 36 ay, 30 ay, 33 ay, 61 ay, 25 ay ve 48 ay olduğu tespit edilmiştir. Birbirlerine yakın değerlerin ortalaması hesaplandığında 60,13 ay, 29,14 ay ve 45,14 aylık üç periyot değeri elde edilir. Bu üç değer ardışık iki tepe arasında kendilerini periyodik olarak göstermektedir. Yaklaşık olarak 60,13 aylık, 29,14 aylık ve 45,14 aylık zaman değerlerinin daha önceki periyot analizi bölümünde Kuzey Atlantik Salınımı ile Güney Salınım İndeksi içerisindeki baskın periyotlar olduğu gözlenmiştir.

Çarpaz ilinti fonksiyonunun grafiği üzerindeki maksimum ilinti katsayısına sahip gecikme değerlerinin -202 ay, -167 ay, 181 ay, 217 ay ve 24 ay gecikme değerlerinde yer

aldığı gözlenmiştir. Maksimum ilinti katsayısına sahip gecikme değerinin pozitif olması, Güney Pasifik'te gerçekleşen bir takım iklimsel hareketlenmenin etkilerinin belirli bir zaman sonra Kuzey Atlantik'te görülebileceğini ifade etmektedir. Güney Salınımı ve Kuzey Atlantik Salınımı arasındaki ilinti hakkında yapılan çalışmalarda El-Nino/Güney Salınımı'nın belirli bir zaman gecikmesi ile Kuzey Atlantik Salınımı'nı etkilediği tespit edilmiştir [54]. Maksimum ilinti katsayısına sahip gecikme değerinin negatif olması ise Kuzey Atlantik'te gerçekleşen bir takım iklimsel hareketlenmenin etkilerinin belirli bir zaman sonra Güney Pasifik'te görülebileceğini ifade etmektedir.

Çapraz ilinti fonksiyonu grafiğinin detaylı incelenmesi için sonuç grafiği normalize edildikten sonra merkez çevresinde genişletilmiş, sonuçlar Şekil 5.4 ile gösterilmiştir.



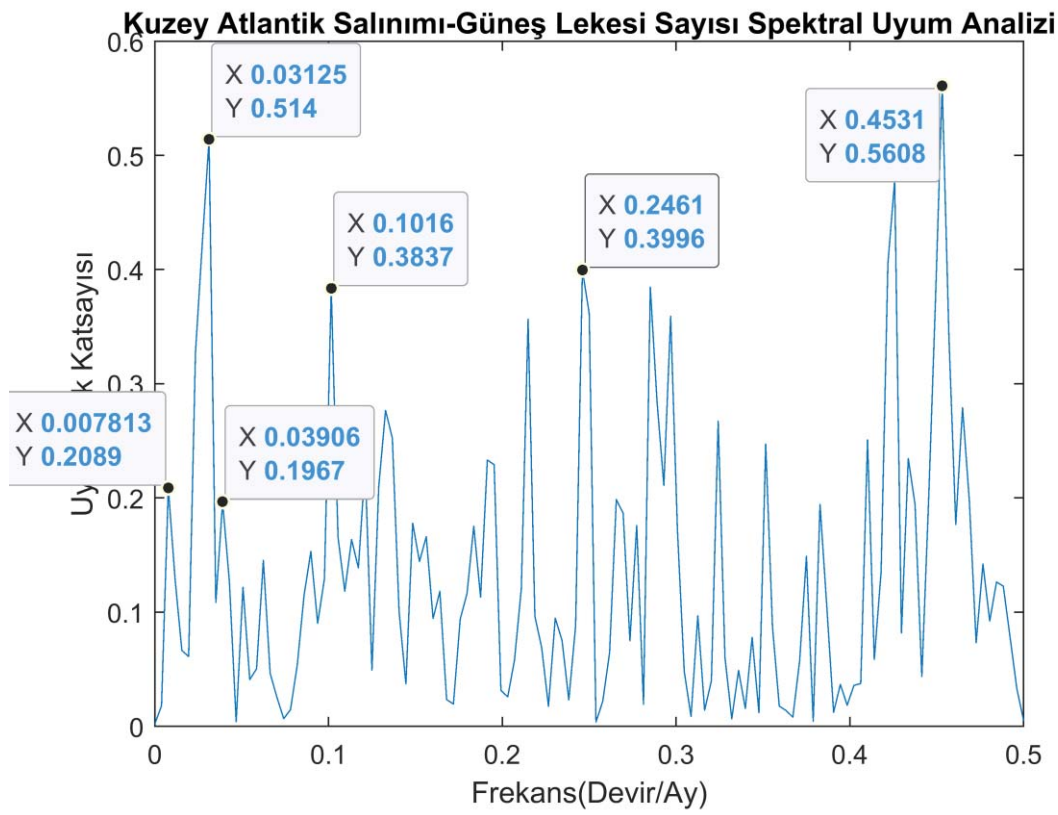
Şekil 5.4. Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Çapraz İlinti Analizi (Normalize).

Normalize edilmiş çapraz ilinti fonksiyonunun grafiği incelendiğinde iki tepe noktası arasındaki uzaklık farkının yaklaşık olarak 28 ay olduğu tespit edilmiştir. Bir tepe ile bir dip noktası arasındaki uzaklık farkının 14 ay olduğu ve düzenli olarak bu değer tepe ve dip noktaları arasında uzaklık farkı olarak kendini gösterdiği gözlemlenmiştir. Merkez çevresindeki ilk tepe noktasına karşılık gelen gecikme süresinin 10 ay, ilk dip noktasına karşılık gelen gecikme süresinin de 4 ay olması, Kuzey Atlantik Salınımı'nın karakterize ettiği iklimsel hareketliliğin etkilerinin 10 aylık bir zaman gecikmesi ile Güney Pasifik'te

görülebileceği, Güney Salınım İndeksi'nin karakterize ettiği iklimsel hareketliliğin etkilerinin 4 aylık bir zaman gecikmesi ile Kuzey Atlantik'te görülebileceğini ifade etmektedir.

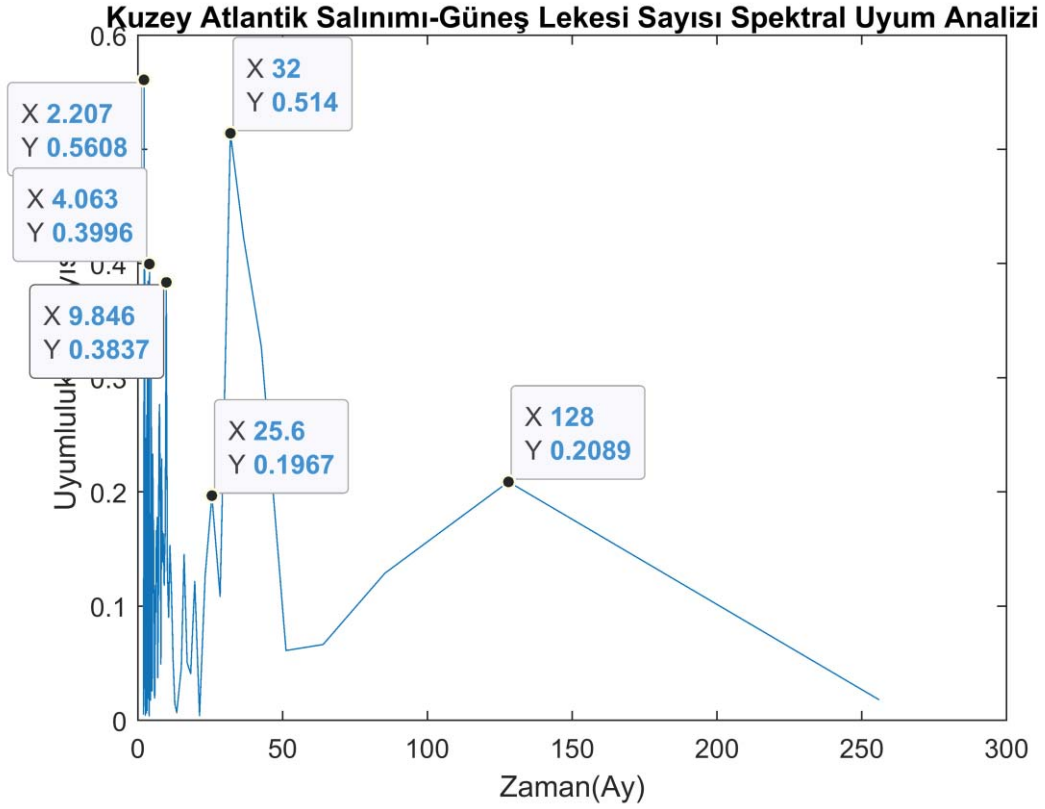
5.4. Kuzey Atlantik Salınımı -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi

Kuzey Atlantik Salınımı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serileri arasındaki ilişki spektral uyumluluk analiz yöntemi ile araştırılmış, spektral uyumluluk fonksiyonu Şekil 5.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Kuzey Atlantik Salınımı -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi (Frekans – Uyumluluk Katsayısı).

Şekil 5.5'te gösterilen analiz sonuç grafiği incelendiğinde bazı frekans değerlerinde Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi arasında uyumluluğun olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.5'te gösterilen analiz sonuç grafiğinde x eksenini periyot bilgisini içerecek şekilde düzenlenmiş, sonuçlar Şekil 5.6 ile gösterilmiştir.



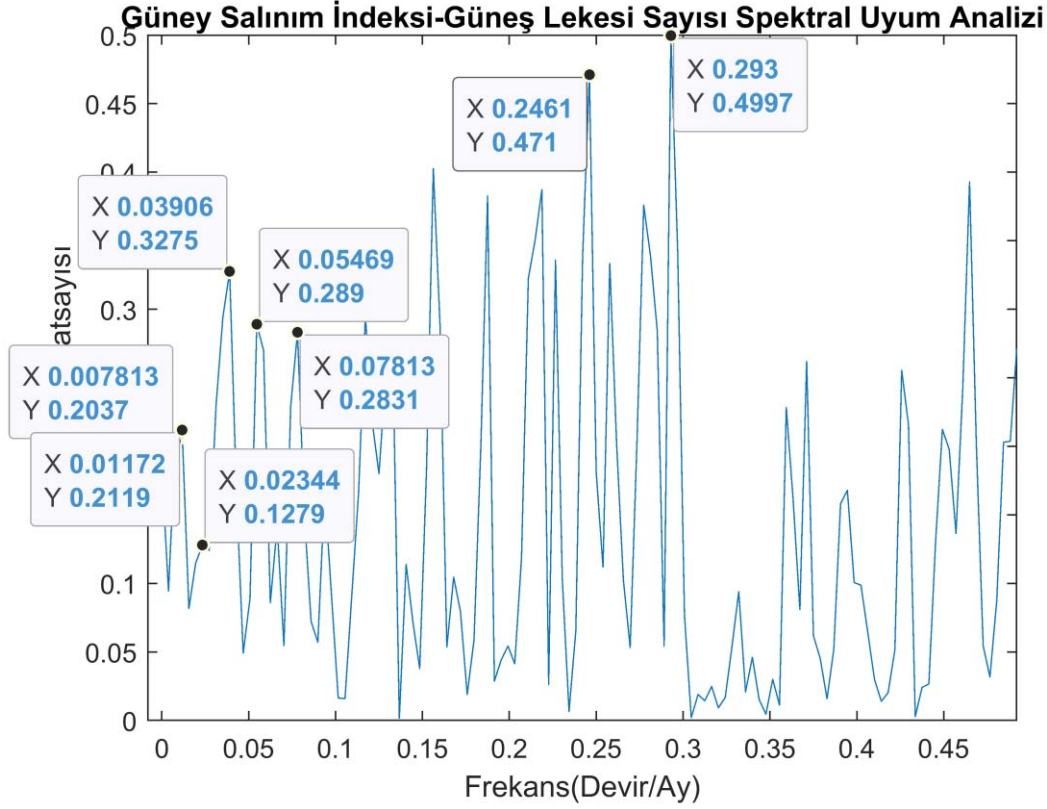
Şekil 5.6. Kuzey Atlantik Salınımı -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi (Periyot -Uyumluluk katsayısı).

Şekil 5.6’da gösterilen analiz sonuç grafiğinde x eksenini periyot bilgisini içerecek şekilde düzenlenmiştir. Grafik üzerinde yüksek uyumluluk katsayısına sahip tepe noktaları işaretlenmiş, periyot karşılıkları belirlenmiştir. Grafikte belirtildiği üzere Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi arasındaki uyumlu davranışın yani ortak periyotların 128 ay, 32 ay, 25,6 ay, 9,85 ay, 4,063 ay ve 2,2 ay periyotlarında yoğunlaştığı gözlenmiştir. 128 ay 10,67 yıla eşittir. 10,67 yıl %3 hata oranı ile 11 yıllık Güneş Lekesi döngü periyoduna eşittir.

32 ay, 25,6 ay, 9,85 ay periyot değerleri periyot analizi bölümünde Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi zaman serileri içerisinde gözlenen ortak periyot değerleridir. Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi içerisinde gözlenen 33,04 ay %3 hata oranı ile 32 aya, 25,03 ay %2 hata oranı ile 25,6 aya, 9,39 ay %5 hata oranı ile 9,85 aya eşittir. Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde gözlenen 33,70 ay %5 hata oranı ile 32 aya, 25,34 ay %1 hata oranı ile 25,6 aya, 9,08 ay %8 hata oranı ile 9,85 aya eşittir.

5.5. Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi

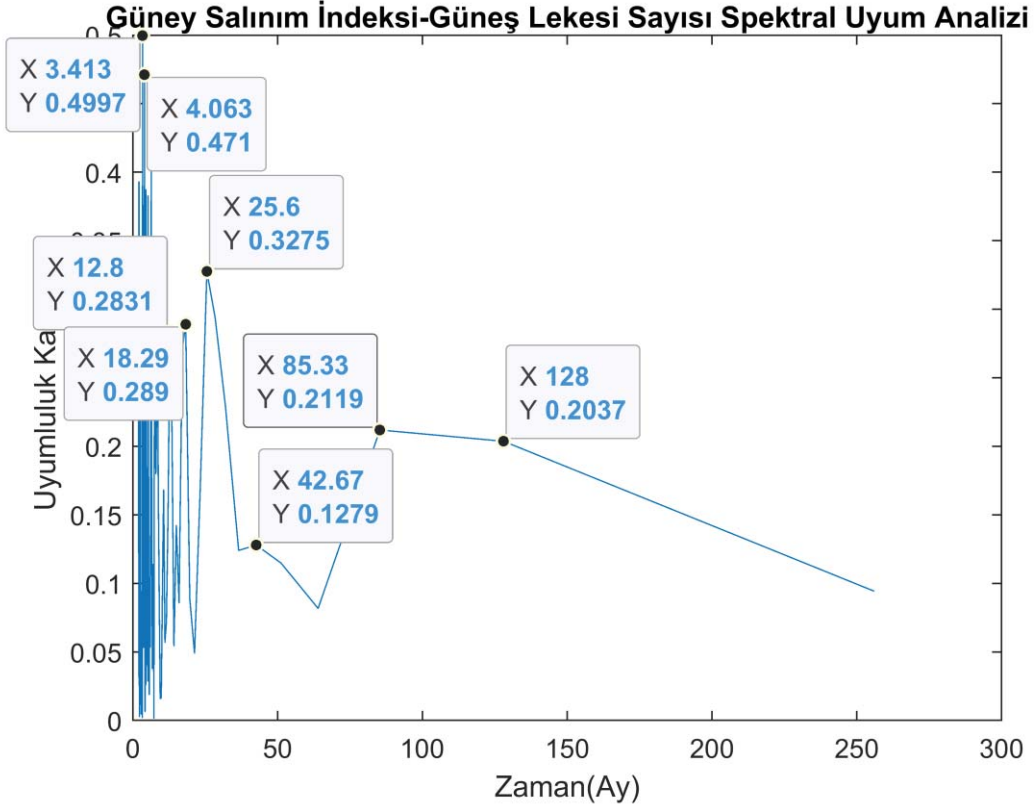
Güney Salınım İndeksi ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serileri arasındaki ilişki spektral uyumluluk analiz yöntemi ile araştırılmış, spektral uyumluluk fonksiyonu Şekil 5.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi (Frekans – Uyumluluk Katsayısı).

Şekil 5.7’de gösterilen analiz sonuç grafiği incelendiğinde bazı frekans değerlerinde Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi arasında uyumluluğun olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5.7’de gösterilen analiz sonuç grafiğinde x eksenini periyot bilgisini içerecek şekilde düzenlenmiş, sonuçlar Şekil 5.8 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Güney Salınım İndeksi -Güneş Lekesi Sayısı Spektral Uyumluluk Analizi (Periyot -Uyumluluk Katsayısı).

Şekil 5.8’de gösterilen analiz sonuç grafiğinde x eksenini periyot bilgisini içerecek şekilde düzenlenmiştir. Grafik üzerinde yüksek uyumluluk katsayısına sahip tepe noktaları işaretlenmiş, periyot karşılıkları belirlenmiştir. Grafikte belirtildiği üzere Güney Salınımı ve Güneş Lekesi arasındaki ortak periyotların 128 ay, 85,53 ay, 42,67 ay, 25,6 ay, 18,29 ay, 12,8 ay, 4,063 ay ve 3.413 ay periyotlarında yoğunlaştığı gözlenmiştir. 128 ay 10,67 yıla eşittir. 10,67 yıl %3 hata oranı ile 11 yıllık Güneş Lekesi döngü periyoduna eşittir.

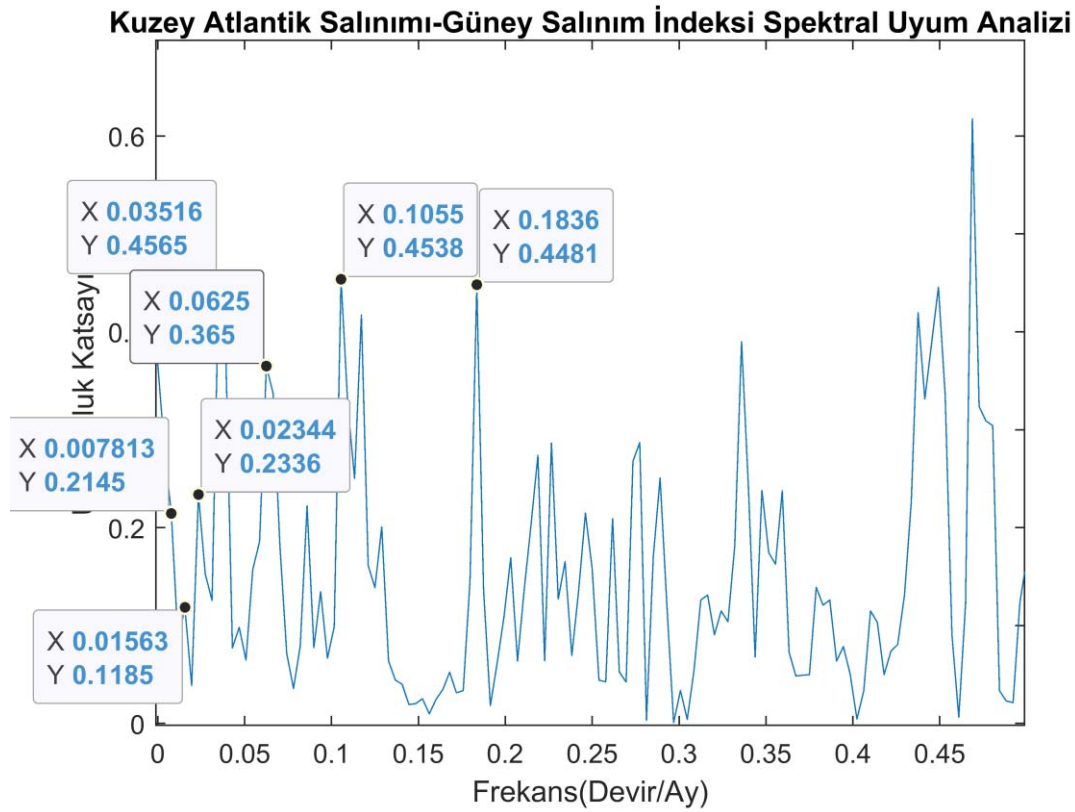
Ayrıca, 128 ay, 85,53 ay, 42,67 ay, 25,6 ay, 18,29 ay ve 12,8 ay periyot değerleri periyot analizi bölümünde Güney Salınımı ve Güneş Lekesi zaman serileri içerisinde gözlenen ortak periyot değerleridir.

Periyot analizi bölümünde Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen 135,67 ay %5,65 hata oranı 128 aya, 81,40 ay %5,07 hata oranı ile 85,53 aya, 42,84 ay %0,4 hata oranı ile 42,67 aya, 12,33 ay %3,8 hata oranı ile 12,8 aya eşittir. Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde gözlenen 132 ay %3 hata oranı ile 128 aya, 81,23 ay %5,3

hata oranı ile 85,53 aya, 42,24 ay %1 hata oranı ile 42,67 aya, 25,34 ay %1,02 hata oranı ile 25,6 aya, 12,47 ay %2,65 hata oranı ile 12,8 aya eşittir.

5.6. Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Spektral Uyumluluk Analizi

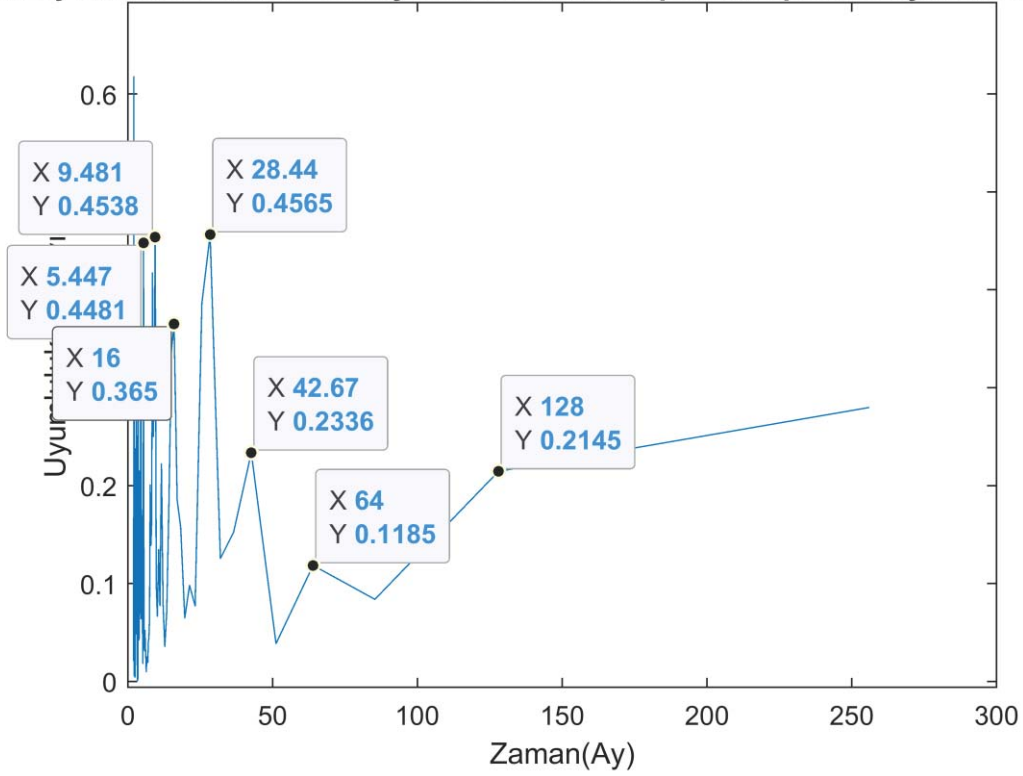
Kuzey Atlantik Salınımı ile Güney Salınım İndeksi zaman serileri arasındaki ilişki spektral uyumluluk analiz yöntemi ile araştırılmış, spektral uyumluluk fonksiyonu Şekil 5.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Kuzey Atlantik Salınımı -Güney Salınım İndeksi Spektral Uyumluluk Analizi (Frekans – Uyumluluk Katsayısı).

Şekil 5.9’da gösterilen analiz sonuç grafiğinde x eksenini periyot bilgisini içerecek şekilde düzenlenmiş, sonuçlar Şekil 5.10 ile gösterilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Spektral Uyumluluk Ana



Şekil 5.10. Kuzey Atlantik Salınımı -Güney Salınım İndeksi Spektral Uyumluluk Analizi (Periyot -Uyumluluk katsayısı).

Şekil 5.10'da gösterilen analiz sonuç grafiğinde x eksenini periyot bilgisini içerecek şekilde düzenlenmiştir. Grafik üzerinde yüksek uyumluluk katsayısına sahip tepe noktaları işaretlenmiş, periyot karşılıkları belirlenmiştir. Grafikte belirtildiği üzere Kuzey Atlantik Salınım ve Güney Salınımı arasındaki ortak periyotların 128 ay, 64 ay, 42,67 ay, 28,44 ay, 16 ay, 9,48 ay ve 5,45 ay periyotlarında yoğunlaştığı gözlenmiştir. 128 ay 10,67 yıla eşittir. 10,67 yıl %3 hata oranı ile 11 yıllık Güneş Lekesi döngü periyodunu ifade eder. Spektral uyumluluk analizi sonucunda Güneş Lekesi zaman serisinin başat periyodunun ortaya çıkması, 11 yılın hem Kuzey Atlantik Salınımı'nı hem de Güney Salınımı'nı etkileyen ortak bir periyot olduğu şeklinde yorumlanmıştır [49].

64 ay, 42,67 ay, 28,44 ay, 16 ay ve 9,48 ay periyot değerleri periyot analizi bölümünde Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi zaman serileri içerisinde gözlenen ortak periyotlardır. Periyot analizi bölümünde Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi içerisinde gözlenen 68,83 ay %7 hata oranı 64 aya, 43,47 ay %1,84 hata oranı ile 42,67 aya, 29,50 ay %3,6 hata oranı ile 28,44 aya, 16,52 ay %3,15 hata oranı ile 16 aya, 9,39

ay %1 hata oranı ile 9,48 aya eşittir. Periyot analizinde Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen 67,83 ay %5,6 hata oranı ile 64 aya, 42,84 ay %0,4 hata oranı ile 42,67 aya, 30,15 ay %5,7 hata oranı ile 28,44 aya, 16,7 ay %4,4 hata oranı ile 16 aya, 8,95 ay %5,9 hata oranı ile 9,48 aya eşittir.

Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi çapraz ilinti ve spektral uyumluluk analizi sonuçlarında zaman serileri arasında uyumlu davranışın yaklaşık olarak 30 aylık yani 2,5 yıllık bir periyotta yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

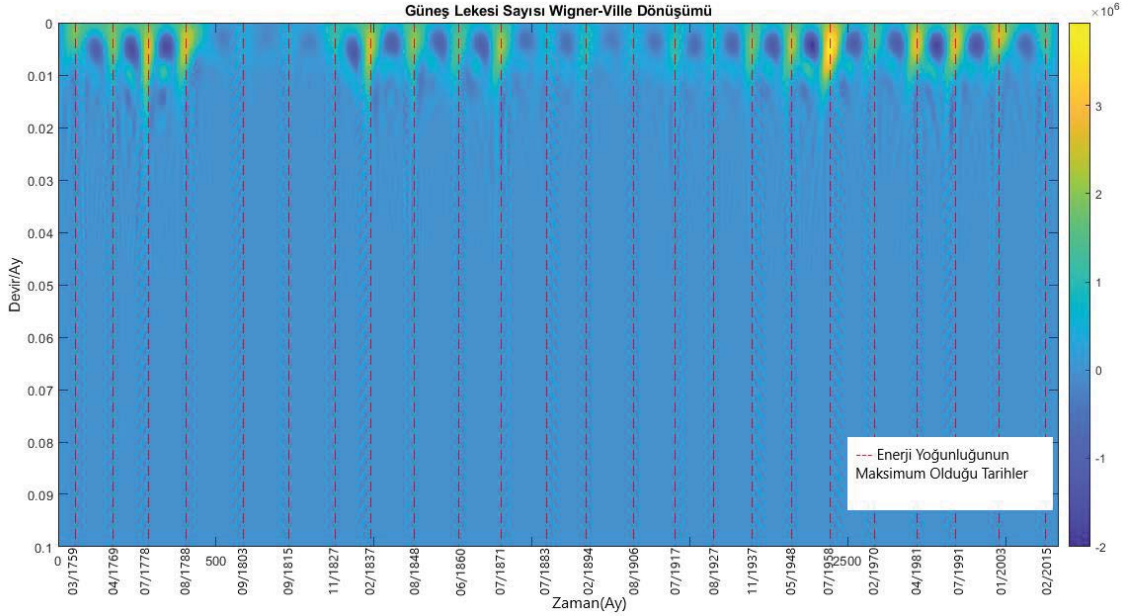
Yapılan çapraz ilinti analizi sonuçlarında Güneş'in başat döngü periyodu olan 11 yılın Kuzey Atlantik Salınımı'nı ve Güney Salınımı'nı etkilediği tespit edilmiştir. Özellikle Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi spektral uyumluluk analizi sonucunda 128 aylık bir periyodun tespit edilmesi Güneş'in Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınımı üzerindeki etkisi şeklinde yorumlanmıştır [49].

