

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KRİPTO PARALARDA ÜÇLÜ ARBİTRAJ ANALİZİ

NÜKHET NUR SAYIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İKTİSAT ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ERHAN ULUCEVİZ

TEMMUZ 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KRİPTO PARALARDA ÜÇLÜ ARBİTRAJ ANALİZİ

NÜKHET NUR SAYIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İKTİSAT ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ERHAN ULUCEVİZ

TEMMUZ 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

ANALYSIS OF TRIANGULAR ARBITRAGE
IN THE CRYPTO CURRENCY MARKET

NÜKHET NUR SAYIN

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ECONOMICS

ADVISOR: DR. ÖĞR. ÜYESİ ERHAN ULUCEVİZ

JULY 2024

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 01/07/2024 tarih ve 2024/33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/07/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Nükhet Nur SAYIN'ın tez çalışması İktisat Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Erhan ULUCEVİZ

ÜYE

: Doç Dr. Seçil YILDIRIM KARAMAN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Pınar TAT

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

*Tezimi emeklerini benden hiçbir
zaman esirgemeyen aileme ve yaptığı
yenilikçi devrimler ile Türk Kadınına
kendini var etme imkanı sağlamış
atam **Mustafa Kemal ATATÜRK**'e
ithaf ediyorum..*

ÖZET

Bu çalışma, Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Tehter (USDT) ve Polkadot (DOT) gibi önemli kripto para borsalarının önde gelen varlıkları kullanılarak oluşturulan; aynı zaman aralığında işlem gördüğü düşünülen kripto para çiftleri arasındaki üçlü arbitraj fırsatlarını incelemektedir. Bu amaçla, dünyanın en büyük kripto para işlem hacmine sahip kripto para borsası Binance tarafından sağlanan ETH-BTC, BTC-USDT, ETH-USDT, DOT-ETH, DOT-BTC kripto para ikilileri kullanılarak ETH-BTC-USDT-ETH ve DOT-ETH-BTC-DOT örüntüsü ile geçmişe dönük arbitraj analizi yapılmıştır. Kullanılan veriler, Ağustos 2017 ve Mayıs 2024 tarihleri arasında ve yaklaşık 3,5 milyon adettir. Bu veriler, 1 dakikalık frekansta toplulaştırılmıştır. Uygun şekilde düzenlenen ve işlenen bu veriler arasında tespit edilen arbitraj fırsatları; iki farklı “üçlü kripto varlık kombinasyonu” içerir. İki farklı kripto varlık kombinasyonu ile hesaplanan üçlü arbitraj senaryosu 0,0001, 0,00025, 0,0005 ve 0,00075’lik komisyon oranları baz alınarak iki farklı hesaplama türü ile dakikalık olarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda elde edilen geçmişe dönük arbitraj fırsatlarında yıl ve ay bazlı analizler yapılmıştır. Yapılan analizler; arbitraj fırsatlarının her iki senaryo için de özellikle düşük komisyon oranlarında (0,0001 ve 0,00025 gibi) 2017, 2018 ve kısmen 2019 yılının başlarında görece yüksek sayıda olduğunu göstermiştir. 2019 ve sonrasında ise bu sayıda hızlı bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu düşüş; COVID-19 pandemisi sebebi ile yaşanan küresel çaptaki karantina döneminde insanların çevrim içi alım satımlara yönelmesi ve bu fırsatları değerlendirmesi, bu yönelimin en güvenilir ve bilindik kripto paralara doğru daha yüksek seviyede olması, kripto para borsalarında söz konusu kripto para birimlerinin işlem hacminin artışı sonucu gerçekleşmiş olabilir. Aynı zamanda bu değişkenliğin sebebinin etkin piyasa hipotezinin bir sonucu olduğu şeklinde de yorumlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Kripto para, üçlü arbitraj, Binance

ABSTRACT

This study examines the triangular arbitrage opportunities between cryptocurrency pairs created using major cryptocurrency assets such as Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Tehter (USDT) and Polkadot (DOT). For this purpose, data provided by Binance, the world's largest cryptocurrency exchange, is used. Approximately 3.5 million data used spans a period from August 2017 to May 2024 and is aggregated at 1-minute frequency. Using various commission rates scenarios, appropriately organized and preprocessed data are used to identify arbitrage opportunities arising from the observed price differences under a triangular arbitrage scenario with two different combinations of three crypto assets and two different calculation methods. The analysis showed that the number of arbitrage opportunities was relatively high in 2017, 2018 and partially in early 2019, especially at low commission rates (such as 0.0001 and 0.00025). In 2019 and beyond, however, there was a rapid decline in this number. These declines can be attributed to the fact that the high number of arbitrage opportunities decreased during the global lockdown period due to the COVID-19 lockdowns as people turned to online trading and took advantage of these opportunities. This can also be interpreted as a consequence of the efficient market hypothesis.

Keywords: Cryptocurrency, triangular arbitrage, Binance, high-frequency data

TEŞEKKÜR

Tüm tez çalışmam boyunca bilgisini, desteğini, hoşgörüsünü ve alakasını benden bir an olsun esirgemeyen kıymetli hocam Sn. Erhan ULUCEVİZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. PARA VE KRİPTO PARA PİYASALARI	3
2.1. Para'nın Tarihçesi ve Kripto Paraların Gelişimi	3
2.1.1. Para'nın Tarihçesi	3
2.1.2. Kripto Para Piyasası	4
2.2. Kripto Para Türleri ve Özellikleri	6
2.3. Kripto Para Borsaları ve İşleyişi	8
2.4. Kripto Paraların Avantaj ve Dezavantajları	9
2.4.1. Avantajlar	9
2.4.2. Dezavantajlar	10
3. ARBİTRAJ	12
3.1. Arbitraj Nedir?	12
3.2. Üçlü / Üçgen Arbitraj	14
4. KRİPTO PARA PİYASALARINDA ÜÇLÜ ARBİTRAJ ÖRNEĞİ	18
4.1. Veri Toplama, İşleme ve Analiz Süreci	18
4.1.1. Veri Türü, Veri işleme ve Hesaplama	18
4.1.2. Veri Analizi	19
4.2. I. Arbitraj Senaryosu	23
4.2.1. γ_1 ile Hesaplama	23
4.2.2. γ_2 İle Hesaplama	30
4.3. II. Arbitraj Senaryosu	37
4.3.1. γ_3 İle Hesaplama	37
4.3.2. γ_4 İle Hesaplama	44
5. SONUÇ	522
KAYNAKLAR	544
ÖZGEÇMİŞ	577
TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR	588

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

γ	: (Gama) Yayılım sabiti
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
TCBM	: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
BTC	: Bitcoin
ETH	: Ethereum
USDT	: Tether
DOT	: Polkadot
DF	: Data frame
DF1	: ETH-BTC veri seti
DF2	: BTC-USDT veri seti
DF3	: ETH-USDT veri seti

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1: Eth - Btc Yıllık Açılış Ve Kapanış Fiyat Zaman Serisi	20
Şekil 4.2: Btc-Usdt Yıllık Açılış Ve Kapanış Fiyat Zaman Serisi	21
Şekil 4.3: Eth-Usdt Yıllık Açılış Ve Kapanış Fiyat Zaman Serisi	21
Şekil 4.4: Dot-Btc Yıllık Açılış Ve Kapanış Fiyat Zaman Serisi	22
Şekil 4.5: Dot-Eth Yıllık Açılış Ve Kapanış Fiyat Zaman Serisi	22
Şekil 4.6: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,0001 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	23
Şekil 4.7: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,0001 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	24
Şekil 4.8: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,0001 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	24
Şekil 4.9: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,00025 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	25
Şekil 4.10: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,00025 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	26
Şekil 4.11: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,00025 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	26
Şekil 4.12: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,0005 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	27
Şekil 4.13: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,0005 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	27
Şekil 4.14: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,0005 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	28
Şekil 4.15: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,00075 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	29
Şekil 4.16: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,00075 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	29
Şekil 4.17: Senaryo 1 Ve γ_1 İçin 0,00075 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	30
Şekil 4.18: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,0001 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	31
Şekil 4.19: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,0001 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	31
Şekil 4.20: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,0001 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	32
Şekil 4.21: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,00025 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	32
Şekil 4.22: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,00025 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	33
Şekil 4.23: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,00025 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	33
Şekil 4.24: Senaryo 1 Ve γ_2 0,0005 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	34
Şekil 4.25: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,0005 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	34

Şekil 4.26: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,0005 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	35
Şekil 4.27: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,00075 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	36
Şekil 4.28: Senaryo 1 Ve γ_2 0,00075 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	36
Şekil 4.29: Senaryo 1 Ve γ_2 İçin 0,00075 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	37
Şekil 4.30: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,0001 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	38
Şekil 4.31: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,0001 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	38
Şekil 4.32: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,0001 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	39
Şekil 4.33: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,00025 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	39
Şekil 4.34: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,00025 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	40
Şekil 4.35: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,00025 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	40
Şekil 4.36: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,0005 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	41
Şekil 4.37: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,0005 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	41
Şekil 4.38: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,0005 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	42
Şekil 4.39: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,00075 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	43
Şekil 4.40: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,00075 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	43
Şekil 4.41: Senaryo 2 Ve γ_3 İçin 0,00075 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	44
Şekil 4.42: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,0001 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	45
Şekil 4.43: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,0001 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	45
Şekil 4.44: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,0001 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	46
Şekil 4.45: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,00025 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	46
Şekil 4.46: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,00025 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	47
Şekil 4.47: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,00025 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	47
Şekil 4.48: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,0005 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	48
Şekil 4.49: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,0005 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	48
Şekil 4.50: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,0005 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	49

Şekil 4.51: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,00075 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Histogramı	50
Şekil 4.52: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,00075 Komisyon İle Yıllık Arbitraj Fırsatı Zaman Serisi	50
Şekil 4.53: Senaryo 2 Ve γ_4 İçin 0,00075 Komisyon İle Aylık Arbitraj Fırsatı Histogramı	51

1. GİRİŞ

Haziran 2024 itibarıyla piyasa değeri yaklaşık USD 2,3 trilyon olan kripto varlıklar (yaklaşık 10 bin adet), 24 saatlik işlem günündeki likiditesi ile dünyanın önde gelen finansal araçlarındandır. Bitcoin ve diğer kripto para birimlerinin yeniliği ve Bitcoin'in ortaya çıkışından bu yana gösterdiği alışlagelmişin dışında performans ve dalgalanma, uygulayıcıların, düzenleyicilerin ve akademisyenlerin dikkatini çekmiştir. Bu yeni varlık sınıfına ilgi duyan yatırımcıların kullanımı için yeni spot işlem borsaları ve organize vadeli işlem sözleşmeleri ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada kripto para piyasasında üçlü arbitraj fırsatları ele alınmaktadır. Üçlü arbitraj, belirlenmesi en kolay arbitraj fırsatlarındandır. Buna rağmen, literatürde çok sayıda çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bunun nedeninin yeterince yüksek frekanslı ve aynı zamanda uygulanabilir fiyatlara sahip veri setlerinin bulunmaması, alım satım maliyetleri, likidite eksikliği ve açığa satış kısıtları gibi durumlar olduğu düşünülmektedir (Fenn vd., 2009).

Bu çalışmada analizler dakikalık frekansta toplulaştırılmış verilerin kapanış tutarları üzerinden hesaplanan alış ve satış verileri ile yapılmıştır. Hazırlanan literatür taramasında kripto paraların tarihçesi, avantajları ve dezavantajlarından bahsedilirken bir diğer yandan nasıl işlem gördükleri ve borsa yapıları ele alınmaktadır.

Arbitrajın tanımına ve türlerine de yer verilen bu çalışmada temel amaç üçgen arbitraj olarak da anılan üçlü arbitrajın kullanılabilirliğinin kripto paralar üzerinden gösterilmesidir.

Çalışmada; para, kripto paralar, arbitraj, arbitraj türleri ve üçlü arbitrajın hesaplama yöntemleri ele alınmaktadır. İlgili literatür anlatımının ardından Binance kripto borsasının açık verilerinden elde edilen 1'er dakikalık frekansta toplulaştırılmış kripto para veri setleri ile hesaplamalar yapılarak arbitraj fırsatları değerlendirilmiştir. Bu hesaplamalar tüm fırsatların aynı anda değerlendirilebildiği ön kabulü ile ele alınmaktadır.

Çalışmada en çok bilinen ve tercih edilen kripto para birimlerinden Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Polkadot (DOT) ve Tether (USDT) kripto para birimlerinden oluşturulmuş kripto para çiftlerinin veri setleri kullanılmıştır. Bu veri setlerinin

seçilmesinin temel nedenleri; ilgili kripto para türlerinde geçmişe dönük veri setlerinin uzun vadeli ve kısa vadeli olarak çeşitliliğin sağlanması, işlem hacmi ve bilinirlik, kur dalgalanmalarının mevcut olması, kripto para türlerinde stabil paralar, ödeme paraları ve altcoinler gibi çeşitliliğin sağlanmasıdır. Kripto paraların türlerini belirledikten sonra ilgili paraların işlem hacimlerinin ve ikili ilişkilerinin değişimleri analiz edilerek stabil dönemlerin ve değişim dönemlerinin var olduğu tarihler analize konu olmuştur.

Bu tez, kripto para yatırımcılarına ve akademisyenlere, kripto paralar ve arbitraj hakkında detaylı bilgi verirken; kripto paralarda üçlü arbitraj stratejilerinin nasıl optimize edilebileceği, arbitraj ile hedeflenen karlılığın nasıl elde edilebileceği konusunda değerli bilgiler sunmayı amaçlamaktadır. Akademisyenler, kripto para piyasalarının dinamiklerini ve arbitraj fırsatlarının nasıl ortaya çıktığını daha iyi anlayarak, bu alandaki teorik bilgilerini derinleştirebileceklerdir. Yatırımcılar ise, kripto para piyasalarında karşılaşılabilecekleri riskleri minimize ederek daha bilinçli ve karlı yatırımlar yapma konusunda bilgi sahibi olacaklardır.

Bu tez, giriş bölümüyle başlayıp, literatür taraması, veri toplama, veri analizi, bulgular ve sonuçlar bölümleriyle devam etmektedir. Giriş bölümünde çalışmaya dair genel bilgiler verildikten sonra 2. bölümde kripto para piyasaları hakkında bilgi verilmiştir. 3. bölüm arbitraj hakkında bilgi verirken arbitraj çeşitliliğine ve arbitraj hesaplamalarına yer verilmiştir. 4. bölümde belirlenen örneklem veri grubu ile üçlü arbitraj denemeleri yapılmıştır. Sonuç kısmında ise yapılan çalışmaya dair analiz ve değerlendirmeler yer almaktadır.

2. PARA VE KRİPTO PARA PİYASALARI

2.1. Para'nın Tarihçesi ve Kripto Paraların Gelişimi

2.1.1. Para'nın Tarihçesi

Para, ülkelerin egemenlik ve özgürlüklerini simgeleyen bir araç olarak tanımlanabilir ve dilimize, Farsça'da "küçük parça" anlamına gelen "pare" kelimesinden geçmiştir. Lira ise, Latince'de "terazi" anlamına gelen "libre" kelimesinden türemiştir. Paranın ortaya çıkışı ve evrimi incelendiğinde, fiziksel, biyolojik, dini veya yasal temellere dayanmayan, insanlığın ihtiyaçlarına göre şekillenen ve kabul gören bir buluş olduğu anlaşılmaktadır (Şenbayram, 2019).

Para; mal para, madeni para, itibari para ve kağıt para olarak dört ana gruba ayrılmaktadır. Ayrıca, paranın değişim aracı olma, değer ölçme ve değer biriktirme gibi çeşitli işlevleri bulunmaktadır (Sürmen, 2014).

Ticaretin çok da yaygın olmadığı zamanlar olan tarihin ilk dönemlerinde değişim araçları olarak mal takası kullanılmıştır. Bu sistem Aristoteles tarafından ticaretin en eski türü olarak tanımlanmıştır (Tekin ve Oğuz, 2008).

Paranın daha işlevsel bir hale gelmesi, ilk metal paraların kullanımı ile mümkün oldu. Lidyalılar, MÖ VII. yüzyılda altın ve gümüşten yapılmış sikkeleri ticarete kullanmaya başlamışlardır. Bu nedenle paranın Lidyalılar tarafından icat edildiği düşünülmektedir (Türe, 2002).