6. İKLİM GÖSTERGELERİ ZAMAN-FREKANS ANALİZİ

Bu bölümde Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI zaman serilerinin zaman-frekans analizinde Wigner-Ville Dönüşüm yöntemi kullanılmış, zaman serileri aynı anda zaman ve frekans alanında incelenmiştir. Ayrıca Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü ile iklim göstergelerinin birbirleri ile olan ilişkisi zaman ve frekans alanında tetkik edilmiştir.

6.1. Güneş Lekesi Zaman Serisi Wigner-Ville Dönüşümü

Güneş Lekesi Sayısı indeksinin 1754 ile 2018 yılları arasında kayıtlı 3168 adet aylık veri kümesi kullanılarak Wigner-Ville Dönüşümü gerçekleştirilmiştir, Wigner-Ville Dönüşüm grafiği Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Güneş Lekesi Sayısı 1754-2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.

Şekil 6.1 ile gösterilen Wigner-Ville Dönüşüm grafiğinde enerji yoğunluğunda periyodik davranış olduğu gözlenmiştir. Enerji yoğunluğunun maksimum olduğu bölgelerin zaman değerleri tespit edilmiştir. Belirlenen zaman değerlerine karşılık gelen tarihler Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

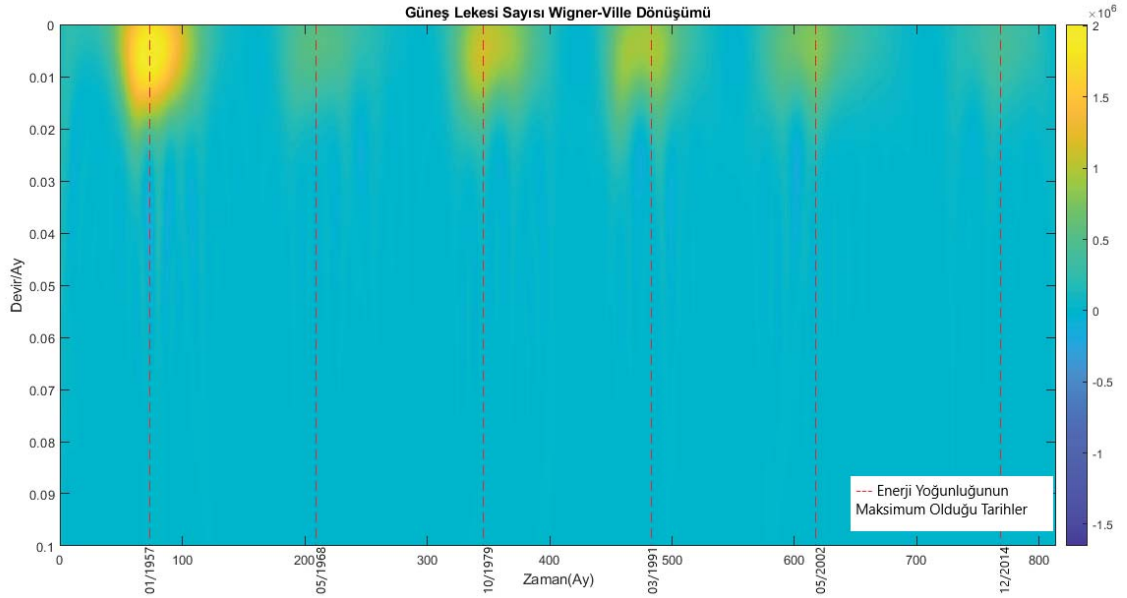
Çizelge 6.1. Güneş Lekesi Sayısı 1754-2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşüm Analiz Sonuçları.

Seyrek Güneş Lekesi Sayısı Tarihleri	Yoğun Güneş Lekesi Sayısı Tarihleri
09/1803	03/1759
09/1815	04/1769
11/1827	07/1778
07/1883	08/1788
02/1894	02/1837
08/1906	08/1848
07/1917	06/1860
08/1927	07/1871
02/1970	11/1937
02/2015	05/1948
	07/1958
	04/1981
	07/1991
	01/2003

Şekil 6.1’de işaretlenen tarihler enerji yoğunluğuna göre seyrek ve yoğun olarak ikiye ayrılmıştır. Belirtilen yoğun tarihlerde Güneş yüzeyinde hareketliliklerin arttığı, seyrek tarihlerde ise Güneş yüzeyindeki hareketlenmelerin azaldığı düşünülmektedir. Özellikle 1815-1816 yılları arasında enerji yoğunluğunda büyük bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Tarihte 1816 yılı “yazsız geçen yıl” olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 6.1’de belirlenen zaman değerlerinin aralarındaki farkların ortalaması alındığında 133,52 aylık bir değer elde edilir. 133,52 aylık bir periyot ile Güneş yüzeyinde döngüsel bir hareketlenmenin olduğu söylenebilir. 133,52 ay 11,13 yıla eşittir ve Güneş Lekesi Sayısı periyot değerini ifade eder. Periyot analizi bölümünde Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki başat periyot değeri 132 ay olarak tespit edilmiştir.

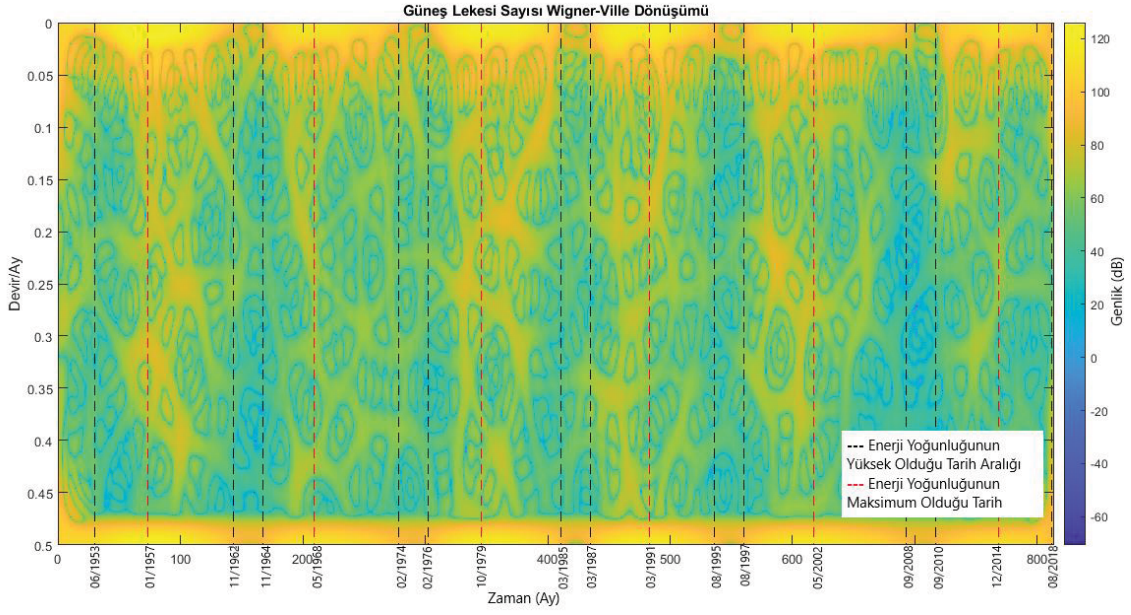
Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin zaman-frekans analizini detaylı incelemek açısından 1951 ve 2018 yılları arasındaki 814 adet aylık veri kümesi kullanılarak Wigner-Ville Dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Wigner-Ville Dönüşümü grafiği Şekil 6.2 ile gösterilmiştir.



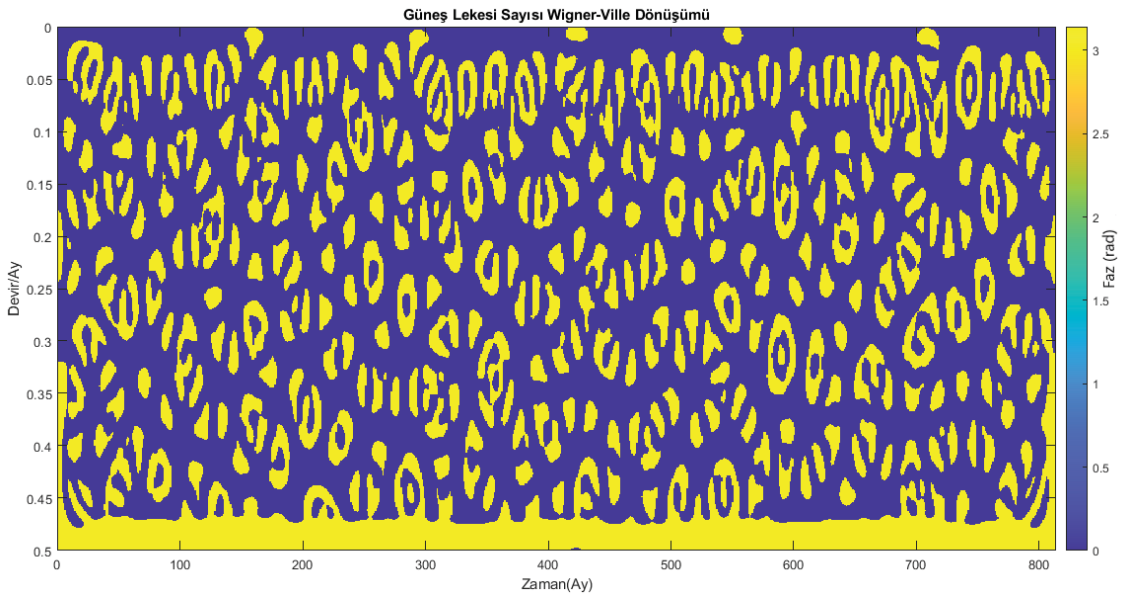
Şekil 6.2. Güneş Lekesi Sayısı 01/1951-10/2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.

Şekil 6.2 ile gösterilen Wigner-Ville Dönüşümü grafiğinde Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşümü detaylı incelenmiştir. Enerji yoğunluğunun maksimum olduğu bölgelerin tarihleri tespit edilmiş, grafik üzerinde işaretlenmiştir. Şekil 6.1 ile gösterilen analiz sonuç grafiğinde belirlenen tarihler sonrasında NAO ve SOI iklim göstergelerinin Wigner- Ville Dönüşüm analiz sonuçları ile karşılaştırma yapmak amaçlı kullanılacaktır.

Wigner-Ville Dönüşümü analiz sonucunun genlik ve faz cevabı ayrıca araştırılmış, sonuçlar Şekil 6.3 ile gösterilmiştir. Şekil 6.3 ile gösterilen analiz sonuç grafiğinde genlik cevabı ve faz cevabı sonuçlarının birlikte verilmesi uygun görülmüştür.



a)



b)

Şekil 6.3. a) Güneş Lekesi Sayısı 1951-2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı, b) Faz Cevabı.

Şekil 6.3 ile gösterilen grafiklerde Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşümünün genlik ve faz cevabı gösterilmektedir. Şekil 6.3.a'da gösterilen genlik cevabı grafiği incelendiğinde enerji yoğunluğunda periyodik bir artış ve azalışlar gözlenmektedir. Grafik üzerinde siyah çizgiler ile enerjinin yüksek olduğu zaman aralıkları, kırmızı çizgiler ile enerjinin maksimum olduğu zamanlar belirlenmiştir.

Belirlenen zamanlara karşılık gelen tarihler sonuç grafiğinde ve Çizelge 6.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2. Güneş Lekesi Sayısı 1951-2018 Tarihleri Arasındaki Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşüm Analiz Sonuçları.

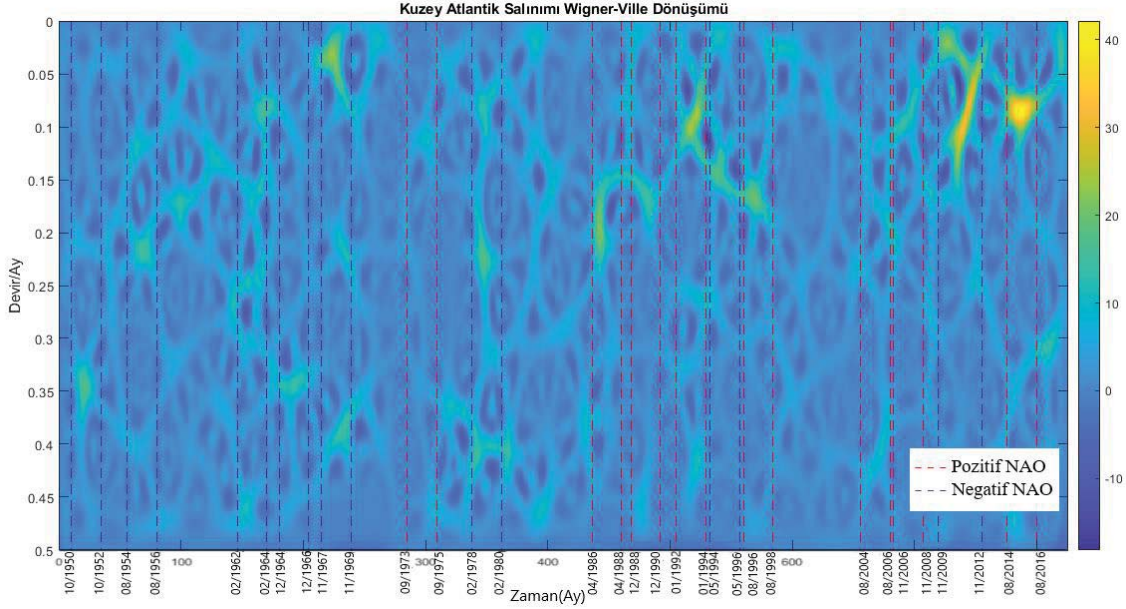
Enerji yoğunluğunun Yüksek Olduğu Tarih Aralığı	Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarih
06/1953-11/1962	01/1957
11/1964-02/1974	05/1968
02/1976-03/1985	10/1979
03/1987-08/1995	03/1991
08/1997-09/2008	05/2002
09/2010-08/2018	12/2014

Çizelge 6.2 incelendiğinde enerji yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerin aralarındaki zaman farkı 24 ay yani 2 yıl olarak tespit edilmiştir. Bu durum, Güneşin döngü periyodu olan her 11 yıl içerisinde 2 yıllık periyotlarda enerji yoğunluğunda düşüş yaşandığı şeklinde yorumlanmıştır. Maksimum enerji yoğunluğuna sahip tarihler arası zaman farkının ortalama değeri 139 ay yani 11,58 yıl olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.3.b’de gösterilen, analizin faz cevap grafiği incelendiğinde ise 0 ve π olmak üzere iki seviyeli (biphase) bir davranış olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 6.2’de gösterilen tarihler ileriki bölümlerde yer verilen Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü analiz sonuçları yorumlanırken kullanılacaktır.

6.2. Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü

Kuzey Atlantik Salınımı'nın 1950- 2018 tarihleri arasındaki 826 aylık veri kümesinin Wigner-Ville Dönüşümü gerçekleştirilmiştir, dönüşüm grafiği Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü Zaman Analizi.

Şekil 6.4 ile gösterilen Wigner-Ville Dönüşüm grafiğinde bazı bölgelerde enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bölgelerin ilk olarak zaman değerleri incelenmiştir. Zaman değerlerine karşılık gelen tarihler belirlenmiş, bu tarihlerde ölçülen NAO indeksinin pozitif veya negatif olmasına ve o tarihlerde Kuzey Atlantik çevresindeki bölgelerin iklim durumuna bağlı olarak tarihler Pozitif NAO ve Negatif NAO dönemleri olarak işaretlenmiştir.

Grafik üzerinde gösterilen kırmızı çizgiler Pozitif NAO, mavi çizgiler Negatif NAO evresine işaret etmektedir. Grafik üzerinde işaretlenen tarihler araştırmalar sonucunda oluşturulan Çizelge 6.3'te gösterilen güçlü ve çok güçlü Pozitif NAO ve Negatif NAO dönemlerini ile karşılaştırıldığında Wigner-Ville Dönüşümü kullanılarak belirlenen tarihlerin çizelgedeki tarihler ile örtüştüğü gözlenmiştir. Dolayısıyla grafik üzerindeki enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerinin Kuzey Atlantik Salınımı'nın pozitif ve negatif fazı ile ifade edilen pozitif NAO ve negatif NAO tarihlerine karşılık geldiği tespit edilmiştir.

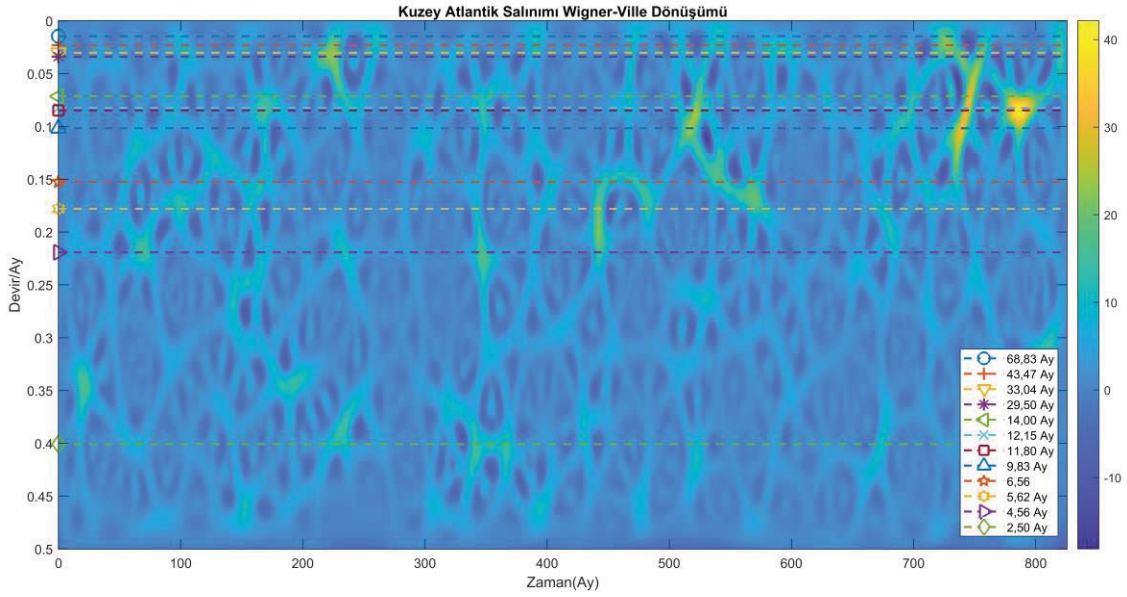
Çizelge 6.3. Negatif NAO ve Pozitif NAO Yılları [55], [56], [57], [58].

Negatif NAO		Pozitif NAO	
Güçlü	Çok Güçlü	Güçlü	Çok Güçlü
1950-1951	1962-1963	1973-1974	1988-1989
1954-1955	1978-1979	1974-1975	1997-1998
1955-1956	2009-2010	1987-1988	2006-2007
1965-1966		1989-1990	2013-2014
1968-1969		1992-1993	
1995-1996		1996-1997	
2010-2011		2004-2005	
		2007-2008	
		2014-2016	

Çizelge 6.3'te gösterilen 2009-2011 yıllarındaki negatif NAO olayı kayıt altına alınan en güçlü Kuzey Atlantik Salınımı olaylarından bir tanesidir. Bu yıllarda Kuzey Avrupa, İskoçya, İngiltere 30 yılın en soğuk kışını yaşamıştır. Atlantik Okyanusu üzerinde bu yıllar da çok fazla kasırga olayı yaşanmıştır. [57],[58].

2014-2016 yılları arasında meydana gelen pozitif NAO en güçlü Kuzey Atlantik Salınımı dönemlerinden birisi olarak kaydedilmiştir. Bu yıllarda Kuzey Avrupa, İngiltere, güneybatı Norveç'te kış dönemi yağışlı ve ortalama üstü bir sıcaklık değerine sahip olmuştur. Bunun tersine, Güney Avrupa, Kuzey Kanada ve Grönland bölgelerinde kış dönemi sert, kuru, soğuk ve daha az yağışlı bir şekilde geçmiştir [58].

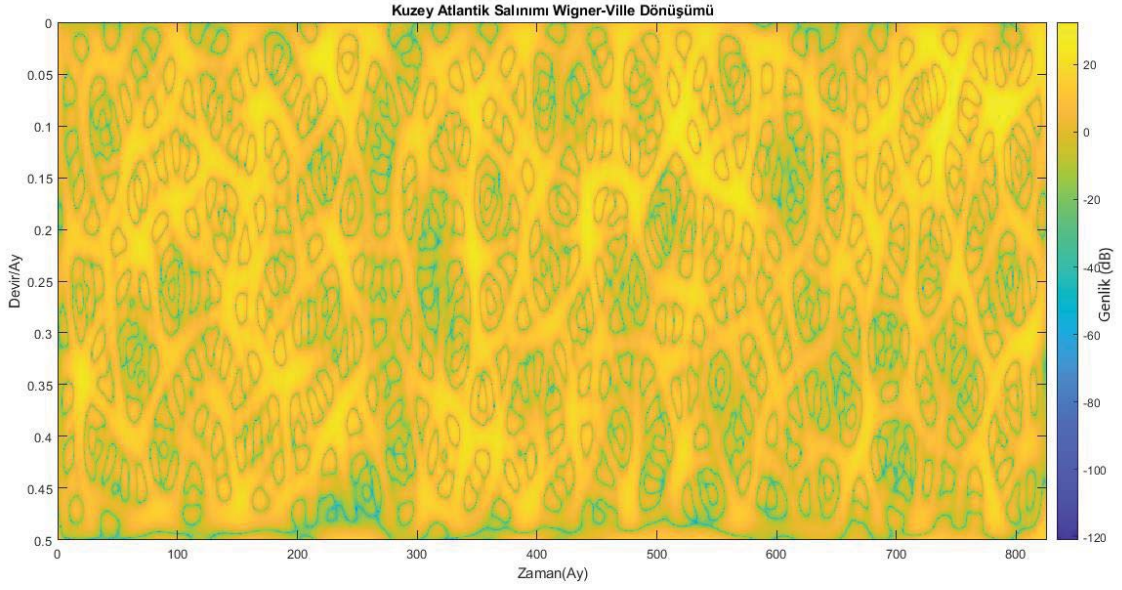
Şekil 6.4 ile gösterilen Wigner-Ville Dönüşümü sonucu enerji yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerin frekans değerleri incelenmiş, bu değerlerin periyot karşılıklarının Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen periyotlar olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen periyotlar Wigner-Ville Dönüşümü grafiği üzerinde Şekil 6.5 ile gösterilmiştir.



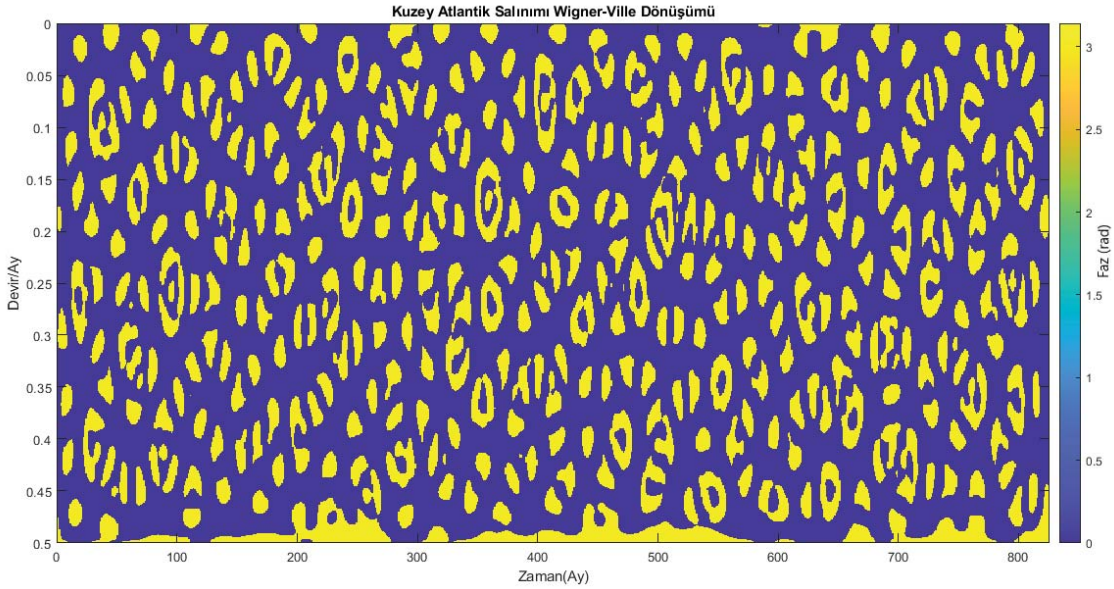
Şekil 6.5. Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü Frekans Analizi.

Şekil 6.5 ile gösterilen Wigner-Ville Dönüşüm grafiği üzerinde enerji yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerin frekanslarının periyot karşılıkları 68,83 ay, 43,47 ay, 33,04 ay, 29,50 ay, 14,00 ay, 12,15 ay, 11,80 ay, 9,83 ay, 6,56 ay, 5,62 ay, 4,56 ay ve 2,50 ay olarak gözlenmiştir. Bu değerlerin Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi içerisinde periyot analizinden elde edilen döngü periyotları ile aynı değerler olduğu tespit belirlenmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı başat periyot değeri olarak elde edilen 11,8 ayın frekans karşılığı olan 0,08475 devir/ay, Wigner-Ville Dönüşüm grafiği üzerinde enerji yoğunluğunun maksimum olduğu bölgenin frekans değeri olarak karşımıza çıkmıştır.

Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü analiz sonucunun genlik ve faz cevabı ayrıca incelenmiş, sonuçlar Şekil 6.6 ile gösterilmektedir. Genlik cevabı ve faz cevabı sonuçlarının birlikte verilmesi uygun görülmüştür.



a)



b)

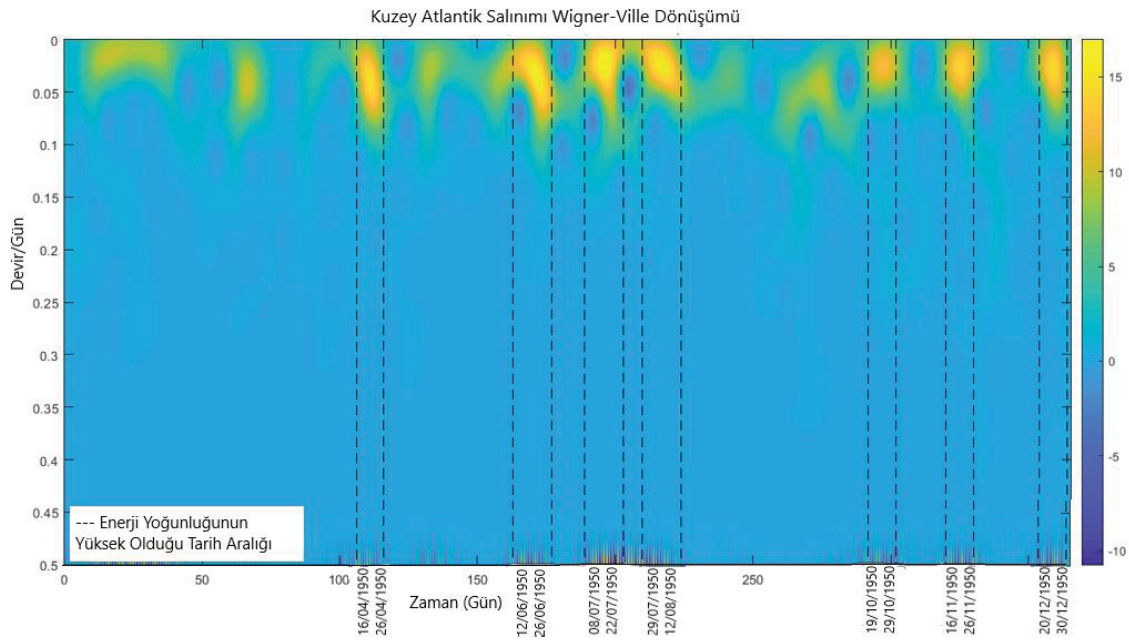
Şekil 6.6. a) Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı, b) Faz Cevabı.

Şekil 6.6 ile gösterilen grafiklerde Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümünün genlik ve faz cevabı gösterilmektedir. Şekil 6.6.a'da gösterilen genlik cevabı incelendiğinde Şekil 6.4 ile gösterilen sonuç grafiğiyle aynı noktalarda enerji yoğunluğunda artış olmuştur. Enerji yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerin tarihleri Şekil 6.4 ile gösterilen grafikte işaretlendiği için Şekil 6.6.a'da gösterilen genlik cevabı üzerinde tekrar belirtilmemiştir. Analizin faz cevap grafiği incelendiğinde ise 0 ve π

olmak üzere ikili faz davranışı olduğu gözlenmektedir. Belirlenen bu iki faz Kuzey Atlantik Salınımı'nın sahip olduğu pozitif NAO ve negatif NAO fazlarına karşılık gelebileceği tahmin edilmektedir.