Orta çağ boyunca, altın ve gümüş gibi değerli metallerin para olarak kullanımı devam etti. Ancak, bu dönemdeki büyük ticaret ağları ve artan ekonomik işlemler, daha taşınabilir ve güvenli değişim araçlarına olan ihtiyacı artırdı. Bu ihtiyacı karşılamak üzere, bankacılık sistemlerinin ve kâğıt paraların ortaya çıkışı, modern para sistemlerinin temelini oluşturdu. Kâğıt paralar, değerli metallerin karşılığı olarak çıkarılan ve daha kolay taşınabilen değişim araçları olarak ekonomik hayatın vazgeçilmez bir parçası haline geldi.

Kâğıt paraların yaygınlaşması, 1694 yılında İngiltere Merkez Bankası'nın kurulmasıyla hız kazanmıştır. 20. yüzyılda itibari paraların kullanımı yaygınlaştı. İtibari para, herhangi bir fiziksel mal veya değerli metal karşılığı olmayan, devlet

otoritelerinin yasalarla belirlediği ve kabul ettiği para birimidir. Bu sistemde, paranın değeri, devletin otoritesi ve ekonomik gücü ile sağlanmaktadır. İtibari para sistemi, merkez bankalarının para politikalarını daha esnek bir şekilde yönetmelerine ve ekonomik istikrarı sağlamalarına olanak tanımıştır.

Sonuç olarak, paranın tarihçesi, insanlık tarihinin ekonomik ve sosyal gelişimini yansıtan zengin ve dinamik bir süreçtir. İlk takas sistemlerinden günümüzün para birimlerine kadar, paranın evrimi, toplumların ekonomik ihtiyaçları ve teknolojik gelişmelerle şekillenmiştir. Bu süreç, gelecekte de ekonomik sistemlerin ve para kullanımının nasıl dönüşeceğine dair önemli ipuçları sunmaktadır.

2.1.2. Kripto Para Piyasası

İngilizce şifreli anlamına gelen crypto ve para anlamına gelen currency kelimelerinin birleşmesi ile ortaya çıkan crypto currency ifadesi şifreli para anlamına gelmektedir. Kripto paralar internet ortamında kullanılan, herhangi bir merkezi otoriteye bağlı kalmaksızın, kendine ait borsasında işlem gören ve sanal cüzdanlarda saklanan bir para birimidir (Çetinkaya, 2018). Bu bağlamda merkezi otoritenin olmamasının sebepleri; ilgili para biriminin farklı sanal cüzdanlarda saklanması, enerji verimliliğinin güçlendirilmesi, daha sağlam bir algoritma kullanılması ile zayıf noktaların yok edilmesi, işlem doğrulamadaki hız süresi, mevcutta yer alan maden ağlarına yenilerinin eklenebilir olması, para üretiminin ve ihracatının rahat olması olarak ele alınabilir.

Kripto paralar yer aldıkları sanal cüzdanlarla belirli şifreler ile saklanabilmektedir ve yine aynı şifreleme mantığı ile kullanılabilir. Söz konusu kripto paralar ile şahıs veya tüzel kişiler para alma, para gönderme, harcama gibi parasal işlemleri ilgili borsalar aracılığı ile kolaylıkla yapabilmektedir.

Kripto paraların temelleri, 1980'lerde David Chaum tarafından geliştirilen, elektronik nakit sistemi alanında öncü olarak bilinen DigiCash gibi sistemlere dayanmaktadır (Chaum, 1981). DigiCash, anonim ve güvenli çevrim içi ödemeler sağlamayı amaçlayan merkezi bir sistemdir.

Bu sistemde, kullanıcılar kimliklerini ifşa etmeden dijital nakit paralar satın alabilmekte ve gönderebilmekteydi. DigiCash, sansür ve manipülasyona karşı dirençli bir ödeme sistemi sunma potansiyeli ile dikkat çekmiş olsa da bazı önemli

dezavantajlara da sahiptir. Merkezi bir yapıya sahip olması, sistemin güvenliğini ve şeffaflığını tek bir otoriteye bağımlı hale getirmiştir. Ayrıca, DigiCash'in işlemleri kullanıcılar tarafından karmaşık ve kullanımı zor olarak değerlendirilmiştir.

DigiCash'in başarısızlığına rağmen, elektronik nakit sistemleri fikri kripto paraların geliştirilmesi için önemli bir temel oluşturmuştur. Chaum'un çalışmaları, anonim ve güvenli dijital ödemelerin mümkün olduğunu göstermiş ve bu alandaki araştırmaları teşvik etmiştir (Narula, 2014).

DigiCash'ten ilham alan bazı diğer elektronik nakit sistemleri şunlardır:

- CyberCash: 1994 yılında piyasaya sürülen CyberCash, çevrim içi ödemeler için yaygın olarak kullanılan, döneminin yaygın bir sistemidir.
- Flooz: 1998 yılında piyasaya sürülen Flooz, döneminde Fransız pazarında popüler olan bir dijital nakit sistemidir.
- Beenz: 1998 yılında piyasaya sürülen Beenz, internetteki mikro ödemeler için kullanılan bir sanal para birimidir.

Bu sistemler, DigiCash'in dezavantajlarını aşmak için çeşitli çözümler sunmaya çalışmışlardır. Örneğin, bazı sistemler merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan çalışan merkezi olmayan bir altyapı kullanırken, anonimliği korumak için farklı kriptografik teknikler kullanmıştır.

1990'larda Wei Dai ve Nick Szabo, DigiCash'in fikirlerini geliştirerek B-money ve Bit Gold gibi anonim ve merkezi olmayan kripto para sistemlerini önermişlerdir (Dai, 1998). Bu sistemler, geleneksel para birimlerine kıyasla daha fazla özgürlük ve kontrol vaat etmektedir.

- B-money: Wei Dai tarafından 1998 yılında önerilen B-money, e-posta yoluyla transfer edilebilen dijital bir altın birimi olarak tasarlanmıştır. Bu sistem, geleneksel, cismi altın gibi sınırlı bir arza sahip olacak şekilde ve enflasyona karşı dirençli olarak tasarlanmıştır (Dai, 1998).
- Bit Gold: Nick Szabo tarafından 1998 yılında önerilen Bit Gold, internet üzerinden kullanılabilen bir dijital para birimi olarak tasarlanmıştır. Bu sistem, kullanıcıların internette mal ve hizmet satın almalarını ve satmalarını sağlamayı amaçlamıştır (Szabo, 1998).

1980'lerin sonlarında ve 1990'ların başında, dijital gizliliğe ve siber özgürlüklere odaklanan Cypherpunk hareketi ortaya çıkmıştır. Bu hareketin öncüleri, sansür ve devlet kontrolüne karşı dirençli bir iletişim ve ticaret altyapısı kurmak için kriptografi ve diğer teknolojileri kullanmaya çalışmışlardır.

Cypherpunk'lar, geleneksel siyasi ve ekonomik sistemlerin bireysel özgürlükleri ve özerkliği tehdit ettiğine inanmaktaydılar. Bu nedenle, sansürsüz ve devlet tarafından kontrol edilmeyen bir ortamda faaliyet gösterebilecek alternatif sistemler geliştirme çalışmaları söz konusu olmuştur.

Cypherpunk hareketi, kripto paraların felsefi temellerini şekillendirmede önemli bir rol oynamıştır. Bu hareketin savunucuları, bireysel özgürlüğe, ekonomik özgürlüğe ve sansürsüz iletişime olan inancını kripto paraların geliştirilmesine yansıtmışlardır. Kripto paralar, Cypherpunk'ların devlet kontrolünden bağımsız ve sansürsüz bir finansal sistem kurma idealinin somut bir örneği olarak görülebilmektedir (Chaum, 1981).

Cypherpunk hareketinin bazı önemli figürleri şunlardır:

- Eric Hughes: Cypherpunk Manifesto'nun yazarı ve anonimlik savunucusu.
- Tim May: Cypherpunk Mailing List'in kurucusu ve kripto para birimi Bitcoin'in ilk savunucularından biri.
- Wei Dai: B-money'nin yaratıcısı ve kripto para birimi kavramının öncülerinden biri
- Nick Szabo: Bit Gold'un yaratıcısı ve akıllı sözleşmelerin geliştiricisi.

2.2. Kripto Para Türleri ve Özellikleri

Kripto paralar son 10 yılda elde ettiği kullanım oranı ile finans dünyasını ve küresel ekonomiyi dönüştürme potansiyeline sahip yeni bir varlık sınıfıdır. Kripto para türleri, işlevlerine, teknik özelliklerine ve kullanım amaçlarına göre çeşitli kategorilere ayrılabilir. Bu kategorilerden bir kısmı şunlardır:

- **Ödeme Paraları:** Bu tür kripto paralar, günlük alışverişlerde ve ticari işlemlerde ödeme aracı olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bitcoin (BTC), Litecoin (LTC) ve Ethereum (ETH) en bilinen ödeme paraları arasındadır.

- **Bitcoin (BTC):** 2009 yılında Satoshi Nakamoto takma adlı bir kişi veya grup tarafından geliştirilen Bitcoin, ilk ve en popüler kripto para birimidir. Bitcoin; sınırlı arzı, merkeziyetsiz yapısı ve güvenli işlem ağı ile bilinir. (Nakamoto, 2009).
- **Litecoin (LTC):** 2011 yılında Charlie Lee tarafından geliştirilen Litecoin, Bitcoin'e benzer bir şekilde çalışır ancak daha hızlı işlem süreleri ve daha düşük işlem ücretleri sunar (Lee, 2011).
- **Ethereum (ETH):** 2015 yılında Vitalik Buterin tarafından geliştirilen Ethereum, sadece bir ödeme aracı olmanın ötesinde, akıllı sözleşmeler ve merkeziyetsiz uygulamalar (DApps) gibi yenilikçi işlevler sunan bir platformdur (Buterin, 2015).
- **Stabil Paralar:** Bu tür kripto paralar, değerlerini sabit tutmak için ABD doları, euro veya altın gibi geleneksel varlıklara sabitlenir. Bu sayede kripto paraların fiyat dalgalanmalarından etkilenmeden değer saklama ve ödeme aracı olarak kullanılmasını sağlarlar. Tether (USDT), USD Coin (USDC) ve Dai (DAI) en bilinen stabil paralar arasındadır.
 - **Tether (USDT):** 2014 yılında iFinex tarafından geliştirilen Tether, 1 ABD Dolarına sabitlenmiş bir stabil paradır (King vd., 2018).
 - **USD Coin (USDC):** 2018 yılında Circle ve Coinbase tarafından geliştirilen USD Coin, 1 ABD Dolarına sabitlenmiş bir stabil paradır (Mylrea vd., 2018).
 - **Dai (DAI):** 2018 yılında MakerDAO tarafından geliştirilen Dai, ETH, USDC ve BUSD gibi birden fazla kripto para birimi ile teminatlandırılmış bir stabil paradır (Ríos, 2020).
- **Altcoinler:** Bitcoin'den sonra geliştirilen tüm kripto paralara altcoin denir. Bu kategoride çok geniş bir yelpazede kripto para türü yer alır. Bazı altcoinler, Bitcoin'e kıyasla daha hızlı ve daha ucuz işlemler sunmayı amaçlarken, akıllı sözleşmeler, merkeziyetsiz finans (DeFi) ve oyun gibi farklı alanlarda yenilikler sunmayı amaçlamaktadır.
 - **Ripple (XRP):** 2012 yılında Ripple Labs tarafından geliştirilen Ripple, uluslararası para transferlerini daha hızlı ve daha ucuz hale getirmeyi amaçlayan bir kripto paradır (Schwartz vd., 2012).

- **Cardano (ADA):** 2015 yılında Charles Hoskinson tarafından geliştirilen Cardano, akademik araştırmalara dayalı olarak geliştirilen ve sürdürülebilir bir blockchain platformudur (Hoskinson, 2015).
- **Dogecoin (DOGE):** 2013 yılında Billy Markus ve Jackson Palmer tarafından şaka amaçlı geliştirilen Dogecoin, internet fenomeni haline gelen ve son zamanlarda büyük bir popülerlik kazanan bir kripto paradır (Markus ve Palmer, 2013).
- **Kullanım Odaklı Kripto Paralar:** Bu tür kripto paralar, belirli bir ürün veya hizmete özel olarak tasarlanmış ve bu ürün veya hizmete erişim veya kullanım için kullanılabilen kripto paralardır. BAT (Basic Attention Token), Filecoin (FIL) ve Enjin Coin (ENJ) en bilinen kullanım odaklı kripto paralar arasındadır.
 - **BAT (Basic Attention Token):** 2017 yılında Brave Software tarafından geliştirilen BAT, Brave web tarayıcısında reklamları görüntüleyen kullanıcıları ödüllendirmek için kullanılan bir kripto paradır (Gibbons vd., 2017).
 - **Filecoin (FIL):** 2017 yılında Protocol Labs tarafından geliştirilen Filecoin, dosyaları merkeziyetsiz bir şekilde depolamak için kullanılan bir kripto paradır (Wilkinson vd., 2017).
 - **Enjin Coin (ENJ):** 2018 yılında Enjin Coin Foundation tarafından geliştirilen Enjin Coin, oyun içi varlıkları dijital varlıklara dönüştürmek ve oyun içi ekonomileri yönetmek için kullanılan bir kripto paradır (Wyatt vd., 2018).

2.3. Kripto Para Borsaları ve İşleyişi

Kripto paralar merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan güvenli ve şeffaf işlemler yapılmasını sağlayan blok zinciri teknolojisi üzerine kuruludur (Nakamoto, 2008). Kripto paraların artan popülaritesi ile birlikte, bu varlıkları alıp satmak için kullanılan kripto para borsaları da gelişmeye başlamıştır.

Kripto para borsaları, tıpkı hisse senedi borsaları gibi, yatırımcıların kripto paraları alıp satabilecekleri platformlardır. Bu borsalar, farklı kripto para türlerini ve çeşitli işlem çiftlerini (örneğin Bitcoin/Tether, Ethereum/USD) sunar. Yatırımcılar, bu

borsalar üzerinden hesap açarak para yatırabilir ve istedikleri kripto paraları satın alabilirler.

Kripto para borsaları, emir tabanlı bir sistem ile çalışır. Yatırımcılar, satın almak veya satmak istedikleri kripto para için bir fiyat ve miktar belirterek emir verirler. Alış ve satış emirleri bir eşleşme motorunda karşılaştırılır ve emirler eşleştiğinde işlem gerçekleşir. Borsalar, bu işlemlerden komisyon alarak gelir elde eder.

Kripto para borsalarının türleri ise şu şekildedir:

Merkezi Borsalar (CEX): Bu borsalar, merkezi bir şirket tarafından yönetilir ve genellikle daha fazla kullanıcı dostu bir arayüze ve daha geniş bir kripto para yelpazesine sahiptir (Chen, 2018). Binance, Coinbase ve Kraken en popüler CEX'lerden bazılarıdır.

Merkezi Olmayan Borsalar (DEX): Bu borsalar, herhangi bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan blok zinciri teknolojisi üzerinden işlev görür. DEX'ler genellikle daha az likiditeye sahip olsa da, daha fazla güvenlik ve anonimlik sunabilirler (Brown, 2019). Uniswap ve SushiSwap en popüler DEX'lerden bazılarıdır.

Aracı Borsalar (Broker): Bu platformlar, yatırımcıların kripto paraları doğrudan satın almasına veya satmasına izin vermez, bunun yerine yatırımcılar broker aracılığıyla işlem verirler. eToro ve Robinhood en popüler aracı borsalardan bazılarıdır.

Kripto para borsalarına örnek verecek Binance, Bybit, Coinbase Exchange, Huobi Global, FTX, Kraken, OKX, Coinbase Pro, Bithumb ve Upbit örnek verilebilir.

2.4. Kripto Paraların Avantaj ve Dezavantajları

2.4.1. Avantajlar

- **Artırılmış Güvenlik ve Şeffaflık:** Kripto paralar, blockchain teknolojisi kullanılarak güvenli ve şeffaf bir şekilde işlem görmektedir. Blockchain, tüm işlemlerin halka açık bir defterde kaydedildiği ve tüm katılımcılar tarafından doğrulanabildiği dağıtılmış bir defter teknolojisidir. Bu sayede, kripto paraların sahteciliği veya manipülasyonu oldukça zor hale gelmektedir. (Andoni ve García, 2021).