Detaylı zaman-frekans analizi açısından Kuzey Atlantik Salınımı'nın 1950 ile 2018 yılları arasındaki günlük örnekler alınarak elde edilmiş birer yıllık veri kümeleri için ayrı ayrı toplam 69 tane Wigner-Ville Dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları göstermiştir ki enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler çoğunlukla gün-tün eşitliği (21 Mart-23 Eylül) ve gündönümü (21 Haziran-21 Aralık) tarihlerine denk gelmektedir. Tezde 1950, 1969 ve 1990 yıllarına ait günlük örnekler alınarak elde edilmiş yıllık veri kümelerinin Wigner-Ville Dönüşüm sonuçları örnek olarak gösterilmiştir.

1950 yılına ait günlük örneklemelerden oluşan Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşüm analiz sonucu Şekil 6.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Kuzey Atlantik Salınımı 1950 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.

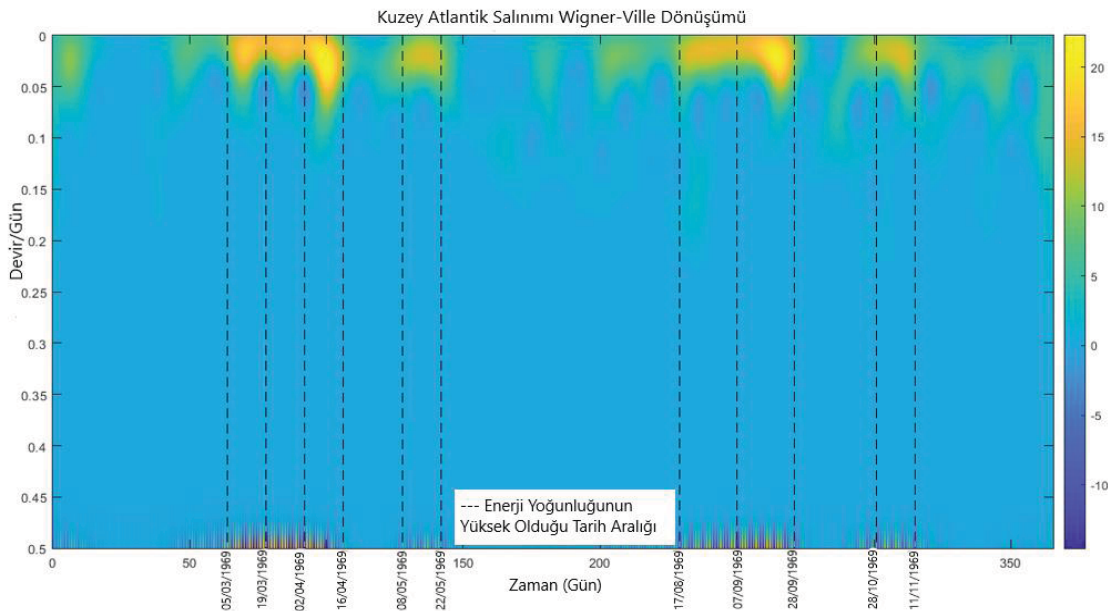
Şekil 6.7 ile gösterilen analiz sonuç grafiğinde bazı zaman ve frekanslarda enerji yoğunluğunda belirgin artış gözlenmiştir. Grafik üzerinde enerji artışına denk gelen tarihler zaman ekseninde belirtilmiştir. Çizelge 6.4 ile enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarih aralıkları ve enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Kuzey Atlantik Salınımı 1950 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.

Enerji yoğunluğunun Yüksek Olduğu Tarih Aralığı	Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarih
16/04/1950 - 26/04/1950	21/04/1950
12/06/1950 - 26/06/1950	21/06/1950
08/07/1950 - 22/07/1950	15/07/1950
29/07/1950 - 12/08/1950	05/08/1950
19/10/1950 - 29/10/1950	23/10/1950
16/11/1950 - 26/11/1950	21/11/1950
20/12/1950 - 30/12/1950	25/12/1950

Çizelge 6.4 incelendiğinde, enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihlerden 21 Haziran ve 25 Aralık gündönümü tarihlerine işaret etmektedir.

Bir diğer analiz sonucu olarak, 1969 yılına ait günlük örneklemelemlerden oluşan Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşüm analiz sonucu Şekil 6.8 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Kuzey Atlantik Salınımı 1969 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.

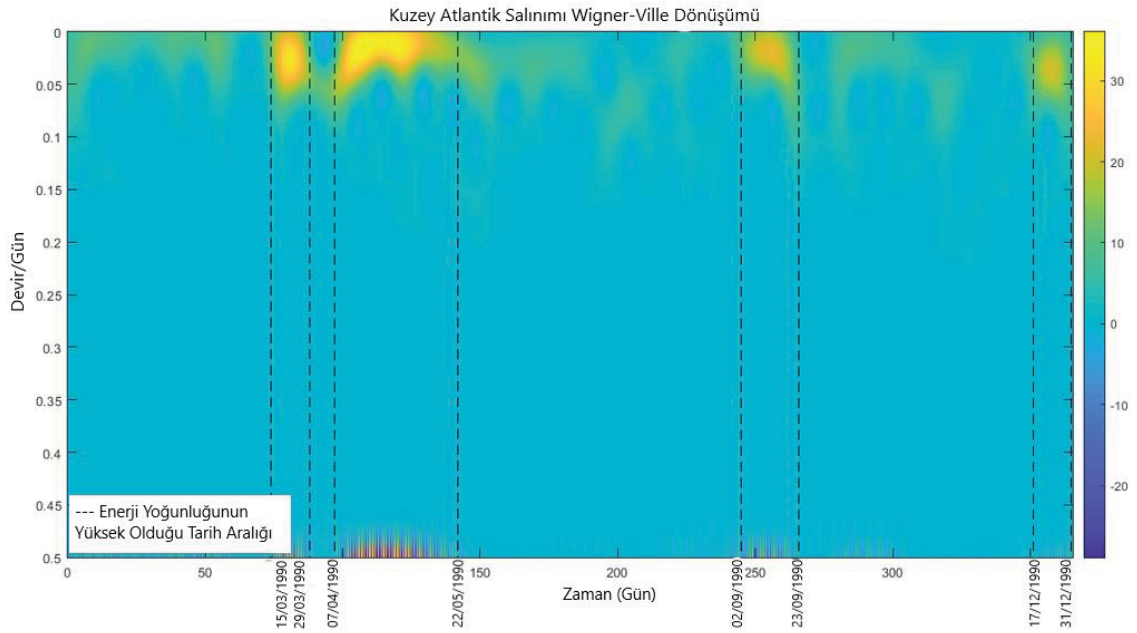
Şekil 6.8 ile gösterilen analiz sonuç grafiği üzerinde enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler zaman ekseninde belirtilmiştir. Çizelge 6.5 ile enerji yoğunluğun yüksek olduğu tarih aralıkları ve enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Kuzey Atlantik Salınımı 1969 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.

Enerji yoğunluğunun Yüksek Olduğu Tarih Aralığı	Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarih
05/03/1969 - 19/03/1969	12/03/1969
19/03/1969 - 02/04/1969	26/03/1969
02/04/1969 - 16/04/1969	10/04/1969
08/05/1969 - 22/05/1969	16/05/1969
17/08/1969 - 07/09/1969	28/08/1969
07/09/1969 - 28/09/1969	21/09/1969
28/10/1969 - 11/11/1969	06/11/1969

Çizelge 6.5 incelendiğinde, enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler arasında 26 Mart ve 21 Eylül tarihleri gün-tün eşitliği tarihlerine işaret etmektedir. Dikkat edilen bir diğer nokta ise enerji yoğunluğundaki artışın ilk bahar ve sonbahar aralığında kendini göstermiştir olmasıdır.

1990 yılına ait günlük örneklemelerden oluşan Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşüm analiz sonucu Şekil 6.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Kuzey Atlantik Salınımı 1990 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.

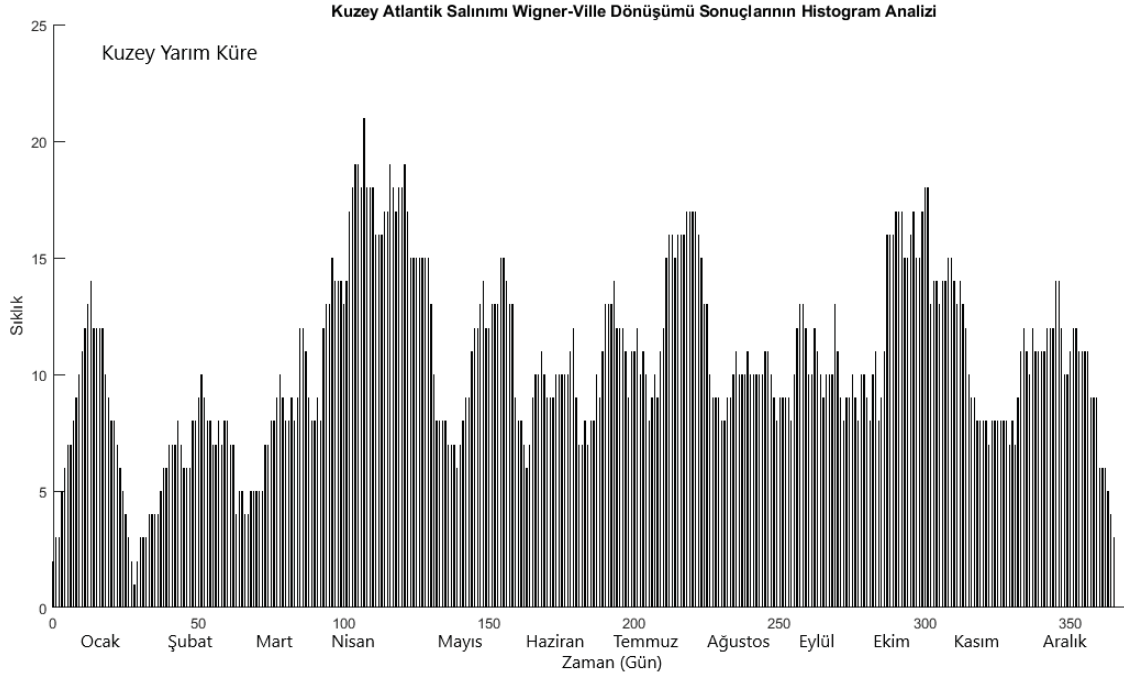
Şekil 6.9 ile gösterilen analiz sonuç grafiği üzerinde enerji artışına denk gelen tarihler zaman ekseninde belirtilmiştir. Çizelge 6.6 ile enerji yoğunluğun yüksek olduğu tarih aralıkları ve enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. Kuzey Atlantik Salınımı 1990 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.

Enerji yoğunluğunun Yüksek Olduğu Tarih Aralığı	Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarih
15/03/1990 - 29/03/1990	22/03/1990
07/04/1990 - 22/05/1990	17/04/1990
02/09/1990 - 23/09/1990	13/09/1990
17/12/1990 - 31/12/1990	24/12/1990

Çizelge 6.6 incelendiğinde, enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihlerden iki tanesi 22 Mart gün-tün eşitliği tarihine ve 24 Aralık ise gündönümü tarihine işaret etmektedir.

Kuzey Atlantik Salınımı iklim göstergesinin 1950 ile 2018 yılları arasındaki günlük örnekler alınarak elde edilmiş birer yıllık veri kümeleri için ayrı ayrı toplam 69 tane Wigner-Ville dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Wigner-Ville dönüşümleri sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler belirlenmiş ve bu tarihlerin yoğunluğu histogram grafiği ile Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

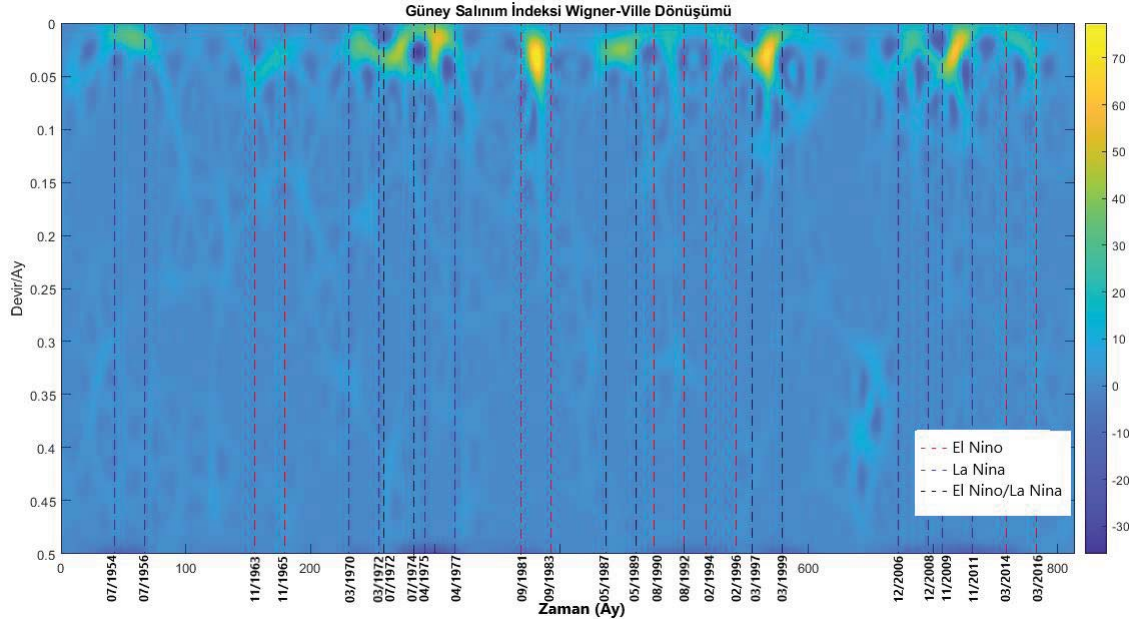


Şekil 6.10. Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü Sonuçlarının Histogram Analizi.

Şekil 6.10 ile gösterilen histogram grafiği detaylı incelendiğinde enerji yoğunluğunun yükselmekte olduğu tarihlerin çoğunlukla mart ayı ve eylül ayı aralığında, haziran ayı ile temmuz ayı aralığında ve ekim ayı aralığında olduğu saptanmıştır. Grafik üzerinde enerji yoğunluğunun yüksek olduğu zaman aralıklarının Kuzey Atlantik Okyanusu'nda gerçekleşen kasırga sezonlarına karşılık geldiği tahmin edilmektedir. Histogram grafiğinden çıkarılan bir diğer sonuç ise Kuzey Atlantik Okyanusu'nda yılın her zamanı enerji yoğunluğunda bir dalgalanmanın olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, yıl içerisinde ocak ayının sonunda enerji yoğunluğu en düşük seviyeye ulaştığı gözlenmiştir. Ocak ayının üçüncü ve son haftası Kuzey Yarım Küre'de sıcaklığın en düşük olduğu zaman dilimidir.

6.3. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü

Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin zaman-frekans analizinde Wigner-Ville Dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Analizde 1951 ile 2018 yılları arasında kayıtlı 814 adet aylık SOI verisi kullanılmış, Wigner-Ville Dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Wigner-Ville Dönüşüm grafiği Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü Zaman Analizi.

Şekil 6.11 ile gösterilen Wigner-Ville Dönüşümü grafiği üzerinde bazı bölgelerde enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bölgelerin ilk olarak zaman değerleri incelenmiştir. Zaman değerlerine karşılık gelen tarihler belirlenmiş, o tarihlerde ölçülen SOI indeksinin pozitif veya negatif olmasına bağlı olarak El Niño ve La-Niña tarihleri olarak işaretlenmiştir. Grafik üzerinde gösterilen kırmızı çizgiler El Niño, mavi çizgiler La-Niña, siyah çizgiler ise belirlenen yıllar arasında her iki olayın birlikte gerçekleştiğine işaret etmektedir. Grafik üzerinde işaretlenen tarihler Çizelge 6.7’de gösterilen El-Niño ve La-Niña tarihleri ile karşılaştırıldığında belirtilen tarihlerin güçlü El-Niño ve La-Niña zamanlarına karşılık geldiği tespit edilmiştir. Çizelge 6.7 tarihte 1950 yılından itibaren gerçekleşen tüm El-Niño ve La-Niña tarihlerini içermektedir [59].

Çizelge 6.7. El-Niño ve La-Niña Yılları [59].

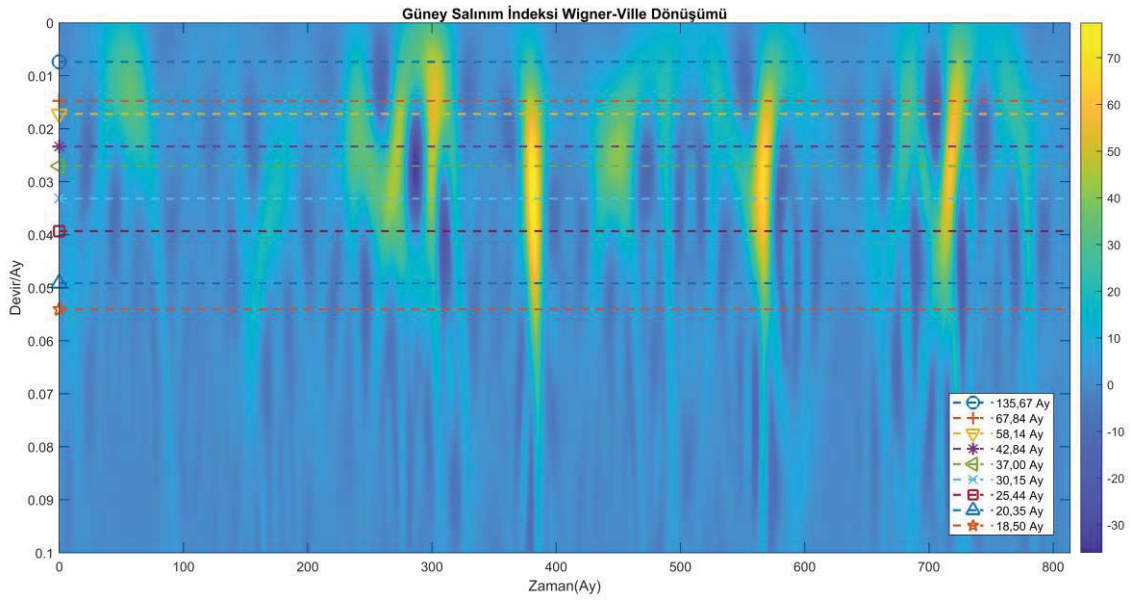
El-Nino			La-Nina	
Ilımlı	Güçlü	Çok Güçlü	Ilımlı	Güçlü
1951-52	1957-58	1982-83	1955-56	1973-74
1963-64	1965-66	1997-98	1970-71	1975-76
1968-69	1972-73	2015-16	1995-96	1988-89
1986-87	1987-88		2011-12	1998-99
1994-95	1991-92			1999-00
2002-03				2007-08
2009-10				2010-11

Çizelge 6.7’de gösterilen 1982-1983 yıllarındaki El-Niño olayı kayıt altına alınan en güçlü El-Niño olaylarından bir tanesidir [60]. Bu yıllarda Endonezya ve Avusturalya’da kuraklıklar güney Amerika’da sel baskınları yaşanmıştır. Ayrıca Kuzey Amerika’nın orta enlemleri ılık bir kış geçirmiştir. Pasifik Okyanusu üzerinde yine bu yıllar da çok fazla kasırga olayı yaşanmıştır. Bu durumun tahmini küresel ekonomik etkisi 8 milyar ABD dolarının üzerinde olduğu tahmin edilmektedir [60].

1997-1998 yılları arasında gerçekleşen El-Niño olayı diğer bir güçlü El-Niño dönemidir [61]. Bu tarihlerde büyük çaplı kuraklıklar, seller ve doğal afetler yaşanmıştır. Kuzeydoğu Kenya ve güney Somali’de aşırı yağış ve sel felaketleri sonrası bölgede sivrisineklerden bulaşan salgın ateşli hastalıklar ortaya çıkmıştır. Ayrıca Endonezya en kurak dönemlerinden bir tanesini yine bu tarihlerde görmüştür. 1998 yılı o zamana kadar en sıcak yıl olarak kayıt altına alınmıştır [61].

2010-2012 yıllarını kapsayan ardışık La-Niña olayı, en güçlü La-Niña dönemlerinden birisi olarak kaydedilmiştir. Avusturalya ve Pakistan bu yıllarda çok fazla yağış almış sel felaketleri yaşamıştır [62]. Doğu Afrika’da ise normal dışı kuraklıklar gözlemlenmiştir. Ayrıca bu dönemde Kuzey Atlantik Okyanusu’nda güçlü kasırgalar oluşmuştur [62].

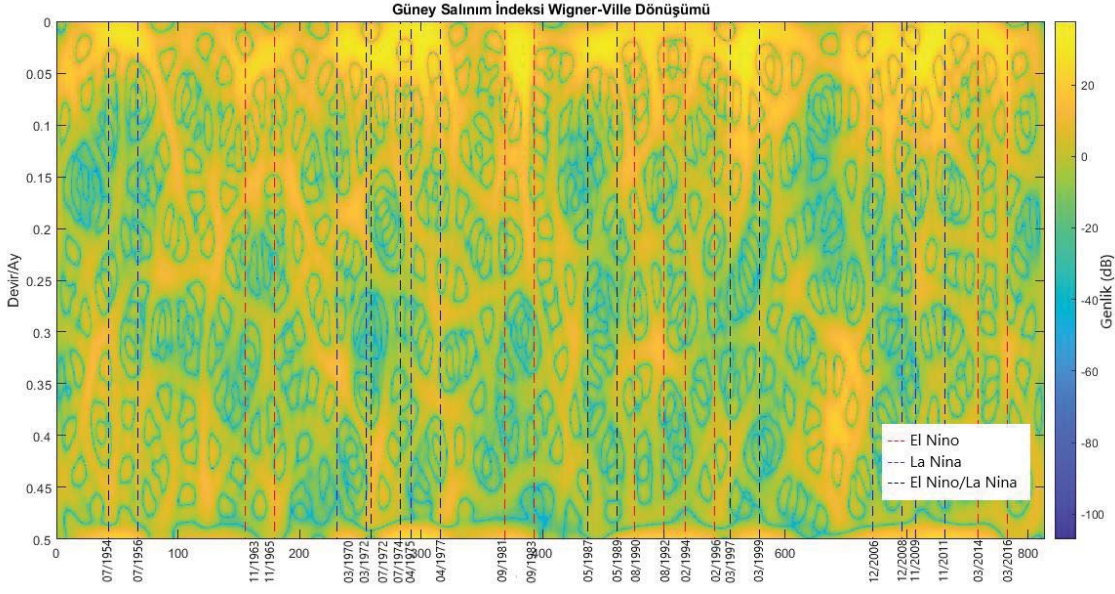
Şekil 6.11’de gösterilen Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu alanların frekans değerleri ayrıca incelenmiştir. Belirlenen frekans değerlerin Güney Salınım İndeksi’nin periyot analizi sonucunda elde edilen periyotlara karşılık geldiği tespit edilmiştir. Enerji yoğunluğunun fazla olduğu alanların frekans değerleri grafik üzerine işaretlenmiş, sonuçlar Şekil 6.12 ile gösterilmiştir.



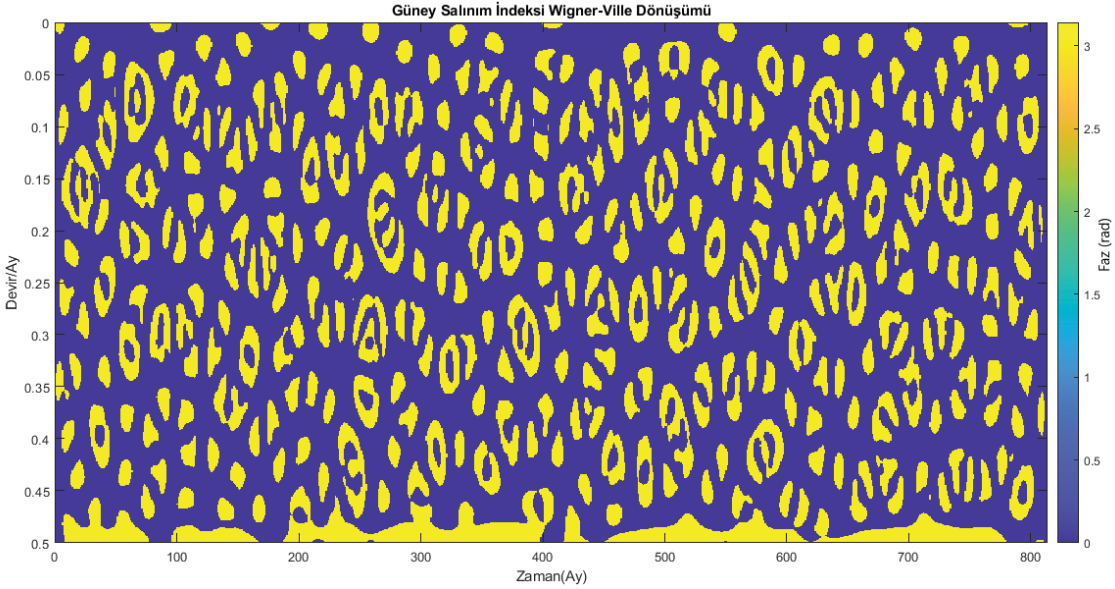
Şekil 6.12. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü Frekans Analizi.

Şekil 6.12 ile gösterilen grafik üzerinde işaretlenen frekans değerlerinin periyot olarak karşılıkları 135,67 ay, 67,83 ay, 58,14 ay, 42,84 ay, 37,00 ay, 30,15 ay, 25,43 ay, 20,35 ay ve 18,50 ay olarak gözlenmiştir. Bu değerlerin Güney Salınım İndeksi zaman serisinin periyot analizinden elde edilen döngü periyotları ile aynı değerler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin en güçlü periyotlarından birisi olarak elde edilen 30,15 ayın frekans karşılığı olan 0,003317 devir/ay, Wigner-Ville Dönüşüm analizinde de enerji yoğunluğunun en fazla olduğu bölgenin frekans değeri olarak karşımıza çıkmıştır.

Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü analiz sonucunun genlik ve faz cevabı ayrıca araştırılmış, sonuçlar Şekil 6.13 ile gösterilmektedir. Şekil 6.13 ile gösterilen analiz sonuç grafiğinde genlik cevabı ve faz cevabı sonuçlarının birlikte verilmesi uygun görülmüştür.



a)



b)

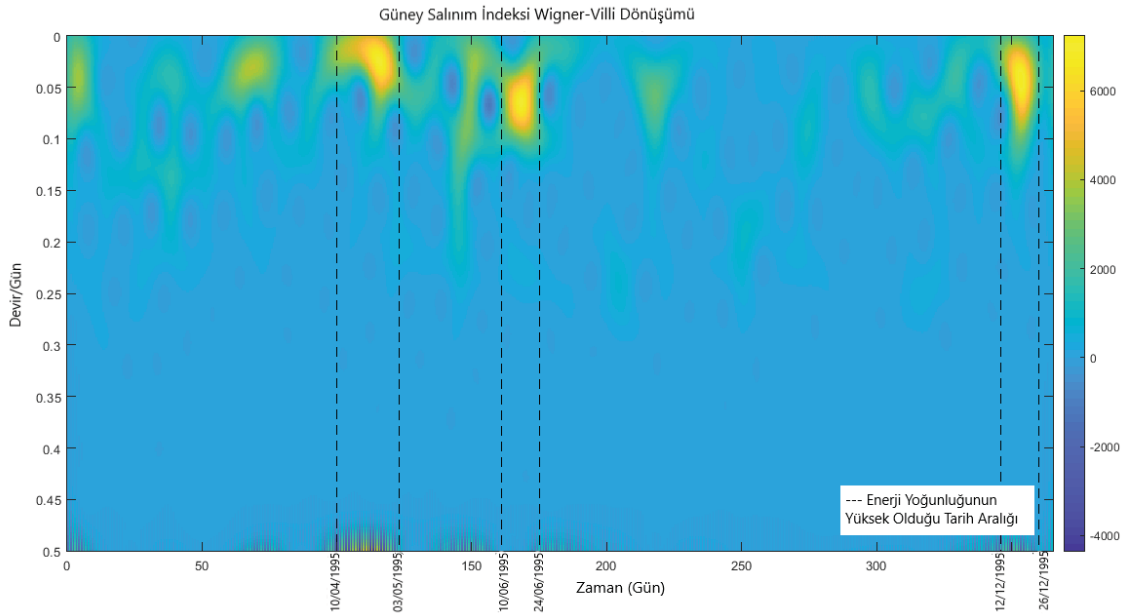
Şekil 6.13. a) Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı, b) Faz Cevabı.

Şekil 6.13 ile gösterilen grafiklerde Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümünün genlik ve faz cevabı gösterilmektedir. Şekil 6.13.a ile gösterilen genlik cevabı grafiği incelendiğinde Şekil 6.11 ile gösterilen sonuç grafiğiyle aynı noktalarda enerji yoğunluğunda artış olmuştur. Enerji yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerin tarihleri genlik cevabı grafiği üzerinde de belirtilmiştir. Şekil 6.13.b ile gösterilen analizin faz cevap grafiği incelendiğinde grafik üzerinde 0 ve π olmak üzere ikili faz davranışı olduğu

gözlenmektedir. Belirlenen bu iki faz SOI'nin sahip olduğu pozitif SOI ve negatif SOI fazlarına karşılık gelebileceği tahmin edilmektedir.