- **Düşük İşlem Ücretleri:** Kripto paralar, geleneksel para birimlerine kıyasla daha düşük işlem ücretleri sunmaktadır. Bunun sebebi, kripto para işlemlerinin merkezi bir otorite tarafından değil, doğrudan taraflar arasında gerçekleştirilmesidir. (Barber vd., 2019).
- **Hızlı ve Sınır Ötesi İşlemler:** Kripto paralar, dünyanın her yerindeki kullanıcılara hızlı ve sınır ötesi işlemler yapma imkanı sunmaktadır. İşlemler genellikle birkaç dakika içinde tamamlanır ve herhangi bir aracı kuruma ihtiyaç duyulmaz. (Chen, 2018).
- **Artırılmış Gizlilik:** Kripto paralar, kullanıcıların kimlik bilgilerini ifşa etmeden işlem yapmalarını sağlayan bir anonimlik düzeyi sunmaktadır. Bu özellik, özellikle finansal gizliliğe önem veren kullanıcılar için önemli bir avantaj olabilir. (Andoni ve García, 2021).
- **Merkeziyetsizlik:** Kripto paralar, herhangi bir merkezi otorite tarafından kontrol edilmemektedir. Bu durum, kripto paraların sansür veya manipülasyona karşı daha dirençli olmasını ve kullanıcıların kendi paraları üzerinde daha fazla kontrol sahibi olmasını sağlar. (Barber vd., 2019).

2.4.2. Dezavantajlar

- **Volatilité:** Kripto paralar, geleneksel para birimlerine kıyasla oldukça yüksek bir volatilitéye sahiptir. Bu durum, kripto paraların fiyatlarının kısa sürede büyük dalgalanmalara maruz kalmasına neden olmaktadır. (Chen, 2018).
- **Düzenleme Bulunmaması:** Kripto paralar, hala yeni ve gelişmekte olan bir varlık sınıfı olması nedeniyle birçok yasal belirsizlikle karşı karşıyadır. Farklı ülkelerde kripto paraların durumu ve düzenlemesi değişiklik göstermektedir. (Andoni ve García, 2021).
- **Siber Güvenlik Riskleri:** Kripto paralar, siber saldırılara karşı oldukça hassastır. Bu durum, kripto para cüzdanlarının ve borsalarının siber saldırılara uğrama riski taşıdığı anlamına gelmektedir. (Barber vd., 2019).
- **Yasa Dışı Faaliyetler:** Kripto paraların anonimliği, bazı yasa dışı faaliyetler için kullanılmasına neden olabilmektedir. Kara para aklama ve terör finansmanı gibi yasa dışı faaliyetler için kripto paraların kullanımı önemli bir endişe kaynağıdır. (Andoni ve García, 2021).

- **Teknik Bilgi Gerekliliği:** Kripto paraları kullanmak için belirli bir teknik bilgi düzeyi gerekmektedir. Bu durum, kripto paraların tüm kullanıcılar için erişilebilir olmasını zorlaştırabilmektedir. (Barber vd., 2019).

3. ARBİTRAJ

3.1. Arbitraj Nedir?

Arbitraj, ele alınan ekonomik varlıklara dair piyasalardaki fiyat farklılıklarından yararlanarak riskin minimum olduğu düzende kâr etme işlemidir (Covel, 2008). Bu fiyat farklılıkları, coğrafi konum, zamanlama, varlık türü veya piyasa bilgisizliği gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Bu işlem genellikle düşük riskli olarak kabul edilir, çünkü varlıkların aynı anda farklı fiyatlardan alınıp satılması yoluyla kazanç sağlanır (Hull, 2012). Arbitraj uygulayıcıları bu fiyat farklılıklarını tespit ederek ve düşük fiyattan satın alıp yüksek fiyattan satarak kâr elde ederler (Merton, 1973).

Arbitraj işlemi, aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir:

- Fiyat Farklarının Tespiti: Arbitrajcı, farklı piyasalarda veya zaman dilimlerinde varlık fiyatları arasındaki farkları tespit eder.
- Varlığın Düşük Fiyattan Alınması: Arbitrajcı, varlığı düşük fiyatlı piyasadan veya zaman diliminden satın alır.
- Varlığın Yüksek Fiyattan Satılması: Arbitrajcı, aynı varlığı yüksek fiyatlı piyasada veya ileriye dönük bir zaman diliminde satar.
- Karın Gerçekleşmesi: Fiyat farkından doğan kar, arbitrajcı tarafından risksiz olarak elde edilir (Ross, Westerfield, Jaffe, ve Jordan, 2016).

Arbitraj işleminde ele alınabilecek ekonomik varlıklar döviz para birimleri, kripto paralar, menkul kıymet değerleri, ticari mallar gösterilebilir (Seyidoğlu, 2021).

Arbitraj işlemi farklı arbitraj türleri ile yapılabilmektedir. Bunlar:

- Mekansal Arbitraj: Aynı varlığın farklı coğrafi konumlarda farklı fiyatlarla satılmasından yararlanır. Örneğin, bir elektronik cihazın bir ülkede diğerine göre daha düşük fiyata satıldığını gören bir arbitrajcı, cihazı düşük fiyattan satın alıp yüksek fiyattan satarak kâr elde edebilir (Berk, 2008).
- Zamansal Arbitraj: Aynı varlığın fiyatının zamanla değişmesinden yararlanır. Örneğin, bir hisse senedinin fiyatının gelecekte artacağını düşünen bir arbitrajcı, hisse senedini şu anda satın alıp daha sonra daha yüksek fiyattan satarak kâr elde edebilir (Deebs ve Easley, 1996).

- İstatistiksel Arbitraj: Karmaşık matematiksel modeller ve algoritmalar kullanarak piyasadaki fiyat anormalliklerini tespit etmeye odaklanır. Arbitraj uygulayıcıları bu anormallikleri düşük fiyattan satın alıp yüksek fiyattan satarak kâr elde etmeye çalışırlar (Haugen, 2009).
- Risk Arbitrajı: Bir şirketin bir başka şirket tarafından devralınma olasılığından yararlanır. Arbitraj uygulayıcıları devralınacak şirketin hisselerini satın alarak ve devralma gerçekleştiğinde hisselerin değerinin artmasını bekleyerek kâr elde edebilirler (Damodaran, 2009).
- Döviz Arbitrajı: Farklı para birimleri arasındaki kur farklılıklarından yararlanır. Örneğin, bir doların bir euroya göre daha düşük fiyata satıldığını gören bir arbitrajcı, doları satın alıp euroya çevirerek kâr elde edebilir (Jorion, 2010).
- Üçlü Arbitraj: Üç farklı para birimi arasında ilgili paraların kur farklılıklarından yararlanır. Arbitraj uygulayıcıları ekonomik varlığın kurlarındaki farklılıkları kullanarak ekonomik varlık alıp satarak kâr elde edebilirler (Melnick ve Merton, 1983).

Arbitraj işlemi, arbitraj uygulayıcılarına fayda, avantaj sağladığı gibi dezavantaj, risk de getirebilir. Burada hem arbitraj işleminde arbitraja konu ekonomik varlığı iyi analiz etmek hem de arbitraj işleminin türünü iyi belirlemek gerekir. Arbitraja ilişkin faydalar ve riskler şu şekildedir:

- Faydaları
 - Piyasa verimliliğini artırır,
 - Fiyat keşfini kolaylaştırır,
 - Yatırımcılar için fırsatlar sunar
- Riskleri
 - Rekabet,
 - Fiyat dalgalanmaları,
 - İşlem maliyetleri
 - Yasal sınırlamalar,

Arbitraj işlemine bir örnek: New York Borsası'nda (NYSE) işlem gören bir hisse senedinin fiyatı 100 USD, aynı hisse senedinin fiyatı Euro (EUR) cinsinden 85 EUR olduğu varsayımında döviz kurunun da $1 \text{ USD} = 0.84 \text{ EUR}$ olduğu var sayılsın. Arbitraj işlemini yapanlar, bu fiyat farkından yararlanarak aşağıdaki adımları izler:

- **Fiyat Farkının Tespiti:** Arbitrajcı, aynı varlığın farklı piyasalarda veya döviz kurlarında farklı fiyatlarını tespit eder. Bu örnekte NYSE'de 100 USD olan hisse senedinin fiyatının EUR cinsinden 85 EUR olduğunu tespit eder.
- **Varlığın Düşük Fiyattan Alınması:** Arbitrajcı, varlığı düşük fiyatlı piyasadan veya döviz kurundan satın alır. Örnekte NYSE'de hisseyi 100 USD'den satın alır.
- **Varlığın Başka Bir Varlığa Çevrilmesi:** Arbitrajcı, döviz kurunu kullanarak 100 USD'yi 84 EUR'ya çevirir ($100 \text{ USD} * 0.84 \text{ EUR/USD}$).
- **Varlığın Yüksek Fiyattan Satılması:** Aynı hisse senedini 85 EUR'dan satar.
- **Karın Gerçekleşmesi:** Döviz dönüşümünden sonra arbitrajcı 1 EUR kar elde eder ($85 \text{ EUR} - 84 \text{ EUR}$).

3.2. Üçlü / Üçgen Arbitraj

Arbitraj çeşitlerinden biri olan üçlü arbitraj üç farklı ekonomik değer arasındaki kâr amaçlı değişim işlemine denir. Örneğin euro, dolar ve Türk lirası arasında arbitraj işlemi kurlara bağlı olarak karlılık bazında alım satım işlemi ile gerçekleşir. Üç farklı döviz kurunun birbirine olan oranındaki tutarsızlıkları kullanarak kar elde etmeyi amaçlar. Üçlü arbitraj işlemi, genellikle bilgisayar programları ve algoritmalar tarafından hızlı bir şekilde gerçekleştirilir (Hull, 2018).

Üçlü arbitraj işlemi, döviz kurlarındaki uyumsuzluklardan yararlanmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu işlemde, başlangıç dövizini belirlenir ve sırasıyla iki farklı döviz çevrilir, ardından üçüncü döviz tekrar başlangıç dövizine çevrilir. İşlemler sonucunda başlangıç dövizinden daha fazla miktarda döviz elde edilirse kar elde edilmiş olur. Üçlü arbitraj işlemi, aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir:

- **Başlangıç Dövizini Belirleme:** Arbitrajcı, elinde bulunan dövizini belirler. Bu döviz genellikle işlem yapılacak ilk dövizdir.
- **İkinci ve Üçüncü Dövizleri Seçme:** Arbitrajcı, başlangıç dövizini iki farklı döviz çevirir ve ardından bu dövizleri tekrar başlangıç dövizine çevirir. Bu işlemde üç farklı döviz kuru kullanılır.
- **Döviz Çiftleri Arasında Fiyat Farklarını Tespit Etme:** Arbitrajcı, üç farklı döviz kuru arasındaki fiyat tutarsızlıklarını tespit eder. Bu tutarsızlıklar, arbitraj işleminin temelini oluşturur.

- D v zleri  evirme: Arbitrajc , başlangıç dövizini ikinci dövize çevirir, ikinci dövizi     nc  dövize çevirir ve son olarak     nc  dövizi tekrar başlangıç dövizine çevirir.
- Kar Elde Etme: Eğer      döviz dönüşümü sonucunda başlangıç dövizinden daha fazla miktarda döviz elde edilirse, arbitrajc  bu farkı kar olarak elde eder (Hull, 2018).

Her yatırım stratejisinde olduğu gibi,      arbitrajın da dikkat edilmesi gereken bazı yönleri vardır. Öncelikle,      arbitraj işlemleri çok hızlı yapılmalıdır, çünkü döviz kurları sürekli olarak değişir ve kısa sürede dengelenebilir. Bu nedenle, hızlı işlem yapabilen platformlar ve algoritmalar kullanmak  onemlidir. İkinci olarak, işlem maliyetleri g  z   n nde bulundurulmalıdır. Döviz alım-satım maliyetleri karı azaltabilir ve işlemden elde edilecek getiriye etkileyebilir.     nc  olarak, piyasa koşullarının sürekli izlenmesi gereklidir. Döviz piyasaları oldukça dinamik ve volatil olduğu için piyasa koşullarının sürekli izlenmesi ve uygun zamanda işlem yapılması  onemlidir (Ross vd., 2016).

     arbitraj işlemleri, döviz piyasalarının etkinliğini artırarak piyasa fiyatlarının daha doğru bir şekilde oluşmasına katkı sa lar. Arbitrajcılar, döviz kurları arasındaki uyumsuzlukları kullanarak piyasadaki fiyat dengesizliklerini düzeltirler. Bu, döviz piyasalarının daha şeffaf ve rekabetçi olmasına yardımcı olur. Aynı zamanda, arbitraj işlemleri piyasa likiditeyi artırır ve işlem hacmini yükseltir (Hull, 2018).

     arbitraj  rne i:

- Başlangıç dövizi: USD (Amerikan Doları)
- İkinci döviz: EUR (Euro)
-     nc  döviz: JPY (Japon Yeni)

Bu döviz kurları ışığında kurgulanan arbitraj  rne i:

- 1 USD = 0.84 EUR
- 1 EUR = 130 JPY
- 1 USD = 110 JPY

Arbitrajc , bu döviz kurları arasındaki uyumsuzluğu fark ederek aşağıdaki adımları izler:

- USD'yi EUR'ya  evirme: Arbitrajc , 1 USD'yi 0.84 EUR'ya çevirir.

- EUR'yu JPY'ye Çevirme: Ardından, 0.84 EUR'yu 109.2 JPY'ye çevirir (0.84 EUR * 130 JPY/EUR).
- JPY'yi USD'ye Çevirme: Son olarak, 109.2 JPY'yi 0.9936 USD'ye çevirir (109.2 JPY / 110 JPY/USD).

Bu işlem sonucunda, arbitrajcı başlangıçta 1 USD'ye sahipken işlem sonunda 0.9936 USD'ye sahip olur. Bu örnekte, arbitraj işlemi kar getirmemiştir. Ancak, kurlar daha avantajlı olursa arbitrajcı risksiz bir şekilde kar elde edebilir (Ross vd., 2016).

Aşağıdaki döviz kurları verildiğinde:

- 1 USD = 0.85 EUR
- 1 EUR = 135 JPY
- 1 USD = 110 JPY

Arbitrajcı, bu döviz kurları arasındaki uyumsuzluğu fark ederek aşağıdaki adımları izler:

- USD'yi EUR'ya Çevirme: Arbitrajcı, 1 USD'yi 0.85 EUR'ya çevirir.
- EUR'yu JPY'ye Çevirme: Ardından, 0.85 EUR'yu 114.75 JPY'ye çevirir (0.85 EUR * 135 JPY/EUR).
- JPY'yi USD'ye Çevirme: Son olarak, 114.75 JPY'yi 1.0432 USD'ye çevirir (114.75 JPY / 110 JPY/USD).

Bu işlem sonucunda, arbitrajcı başlangıçta 1 USD'ye sahipken işlem sonunda 1.0432 USD'ye sahip olur. Bu durumda arbitrajcı, risksiz bir şekilde 0.0432 USD kar elde etmiştir (1.0432 USD - 1 USD).

Üçlü arbitraj fırsatları, aşağıdaki gibi oran çarpımları aracılığı ile hesaplanabilir (Fenn ve diğerleri, 2009).

$$\gamma(t) = \prod_{i=1}^3 r_i(t) \quad (3.1)$$

Burada $r_i(t)$ t zamanındaki kripto para değerini göstermektedir. Bir arbitraj fırsatı teorik olarak $\gamma > 1$ ile mümkündür, ancak bu hesaplama sadece arbitraj fiyatında işlem gördüğünde geçerlidir (Fenn vd.,, 2009).