Detaylı zaman-frekans analizi açısından Güney Salınımı İndeksi'nin 1951 ile 2018 yılları arasındaki günlük örnekler alınarak elde edilmiş birer yıllık veri kümeleri için ayrı ayrı toplam 68 tane Wigner-Ville dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları göstermiştir ki enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler çoğunlukla gündönümü (21 Haziran -21 Aralık) az da olsa gün-tün eşitliği (21 Mart-23 Eylül) tarihlerine denk gelmektedir. Tezde 1995, 2004 ve 2009 yıllarına ait günlük örnekler alınarak elde edilmiş veri kümelerinin Wigner-Ville Dönüşüm sonuçları örnek olarak gösterilmiştir.

1995 yılına ait günlük örneklemelerden oluşan Güney Salınım İndeksi zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşüm analiz sonucu Şekil 6.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Güney Salınım İndeksi 1995 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.

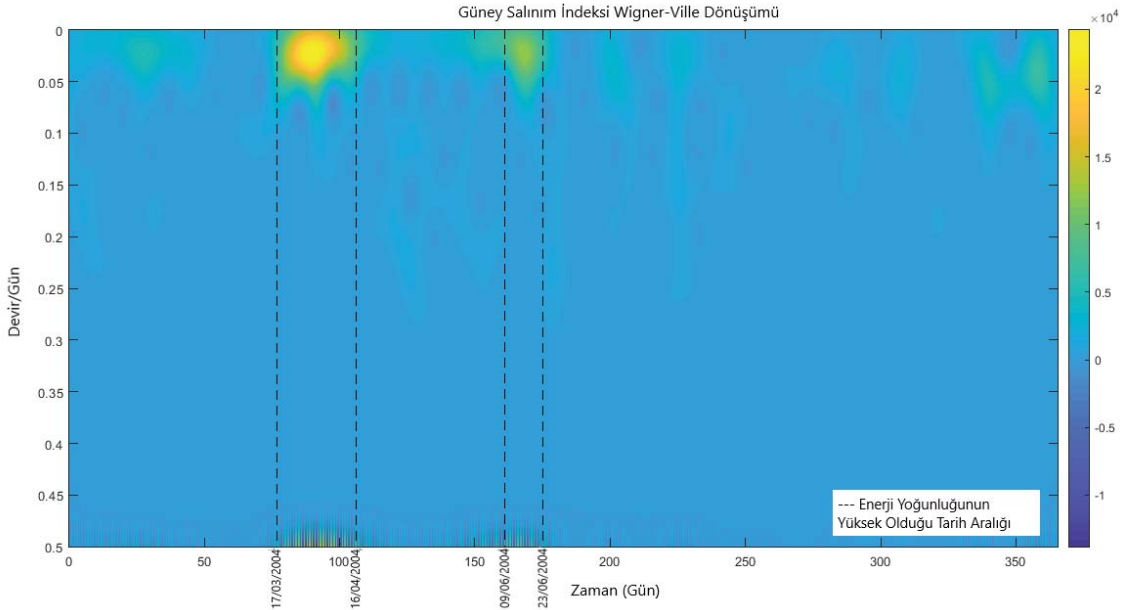
Şekil 6.14 ile gösterilen analiz sonuç grafiğinde bazı zaman ve frekanslarda enerji yoğunluğunda belirgin artış gözlenmiştir. Grafik üzerinde enerji artışına denk gelen tarihler zaman ekseninde belirtilmiştir. Çizelge 6.8 ile enerji yoğunluğun yüksek olduğu tarih aralıkları ve enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. Güney Salınım İndeksi 1995 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.

Enerji yoğunluğunun Yüksek Olduğu Tarih Aralığı	Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarih
10/04/1995-03/05/1995	26/04/1995
10/06/1995-24/06/1995	17/06/1995
12/12/1995-26/12/1995	20/12/1995

Çizelge 6.8 incelendiğinde, enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihlerden 17 Haziran ve 20 Aralık gündönümü tarihlerine işaret etmektedir.

Diğer bir analiz sonucu olarak, 2004 yılına ait günlük örneklemelerden oluşan Güney Salınım İndeksi zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşüm analiz sonucu Şekil 6.15 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Güney Salınım İndeksi 2004 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.

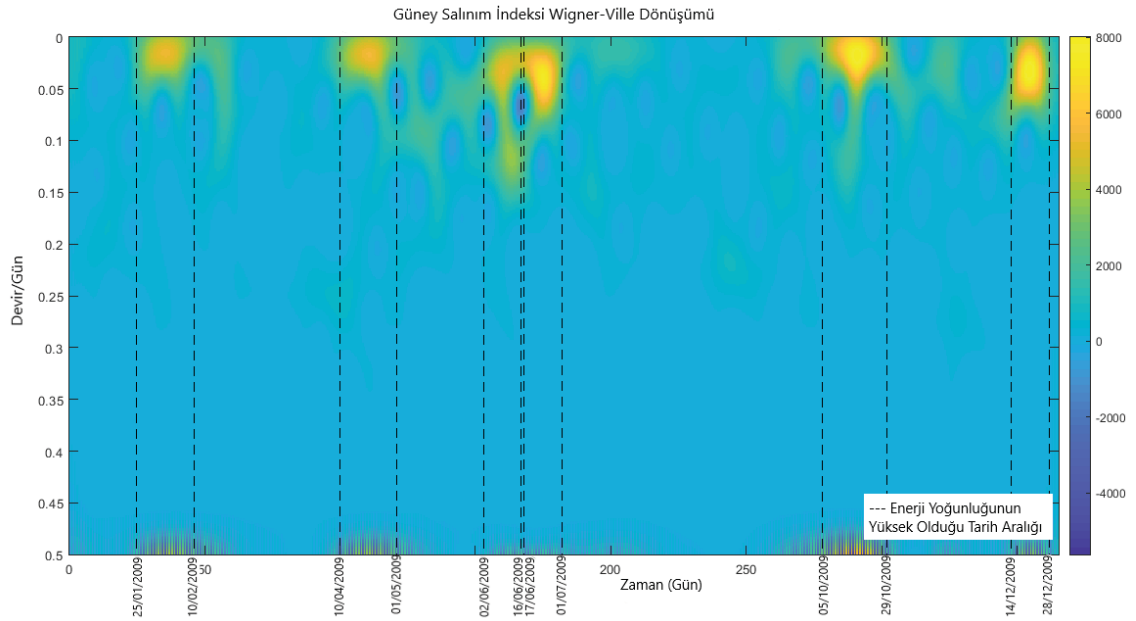
Şekil 6.15 ile gösterilen analiz sonuç grafiği üzerinde enerji artışına denk gelen tarihler zaman ekseninde belirtilmiştir. Çizelge 6.9 ile enerji yoğunluğunun yüksek olduğu zamanların tarih aralıkları ve enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler gösterilmiştir.

Çizelge 6.9. Güney Salınım İndeksi 2004 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.

Enerji yoğunluğunun Yüksek Olduğu Tarih Aralığı	Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarih
17/03/2004-16/04/2004	28/03/2004
09/06/2004-23/06/2004	17/06/2004

Çizelge 6.9 incelendiğinde, enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler olarak belirlenen 28 Mart gün-tün eşitliği tarihine, 17 Haziran ise gündönümü tarihine işaret ettiği ön görülmektedir.

Diğer bir analiz sonucu olarak, 2009 yılına ait günlük örneklemelerden oluşan Güney Salınım İndeksi zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşüm analiz sonucu Şekil 6.16 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Güney Salınım İndeksi 2009 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü.

Şekil 6.16 ile gösterilen analiz sonuç grafiği üzerinde enerji artışına denk gelen tarihler zaman ekseninde belirtilmiştir. Çizelge 6.10 ile enerji yoğunluğun yüksek olduğu zamanların tarih aralıkları ve enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler gösterilmiştir.

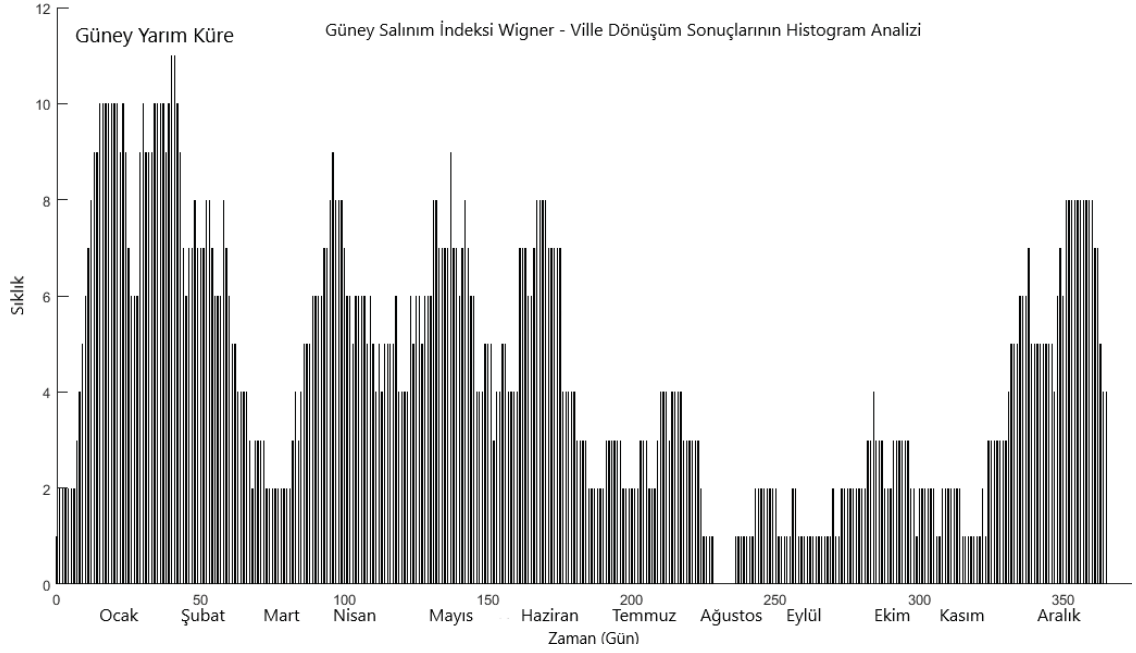
Çizelge 6.10. Güney Salınım İndeksi 2009 Yılına Ait Zaman Serisinin Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.

Enerji yoğunluğunun Yüksek Olduğu Tarih Aralığı	Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarih
25/01/2009-10/02/2009	05/02/2009
10/04/2009-01/05/2009	21/04/2009
02/06/2009-16/06/2009	09/06/2009
17/06/2009-01/07/2009	24/06/2009
05/10/2009-29/10/2009	18/10/2009
14/12/2009-28/12/2009	21/12/2009

Çizelge 6.10 incelendiğinde, enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler içerisinde 24 Haziran ve 21 Aralık tarihleri gündönümü tarihlerine işaret ettiği tespit edilmiştir.

Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin 1951 ile 2018 yılları arasındaki günlük örnekler alınarak elde edilmiş birer yıllık veri kümeleri için ayrı ayrı toplam 68 tane Wigner-Ville Dönüşüm analizi gerçekleştirilmiştir.

Güney Salınım İndeksi'nin 1951 ile 2018 yılları arasındaki günlük örnekler alınarak elde edilmiş birer yıllık veri kümeleri için ayrı ayrı toplam 68 tane Wigner-Ville dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Wigner-Ville dönüşümleri sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler belirlenmiş ve bu tarihlerin yoğunluğu histogram grafiği ile Şekil 6.17'de gösterilmiştir.

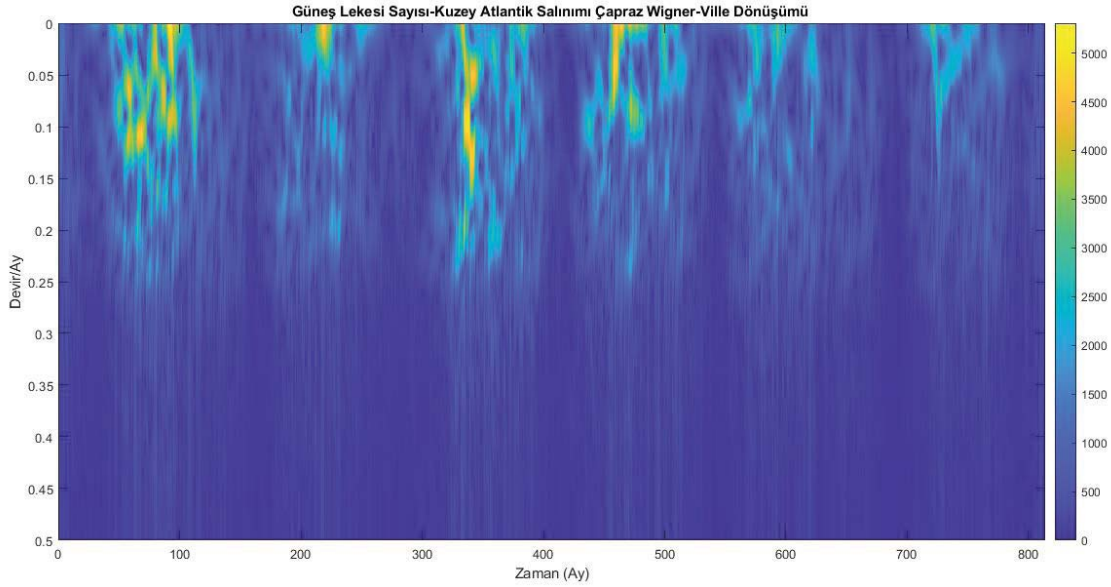


Şekil 6.17. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü Sonuçlarının Histogram Analizi.

Şekil 6.17 ile gösterilen histogram grafiği incelendiğinde enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerin çoğunlukla yaz ve sonbahar aylarına denk geldiği, kış ve ilkbahar döneminde enerji yoğunluğunun düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, ağustos ayında enerji yoğunluğunun en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Histogram grafiğinden çıkarılan bir diğer sonuç ise Güney Salınımı'nın gerçekleştiği Güney Pasifik Okyanusu'nda enerji yoğunluğundaki artışın ve dalgalanmanın Kuzey Atlantik'in aksine yılın sadece belirli zamanlarında olduğu gözlenmiştir. Wigner-Ville dönüşümleri sonucunda iki okyanusta da enerji yoğunluğundaki artışın daha çok yaz döneminde görüldüğü, kış döneminde enerji yoğunluğunda düşüş olduğu tespit edilmiştir.

6.4. Güneş Lekesi Sayısı-Kuzey Atlantik Salınımı Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü

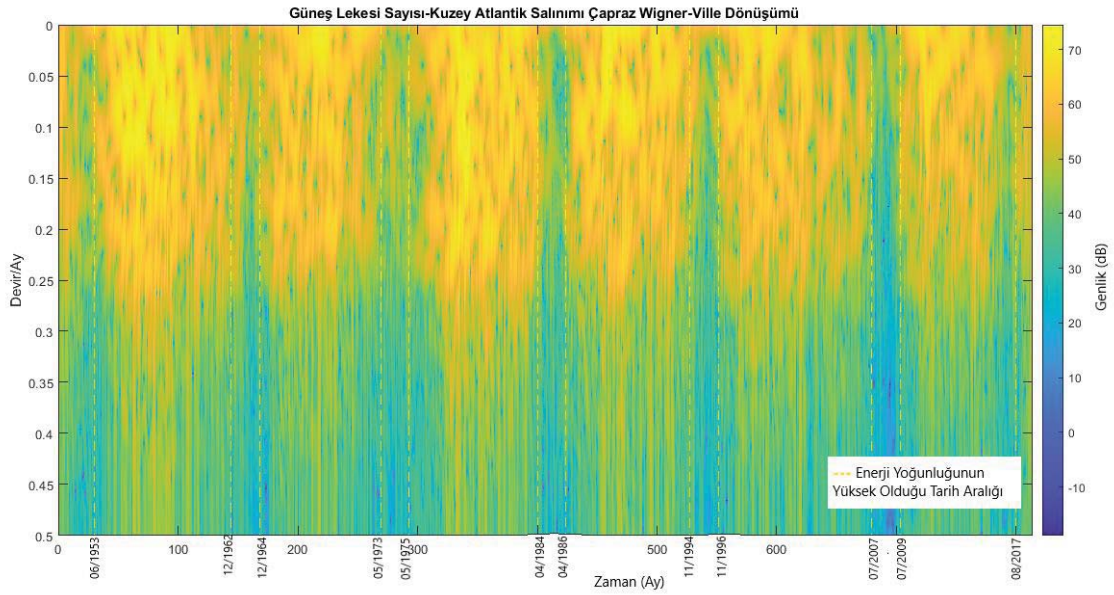
Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü yöntemini kullanılarak Güneş Lekesi Sayısı ile Kuzey Atlantik Salınımı zaman serilerinin arasındaki ilişkisi zaman ve frekans alanında aynı anda incelenmiştir. Yapılan analizde iklim göstergelerinin 1951-2018 yılları arasındaki aylık örnekler alınarak elde edilmiş 814 aylık veri kümeleri kullanılmıştır. Çapraz Wigner-Ville Dönüşüm grafiği Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Güneş Lekesi Sayısı- Kuzey Atlantik Salınımı Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü.

Şekil 6.18 ile gösterilen Çapraz Wigner-Ville Dönüşüm grafiği incelendiğinde enerji yoğunluğunda periyodik bir biçimde artış ve azalış olduğu gözlemlenmiştir. Gözlenen periyodikliğin 11 yıllık Güneş Lekesi'nin sahip olduğu döngüsel davranışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

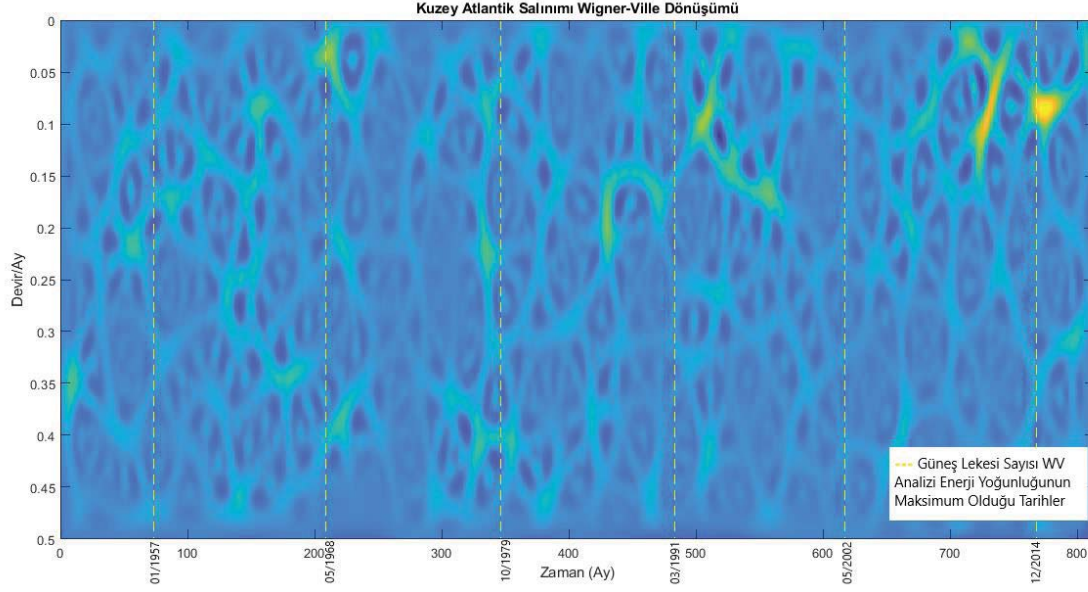
Daha detaylı analiz için analiz sonucunun genlik cevabı gösterilmiş ve sonuç grafiği Şekil 6.19 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.19. Güneş Lekesi Sayısı- Kuzey Atlantik Salınımı Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı.

Şekil 6.19 ile gösterilen grafikte enerji yoğunluğunda döngüsel bir değişim gözlenmektedir. Grafik üzerinde gösterilen enerji yoğunluğunun yükselmeye başladığı tarihler arasındaki zaman farklarının ortalaması alındığında, enerji yoğunluğunun 134,6 ay, yıl olarak 11,22 yıl ile döngüsel olarak değiştiği tespit edilmiştir. 11,22 yıl Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki periyot değerine işaret etmektedir.

Güneş Lekesi Sayısı Wigner-Ville Dönüşüm sonucu ile Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü sonucu ayrıca karşılaştırılmış, belirtilen iki iklim göstergesinin Wigner-Ville Dönüşüm analizleri arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Güneş Lekesi Sayısı Wigner-Ville Dönüşüm analizi sonucu elde edilen Çizelge 6.2'de gösterilen enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler, Kuzey Atlantik Salınım Wigner-Ville Dönüşüm analiz sonuç grafiği üzerinde işaretlenmiştir. Sonuçlar Şekil 6.20 ile gösterilmektedir.

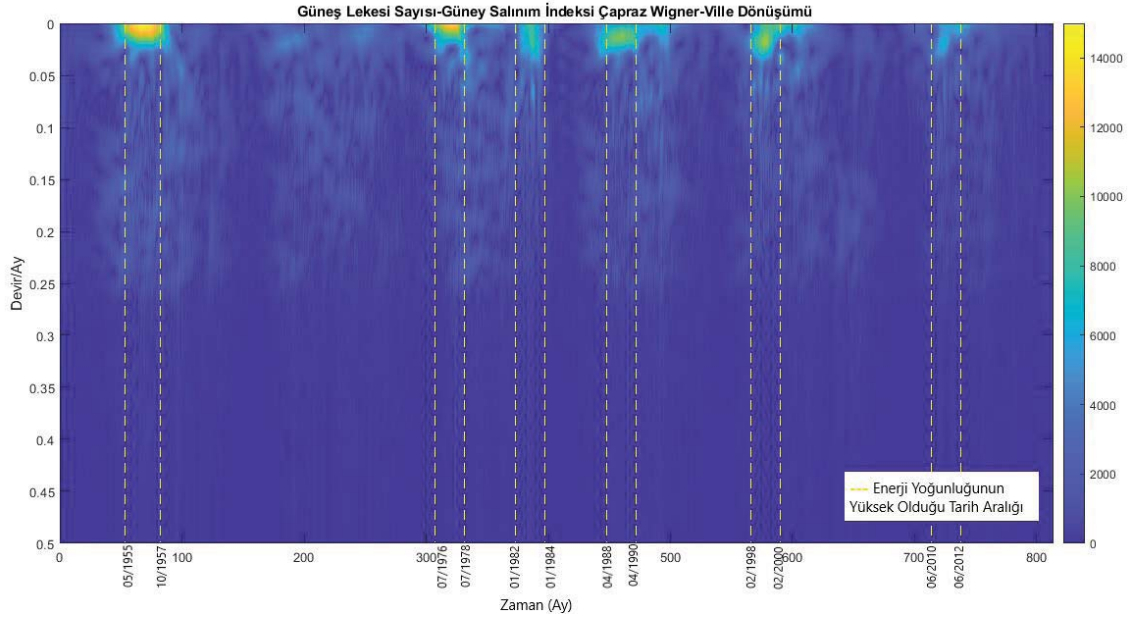


Şekil 6.20. Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü, Güneş Lekesi Sayısı Wigner-Ville Dönüşümü Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarihler.

Şekil 6.20 ile gösterilen grafik üzerinde enerjinin yüksek olduğu zaman değerlerinin Güneş Lekesi Sayısı Wigner -Ville Dönüşümü sonucu elde edilen tarihlere yakın değerler olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla Güneş yüzeyi üzerinde meydana gelen birtakım hareketlenmelerin Kuzey Atlantik üzerinde hava hareketlerine bağlı ısınma ve soğuma olarak adlandırılan pozitif NAO ve negatif NAO olaylarına etki ettiği söylenebilmektedir.

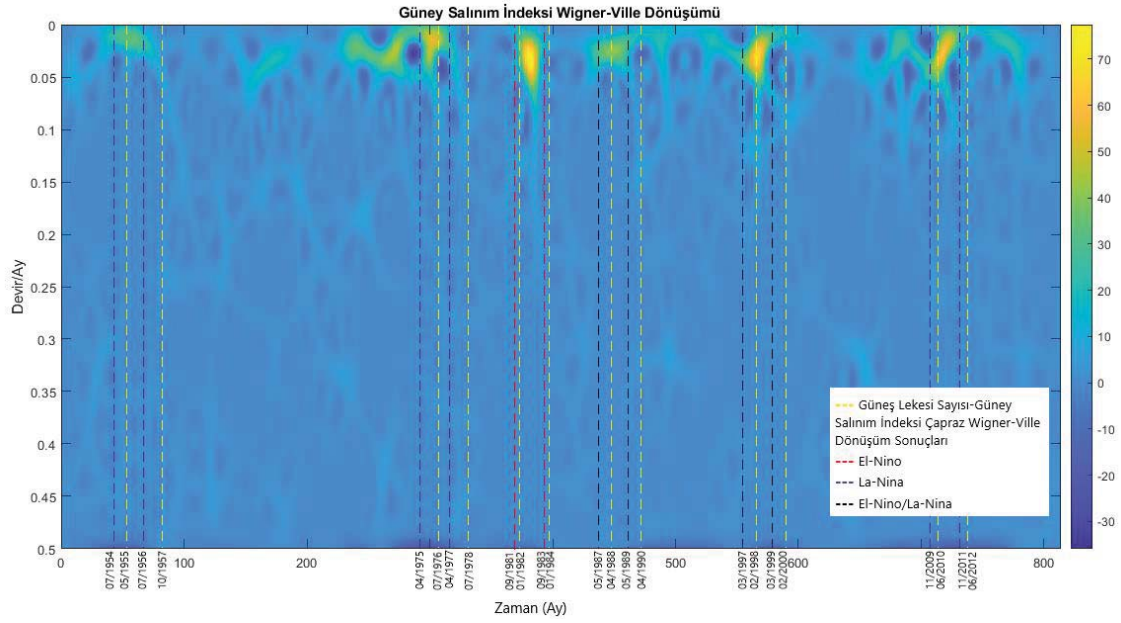
6.5. Güneş Lekesi Sayısı-Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü

Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü yöntemini kullanılarak Güneş Lekesi Sayısı ile Güney Salınım İndeksi zaman serileri arasındaki ilişkisi zaman ve frekans alanında aynı anda incelenmiştir. Yapılan analizde iklim göstergelerinin 1951-2018 yılları arasındaki aylık örnekler alınarak elde edilmiş 814 aylık veri kümeleri kullanılmıştır. Çapraz Wigner-Ville Dönüşüm grafiği Şekil 6.21’de gösterilmiştir.



Şekil 6.21. Güneş Lekesi Sayısı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü.

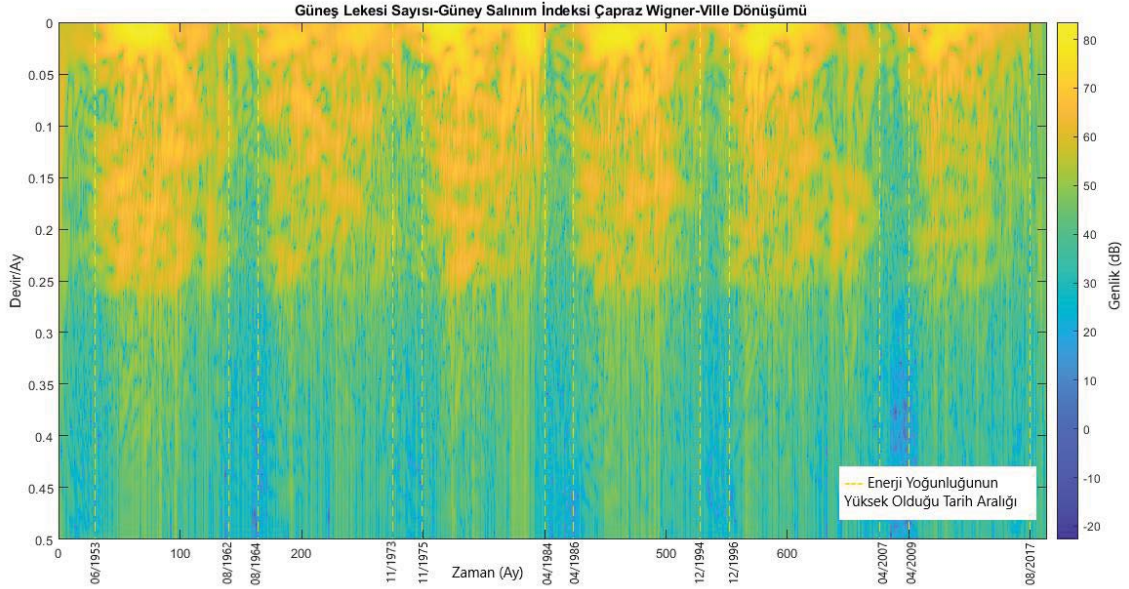
Çapraz Wigner-Ville Dönüşüm grafiği üzerinde bazı bölgelerde enerji yoğunluğunda belirgin artış gözlenmektedir. Zaman ekseninde enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler belirlenmiş grafik üzerine işaretlenmiştir. Bu tarihler Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü sonucu ile edilen El-Nino ve La-Nina tarihleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuç grafiği Şekil 6.22 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.22. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü ile Güneş Lekesi Sayısı-Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü Karşılaştırılması.