Her bir arbitraj fırsatı iki farklı matematiksel işlemle hesaplanabilmektedir. Bunlar dolar kurları üzerinden örnek verilecek olursa;

EUR/USD, USD/CHF VE EUR/CHF arasında üçlü arbitraj hesaplayacağımızı var saydığımız senaryoda arbitraj işlemi $EUR \rightarrow USD \rightarrow CHF \rightarrow EUR$ şeklindedir aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.*

$$\gamma_1(t) = EUR/USD_{bid}(t) \cdot USD/CHF_{bid}(t) \cdot \frac{1}{EUR/CHF_{ask}(t)} \quad (3.2)$$

İkinci olası arbitraj işlemi, aynı senaryo için şu şekilde hesaplanır:

$$\gamma_2(t) = \frac{1}{EUR/USD_{ask}(t)} \cdot \frac{1}{USD/CHF_{ask}(t)} \cdot EUR/CHF_{bid}(t) \quad (3.3)$$

Her iki hesaplama da ilgili döviz kuru ve setleri için olası üçlü arbitraj işlemlerini tanımlar.

*Bid: Alış, Ask: Satış. Uluslararası finans piyasalarında bid ve ask terimleri kullanıldığı için formüllerde de bu şekilde yer almıştır.

4. KRİPTO PARA PİYASALARINDA ÜÇLÜ ARBİTRAJ ÖRNEĞİ

4.1. Veri Toplama, İşleme ve Analiz Süreci

Veri toplama süreci öncelikli olarak verilerin belirlenmesi aşamasını barındırmaktadır. Veriler, aralarında arbitraj işlemi yapılabilecek ikililerin var olduğu kripto paralar arasından seçilerek Binance kripto para borsasının erişime açık olan verileri kullanılmıştır. Toplanan bu veriler 1'er dakikalık frekanslarda kripto paraların açılış, kapanış, en yüksek ve en düşük fiyat değerlerini içermektedir.

Belirlenen veriler ETH-BTC, BTC-USDT, ETH-USDT, DOT-ETH, DOT-BTC ikililerine ilişkin veriler olup ilgili verilerin tarih aralığı ETH-BTC, BTC-USDT, ETH-USDT için 17 Ağustos 2017 ve 18 Mayıs 2024 ve ETH-BTC, DOT-ETH, DOT-BTC için 12 Kasım 2021 ile 18 Mayıs 2024 arasındadır.

4.1.1. Veri Türü, Veri İşleme ve Hesaplama

Veri toplama, işleme ve analiz süreçlerinin tamamında Python programlama dili kullanılmıştır. CSV formatında elde edilen veriler Python Pandas kütüphanesi aracılığı ile analiz edilmek üzere sisteme veri çerçevesi (data frame) olarak yüklenmiştir. 1'er dakikalık frekanslarla yer alan verilerin tamamı tarih kolonu dışında float veri tipinde tutulmaktadır. Yüklenen bu data framelerde veri temizleme uygulanmıştır.

Temizlenen verilerde ihtiyaç duyulan kolonlar için veri dönüştürme işlemi yapılmıştır. Örnek olarak milisaniye cinsinden verilen ve unix zaman damgalaması olarak alınan tarih sütunu tarih/zaman formatına dönüştürülmüştür. Veriler kripto paralara dair açılış ve kapanış fiyatlarını barındırmaktadır. Arbitraj fırsatlarının analiz edilebilmesi için alış ve satış fiyatları çeşitli komisyon oranı senaryoları ile hesaplanmıştır. Bu senaryolar yüz binde 10, 25, 50 ve 75 olarak belirlenmiştir. Bu senaryolarla hazırlanan alış ve satış fiyatlarına ilişkin hesaplamalar yapıldıktan sonra kapanış fiyatı üzerinden hesaplanan alış ve satış fiyatları ile üçlü arbitraj fırsatı değerlendirilmesi yapılmıştır. Veriler tarih kolonu ile endekslenmiştir ve yine tarih kolonu baz alınarak sadece kesişim tarihleri arasındaki verilerin arbitraj fırsatlarının hesaplanması sağlanmıştır.

Arbitraj fırsatı için belirlenen veri setinden 2 arbitraj senaryosu çıkartılmıştır.

- 1. Senaryo **ETH → BTC → USDT → ETH** arbitraj döngüsüdür.

Kullanılan veri setleri ETH-BTC, BTC-USDT, ETH-USDT kur verileridir. Hesaplama yöntemleri şu şekildedir:

Hesaplama 1;

$$\gamma_1(t) = ETH/BTC_{bid}(t) \cdot BTC/USDT_{bid}(t) \cdot \frac{1}{ETH/USDT_{ask}(t)} \quad (4.1)$$

Hesaplama 2;

$$\gamma_2(t) = \frac{1}{ETH/BTC_{ask}(t)} \cdot \frac{1}{BTC/USDT_{ask}(t)} \cdot ETH/USDT_{bid}(t) \quad (4.2)$$

- 2. Senaryo **DOT → ETH → BTC → DOT** arbitraj döngüsüdür.

Kullanılan veri setleri DOT-ETH, ETH-BTC, DOT-BTC kur verileridir. Hesaplama yöntemleri şu şekildedir:

Hesaplama 1;

$$\gamma_3(t) = DOT/ETH_{bid}(t) \cdot ETH/BTC_{bid}(t) \cdot \frac{1}{DOT/BTC_{ask}(t)} \quad (4.3)$$

Hesaplama 2;

$$\gamma_4(t) = \frac{1}{DOT/ETH_{ask}(t)} \cdot \frac{1}{ETH/BTC_{ask}(t)} \cdot DOT/BTC_{bid}(t) \quad (4.4)$$

4.1.2. Veri Analizi

Sisteme yüklenen, data frame (df) olarak isimlendirilen veri setleri matplotlib kütüphanesi aracılığı ve Python programlama dili ile analizler kapsamında görselleştirilmiştir.

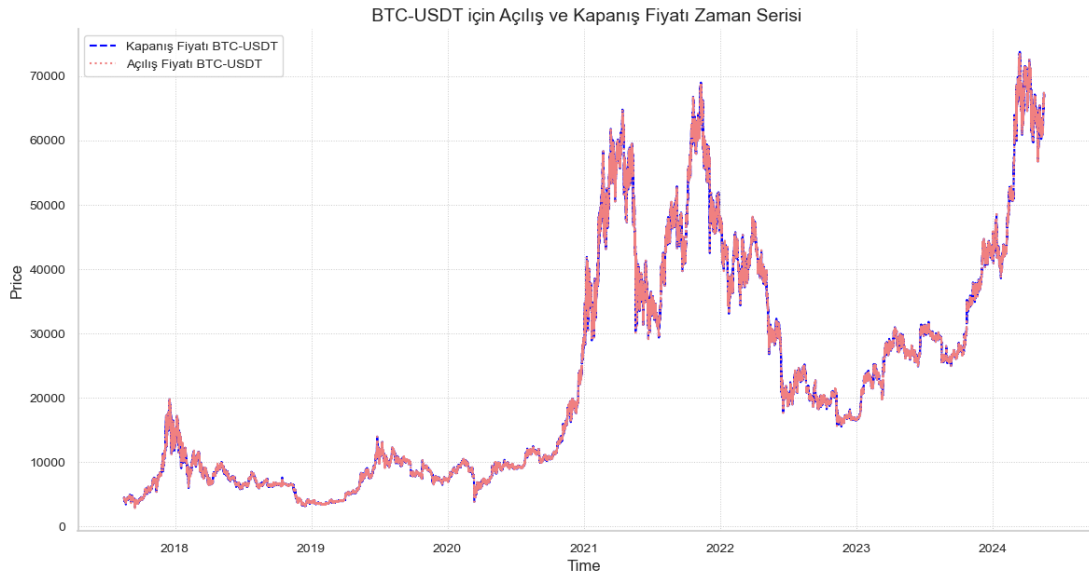
ETH-BTC (df1) arasındaki açılış ve kapanış fiyatlarının 2018 yılında en üst seviyede seyrettiği, 2020 yılında bu fiyatların en alt seviyeyi gördüğü, 2022-2024 yılları

arasında ortalama döneme girdiği ve yavaşça düşmeye başladığı görülmektedir. Açılış ve kapanış fiyatları arasındaki en marjinal farklılığın da 2018 yılında olduğu görülmektedir (Şekil 4.1).