Şekil 6.22 ile gösterilen grafikte Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü analiz sonucu grafiği üzerinde El-Nino tarihleri, La-Nina tarihleri ve Güneş Lekesi Sayısı-Güney Salınım İndeksi çapraz Wigner-Ville Dönüşümü sonucu elde edilen enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler işaretlenmiştir. Grafik detaylı incelendiğinde çapraz Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarih aralıklarının Güney Salınımı'nın El-Nino ve La-Nino dönemlerine yakın tarihler olduğunu gözlenmiştir.

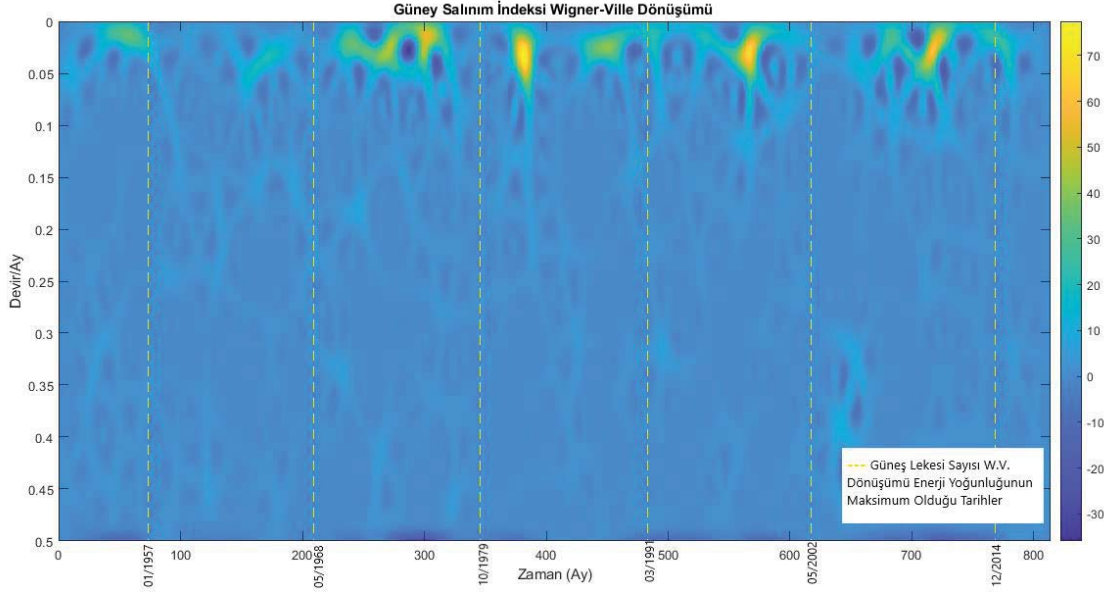
Güneş Lekesi Sayısı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşüm sonucu daha detaylı analiz açısından analiz sonucunun genlik cevabı ayrıca görselleştirilmiş, sonuçlar Şekil 6.23 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.23. Güneş Lekesi Sayısı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü Genlik Cevabı.

Şekil 6.23 ile gösterilen grafikte Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşüm sonucuna benzer bir şekilde enerji yoğunluğunda döngüsel bir değişim gözlenmektedir. Yüksek enerji yoğunluğuna sahip tarihler grafik üzerinde belirtilmiştir. Enerji yoğunluğunun yükseldiği tarihler arasındaki zaman farklarının ortalaması alındığında, enerji yoğunluğunun 134 ay yani 11,17 yıl ile döngüsel olarak değiştiği tespit edilmiştir. 11,17 yıl Güneş Lekesi Sayısı periyot değerine işaret etmektedir.

Güneş Lekesi Sayısı Wigner-Ville Dönüşüm sonucu ile Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşüm sonucu ayrıca karşılaştırılmış, belirtilen iki iklim göstergesinin Wigner-Ville Dönüşüm analizleri arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Güneş Lekesi Sayısı Wigner-Ville Dönüşüm analizi sonucu elde edilen Şekil 6.2'de gösterilen enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler, Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşüm sonuç grafiği üzerinde işaretlenmiştir, sonuçlar Şekil 6.24 ile gösterilmiştir.

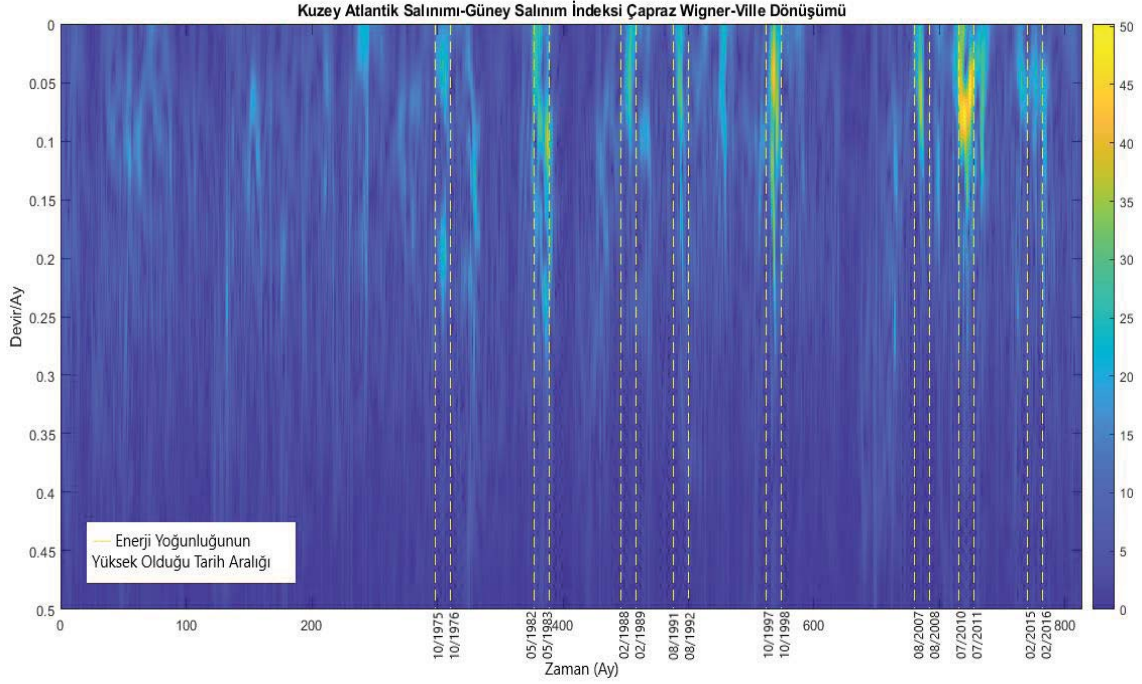


Şekil 6.24. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü, Güneş Lekesi Sayısı Wigner-Ville Dönüşümü Enerji Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Tarihler.

Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşümü analizinde enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihler Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin Wigner-Ville Dönüşüm grafiği üzerinde işaretlenmiştir. Şekil 6.24 ile gösterilen grafik dikkatli incelendiğinde, Güneş yüzeyi üzerinde meydana gelen birtakım hareketlenmelerin Pasifik Okyanusu'nda hava hareketlerine bağlı olarak ısınma ve soğumaya etki edebileceği tespit edilmiştir. Daha önce de bahsedildiği üzere bu ısınma ve soğuma El-Nino ve La-Nina dönemi olarak adlandırılmaktadır. Bu analiz göstermiştir ki, Güneş, Dünya'nın iklim sistemi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

6.6. Kuzey Atlantik Salınımı-Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü

Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü yöntemini kullanılarak Kuzey Atlantik Salınımı ile Güney Salınım İndeksi iklim göstergelerinin arasındaki ilişkisi zaman ve frekans alanında aynı anda analiz edilmiştir. Yapılan analizde iklim göstergelerinin 1951-2018 yılları arasındaki aylık örnekler alınarak elde edilmiş 814 aylık veri kümeleri kullanılmıştır. Çapraz Wigner-Ville Dönüşüm grafiği Şekil 6.25'te gösterilmiştir.



Şekil 6.25. Kuzey Atlantik Salınımı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü.

Şekil 6.25 ile gösterilen Kuzey Atlantik Salınımı ile Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü sonuç grafiği incelendiğinde, bazı tarihlerde enerji yoğunluğunda artış gözlenmiştir. Zaman ekseninde gösterilen Enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler incelendiğinde, bu tarihlerin Güney Salınımı ve Kuzey Atlantik Salınımı dönemlerine denk geldiği tespit edilmiştir.

Wigner-Ville Dönüşümü kullanarak elde ettiğimiz Güney Salınımı'nın El-Nino ve La-Nina dönemleri ile Kuzey Atlantik Salınımı'nın pozitif NAO ve negatif NAO dönemleri Şekil 6.25'te gösterilen Kuzey Atlantik Salınımı ile Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü sonucu enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 6.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.11. Kuzey Atlantik Salınımı- Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü Analiz Sonuçları.

Enerji yoğunluğunun Yüksek Olduğu Tarih Aralığı	İklimsel Hareketlilik
10/1975-10/1976	Güçlü La-Nina- Güçlü Pozitif NAO
05/1982-05/1983	Çok Güçlü El-Nino
02/1988-02/1989	Güçlü La-Nina- Çok Güçlü Pozitif NAO
08/1991-08/1992	Güçlü El-Nino- Güçlü Pozitif NAO
10/1997-10/1998	Çok Güçlü El-Nino- Çok Güçlü Pozitif NAO
08/2007-08/2008	Güçlü La-Nina- Güçlü Pozitif NAO
07/2010-07/2011	Güçlü La-Nina- Güçlü Negatif NAO
02/2015-02/2016	Çok Güçlü El-Nino- Güçlü Pozitif NAO

Kuzey Atlantik Salınımı ile Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda elde edilen tarihlerin güçlü ve çok güçlü Güney Salınımı ve Kuzey Atlantik Salınımı dönemlerine denk geldiği gözlenmiştir.

7. GÜNEŞ LEKESİ SAYISI, NAO VE SOI DİNAMİK SİSTEM MODELİ

Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi kullanılarak Güneş Lekesi, Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi arasındaki dinamik yapı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak Güneş Lekesi ile Kuzey Atlantik Salınımı arasında doğrusal bir sistem modeli oluşturulmuştur. Sonrasında Güneş Lekesi ile Güney Salınım İndeksi arasında doğrusal bir sistem modeli oluşturulmuştur. Son olarak üç iklim göstergesini de içeren bir model oluşturularak Güneş Lekesi, Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi arasında bir sistem modellenmiştir. Çalışmada Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI iklim indeksinin aylık veri kümeleri kullanılmıştır. Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi ile modellenen sistemlerin transfer fonksiyonlarının rezonans frekansları incelenmiş, rezonans frekanslarına karşılık gelen periyot değerleri hesaplanmıştır.

7.1. Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı Arasındaki Sistem Modeli

Güneş Lekesi Sayısı ile Kuzey Atlantik Salınımı arasındaki yapıyı araştırmak için iki veri kümesi arasındaki doğrusal bir sistem modellenmiştir. 3. Bölümde bahsedilen çok boyutlu X ve Y veri matrisleri doğrusal bir sistemde girdi ve çıktı verileri grubunu oluşturmaktadır [37],[38]. Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi X olarak alınmış, Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi Y olarak alınmıştır. Analizde, Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin ve Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisinin 1950-2018 yılları arasında 826 adet aylık verisi kullanılmıştır.



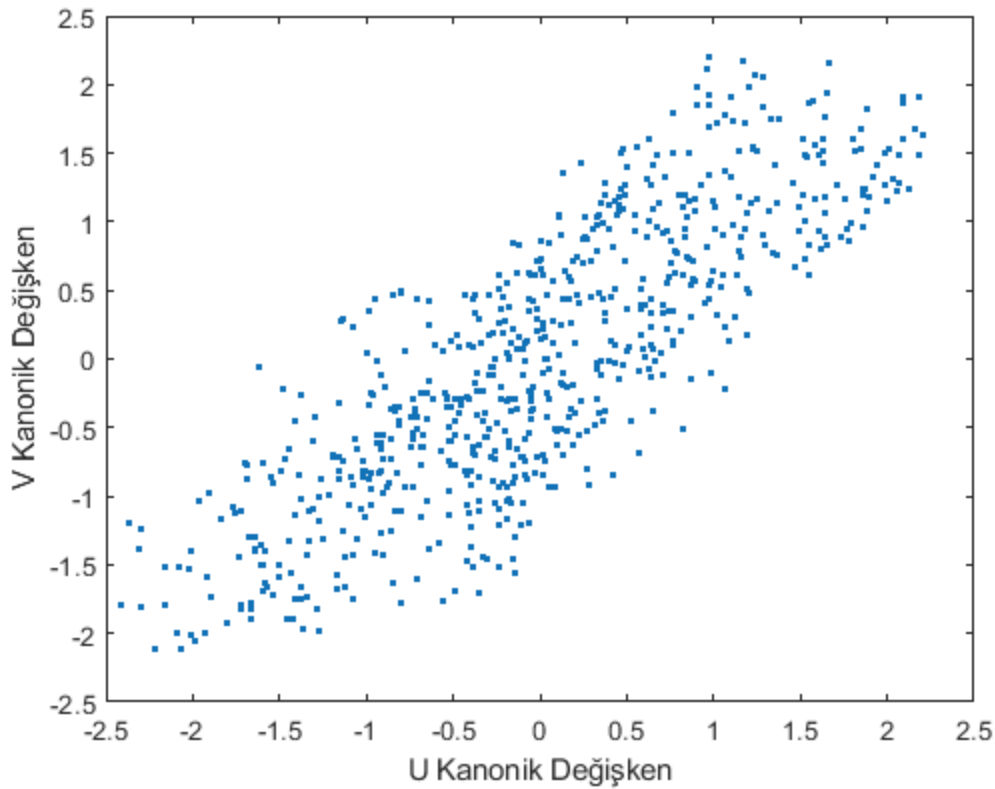
Şekil 7.1. Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistem Modeli.

Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinden oluşan X veri matrisinde 150 değişken ve her değişken içerisinde 677 adet veri kullanılmıştır. Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisinden oluşan Y veri matrisinde de 150 değişken ve her değişken içerisinde 677 adet veri kullanılmıştır. 150 değişken 150 aylık bir zaman penceresi ile oluşturulmuştur. X ve Y veri matrislerinin bu şekilde düzenlenmesinin yani değişken ve içerisindeki örnek sayısının bu değerler ile ifade edilmesinin sebebi, iki zaman serisi aralarındaki ilişkiyi en

iyi tanımlayan sistemi tasarlamak ve bu sistemin transfer fonksiyonunun rezonans frekanslarını belirlemektir.

Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi kullanılarak Eş. (3.33) ile ifade edilen **a** ve **b** kanonik ağırlıklar belirlenmiş, bu değerler kullanılarak Eş. (3.34) ile tanımlanan $H_{NS}(z)$ transfer fonksiyonu oluşturulmuştur. **X** ve **Y** veri matrisleri içerisindeki değişken sayısı eşit ve 150 olarak seçildiği için tasarlanan sistem transfer fonksiyonu 149. dereceden, sıfır ve kutup sayısı 149 olan matematiksel bir ifadedir.

Analiz sonucunda elde edilen, **X** ve **Y** veri matrislerinin doğrusal bileşenleri olan U ve V kanonik değişkenler Şekil 7.2 ile gösterilmektedir.

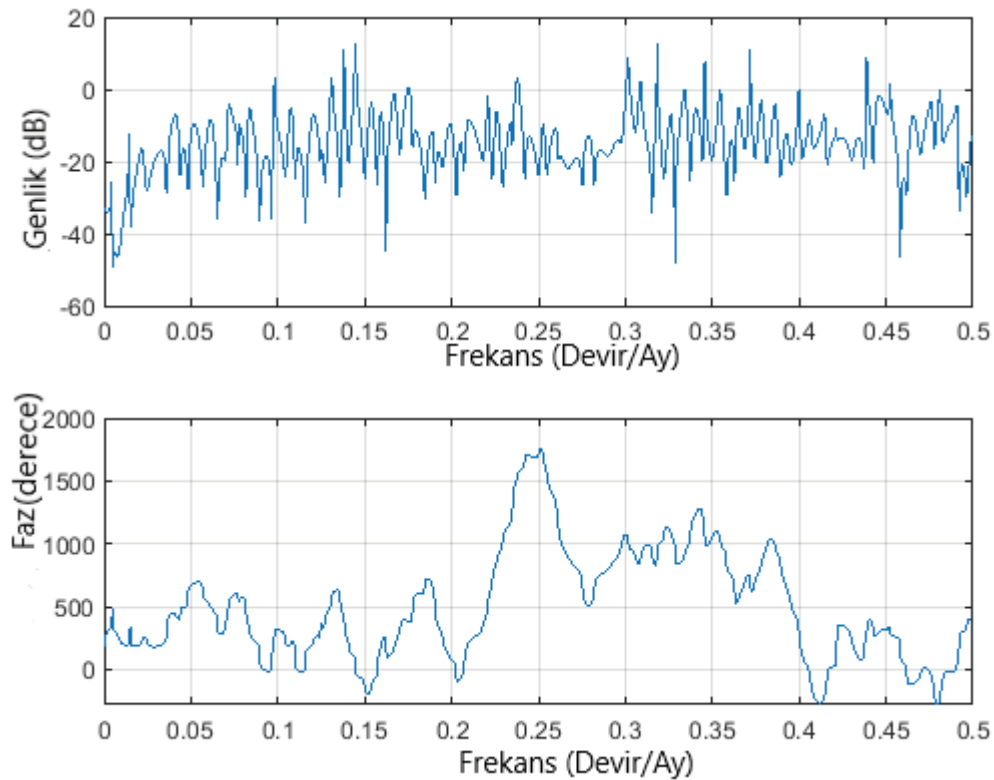


Şekil 7.2. Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistem Modeli U ve V Kanonik Değişkenleri Arasındaki İlişkisi, $\rho=0,8276$.

Şekil 7.2 ile gösterilen sonuç grafiğinde Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik salımı zaman serilerinden oluşturulan veri matrislerinin doğrusal bileşenleri olan U ve V arasındaki Kanonik Korelasyon katsayısı ρ , 0,8276 olarak elde edilmiştir. Kanonik

Korelasyon katsayı değerinin bire yakın olması iki zaman serisi arasındaki lineer dinamik ilintinin kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir.

Örnekleme periyodu 1 ay olarak alınmış, sistem transfer fonksiyonunun frekans alanındaki analizi için $H_{NS}(z)$ transfer fonksiyonunun Bode diyagramları incelenmiş, sistemin doğal rezonans frekanslarına ulaşılmıştır. $H_{NS}(z)$ transfer fonksiyonu Bode diyagramları Şekil 7.3 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.3. Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistem Modeli $H_{NS}(z)$ Bode Diyagramı.

Şekil 7.3 ile gösterilen Bode genlik diyagramında yüksek genliğe sahip birçok tepe noktası mevcuttur. Tepe noktalarına karşılık gelen frekans değerleri sistemin rezonans frekanslarını ifade etmektedir. Rezonans frekansları sistemin doğal frekans değerlerini ve bu frekans değerlerine karşılık gelen periyotlar ise sistem rezonans periyotlarıdır. Bode genlik diyagramında yüksek genliğe sahip tüm tepe noktaları belirlenip, bu noktalara karşılık gelen rezonans frekansları elde edilmiştir. Rezonans frekansları ve bu frekanslara karşılık gelen rezonans periyot değerleri ay cinsinden hesaplanıp Çizelge 7.1’de gösterilmiştir. Sistemin rezonans periyotları ile Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi

Sayısı zaman serisinin periyodogram yöntemi kullanılarak elde edilen döngü periyotları karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.1’de karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 7.1. Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları, Rezonans Periyotlarının Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması.

Güneş Lekesi Sayısı-NAO Sistem Modelinin Rezonans Frekansları (Devir/Ay)	Güneş Lekesi Sayısı-NAO Sistem Modelinin Rezonans Periyotları (Ay)	NAO Periyodogram Analiz Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
0,00423728	236,00			226,29	%4,29
0,00605326	165,20	165,20	%0	158,40	%4,29
0,01452785	68,83	68,83	%0	68,87	%0,06
0,02179177	45,89	43,47	%5,57	46,59	%1,50
0,03268765	30,59	29,50	%3,69		
0,04116223	24,29	25,03	%2,96	24,00	%1,21
0,04600484	21,74				
0,05205811	19,21				
0,06113801	16,36	16,52	%0,97	15,92	%2,76
0,06840194	14,62			14,67	%0,34
0,07203390	13,88	14,00	%0,86	13,77	%0,80
0,07808717	12,81	12,15	%5,43	12,83	%0,16
0,08353511	11,97	11,80	%1,44	12,05	%0,66
0,09322034	10,73			10,78	%0,46
0,09806295	10,20	9,83	%3,76	10,49	%2,76
0,10774818	9,28	9,39	%1,17	9,08	%2,20
0,12046005	8,30			8,54	%2,89
0,12530266	7,98	8,02	%0,5		

Çizelge 7.1. Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları, Rezonans Periyotlarının Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması (Devam).

Güneş Lekesi Sayısı-NAO Sistem Modelinin Rezonans Frekansları (Devir/Ay)	Güneş Lekesi Sayısı-NAO Sistem Modelinin Rezonans Periyotları (Ay)	NAO Periyodogram Analiz Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
0,13075061	7,65				
0,13801453	7,25				
0,14467312	6,91				
0,15375303	6,50	6,56	%0,91		
0,15920097	6,28				
0,16707022	5,99	6,03	%0,66		
0,17917676	5,58	5,62	%0,71		
0,20520581	4,87	4,89	%0,41		
0,21004843	4,76	4,83	%1,45		
0,22075055	4,53	4,56	%0,66		
0,25997403	3,85	3,86	%0,26		
0,29498525	3,39	3,40	%0,29		
0,31847134	3,14	3,15	%0,32	3,19	%1,56
0,35460992	2,82	2,83	%0,35		
0,36496350	2,74	2,74	%0		
0,40012804	2,50	2,50	%0		
0,40650407	2,46	2,44	%0,82		
0,46511628	2,15	2,15	%0		
0,47619048	2,10	2,10	%0		

Bode diyagramında yüksek frekans bandında birbirine yakın birçok frekans değeri gözlemlendiği için bu frekanslardan sadece yüksek genliğe sahip olanları çizelgede gösterilmiştir. Rezonans frekanslarına karşılık gelen rezonans periyotlarına çizelgede ayrıca yer verilmiştir. Çizelge 7.1’de verilen sonuçlara göre rezonans periyotlarının düşük hata oranları ile Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki döngü periyotları arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, iklim göstergeleri içerisinde periyot analizi bölümünde tespit edilememiş periyot değerleri modellenen sistemin rezonans periyotları olarak elde edilmiştir.

7.2. Güneş Lekesi Sayısı ve Güney Salınım İndeksi Arasındaki Sistem Modeli

Güneş Lekesi ile Güney Salınımı arasındaki dinamik yapıyı incelemek için iki veri kümesi arasındaki doğrusal sistem modeli tanımlanmıştır. Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi sistem girdisi olarak alınmış, Güney Salınım İndeksi zaman serisi sistem çıktısı olarak alınmıştır. Analizde, Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin ve Güney Salınım İndeksi zaman serisinin 1951-2018 yılları arasında 814 adet aylık verisi kullanılmıştır.

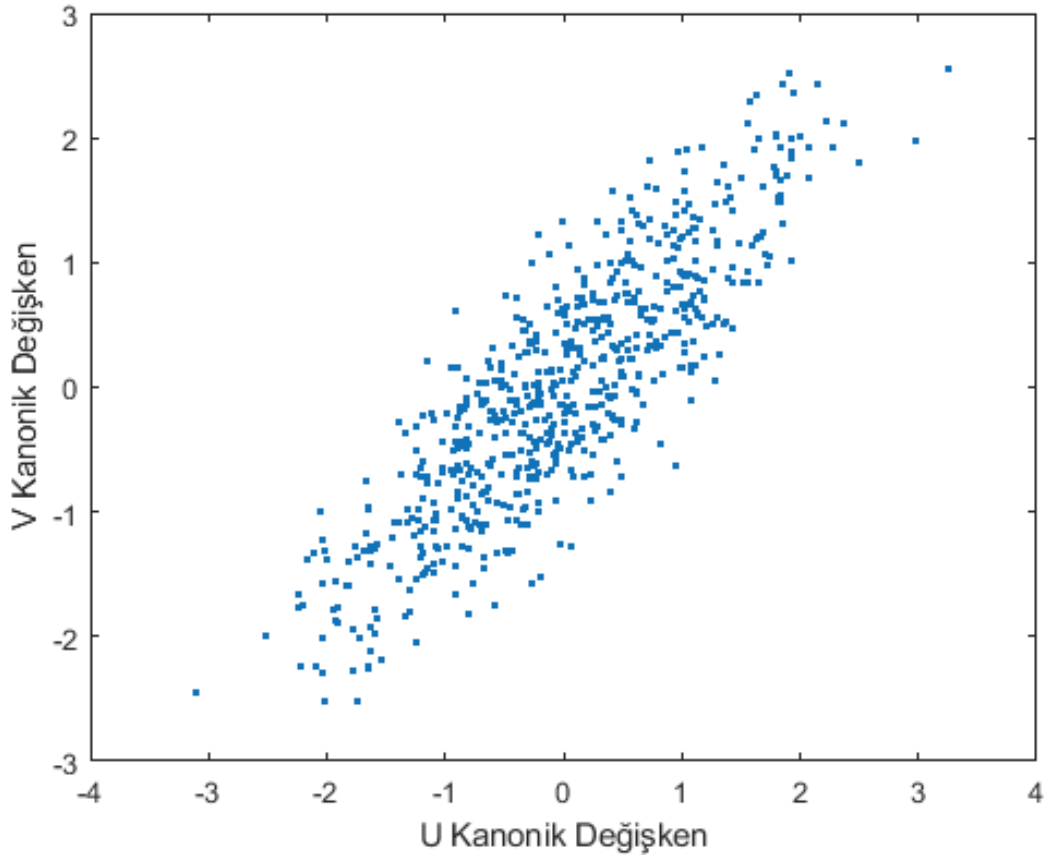


Şekil 7.4. Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli.

Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinden oluşan **X** veri matrisinde 161 değişken ve her değişken içerisinde 654 adet veri bulunmaktadır. Güney Salınım İndeksi zaman serisinden oluşan **Y** veri matrisinde de 161 değişken ve her değişken içerisinde 654 adet veri bulunmaktadır. İki zaman serisi aralarındaki ilişkiyi en iyi tanımlayan sistem ve bu sistemin transfer fonksiyonun rezonans frekansları belirtilen değişken değerleri kullanılarak elde edilmiştir.

Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi ile elde edilen **a** ve **b** kanonik ağırlıklar belirlenmiş, bu değerler kullanılarak $H_{SS}(z)$ transfer fonksiyonu oluşturulmuştur. **X** ve **Y** matrisleri içerisindeki değişken sayısı eşit ve 161 olarak seçildiği için modellenen sistem transfer fonksiyonu 160. dereceden, sıfır ve kutup sayısı 160 olan bir fonksiyondur.

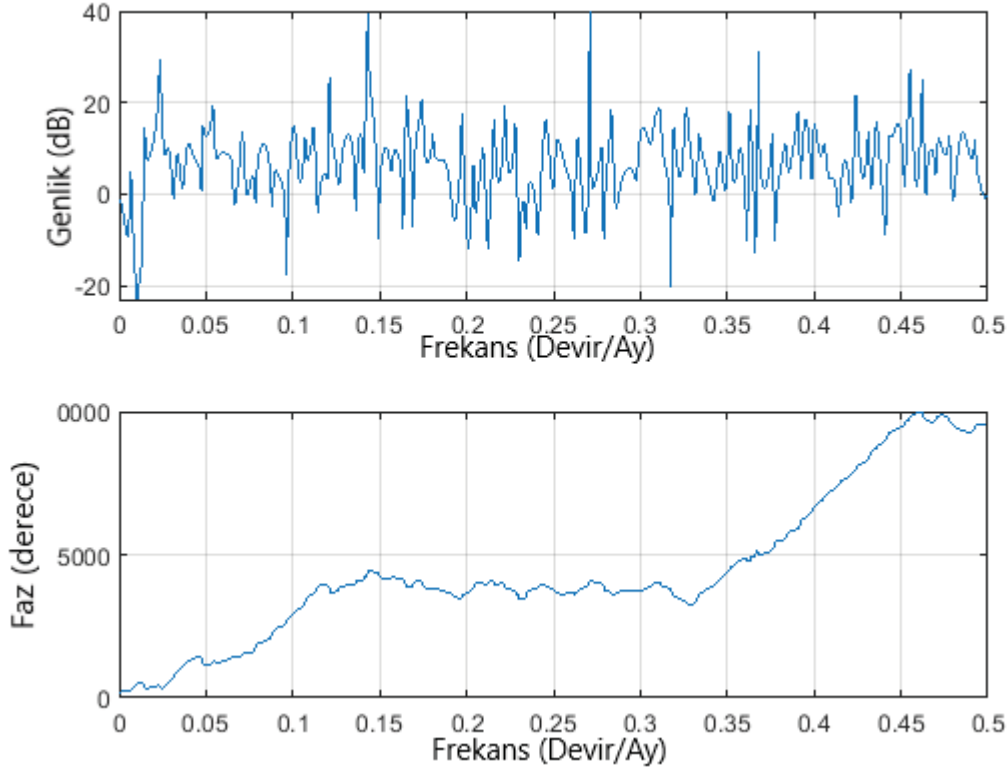
Analiz sonucunda, X ve Y veri matrislerinin doğrusal bileşenleri olarak elde edilen U ve V kanonik değişkenler Şekil 7.5 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.5. Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli U ve V Kanonik Değişkenleri Arasındaki İlişkisi, $\rho = 0,8585$.

Şekil 7.5 ile gösterilen grafikte Güneş Lekesi Sayısı ve Güney Salınım İndeksi zaman serilerinden oluşturulan veri matrislerinin doğrusal bileşenleri U ve V arasındaki Kanonik Korelasyon katsayısı ρ değeri 0,8585 olarak elde edilmiştir. Kanonik Korelasyon katsayısı değerinin bire yakın olmasından dolayı iki zaman serisi arasındaki ilintinin kuvvetli olduğu anlaşılmıştır.

Örnekleme periyodu 1 ay olarak alınarak, sistem transfer fonksiyonunun frekans alanındaki analizi için $H_{SS}(z)$ transfer fonksiyonunun Bode diyagramları incelenmiş, sistemin doğal rezonans frekanslarına ulaşılmıştır. $H_{SS}(z)$ transfer fonksiyonunun Bode diyagramları Şekil 7.6 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.6. Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli $H_{SS}(z)$ Bode Diyagramı.

Şekil 7.6 ile gösterilen Bode genlik diyagramında birçok tepe noktası tespit edilmiştir. Tepe noktalarına karşılık gelen frekans değerleri sistemin rezonans frekanslarını ifade etmektedir. Bode genlik diyagramında tüm tepe noktaları belirlenip, bu noktalara karşılık gelen rezonans frekansları elde edilmiştir. Rezonans frekanslar ve bu frekanslara karşılık gelen rezonans periyotları ay cinsinden hesaplanıp Çizelge 7.2’de gösterilmiştir. Sistemin rezonans periyotları ile Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı’nın periyodogram yöntemi kullanılarak elde edilen döngü periyotları karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.2’de karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 7.2. Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları, Rezonans Periyotlarının Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması.

Güneş Lekesi Sayısı-SOI Sistem Modelinin Rezonans Frekansları (Devir/Ay)	Güneş Lekesi Sayısı-SOI Sistem Modelinin Rezonans Periyotları (Ay)	SOI Periyodogram Analiz Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
0,00675676	148,00			144,00	%2,78
0,01474201	67,83	67,83	%0	68,87	%1,51
0,02334152	42,84	42,84	%0	42,24	%1,42
0,02825553	35,39	37,00	%4,35	34,81	%1,67
0,03378378	29,60	30,15	%1,82	27,79	%6,51
0,03992629	25,05	25,44	%1,53	25,34	%1,14
0,04791155	20,87	20,35	%2,5		
0,05405405	18,50	18,50	%0		
0,05958231	16,78	16,70	%0,48	15,92	%5,40
0,07063882	14,16	14,28	%0,84	14,14	%1,14
0,07678132	13,02			13,09	%0,53
0,08292383	12,06			12,05	%0,08
0,09029484	11,07			10,78	%2,69
0,10073710	9,93			10,49	%5,34
0,10687961	9,36				
0,11179361	8,95	8,95	%0	9,08	%1,43
0,12100737	8,26			8,54	%3,28
0,13206388	7,57				
0,13882064	7,20				
0,14312039	6,99	6,84	%2,19		
0,15356265	6,51				

Çizelge 7.2. Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları, Rezonans Periyotlarının Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması (Devam).

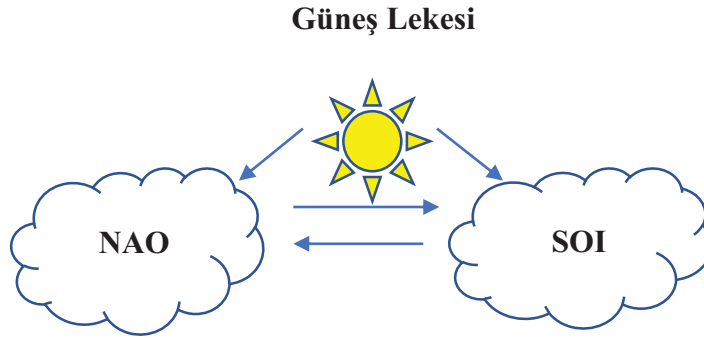
Güneş Lekesi Sayısı-SOI Sistem Modelinin Rezonans Frekansları (Devir/Ay)	Güneş Lekesi Sayısı-SOI Sistem Modelinin Rezonans Periyotları (Ay)	SOI Periyodogram Analiz Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
0,15909091	6,29				
0,16523341	6,05				
0,17444717	5,73				
0,18058968	5,54				
0,19717445	5,07				
0,22174447	4,51				
0,27088452	3,69				
0,36793612	2,72				
0,40601966	2,46	2,47	%0,40		
0,42383292	2,36				
0,45515971	2,20				
0,46253071	2,16				

Çizelge 7.2’de gösterilen rezonans frekans değerleri sistemin doğal frekans değerlerini vermektedir. Bode diyagramında yüksek frekans bandında birbirine yakın birçok frekans değeri gözlemlendiği için bu frekanslardan sadece yüksek genliğe sahip olanları çizelgede gösterilmiştir. Rezonans frekanslarına karşılık gelen rezonans periyotlarına çizelgede ayrıca yer verilmiştir. Çizelgede verilen sonuçlara göre rezonans periyotlarının düşük hata oranları ile Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki döngü periyotları arasında yer aldığı gözlenmektedir. 42,84 ay Güney Salınımı içerisinde baskın periyot değeri olarak periyot analizi bölümünde elde edilmiştir. Bu değer yüzde sıfır hata

oranı ile Kanonik Korelasyon analizi ile tanımlanan sistemin rezonans periyodu olarak elde edilmiştir. 67,83 ay da Güney Salınımı'nın periyot analizinde elde edilen bir diğer ön plana çıkan döngü periyotudur. Yine bu değerde yüzde sıfır hata oranı ile Kanonik Korelasyon analizi ile tanımlanan sistemin rezonans periyodu olarak elde edilmiştir. Ayrıca, 42,84 ay ve 67,83 ay çok düşük hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı periyotları içerisinde kendini göstermiştir.

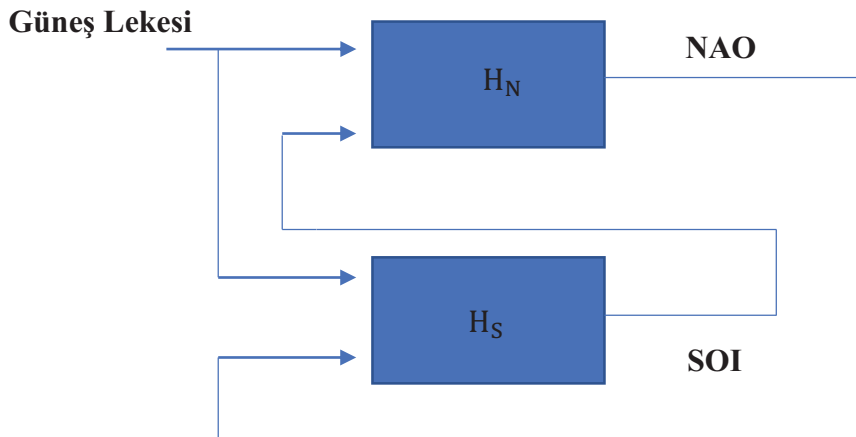
7.3. Güneş Lekesi Sayısı, Güney Salınım İndeksi ve Kuzey Atlantik Salınımı Arasındaki Sistem Modeli

Güneş Lekesi, Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi arasındaki dinamik yapıyı araştırmak için üç iklim göstergesini de içeren bir sistem modeli oluşturulmuştur. Bölüm 7.1 ve 7.2’de tasarlanan ve anlatılan sistemlerde Kuzey Atlantik Salınımı’nın ve Güney Salınımı’nın birbirlerini etkileme durumu dikkate alınmamıştır. Bu kısımda ise bu iki iklimsel hareketliliğin birbirlerini etkileyebileceği durum göz önünde bulundurularak Şekil 7.7’de gösterilen model oluşturulmuştur.



Şekil 7.7. Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI Arasındaki İlişki

Şekil 7.7’de gösterilen modelde Güneş Lekesi dışarıdan girdi olarak belirlendiği, NAO ve SOI iklim göstergelerinin birbirlerini etkileme durumunun da dikkate alındığı bir model oluşturulmuştur. Bu model Şekil 7.8’de gösterildiği biçimde üç iklim göstergesi arasındaki dinamik yapıyı tanımlamaktadır.



Şekil 7.8. Güneş Lekesi Sayısı, NAO ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli.

Şekil 7.8’de gösterilen dinamik modeli Eş. (7.1) ve Eş. (7.2) ile ifade edilmektedir.

$$NAO = [H_1 \quad H_2] \begin{bmatrix} SUN \\ SOI \end{bmatrix}, \quad H_N = [H_1 \quad H_2], \quad (7.1)$$

$$SOI = [H_3 \quad H_4] \begin{bmatrix} SUN \\ NAO \end{bmatrix}, \quad H_S = [H_3 \quad H_4] \quad (7.2)$$

H_1, H_2, H_3 ve H_4 sistem içerisindeki transfer fonksiyonlarını ifade etmektedir. Daha önceki kısımda anlatıldığı üzere Kanonik Korelasyon Analizi yönteminde çok boyutlu \mathbf{X} veri matrisi doğrusal bir sistemde girdi, \mathbf{Y} veri matrisi doğrusal bir sistemde çıktı kısmını oluşturmaktadır. Eş. (7.1) ile ifade edilen sistemde Güneş Lekesi Sayısı ve Güney Salınım İndeksi zaman serileri \mathbf{X} veri matrisini oluşturmakta, Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi ise \mathbf{Y} veri matrisini oluşturmaktadır. Eş. (7.2) ile ifade edilen sistemde ise Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı zaman serileri \mathbf{X} veri matrisini oluşturmakta, Güney Salınım İndeksi zaman serisi ise \mathbf{Y} veri matrisini oluşturmaktadır. Zaman serileri üzerinde işlemler yapıldığı için yapılan çalışmalarda kesikli zamanlı sistemler kullanılmıştır. Eş. (7.1) ve Eş. (7.2) deki matematiksel ifadeler açık ve z-dönüşümü ile ifade edildiğinde Eş. (7.3) ve Eş. (7.4) ile gösterilen denklemler elde edilir.

$$NAO(z) = H_1(z)SUN(z) + H_2(z)SOI(z) \quad (7.3)$$

$$SOI(z) = H_3(z)SUN(z) + H_4(z)NAO(z) \quad (7.4)$$

Eş. (7.3) ve Eş. (7.4) ile gösterilen denklemlerde $H_1(z), H_2(z), H_3(z)$ ve $H_4(z)$ transfer fonksiyonları Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi kullanılarak elde edilen kanonik katsayılar ile tasarlanmıştır. Transfer fonksiyonları kullanılarak Eş. (7.5) ve Eş. (7.6) ile gösterilen $H_{NS}(z)$ ve $H_{SS}(z)$ sistem transfer fonksiyonları elde edilir. $H_{NS}(z)$ ve $H_{SS}(z)$ transfer fonksiyonları Güneş Lekesi Sayısının girdi olarak alındığı üç iklim göstergesi arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

$$H_{NS}(z) = \frac{NAO(z)}{SUN(z)} = \frac{H_1(z) + H_2(z)H_3(z)}{1 - H_2(z)H_4(z)} \quad (7.5)$$

$$H_{SS}(z) = \frac{SOI(z)}{SUN(z)} = \frac{H_3(z) + H_4(z)H_1(z)}{1 - H_4(z)H_2(z)} \quad (7.6)$$

Analizde, Güneş Lekesi Sayısı, Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi zaman serilerinin 1951-2018 yılları arasında 814 adet aylık veri kümesi kullanılmıştır. İlk olarak $H_{NS}(z)$ transfer fonksiyonu oluşturulmuş ve rezonans frekansları (periyot) analiz edilmiştir. Eş. (7.3)'te gösterilen $H_1(z)$, $H_2(z)$ transfer fonksiyonlarını oluşturmak için, Güneş Lekesi Sayısı ve Güney Salınım İndeksi zaman serilerinden oluşan \mathbf{X} matrisinde 214 değişken ve her değişken içerisinde 708 adet veri kullanılmıştır. Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisinden oluşan \mathbf{Y} matrisinde de 107 değişken ve her değişken içerisinde 708 adet veri kullanılmıştır.

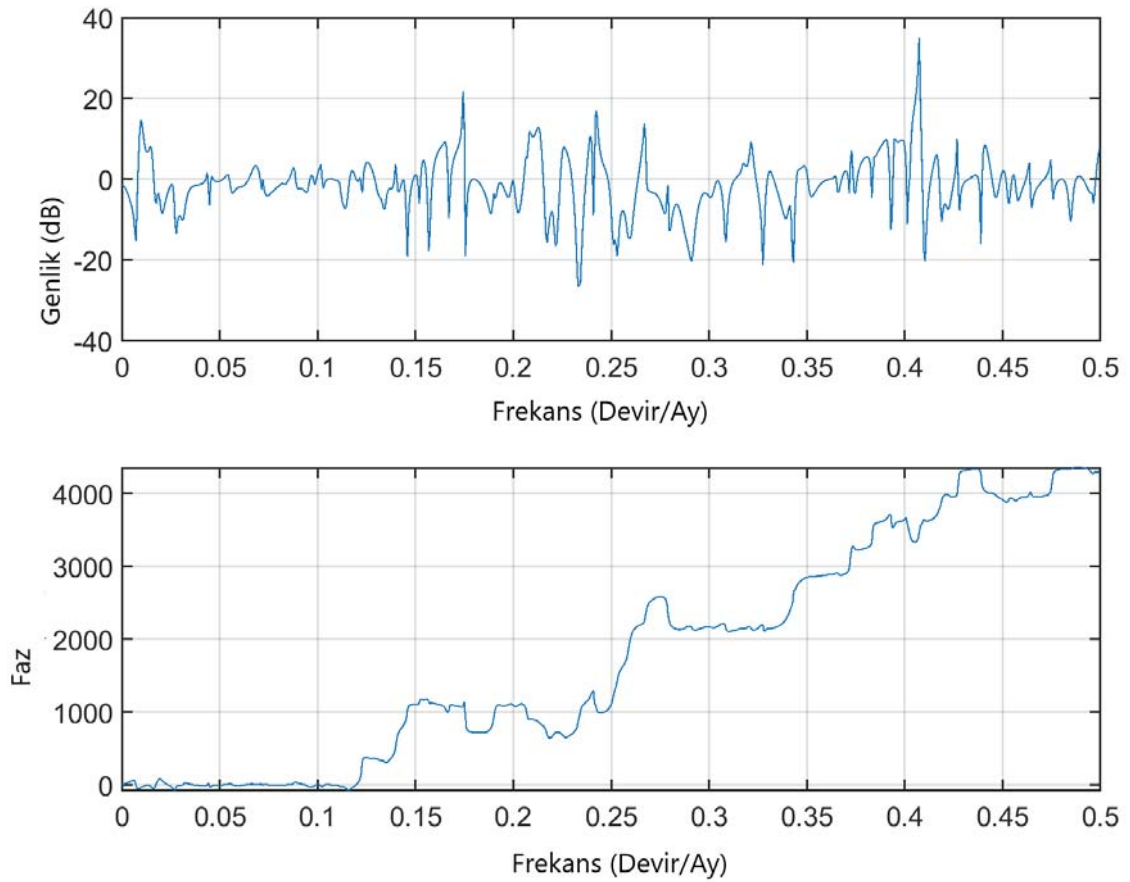
Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi ile elde edilen \mathbf{a} ve \mathbf{b} kanonik ağırlıklar belirlenmiş, bu değerler kullanılarak Eş. (3.34) ile tanımlanan $H_1(z)$, $H_2(z)$ transfer fonksiyonları oluşturulmuştur. $H_1(z)$, $H_2(z)$ transfer fonksiyonları 106.dereceden, sıfır ve kutup sayısı 106 olan birer fonksiyondur.

Eş. (7.4)'te gösterilen $H_3(z)$, $H_4(z)$ transfer fonksiyonlarını oluşturmak için, Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı zaman serilerinden oluşan \mathbf{X} matrisinde 214 değişken ve her değişken içerisinde 708 adet veri kullanılmıştır. Güney Salınım İndeksi zaman serisinden oluşan \mathbf{Y} matrisinde de 107 değişken ve her değişken içerisinde 708 adet veri kullanılmıştır.

Kanonik Korelasyon Analizi yöntemi ile elde edilen \mathbf{a} ve \mathbf{b} kanonik ağırlıklar belirlenmiş, bu değerler kullanılarak Eş. (3.34) ile tanımlanan $H_3(z)$ ve $H_4(z)$ transfer fonksiyonları oluşturulmuştur. $H_3(z)$ ve $H_4(z)$ transfer fonksiyonları 106.dereceden, sıfır ve kutup sayısı 106 olan birer fonksiyondur.

$H_1(z)$, $H_2(z)$, $H_3(z)$ ve $H_4(z)$ transfer fonksiyonları kullanılarak Eş. (7.5)'te ifade edilen, Güney Salınımı'nın varlığı da dikkate alınarak Güneş Lekesi Sayısı ile Kuzey Atlantik Salınımı arasındaki dinamik yapıyı tanımlayan sistem transfer fonksiyonu $H_{NS}(z)$ hesaplanmıştır.

Örnekleme periyodu 1 ay olarak alınarak, $H_{NS}(z)$ sistem transfer fonksiyonunun frekans alanındaki analizi için Bode diyagramları incelenmiş, sistemin doğal rezonans frekanslarına ulaşılmıştır. $H_{NS}(z)$ Bode diyagramları Şekil 7.9 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.9. SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Dinamik Sistem Modeli $H_{NS}(z)$ Bode Diyagramı.

Şekil 7.9 ile gösterilen SOI'nin etkisi dikkate alınarak tasarlanan Güneş Lekesi Sayısı ve NAO arasındaki sistem modelini tanımlayan transfer fonksiyonu $H_{NS}(z)$ Bode genlik diyagramında birçok tepe noktası tespit edilmiştir. Tepe noktalarına karşılık gelen frekans değerleri tasarlanan sistemin rezonans frekanslarını ifade etmektedir. Bode genlik diyagramında tüm tepe noktaları belirlenip, bu noktalara karşılık gelen rezonans

frekansları elde edilmiştir. Rezonans frekanslar ve bu frekanslara karşılık gelen rezonans periyot değerleri ay cinsinden hesaplanıp Çizelge 7.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları.

SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları (Devir/Ay)	SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)
0,00968523	103,25
0,01452785	68,83
0,01876513	53,29
0,02542373	39,33
0,02966102	33,71
0,04358354	22,94
0,04600484	21,74
0,05387409	18,56
0,06840194	14,62
0,07203389	13,88
0,08232446	12,15
0,08777240	11,39
0,09140436	10,94
0,09685230	10,33
0,10169492	9,83
0,10653753	9,39
0,11743341	8,52
0,12167070	8,23
0,12530266	7,98
0,13680387	7,31
0,13983051	7,15
0,14406780	6,94
0,15012107	6,66
0,15435835	6,48

Çizelge 7.3. SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları (Devam).

SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları (Devir/Ay)	SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)
0,16525424	6,05
0,17433414	5,74
0,17978208	5,56
0,19309927	5,18
0,20641646	4,84
0,20823245	4,80
0,21307506	4,69
0,21973366	4,55
0,22578692	4,43
0,23970944	4,17
0,24213075	4,13
0,25605327	3,91
0,26694915	3,75
0,31779661	3,15
0,32142857	3,11
0,36440678	2,74
0,39891041	2,51
0,40738499	2,45
0,46368039	2,16
0,47457627	2,11

Çizelge 7.3'te gösterilen rezonans frekansları sistemin doğal frekans değerlerini ifade etmektedir. Bode diyagramında yüksek frekans bandında birbirine yakın birçok frekans değeri gözlemlendiği için bu frekanslardan sadece yüksek genliğe sahip olanları çizelgede gösterilmiştir. Rezonans frekanslarına karşılık gelen rezonans periyot değerlerine çizelgede ayrıca yer verilmiştir. Sistemin rezonans periyotları ile Kuzey Atlantik Salınımı, Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı zaman serilerinin periyodogram

yöntemi kullanılarak elde edilen döngü periyotları karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.4'te karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 7.4. SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotlarının NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması.

SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)	NAO Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	SOI Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
103,25					102,19	%1,04
68,83	68,83	%0	67,83	%1,47	68,87	%0,06
53,29			58,14	%8,34	53,69	%0,75
39,33	43,47	%9,52	42,84	%8,19	39,11	%0,56
33,71	33,04	%2,03			33,70	%0,03
22,94	25,03	%8,35	23,26	%1,38	24,00	%4,42
21,74			21,42	%1,49		
18,56			18,50	%0,32		
14,62			14,28	%2,38	14,67	%0,34
13,88	14,00	%0,86			13,77	%0,80
12,15	12,15	%0			12,05	%0,83
11,39	11,47	%0,70			11,73	%2,90
10,94					10,78	%1,48
10,33					10,49	%1,53
9,83	9,83	%0				
9,39	9,39	%0			9,08	%3,41
8,52			8,95	%4,80	8,54	%0,23

Çizelge 7.4. SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotlarının NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması (Devam).

SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)	NAO Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	SOI Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
8,23						
7,98	8,02	%0,50				
7,31						
7,15						
6,94			6,84	%1,46		
6,66						
6,48	6,56	%1,22				
6,05	6,03	%0,33				
5,74						
5,56	5,62	%1,07				
5,18	4,89	%5,93				
4,84	4,83	%0,21				
4,80						
4,69	4,61	%1,74				
4,55	4,56	%0,22				
4,43						
4,17						
4,13						
3,91	3,86	%1,30				
3,75						

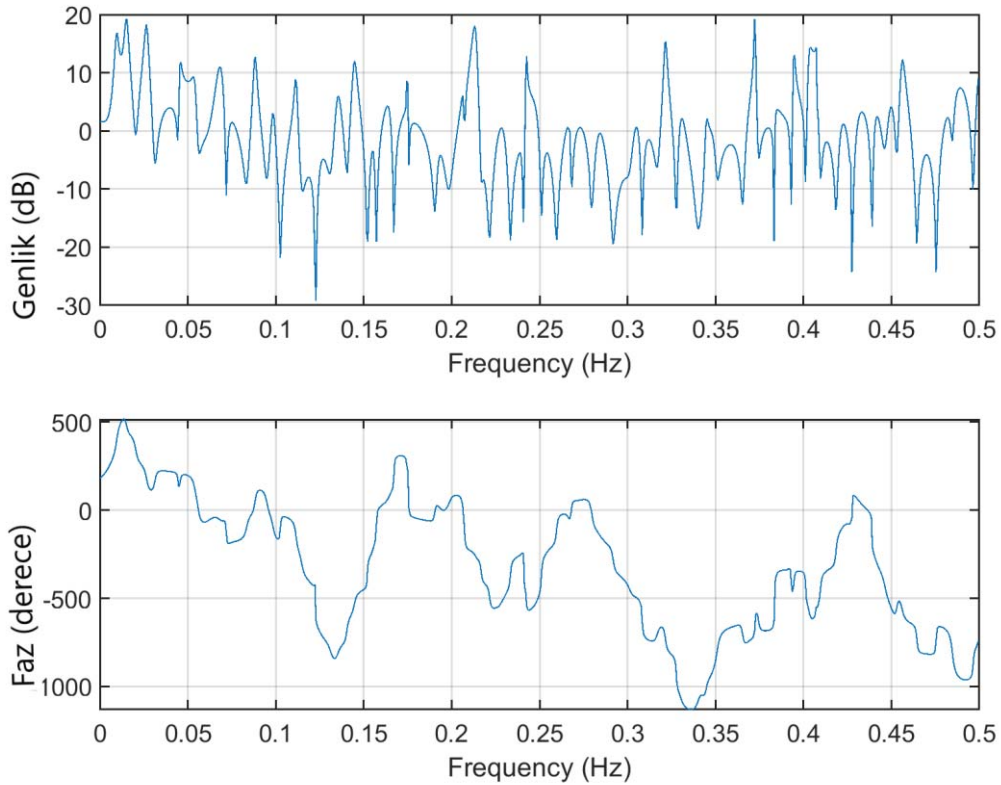
Çizelge 7.4. SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotlarının NAO, SOI ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması (Devam).

SOI'nin Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve NAO Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)	NAO Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	SOI Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
3,15	3,15	%0			3,19	%1,25
3,11						
2,74	2,74	%0				
2,51	2,50	%0,4				
2,45			2,47	%0,81		
2,16	2,15	%0,47				
2,11	2,10	%0,48				

Çizelge 7.4'te verilen sonuçlara göre Güney Salınımı'nın etkisi dikkate alınarak Güneş Lekesi Sayısı ile Kuzey Atlantik Salınımı arasında modellenen sistemin rezonans periyotlarının büyük bir kısmının düşük hata oranları ile Kuzey Atlantik Salınımı, Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki periyodogram yöntemi ile elde edilen döngü periyotları arasında yer aldığı gözlenmektedir. Özellikle sistemin 68,83 ay, 12,15 ay, 9,83 ay, 9,39 ay, 3,15 ay ve 2,74 ay rezonans periyotları yüzde sıfır hata oranı ile Kuzey Atlantik Salınımı periyodogram analizi ile elde edilen periyot değerleri arasında yer aldığı tespit edilmiştir. 68,83 ay sistem rezonans periyodunun üç iklim göstergesinin de periyodogram analizi sonucu elde edilen periyot değerleri arasında düşük hata yüzdesi ile yer aldığı gözlenmiştir. Sistemin rezonans periyotlarının daha çok Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki periyot değerleri ile örtüştüğü gözlenmiştir.

$H_1(z)$, $H_2(z)$, $H_3(z)$ ve $H_4(z)$ transfer fonksiyonları kullanılarak Eş. (7.6)'da ifade edilen, Kuzey Atlantik Salınımı'nın varlığı da dikkate alınarak Güneş Lekesi Sayısı ile Güney Salınım İndekisi arasındaki dinamik yapıyı tanımlayan sistem transfer fonksiyonu $H_{SS}(z)$ hesaplanmıştır.

Örnekleme periyodu 1 ay olarak alınarak, $H_{SS}(z)$ sistem transfer fonksiyonunun frekans alanındaki analizi için Bode diyagramları incelenmiş, sistemin doğal rezonans frekanslarına ulaşılmıştır. $H_{SS}(z)$ transfer fonksiyonunun Bode diyagramları Şekil 7.10 ile gösterilmektedir.



Şekil 7.10. NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Dinamik Sistem Modeli $H_{SS}(z)$ Bode Diyagramı.

Şekil 7.10 ile gösterilen NAO'nun etkisi dikkate alınarak tasarlanan Güneş Lekesi Sayısı ve SOI arasındaki sistem modelinin Bode genlik diyagramında belirgin birçok tepe noktası tespit edilmiştir. Tepe noktalarına karşılık gelen frekans değerleri modellenen sistemin rezonans frekanslarını ifade etmektedir. Bode genlik diyagramında tüm tepe noktaları belirlenip, bu noktalara karşılık gelen rezonans frekansları elde edilmiştir.

Rezonans frekanslar ve bu frekanslara zaman karşılığı olan rezonans periyotları ay cinsinden hesaplanıp Çizelge 7.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları.

NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları (Devir/Ay)	NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)
0,00982801	101,75
0,01535627	65,12
0,02641278	37,86
0,03992629	25,05
0,04606880	21,71
0,05282555	18,93
0,06818182	14,67
0,07493857	13,34
0,08845209	11,31
0,09828010	10,18
0,11117936	8,99
0,11855037	8,44
0,12714988	7,86
0,13574939	7,37
0,14496314	6,90
0,15540540	6,43
0,16339066	6,12
0,17444717	5,73
0,17874693	5,59
0,19348894	5,17
0,20638821	4,85
0,21314496	4,69
0,21805897	4,59
0,22850123	4,38

Çizelge 7.5. NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları ve Rezonans Periyotları (Devam).

NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Frekansları (Devir/Ay)	NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)
0,23894348	4,19
0,24262899	4,12
0,25429975	3,93
0,26597052	3,76
0,27272727	3,67
0,28439803	3,52
0,30528256	3,28
0,31203931	3,20
0,32186732	3,11
0,33108108	3,02
0,34520885	2,90
0,35872236	2,79
0,37223587	2,69
0,38513514	2,60
0,39496314	2,53
0,40417690	2,47
0,46990172	2,13
0,48218673	2,07

Çizelge 7.5'te gösterilen rezonans frekans değerleri sistemin doğal frekans değerlerini vermektedir. Bode diyagramında yüksek frekans bandında birbirine yakın birçok frekans değeri gözlendiği için bu frekanslardan sadece yüksek genliğe sahip olanları çizelgede gösterilmiştir. Sistemin rezonans periyotları ile Güney Salınım İndeksi, Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı'nın periyodogram yöntemi kullanılarak elde edilen döngü periyotları karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.6'da karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 7.6. NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotlarının SOI, NAO ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması.

NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)	SOI Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	NAO Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
101,75					102,19	%0,43
65,12	67,83	%3,99	68,83	%5,39	66,00	%1,33
37,86	37,00	%2,32			38,17	%0,81
25,05	25,44	%1,53	25,03	%0,08	25,34	%1,14
21,71	21,42	%1,35				
18,93	18,50	%2,32				
14,67	14,28	%2,73	14,00	%4,79	14,67	%0
13,34					13,60	%1,91
11,31			11,47	%1,39	11,73	%3,58
10,18			9,83	%3,56	10,49	%2,96
8,99	8,95	%0,45	9,39	%4,26	9,08	%0,99
8,44					8,54	%1,17
7,86			8,02	%1,99		
7,37						
6,90	6,84	%0,88				
6,43			6,56	%1,98		
6,12			6,03	%1,49		
5,73						
5,59			5,62	%0,53		
5,17						

Çizelge 7.6. NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotlarının SOI, NAO ve Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması (Devam).

NAO'nun Etkisiyle Güneş Lekesi Sayısı ve SOI Arasındaki Sistemin Rezonans Periyotları (Ay)	SOI Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	NAO Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata	Güneş Lekesi Sayısı Periyodogram Sonuçları (Ay)	Yüzde Hata
4,85			4,83	%0,41		
4,69			4,61	%1,74		
4,59			4,56	%0,66		
4,38						
4,19						
4,12						
3,93			3,86	%1,81		
3,76						
3,67						
3,52						
3,28						
3,20					3,19	%0,31
3,11			3,15	%1,27		
3,02						
2,90						
2,79			2,74	%1,82		
2,69						
2,60						
2,53			2,50	%1,2		
2,47	2,47	%0				

2,13			2,15	%0,93		
2,07			2,10	%1,43		

Çizelge 7.6’da verilen sonuçlara göre Kuzey Atlantik Salınımı’nın etkisi de dikkate alınarak Güneş Lekesi Sayısı ile Güney Salınım İndeksi arasında modellenen sistemin yüksek genliğe sahip rezonans periyotlarının büyük bir kısmının düşük hata oranları ile Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı içerisindeki periyodogram yöntemi ile elde edilen döngü periyotları arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Özellikle sistemin 65,12 ay, 25,05 ay, 14,67 ay ve 8,99 ay rezonans periyotları düşük hata oranı ile üç iklim göstergesinin de periyodogram analizi sonucu elde edilen periyot değerleri arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

8. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda meydana gelen iki farklı mevsimsel hareketlilikleri karakterize eden Kuzey Atlantik Salınım (NAO) İndeksi ve Güney Salınımı İndeksi (SOI) incelenmiş, bu hareketliliklerin yerküre üzerindeki periyodik ve aralıklı zamanlarda göstermiş olduğu etkiler araştırılmıştır. Güneş'ten gelen ışımanın Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda meydana gelen mevsimsel hareketliliklere herhangi bir etkisi olup olmadığı konusunda bilgi sahibi olmak için Güneş Lekesi Sayısı (SSN) zaman serisi incelenmiştir.

İklim göstergelerinin aylık ve günlük zaman serileri kullanılarak periyot analizleri gerçekleştirilmiş, elde edilen analiz sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Periyot analizinde sırasıyla öz ilinti, periyodogram yöntemi, değişkin periyodogram yöntemi ve Welch yöntemi kullanılmıştır. İklim göstergelerinin birbirleri ile olan ilişkilerini incelemek için çapraz ilinti ve spektral uyumluluk analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. İklim göstergelerinin zaman serilerinin zaman-frekans analizinde Wigner-Ville Dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü ile iklim göstergeleri zaman serilerinin birbirleri ile olan ilişkileri zaman ve frekans alanında incelenmiştir. Kanonik Korelasyon Analiz yöntemi ile iklim göstergeleri arasında lineer sistem modelleri oluşturulmuş, iklimsel hareketliliklerin aralarındaki dinamik yapı modellenmeye çalışılmıştır.

Güneş Lekesi Sayısı periyot analizi sonucunda zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların sırasıyla 11 yıl, 88 yıl, 12 yıl, 8,5 yıl, 8 yıl, 13,2 yıl, 5,5 yıl ve 22 yıl olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen periyotların 264 yılın harmonikleri olduğu gözlenmiştir. 264 yılın 24. harmoniği olan 11,00 yıl Güneş Lekesi Sayısı'nın başat periyodu olarak gözlenmiştir. Ayrıca, periyot analizi sonucunda Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde bazı anti-rezonans periyotlarının olduğu tespit edilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı periyot analizinde iklim göstergesinin aylık ve günlük veri kümeleri kullanılmıştır. Aylık ve günlük veri kümeleri için kullanılan periyot analiz yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı periyot analizi sonucunda zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 6,56 ay, 11,80 ay,

826 ay, 12,15 ay, 14,00 ay, 29,50 ay, 33,04 ay, 43,47 ay, 68,83 ay ve 165,20 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu periyotlar yıl olarak değerlendirildiğinde 264 yılın harmonikleri olduğu gözlenmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı periyot analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyot analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotların ortalama %1,95 hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı periyotları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç Güneş'in Kuzey Atlantik Salınımı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Periyot analizi sonucunda Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde bazı anti-rezonans periyotları olduğu ayrıca gözlenmiştir. Anti-rezonans periyotların bir kısmının düşük yüzde hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı, bir kısmının Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotlar arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

Güney Salınımı İndeksi periyot analizinde iklim göstergesinin aylık ve günlük veri kümeleri kullanılmıştır. Aylık ve günlük veri kümeleri için kullanılan periyot analiz yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Güney Salınım İndeksi periyot analizi sonucunda zaman serisi içerisinde gözlenen başat periyotların 42,84 ay, 58,14 ay, 135,67 ay, 30,15 ay, 67,83 ay, 37,00 ay, 407 ay, 162,80 ay, 25,44 ay, 33,92 ay, 18,50 ay, 20,35 ay, 14,28 ay, 12,33 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu periyotlar yıl olarak değerlendirildiğinde 264 yılın harmonikleri olduğu gözlenmiştir. Güney Salınımı içerisinde gözlenen 135,67 aylık periyot Güneş Lekesi Sayısı baskın periyot değeri 132 ayı ifade ettiği düşünülmektedir.

Güney Salınım İndeksi periyot analiz sonuçları ile Güneş Lekesi Sayısı periyot analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Güney Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotların ortalama %1,75 hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisi periyotları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Karşılaştırma sonucu Güneş'in Güney Salınımı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar ile Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar karşılaştırıldığında, iki iklim zaman

serisi içerisinde gözlenen başat periyotların büyük bir kısmının ortak olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ile iki iklimsel hareketlilik arasında bir ilişki olduğunun sonucuna varılmıştır.

Periyot analizi sonucunda Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisinde bazı anti-rezonans periyotları olduğu ayrıca gözlenmiştir. Anti-rezonans periyotların bir kısmının düşük yüzde hata oranı ile Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı, bir kısmının Güneş Lekesi Sayısı içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotlar arasında yer aldığı gözlenmiştir.

Güney Salınım İndeksi içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotları Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen anti-rezonans periyotları ile karşılaştırıldığında, zaman serileri içerisinde tespit edilen anti-rezonans periyotları arasında belirgin bir benzerlik durumuna rastlanmamıştır.

İklim göstergelerinin aralarındaki ilişkiler çapraz ilinti yöntemi ile analiz edilmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı çapraz ilinti analiz sonucunda Güneş'te gerçekleşen bir takım hareketlenmenin yaklaşık olarak 33 yıl sonra Kuzey Atlantik'te etkisinin görülebileceğini gözlenmiştir. Ayrıca, çapraz ilinti grafiği üzerinde yüksek ilinti katsayısına sahip tepe noktaları arasında yaklaşık olarak 11 yıllık periyodun olduğu gözlenmiştir. Bu durum, 11 yılın Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı'nı etkileyen ortak bir periyot olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde periyot analizinde 11 yıllık bir periyot değeri gözlenmemiş olmasına karşın, Güneş Lekesi ile olan çapraz ilinti analizi sonucunda Kuzey Atlantik Salınımı'nı etkilenen yaklaşık olarak 11 yıllık döngüsel bir hareketin var olduğu gözlenmiştir.

Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı çapraz ilinti analiz sonucunda grafik üzerinde yüksek ilinti katsayısına sahip tepe noktaları arasında yaklaşık olarak 11 yıllık periyodun olduğu gözlenmiştir. Bu durum, 11 yılın Güneş Lekesi Sayısı ve Güney Salınımı'nı etkileyen ortak bir periyot olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Periyot analizi sonucunda ve çapraz ilinti analizi sonucunda yaklaşık olarak 11 yıllık bir değer Güney Salınımında kendini göstermesi, Güneş'in Güney Salınımı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi çapraz ilinti analiz sonucunda ilinti fonksiyonunun grafiği üzerindeki maksimum ilinti katsayısına sahip gecikme değerlerinin -202 ay, -167 ay, 181 ay, 217 ay ve 24 ay zaman değerlerinde yer aldığı gözlenmiştir. Maksimum ilinti katsayısına sahip zaman değerinin pozitif olması, Güney Pasifik'te gerçekleşen bir takım iklimsel hareketlenmenin etkilerinin belirli bir zaman sonra Kuzey Atlantik'te görülebileceğini ifade etmektedir. Maksimum ilinti katsayısına sahip zaman değerinin negatif olması ise Kuzey Atlantik'te gerçekleşen bir takım iklimsel hareketlenmenin etkilerinin belirli bir zaman sonra Güney Pasifik'te görülebileceğini ifade etmektedir. Ayrıca, çapraz ilinti grafiği üzerinde yüksek ilinti katsayısına sahip ardışık tepe noktaları arasında 60,13 aylık, 29,14 aylık ve 45,14 aylık üç periyot değerinin olduğu gözlenmiştir. Bu periyotların düşük hata oranları ile periyot analizi bölümünde Kuzey Atlantik Salınımı ile Güney Salınım İndeksi içerisindeki başat periyotlar arasında yer aldığı tespit edilmiştir. İki salınım arasındaki ilinti durumu Küresel Taşıma Bandı ile izah edilebilir. Çapraz ilinti analizi ile okyanus sularının diğer bölgelere ulaşma süreleri hakkında bilgi edinilmektedir.

Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi Sayısı spektral uyumluluk analizi sonucunda, Kuzey Atlantik Salınımı ve Güneş Lekesi arasındaki uyumlu davranışın sırasıyla 128 ay, 32 ay, 25,6 ay, 9,85 ay ve 2,2 ay periyotlarında yoğunlaştığı gözlenmiştir. 128 ay 10,67 yıla eşittir. 10,67 yıl %3 hata oranı ile 11 yıllık Güneş Lekesi başat periyoduna eşittir.

Güney Salınım İndeksi ve Güneş Lekesi Sayısı spektral uyumluluk analizi sonucunda, Güney Salınımı ve Güneş Lekesi arasındaki uyumlu davranışın sırasıyla 128 ay, 85,53 ay, 42,67 ay, 25,6 ay, 18,29 ay ve 12,8 ay periyotlarında yoğunlaştığı gözlenmiştir. Elde edilen periyot değerlerinin periyot analizi bölümünde Güney Salınımı ve Güneş Lekesi zaman serileri içerisinde gözlenen ortak periyotlar olduğu tespit edilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi spektral uyumluluk analizi sonucunda, Kuzey Atlantik Salınım ve Güney Salınımı arasındaki uyumlu davranışın sırasıyla 128 ay, 64 ay, 42,67 ay, 28,44 ay, 16 ay, 9,48 ay ve 5,45 ay periyotlarında yoğunlaştığı gözlenmiştir. Spektral uyumluluk analizi sonucunda Güneş Lekesi zaman serisinin başat periyodunun ortaya çıkması, 11 yılın hem Kuzey Atlantik Salınımı'nı hem de Güney Salınımı'nı etkilen ortak bir periyot olduğunu şeklinde yorumlanmıştır.

İklim göstergelerinin Wigner-Ville Dönüşüm sonuçları incelendiğinde, Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin Wigner-Ville Dönüşüm analizi sonucunda enerji yoğunluğunun zaman içerisinde periyodik bir biçimde artıp azaldığı gözlenmiştir. Enerji yoğunluğunun maksimum olduğu tarihlerin aralarındaki zaman farkının ortalaması hesaplandığında yaklaşık olarak 11 yıllık bir periyot değeri elde edilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerin güçlü Pozitif NAO ve Negatif NAO dönemlerine denk geldiği tespit edilmiştir. Tarihte kayıt altına alınmış en güçlü Pozitif NAO ve Negatif NAO dönemlerinden olan 1978-1979, 2009-2010 yıllarındaki Negatif NAO ve 1997-1998, 2013-2014 yıllarındaki Pozitif NAO dönemleri Kuzey Atlantik Salınımı Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunun en yüksek olduğu tarihler olarak kendilerini göstermiştir. Analiz sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerin frekans değerleri incelendiğinde, bu değerlerin periyot karşılıklarının periyot analizinde Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotlar olduğu tespit edilmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı'nın günlük veri kümesi Wigner-Ville Dönüşümü ile incelendiğinde dönüşüm sonuçları göstermiştir ki enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler çoğunlukla gün-tün eşitliği (21 Mart-23 Eylül) ve gündönümü (21 Aralık-21 Haziran) tarihlerine denk gelmektedir.

Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerin Dünya iklimini etkileyen önemli El-Nino ve La-Nina dönemlerine denk geldiği tespit edilmiştir. Tarihte en güçlü El-Nino ve La-Nina dönemleri olarak kayıt altına alınan 1982-1983, 1997-1998 yıllarındaki El-Nino olayları ve 2010-2012 yıllarında gerçekleşen La-Nina olayı Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunun en yüksek olduğu tarihler olarak kendilerini göstermiştir. Bu değerlerin periyot karşılıklarının periyot analizinde Güney Salınımı içerisinde gözlenen başat periyotlar olduğu tespit edilmiştir. Güney Salınımı'nın günlük veri kümesi Wigner-Ville Dönüşümü ile incelendiğinde dönüşüm sonuçları göstermiştir ki enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihler çoğunlukla gündönümü (21 Aralık-21 Haziran) tarihlerine, az da olsa gün-tün eşitliği (21 Mart-23 Eylül) tarihlerine denk gelmektedir.

İklim göstergelerinin Çapraz Wigner-Ville Dönüşüm sonuçları incelendiğinde, Güneş Lekesi Sayısı ile Kuzey Atlantik Salınımı Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda

enerji yoğunluğunun yaklaşık olarak 11 yıllık bir periyot ile artıp azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerin güçlü pozitif NAO ve negatif NAO tarihlerine yakın tarihler olduğu tespit edilmiştir

Güneş Lekesi Sayısı ile Güney Salınım İndeksi zaman serileri Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunda yaklaşık olarak 11 yıllık döngüsel bir davranış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerin güçlü El-Nino ve La-Nina tarihlerine yakın tarihler olduğu tespit edilmiştir.

Kuzey Atlantik Salınımı ile Güney Salınım İndeksi Çapraz Wigner-Ville Dönüşümü sonucunda enerji yoğunluğunun yüksek olduğu tarihlerin daha öncesinde Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümleri sonucunda elde ettiğimiz El-Nino, La-Nina ve pozitif NAO, negatif NAO tarihlerine denk geldiği tespit edilmiştir.

Kanonik Korelasyon analizi ile Güneş Lekesi Sayısı zaman serisinin sistem girdisi, Kuzey Atlantik Salınımı zaman serisinin sistem çıktısını oluşturduğu doğrusal dinamik bir sistem modeli tanımlanmıştır. Analiz sonucunda Güneş Lekesi Sayısı ve Kuzey Atlantik Salınımı zaman serileri arasındaki ilintinin yüksek olduğu ve ilintiyi tanımlayan kanonik korelasyon katsayısı 0,83 olarak gözlenmiştir. Modellenen sistemin transfer fonksiyonunun Bode diyagramı incelenerek sistemin doğal rezonans frekanslarına ulaşılmıştır. Rezonans frekansların zaman karşılığı olan rezonans periyotlarının bir kısmının ortalama %1,23 hata oranı ile Kuzey Atlantik Salınımı içerisinde gözlenen periyotlar içerisinde yer aldığı, bir kısmının ortalama %1,73 hata oranı ile Güneş Lekesi zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Kanonik Korelasyon analizi ile Güneş Lekesi zaman serisinin sistem girdisi, Güney Salınım İndeksi zaman serisinin sistem çıktısını oluşturduğu doğrusal dinamik bir sistem modeli tanımlanmıştır. Analiz sonucunda Güneş Lekesi Sayısı ve Güney Salınım İndeksi zaman serileri arasındaki ilintinin yüksek olduğu ve ilintiyi tanımlayan kanonik korelasyon katsayısı 0,86 olarak gözlenmiştir. Modellenen sistemin transfer fonksiyonunun Bode diyagramı incelenerek sistemin doğal rezonans frekanslarına ulaşılmıştır. Rezonans frekansların zaman karşılığı olan rezonans periyotlarının bir kısmının ortalama %1,18 hata oranı ile Güney Salınım İndeksi içerisinde gözlenen

periyotlar arasında yer aldığı, bir kısmının ortalama %2,49 hata oranı ile Güneş Lekesi zaman serisi içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı saptanmıştır.

Periyot analizleri ve çapraz ilinti analizleri sonuçlarına göre Güneş'in Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınımı üzerinde güçlü bir etken olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuca dayanarak Kanonik Korelasyon analizi ile Güneş Lekesi, Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınımı arasındaki dinamik yapıyı araştırmak için, Güneş Lekesi zaman serisinin girdi olarak alındığı NAO ve SOI iklim göstergelerinin birbirlerini etkileme durumunun da dikkate alındığı dinamik bir sistem modellenmiştir. Modellenen sistemin rezonans periyotlarının periyot analizi bölümünde zaman serileri içerisinde gözlenen periyotlar arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Kanonik Korelasyon analizlerin en önemli sonucu olarak, iklim göstergeleri zaman serilerinin periyot analizi bölümünde tespit edilememiş düşük genliğe sahip periyotların Kanonik Korelasyon analizi yöntemi ile oluşturulan dinamik sistem modelinin rezonans periyotları olarak elde edilmiş olmasıdır.

Yapılan tüm analizler sonucunda Kuzey Atlantik Okyanusu'nda ve Güney Pasifik Okyanusu'nda gerçekleşen iklimsel hareketliliklerin birbirleri ile ilişkili olduğu sonucuna varılmış, Güneş'in Kuzey Atlantik Salınımı ve Güney Salınımı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen tüm sonuçların Dünya iklim sistemi üzerine yapılacak olan gelecekteki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Yapılan tüm analiz sonuçlarına dayanarak Dünya iklim sistemi modellenmeye çalışılmıştır. Gelecek çalışmalar da bu model Dünya iklimini etkileyen diğer etkenlerin varlığı da göz önünde bulundurularak geliştirilebilir. Modellenen sistemin rezonans periyotları incelenerek ileriye dönük hava hareketleri ve iklim sistemindeki değişimler hakkında tahminler yapılabilir. İklim sistemindeki hareketlilikler ve değişimler hakkında tahmin edebilme ve çıkarım yapabilme yeteneğine sahip olmak başta tarım olmak üzere enerji, ulaşım, su kaynakları gibi çeşitli alanlarda insanlık için büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Kadioğlu, İklim Değişiklikleri ve Etkileri: Meteorolojik Afetler, TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara, 5-7 Aralık 2007, Ankara, **2007**.
- [2] S. Gürsoy, İklim Göstergelerinin Sinyal Analizi Yöntemleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2018**.
- [3] K.L. Ebi, L.O. Mearns, B. Nyenzi, World Health Organization: Weather and Climate: Changing Human Exposures, Chapter 2, **2003**.
- [4] PHYS.ORG, NASA Study Finds Atlantic 'Conveyor Belt' Not Slowing, <https://phys.org/news/2010-03-nasa-atlantic-conveyor-belt.html> (Erişim Tarihi: **13 Mayıs 2020**).
- [5] NOAA, National Centers For Environmental Information, North Atlantic Oscillation (NAO), <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/nao/> (Erişim Tarihi: **15 Ekim 2018**).
- [6] NOAA, National Centers For Environmental Information, Southern Oscillation Index (SOI), <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/> (Erişim Tarihi: **15 Ekim 2018**).
- [7] NOAA, Climate Prediction Center, North Atlantic Oscillation (NAO), <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml> (Erişim Tarihi: **29 Ekim 2018**).
- [8] The Long Paddock, Queensland Government, SOI Dashboard, SOI Data Files, <https://www.longpaddock.qld.gov.au/soi/soi-data-files/> (Erişim Tarihi: **30 Kasım 2018**).
- [9] SILSO, Sunspot Index and Long-term Solar Observations, Sunspot Number, <http://sidc.oma.be/silso/datafiles> (Erişim Tarihi: **30 Nisan 2019**).
- [10] Hamburg University, Integrated Climate Data Center – ICDC, <https://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/climate-indices.html> (Erişim Tarihi: **15 Ocak 2019**).
- [11] W. Wang, B.T. Anderson, R.K. Kaufmann, and R.B. Myneni, Journal of Climate: The Relation between the North Atlantic Oscillation and SSTs in the North Atlantic Basin, 17 (**2004**) 24.
- [12] H. Wanner, S. Brönnimann, C. Casty, D. Gyalistras, J. Luterbacher, C. Schmutz, D. Stephenson. and E. Xoplaki, Surveys in Geophysics: North Atlantic Oscillation – Concepts and Studies, 22 (**2001**) 4.
- [13] A.J.M. Kuss, J.J. Gurdak, Journal of Hydrology: Groundwater Level Response in U.S Principal Aquifers to ENSO, NAO, PDO, and AMO, 519 (**2014**) 1939-1952.

- [14] Carbon Brief Clear on Climate, Positive and Negative Phases of the North Atlantic Oscillation, <https://www.carbonbrief.org/qa-how-is-arctic-warming-linked-to-polar-vortex-other-extreme-weather/positive-negative-nao-phase> (Erişim Tarihi: **20 Haziran 2019**).
- [15] S. R. Gamiz-Fortis, D. Pozo-Vazquez, M. J. Esteban-Parra, Y. Castro-Diez, Journal of Geophysical Research: Spectral Characteristics and Predictability of the NAO Assessed Through Singular Spectral Analysis, 107 (2002) D23.
- [16] WeatherWorks, 2018-2019 Winter Forecast, <https://www.weatherworksinc.com/2018-2019-winter-forecast> (Erişim Tarihi: **25 Mart 2019**).
- [17] P. Boström, NAO Index: An Extreme Pressure Approach, Master Thesis, Uppsala University, Disciplinary Domain of Science and Technology, Uppsala, **2014**.
- [18] NOAA, Climate Prediction Center, The Southern Oscillation Index (SOI), https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/soi.shtml (Erişim Tarihi: **18 Ocak 2019**).
- [19] Unbiased Jottings on Global Maritime Issues, Cupping the Pacific and China's Rising Influence, <https://skulshrestha.net/2018/03/27/cupping-the-pacific-chinas-rising-influence/> (Erişim Tarihi: **8 Mart 2019**).
- [20] Office of the Queensland Chief Scientist, What Factors Contribute to Floods? , <https://www.chiefscientist.qld.gov.au/publications/understanding-floods/what-factors-contribute/> (Erişim Tarihi: **18 Ocak 2019**).
- [21] Science Perspectives, El Nino (What Child Is This?), <http://www.scienceperspectives.com/El-Nino.htm> (Erişim Tarihi: **23 Haziran 2019**).
- [22] S. G. Philander, El Nino, La Nina, and the Southern Oscillation, Dmowska, R. And Holton, J.R. (Eds.), Vol. 46, Academic Press Inc., New Jersey, Chapter 1, **1990**.
- [23] K. Woltera, M.S. Timlinb, International Journal of Climatology: El Nino/Southern Oscillation Behavior Since 1871 as Diagnosed in an Extended Multivariate ENSO Index (MEI.ext), 31 (2011) 7.
- [24] SlideShare, El Niño and La Niña, <https://www.slideshare.net/ItssClarencee/el-nio-la-nia> (Erişim Tarihi: **4 Şubat 2020**).
- [25] Space Weather Services, What is the Sunspot Number? , <https://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/3/3> (Erişim Tarihi: **10 Haziran 2019**).
- [26] A. Prestesa, N.R. Rigozoa, E. Echera, L.E.A. Vieiraa, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics: Spectral Analysis of Sunspot Number and Geomagnetic Indices (1868–2001), 68 (2006) 2.

- [27] H. Yanben, H. Yonggang, Chinese Science Bulletin: Wavelet Analysis of Sunspot Relative Numbers, 47 (2002) 7.
- [28] I. G. Usoskin, K. Mursula, Solar Physics: Long-Term Solar Cycle Evolution: Review of Recent Developments, 218 (2003) 1/2.
- [29] P. Stoica, R. Moses, Spectral Analysis of Signals, T. Robbins (Eds), Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 22-55, 2005.
- [30] G.M. Vitetta, D.P. Taylor, G. Colavolpe, F. Pancaldi, P.A. Martin, Wireless Communications: Algorithmic Techniques, First Edition, John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, U.K., Appendix B, 2013.
- [31] E. Jernigan E. Hui-97142203, Non-Parametric Power Spectrum Estimation Methods, SYDE 770 Image Processing Course Project, 2002.
- [32] Y. Yang, Z.K. Peng, X.J. Dong, W.M. Zhang, Member, IEEE, and G. Meng, IEEE Transactions on Signal Processing: General Parameterized Time-Frequency Transform, 62 (2014) 11.
- [33] The MathWorks, Short-Time Fourier Analysis, http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/wavelet/ch01_in8.html (Erişim Tarihi: 2 Ocak 2019).
- [34] L. Debnath, Wavelet Transforms and Their Applications, Birkhäuser Boston, Boston, Chapter 5, 2002.
- [35] W.J. Staszewski, K. Worden, G.R. Tomlinson, Mechanical Systems and Signal Processing: Time–Frequency Analysis in Gearbox Fault Detection Using the Wigner–Ville Distribution and Pattern Recognition, 11 (1997) 5.
- [36] V.C. Alarcon, J. A. A. Daviu, M.R. Guasp, M. Vlcek, IEEE Transactions on Industrial Electronics: Induction Motor Diagnosis by Advanced Notch FIR Filters and the Wigner-Ville Distribution, 61 (2014) 8.
- [37] K.G. Toker, Kanonik Korelasyon Analizi ile Sistem Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [38] K.G. Toker, Y. Özkazanç, Kanonik Korelasyon Analizi ile Doğrusal Sistem Tanıma, SIU2013 IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Girne, 2013.
- [39] E. Echer, N. R. Rigozo, D. J. R. Nordemann, L. E. A. Vieira, Annales Geophysicae: Prediction of Solar Activity on the Basis of Spectral Characteristics of Sunspot Number, 22 (2004) 6.
- [40] J.L. Le Mouël, F. Lopes, V. Courtillot, Solar Physics: Identification of Gleissberg Cycles and a Rising Trend in a 315-Year-Long Series of Sunspot Numbers, 292 (2017) 3.

- [41] P. Chowdhury, A. Kilcik, V. Yurchyshyn, V.N. Obridko, J.P. Rozelot, Solar Physics: Analysis of the Hemispheric Sunspot Number Time Series for the Solar Cycles 18 to 24, 294 (2019) 10.
- [42] J.W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, M. Visbeck, The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact, J.W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, M. Visbeck, (Eds.), Vol.134, American Geophysical Union, America, Chapter 1, 2003.
- [43] N.F. Goodkin, K.A. Huguen, S.C. Doney, W.B. Curry, Nature Geoscience: Increased Multidecadal Variability of The North Atlantic Oscillation Since 1781, 1 (2008) 12.
- [44] A. Albers, Long Term Variation of Wind Potential: Are we Moving into a Low NAO-Cycle Period?, EWEC 2004 Conference Proceedings, 2004.
- [45] K.B. Olafsdottir, A. Geirsdottir, G.H. Miller, D.J. Larsen, Quaternary Science Reviews: Evolution of NAO and AMO Strength and Cyclicity Derived from A 3-Ka Varve-Thickness Record from Iceland, 69 (2013) 142-154.
- [46] M.A. Wahab, M.M. Shaloot, S. Youssef, M.M. Hussein, International Journal of Advanced Research: Interrelationship Between the North Atlantic Oscillation and Solar Cycle, 4 (2016) 1.
- [47] L. Gimenoa, L. Torrea, R. Nietoa, R. Garcia, E. Hernandez, P. Riberac, Earth and Planetary Science Letters: Changes in the Relationship NAO-Northern Hemisphere Temperature Due to Solar Activity, 206 (2003) 1-2.
- [48] R. Lukianova, G. Alekseev, Solar Physics: Long-Term Correlation Between the Nao And Solar Activity, 224 (2004) 1-2.
- [49] B. Kirov, K. Georgieva, Physics and Chemistry of the Earth: Long-Term Variations and Interrelations of ENSO, NAO and Solar Activity, 27 (2002) 6-8.
- [50] C.L. Keppenne, M. Ghil, Journal of Geophysical Research: Adaptive Filtering and Prediction of the Southern Oscillation Index, 97 (1992) D18.
- [51] A.W. Tudhope, C.P. Chilcott, M.T. McCulloch, E.R. Cook, J. Chappell, R.M. Ellam, D.W. Lea, J.M. Lough, G.B. Shimmield, Science: Variability in the El Niño-Southern Oscillation through a Glacial-Interglacial Cycle, 291 (2001) 5508.
- [52] C. Kunjaya, I. Radiman, Z. Dupe, D. Herdiwidjaja, M.I. Hakim, JMS: Are El Niño and La Nina Phenomena Influenced by Solar Activities? ,6 (2001) 1.
- [53] F. Mumtahana, S. Sulistiani, R. Kesumaningrum, American Institute of Physic: Correlation between Solar Activity and El Niño Southern Oscillation (ENSO), 1677 (2015) 050018.
- [54] I. I. Mokhov, D. A. Smirnov, Geophysical Research Letters: El Nino – Southern Oscillation Drives North Atlantic Oscillation as Revealed with Nonlinear Techniques from Climatic Indices, 33 (2006) 3.

- [55] J. Hirschi, B. Sinha, Weather: Negative NAO and Cold Eurasian Winters: How Exceptional was the Winter of 1962/1963? ,62 (2007) 2.
- [56] The Source, Britain's Worst Ever Winters, <https://www.britishgas.co.uk/the-source/our-world-of-energy/energy-explained/Britains-Worst-Ever-Winters> (Erişim Tarihi: **18 Mayıs 2019**).
- [57] In pictures: When were Britain's worst winters?, <http://home.bt.com/news/uk-news/in-pictures-when-were-britains-worst-winters-11364131064773> (Erişim Tarihi: **18 Mayıs 2019**).
- [58] British Winter Snowfall Events 1875-2018 (Bonacina/O'Hara), <https://durhamweather.co.uk/wp-content/uploads/2018/10/bonacina.html> (Erişim Tarihi: **18 Mayıs 2019**).
- [59] Golden Gate Weather Services, <https://ggweather.com/enso/oni.htm> (Erişim Tarihi: **24 Nisan 2019**).
- [60] Wikipedia, 1982–83 El Niño event, https://en.wikipedia.org/wiki/1982%E2%80%9383_El_Ni%C3%B1o_event (Erişim Tarihi: **21 Ocak 2019**).
- [61] Wikipedia, 1997–98 El Niño event, https://en.wikipedia.org/wiki/1997%E2%80%9398_El_Ni%C3%B1o_event (Erişim Tarihi: **22 Ocak 2019**).
- [62] Wikipedia, 2010–12 La Niña event, https://en.wikipedia.org/wiki/2010%E2%80%9312_La_Ni%C3%B1a_event (Erişim Tarihi: **22 Ocak 2019**).

EKLER

EK 1- Tezden Üretilmiş Bildiriler

Güney Salınım İndeksinin Periyodogram Analizi ve Winger-Ville Dönüşümü ile İncelenmesi

Investigation of Southern Oscillation Index via Periodogram Analysis and Wigner-Ville Transformation

Birsen GÜLER, Yakup ÖZKAZANÇ

Hacettepe Üniversitesi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Beytepe 06800 Ankara

birsenguler@hacettepe.edu.tr, yakup@ee.hacettepe.edu.tr

Özetçe—Dünyanın iklim sistemi, atmosferin ve okyanusların doğal etkisiyle bir bölgenin rüzgâr, yağmur ve sıcaklık dağılımını kontrol eder. İklim sistemleri durağan bir yapı değil, zaman içerisinde çeşitli etkenler sebebiyle değişen dinamik bir yapı sergiler. İklim sistemlerindeki değişiklikler iklim indeksleri ile ifade edilir. İklim indeksleri günlük, aylık veya yıllık zaman serileridir ve hava basıncı, hava sıcaklığı, yağış, Güneş radyasyonu ve deniz yüzeyi sıcaklığı gibi parametrelerden oluşur. Bu çalışmada Güney Pasifik Okyanusunda meydana gelen mevsimsel hareketliliklerden yola çıkarak, bu hareketliliğin yerküre üzerindeki periyodik etkileri araştırılmıştır. Güney Pasifik Okyanusundaki iklimsel hareketliliğin karakteristiğini belirlemek için hava basıncına bağlı Güney Salınım İndeksi iklim göstergesi incelenmiştir. Periyodogram yöntemi ile Güney Salınım İndeksi zaman serisinin periyot değerleri belirlenmeye çalışılmış, sonrasında Wigner-Ville Dönüşüm yöntemi kullanılarak, zaman serisinin zaman-frekans dağılımı analiz edilmiştir. Bu sayede Güney Salınım İndeksi zaman serisinin aynı anda hem zaman hem de frekans alanlarında gözlemlenmesi mümkün olmuştur. Yapılan analizler sonucunda Güney Pasifik Okyanusundaki iklimsel hareketliliğin baskın döngüleri belirlenmiş ve bu döngüler yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler — İklim İndeksi, Güney Salınım İndeksi, Periyodogram Analizi, Wigner-Ville Dönüşümü.

Abstract—The climate system of the world controls the distribution of wind, rain and temperature of a region by the natural forces of the atmosphere and the oceans. A climate system is not considered as static system, but a dynamical system that

changes due to various factors over time. Changes in a climate system can be captured via climate indices. Climate indices are daily, monthly or yearly time series and consist of air pressure, air temperature, precipitation, solar radiation, and sea surface temperature parameters. In this study, based on the seasonal movements in the South Pacific Ocean Region; the periodic effects of this activity on the Earth were investigated. To determine the dynamic characteristic of climatic activity in the South Pacific Ocean; the Southern Oscillation Index (SOI) index which is air pressure index was examined. Periods of climatic movements in the South Pacific Ocean were determined by using periodogram method. Then, time-frequencies distribution of the Southern Oscillation Index time series were analyzed by using Wigner-Ville Transformation method. Thus, it was possible to observe the signal simultaneously in both time and frequency domain. As a result; dominant cycles of climatic activities in the South Pacific Ocean were determined and interpreted.

Keywords — Climate Index, Southern Oscillation Index, Periodogram Analysis, Wigner-Ville Transformation.

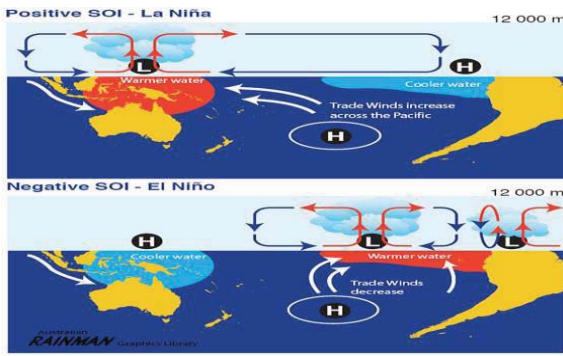
I. GİRİŞ

İklim, belirli bir bölgede uzun bir süre boyunca gözlenen sıcaklık, nem, hava basıncı, yağış miktarı, yağış şekli, rüzgâr hızı gibi meteorolojik olayların ortalaması olarak ifade edilir ve klimatoloji bilimi tarafından incelenir [1]. Dünyanın iklim sistemi, Güneş, okyanuslar, atmosfer, kriyosfer, kara yüzeyi ve biyosfer arasındaki karmaşık bir etkileşimden oluşur [1]. Bu sistem dinamik bir yapıya sahiptir ve bu dinamik yapıdaki durum ve değişiklikler iklim indeksleri ile ifade edilir. İklim indeksleri günlük, aylık veya yıllık zaman serileridir ve hava basıncı, hava sıcaklığı, yağış, Güneş radyasyonu gibi atmosferik

parametreler ve deniz yüzeyi sıcaklığı gibi atmosferik olmayan ölçülebilir parametrelerden oluşur [1]. Bu çalışmada Güney Pasifik Okyanusunda meydana gelen mevsimsel hareketlilikler ve döngüler incelenmiş, bu hareketliliklerin yerküre üzerindeki periyodik veya aralıklı zamanlarda göstermiş olduğu etkiler üzerinden yola çıkılmıştır. Güney Pasifik Okyanusundaki iklimsel hareketliliğin karakteristiğini belirlemek için hava basıncına bağlı Güney Salınım İndeksi iklim indeksi analiz edilmiştir. Çalışmada National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)'nın resmî web sitesinden elde edilmiş olan Güney Salınım İndeksi'nin aylık veri seti kullanılmıştır [2]. Çalışmanın ilk aşamasında periyodogram yöntemi kullanılarak Güney Salınım İndeksi zaman serisinin periyotları yani döngüleri belirlenmeye çalışılmıştır. Zaman serisinin zaman-frekans dağılımı analizi için Wigner-Ville yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede sinyallerin aynı anda hem zaman hem de frekans alanında gözlemlenmesi mümkün olmuştur. Bu analizler sonucunda; Güney Pasifik Okyanusundaki iklimsel hareketlilikler karakterize edilmeye çalışılmış, baskın döngüsel davranışlar zaman ve frekans alanında değerlendirilip, ileriye yönelik tahminlerde bulunmak amaçlanmıştır.

II. GÜNEY SALINIM İNDEKSİ

Güney Salınım İndeksi, Pasifik Okyanusu'nun batı bölgesinde bulunan Avustralya'nın Darwin şehri ile doğu bölgesinde Fransız Polinezyası'nda bulunan Tahiti arasında meydana gelen hava basıncındaki büyük çaplı dalgalanmanın bir ölçüsüdür [2]. 'Güney Salınımı' olarak ifade edilen bu hava hareketliliği 1920'li yıllarda Gilbert Walker tarafından açıklanmıştır [3]. Walker Darwin şehrinde hava basıncı düşük olduğunda, Tahiti'de basıncın yükseldiği ve bunun tersine Tahiti'de basınç azalırken Darwin'de basıncın arttığını fark etmiştir [4],[5]. Hava basıncındaki değişimin düzenli bir yapıda olduğunu, belirli aralıklarla salındığını ayrıca gözlemiştir [4],[5]. Güney Salınım İndeksi, Tahiti (17,64° G, 149,43° B) ve Darwin (12,46° G, 130,85° D) arasındaki deniz seviyesi basınç farkının geçmiş yılların ortalamasına göre normalizasyonu ile hesaplanır [1],[2]. SOI, Şekil 1'de gösterildiği gibi negatif ve pozitif olmak üzere iki faza sahiptir. İndeksin pozitif değer alması pozitif faza, negatif değer alması ise negatif faza işaret eder [2].



Şekil 1. Güney Salınım İndeksi Fazları [6].

Güney Pasifiğin normal basınç durumunda batı kıyılarında alçak basınç, doğu kıyılarında ise yüksek basınç hakimdir. Okyanus üzerindeki basınç farkından dolayı doğudan batıya doğru esen alize rüzgârı, okyanus yüzeyindeki sıcak suların doğudan batıya doğru hareket ettirir [3]. Güney Pasifiğin doğu

kıyılarından hareket eden sıcak yüzey sularının yerini soğuk sular alır [3]. SOI indeksinin pozitif fazı Güney Pasifiğin normal basınç durumunun yoğun halidir. Tahiti'de normalin üstünde bir hava basıncı, Darwin'de ise normalin altında bir hava basıncı oluşur. Okyanus yüzeyindeki hava basıncı farkı artar, alize rüzgarları batı yönünde güçlenir. Bu durum Doğu Pasifik'te ortalamanın altında deniz yüzeyi sıcaklığına sebep olur ve La Niña dönemi olarak adlandırılır. La Niña, Güney Pasifiğin doğu kıyılarındaki okyanus sularında ortalama altı bir soğumayı temsil eder ve Güney Salınımı'nın soğuk evresidir [2].

SOI indeksinin negatif fazında ise pozitif fazın tersi bir basınç dağılımı gözlenir. Tahiti'de normalin altında bir hava basıncı, Darwin'de ise normalin üstünde bir hava basıncı oluşur. Pasifik Okyanusu'nun üzerindeki hava basıncı farkı düşer ve okyanus üzerindeki güçlü alize rüzgarları zayıflayarak batıdan doğuya doğru bir yönelim gösterir. Rüzgarlarının etkisiyle okyanus yüzeyindeki sıcak sular batıdan doğuya doğru hareket eder ve Doğu Pasifik'te El Niño dönemi olarak adlandırılan ortalamanın üstünde bir deniz yüzeyi sıcaklığına sebep olur [2]. El Niño, Güney Pasifiğin doğu kıyılarındaki okyanus sularında ortalama üstü bir ısınmayı temsil eder ve Güney Salınımı'nın ılık evresidir [2]. Normal dışı olan bu hava hareketleri buldukları bölgede SOI indeksinin fazına (La Niña- El Niño dönemi) göre aşırı ısınma ve soğumaya bağlı olarak sellere ya da kuraklıklara sebep olabilmektedir.

III. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Periyodogram yöntemi ile Güney Salınım İndeksi zaman serisi içerisindeki periyotlar belirlenmeye çalışılmıştır. Zaman serisinin zaman-frekans dağılımı analizi için ise Wigner-Ville Dönüşüm yönteminden yararlanılmıştır.

A. Periyodogram Analizi

Periyodik veya rastgele sinyallerin dominant frekansları, gücü, harmonikleri ve zaman uzayında kolayca fark edilemeyen diğer bileşenleri frekans uzayında spektral analiz yöntemleri kullanılarak incelenebilir [7],[8]. Güç spektral yoğunluğu (PSD) bu yöntemlerden bir tanesidir ve sinyalin gücünün sinyali oluşturan frekanslar üzerine dağılımını ifade eder [7]. Periyodogram analizi durağan ve rastgele sinyallerin Güç spektral yoğunluğu tahmini için kullanılan parametrik olmayan temel bir Güç Spektral Kestirimi yöntemidir [8]. Ayrık zamanlı $x(n)$ sinyali için periyodogram analizi Denklem (1) ile ifade edilir.

$$P(f) = \frac{\Delta t}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi f n} \right|^2, \quad -\frac{1}{2\Delta t} < f \leq \frac{1}{2\Delta t} \quad (1)$$

Δt : Örnekleme aralığı, N : Örnekleme sayısı, f : Frekans.

B. Wigner-Ville Dönüşümü

Zaman-frekans analizleri sinyalin zaman-frekans gösterimi, kestirimi ve yorumlanması ile ilgili problemlerle ilgilenir. Wigner-Ville yöntemi, zaman-frekans sinyal analiz yöntemlerinden biridir ve sinyal işlemede önemli bir yere sahiptir. Gerçek hayatta iklim sinyalleri gibi durağan olmayan sinyaller için zaman ve frekans alanında yüksek çözünürlük sunar [9],[10],[11]. Ayrıca Wigner-Ville Dönüşüm yöntemi ile bir sinyalin enerji yoğunluğunun belirli zaman ve frekansta

nasıl bir dağılıma sahip olduğu da gözlemlenir [11],[12]. Wigner-Ville Dönüşümü Denklem (2) ile ifade edildiği üzere sinyalin τ kadarlık herhangi bir zaman gecikmesine bağlı anlamlı korelasyonunun Fourier dönüşümüdür ve sürekli zamanlı bir $s(t)$ sinyali için şu şekilde hesaplanır:

$$W(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s\left(t + \frac{\tau}{2}\right) s^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2)$$

Ayrık zamanlı $x(n)$ sinyali için şu şekilde tanımlanır:

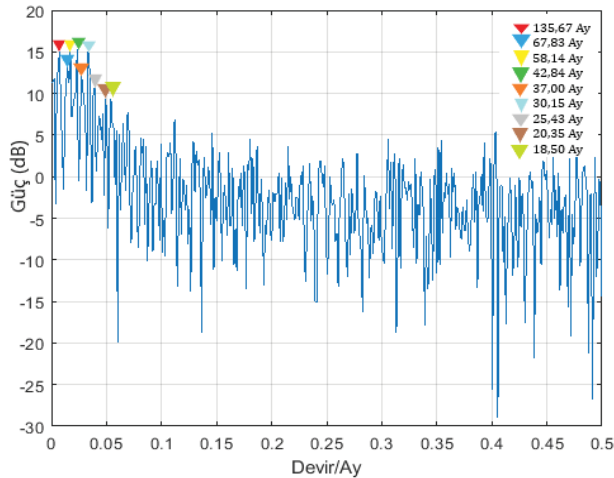
$$W[n, f] = \sum_{m=0}^{N-1} x(n+m) x^*(n-m) e^{-j2\pi f m} \quad (3)$$

IV. GÜNEY SALINIM İNDEKSİ İKLİM GÖSTERGESİ ANALİZİ

Çalışmada NOAA'nın resmî web sitesinden elde edilmiş Güney Salınım İndeksi iklim göstergesinin 1/1951-10/2018 tarihleri arasında kaydedilmiş toplam 814 adet aylık veri seti kullanılmıştır [2]. Çalışmada kullanılan tüm sinyal işleme yöntemleri MATLAB ortamında yapılan analizler ile gerçekleştirilmiştir.

A. Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analizi

Periyodogram analizi yöntemi ile Güney Pasifik Okyanusunda meydana gelen mevsimsel hareketlilikler ve döngüler analiz edildiğinde Şekil 2 ile gösterilen grafik elde edilir. Analiz sonucundan anlaşılacağı üzere grafikte birden fazla noktada tepe değerleri mevcuttur. Bu tepe değerlerine karşılık gelen zaman değerleri Güney Salınımı'nın baskın döngülerini ifade eder.



Şekil 2. Güney Salınım İndeksi Periyodogram Analizi.

Periyodogram analizinde yüksek güç değerine sahip tepe noktaları belirlenmiş, bu değerlere karşılık gelen frekans değerleri zaman değerlerine çevrildiğinde ise 135,67 ay, 67,83 ay, 58,14 ay, 42,84 ay, 37,00 ay, 30,15 ay, 25,43 ay, 20,35 ay ve 18,50 aylık döngü periyotları elde edilmiştir. Maksimum güç değerine sahip döngü 42,84 aylık bir periyottur ve Güney Salınımı'nın belirgin döngü periyodunu ifade eder [3]. Analiz sonucunda elde edilen, Güney Salınım İndisinde ön plana çıkan döngü periyotları ay ve yıl cinsinden Tablo 1'de verilmiştir.

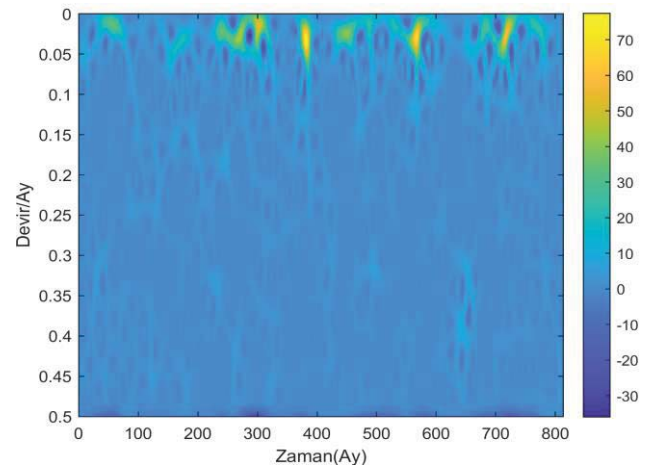
TABLO I. GÜNEY SALINIM İNDEKSİ PERİYODOGRAM ANALİZ SONUÇLARI

Güç (dB)	Frekans (Devir/Ay)	Periyot (Ay)	Periyot (Yıl)	67,82/Yıl
11,7948	0,002457	407,00	33,91	2
15,0518	0,007371	135,67	11,30	6
13,0806	0,014742	67,84	5,65	12
15,0012	0,017199	58,14	4,84	14
15,3284	0,023342	42,84	3,57	19
12,0856	0,027027	37,00	3,08	22
14,9838	0,033169	30,15	2,51	27
10,7001	0,039323	25,43	2,12	32
7,2397	0,042998	23,26	1,94	35
7,5528	0,046683	21,42	1,78	38
9,2664	0,049140	20,35	1,69	40
9,2855	0,054054	18,50	1,54	44
5,5094	0,058968	16,96	1,41	48
6,3140	0,065111	15,36	1,28	53
7,7246	0,070025	14,28	1,19	57
6,8780	0,111794	8,95	0,75	91

Tablo 1 dikkatli olarak incelendiğinde; tabloda verilen tüm periyotların 67,82 yıllık temel bir döngünün harmonikleri olduğu ortaya çıkmaktadır. Tabloda ikinci sırada gözükten 11,30 yıllık döngü temel döngünün 6.harmoniğidir ve güneş lekeleri döngüsünün (sunspot cycle) periyodudur [8].

B. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Analizi

SOI indeksi zaman serisinin zaman-frekans dağılımı analizi için Wigner-Ville Dönüşümü yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçları Şekil 3'te gösterilmektedir



Şekil 3. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü.

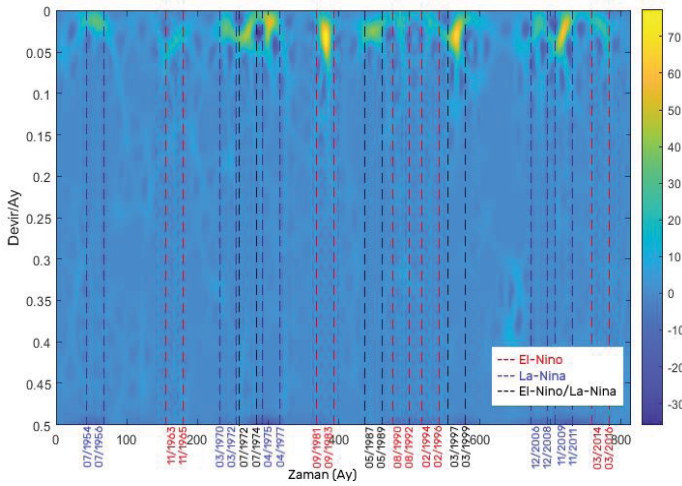
Şekil 3'te gösterilen analiz sonucunda enerji yoğunluğunun en fazla olduğu noktaların zaman değerleri tespit edildiğinde bu değerlerin Güney Salınımı'nın pozitif ve negatif fazı ile ifade edilen La-Nina ve El-Nino tarihlerine denk geldiği gözlemlenmiştir. La Niña, Güney Pasifiğin doğu kıyılarındaki okyanus sularında ortalama altı bir soğumayı temsil eder [2]. El Niño ise aynı bölgede okyanus sularında ortalama üstü bir ısınmayı ifade eder [2]. Belirlenen tarihler, o tarihlerde ölçülen SOI indeksinin pozitif veya negatif olmasına bağlı olarak El-Nino ve La-Nina tarihleri olarak işaretlenmiştir. Şekil 4'te gösterilen kırmızı çizgiler El-Nino, mavi çizgiler La-Nina, siyah çizgiler ise her iki olayın ardışık zamanlı oluşuna işaret etmektedir.

V. SONUÇ

Bu çalışmada periyodogram yöntemi ile Güney Salınım İndeksi zaman serisinin baskın periyotları belirlenmiştir. SOI zaman serisinin zaman-frekans dağılımı analizi için Wigner-Ville Dönüşümü kullanılmış; zaman serisi aynı anda hem zaman hem frekans alanında incelenmiştir. SOI indeksinin Wigner-Ville Dönüşüm sonucunda enerji yoğunluğunun en fazla olduğu noktaların karşılık geldiği zaman değerleri en güçlü El-Nino ve La-Nina tarihleri olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca periyodogram analiz sonuçlarından elde edilen periyot değerlerinin aynı zamanda zaman-frekans dağılımında enerji yoğunluğunun en fazla olduğu frekans bandında olduğu tespit edilmiştir. Analizler sonucunda, Güney Pasifik iklimselliğini karakterize eden Güney Salınım İndeksi zaman serisi içinde tespit edilen tüm döngü periyotlarının 67,82 yıllık temel bir döngünün harmonikleri olduğu, literatürde ilk defa, tespit edilmiştir. Çalışmada ortaya çıkan ikinci bir husus ise, tüm El-Nino ve La-Nina olaylarının Güney Salınımı indisinin Wigner-Ville dönüşümü üzerinden tespit edilebilmesi olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] S. Gürsoy, "İklim Göstergelerinin Sinyal Analizi Yöntemleri ile İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2018.
- [2] *Southern Oscillation Index (SOI)*, NOAA, National Centers for Environmental Information, October 2019.[Online]. Available: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>
- [3] S. G. Philander, "The Southern Oscillation: Variability of the Tropical Atmosphere", in *El Nino, La Nina, and the Southern Oscillation*, vol.46, R. Dmowska and J.R. Holton, Eds., New York, USA: Academic Press, 1990, pp.9-56.
- [4] E. Erlat, "El Niño, La Niña ve Güneyli Salınım", *Ege Coğrafya Dergisi*, vol. 10, pp. 195-218, 1999.
- [5] R. W. Katz, "Sir Gilbert Walker and a Connection between El Nino and Statistics", *Statistical Science*, vol.17, no.1, pp.97-112, Feb., 2002.
- [6] Queensland Government. "What factors contribute to floods?" Office of the Queensland Chief Scientist.com <https://www.chiefscientist.qld.gov.au/publications/understanding-floods/what-factors-contribute> (accessed Jan. 3, 2019).
- [7] M. Ghil, M. R. Allen, M. D. Dettinger, K. Ide, D. Kondrashov, M. E. Mann, A. W. Robertson, A. Saunders, Y. Tian, F. Varadi, P. Yiou, "Advanced spectral methods for climatic time series", *Reviews of Geophysics*, vol.40, no.1, Feb. 2002.
- [8] A. Prestesa, N.R. Rigozoa, E. Echera, L.E.A. Vieiraa, "Spectral analysis of sunspot number and geomagnetic indices (1868–2001)", *Journal of Atmospheric -Solar-Terrestrial Physics*, vol.68, no.2, pp.182–190, 2006.
- [9] L. Debnath, "The Wigner-Ville Distribution and Time-Frequency Signal Analysis", in *Wavelet Transforms and Their Applications*, 1nd ed., Boston, USA: Birkhauser (Springer Science), 2002, ch.5, pp.307-357.
- [10] Z. Kollath, K. Olah, L. D. Gesztelyi, "Parallels among the "music scores" of solar cycles, space weather and Earth's climate", *Proceedings of the International Astronomical Union*, vol.7, no. S286, pp.423-426, 2011.
- [11] Georgiou M., Daglis I. A., Balasis G., Papadimitriou C., and Tsinganos K., "Usage of ground-based magnetometer data for the characterisation of space weather effective ULF waves", in *IGA XIIIth Scientific Assembly*, Merida Yucatan, Mexico, 26 – 31 August 2013.
- [12] W. J. Stasweski, K. Worden, G. R. Tomlinson, "Time-Frequency Analysis In Gearbox Fault Detection Using The Wigner-Ville Distribution And Pattern Recognition", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol.11, no 5, pp. 673–692, April 1997.
- [13] J. Null. "El Niño and La Niña Years and Intensities." Golden Gate Weather Services.com, <https://ggweather.com/enso/oni.htm> (accessed Apr.3, 2019).



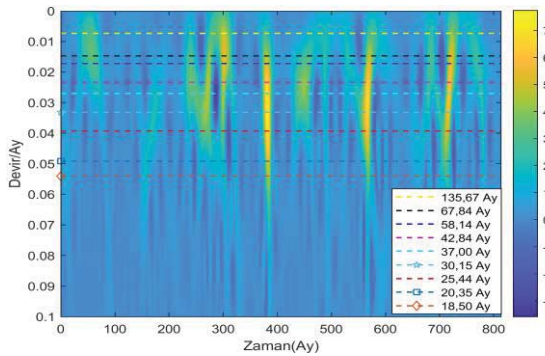
Şekil. 4. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü.

SOI indeksinin Wigner-Ville Dönüşümü sonucu enerji yoğunluğunun en fazla olduğu tarihler Tablo 2’de gösterilen El-nino ve La-nina tarihleri ile karşılaştırıldığında Şekil 4’te gösterilen tarihlerin belirgin El-Nino ve La-Nina zamanlarına karşılık geldiği tespit edilmiştir [13].

TABLO II. EL-NİNO VE LA-NİNA YILLARI [13]

El-Nino			La-Nina	
Mutedil	Güçlü	Çok Güçlü	Mutedil	Güçlü
1951-52	1957-58	1982-83	1955-56	1973-74
1963-64	1965-66	1997-98	1970-71	1975-76
1968-69	1972-73	2015-16	1995-96	1988-89
1986-87	1987-88		2011-12	1998-99
1994-95	1991-92			1999-00
2002-03				2007-08
2009-10				2010-11

SOI indeksinin periyodogram analizinden elde edilen 135,67 ay, 67,83 ay, 58,14 ay, 42,84 ay, 37,00 ay, 30,15 ay, 25,43 ay, 20,35 ay ve 18,50 aylık döngü periyotlarının Tablo 1’de gösterilen frekans karşılıkları Şekil 3’te gösterilen SOI indeksinin Wigner-Ville Dönüşümü üzerinde işaretlenmiştir. Sonuçlar Şekil 5’te gösterilmektedir.



Şekil. 5. Güney Salınım İndeksi Wigner-Ville Dönüşümü.

Şekil 5 incelendiğinde ön plana çıkan döngü periyotlarının aynı zamanda enerji yoğunluğunun da en fazla olduğu bölgelere karşılık geldiği tespit edilmiştir.