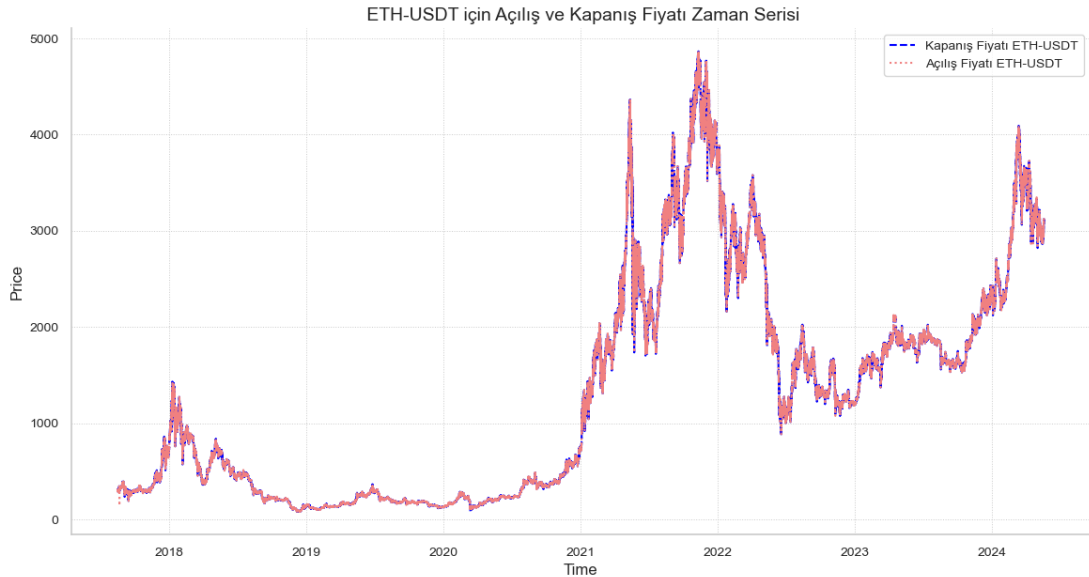
Şekil 4.1: ETH - BTC yıllık açılış ve kapanış fiyat zaman serisi

BTC-USDT (df2) arasındaki açılış ve kapanış fiyatları incelendiğinde açılış ve kapanış ve fiyatlarının 2021 yılında yükselişe geçtiği, 2021 ve 2022 yılları arasında fiyat dalgalanmalarının yaşandığı görülmüştür. 2023 yılında açılış ve kapanış fiyatlarında düşüş yaşanmıştır. 2023-2024 yılı arasında ise BTC_USDT arasındaki açılış ve kapanış fiyatlarının tekrar yükselerek 2024 yılında tarihinin en üst noktasına eriştiği görülmüştür (Şekil 4.2).



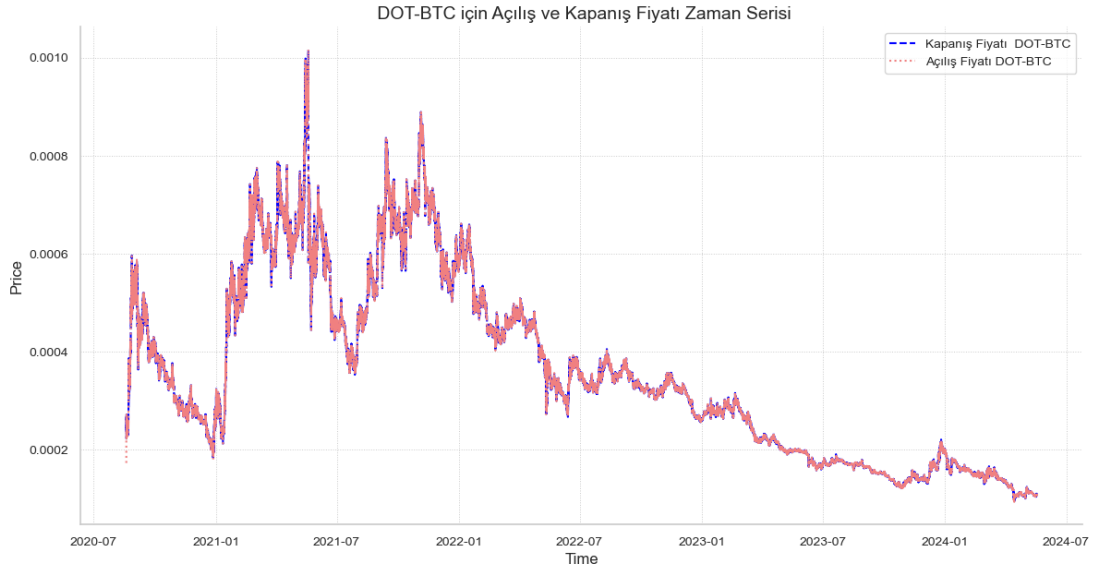
Şekil 4.2: BTC-USDT yıllık açılış ve kapanış fiyat zaman serisi

ETH-USDT ikilisi ele alındığında 2018-2020 yılları arasında açılış ve kapanış fiyatlarının düşük seviyede seyrettiği 2020 yılında yükselmeye başladığı ve 2021 yılı itibari ile yükselmeye hız kazandığı gözlemlenmiştir. 2022 yılında en yüksek seviyesine ulaşan fiyatlar 2022 en düşük seviyesinde dahi 2020 yılının düşük seviyesine inmediği gözlemlenmektedir (Şekil 4.3).



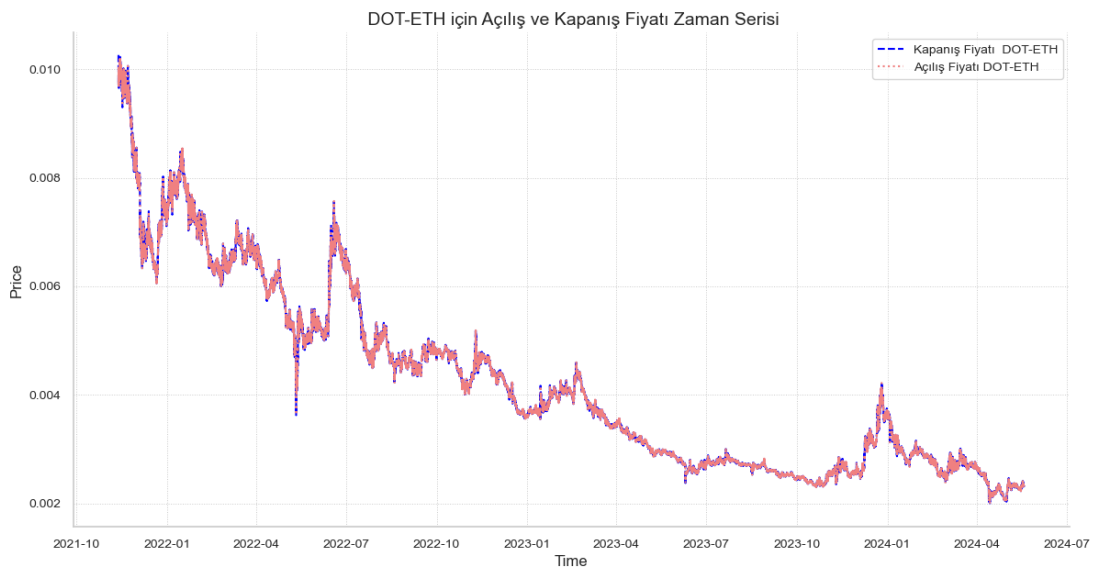
Şekil 4.3: ETH-USDT yıllık açılış ve kapanış fiyat zaman serisi

DOT-BTC için elde edilen veriler 2020-2024 tarihleri arasındadır. 2020 yılında nispeten düşük bir değere sahip olan kur 2021 yılında tarihinin en yüksek seviyesine gelmiştir. 2021 mayıs ayı sonrasında hızla düştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: DOT-BTC yıllık açılış ve kapanış fiyat zaman serisi

DOT-ETH kuru için elde edilen veriler 2021 – 2024 yılları arasındadır. 2021 yılında en yüksek seviyede olan fiyatların 2024 yılına kadar düşerek varlığını devam ettirdiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: DOT-ETH yıllık açılış ve kapanış fiyat zaman serisi

4.2. I. Arbitraj Senaryosu

Hatırlatma: İlgili arbitraj senaryosu **ETH → BTC → USDT → ETH**'dir. Kullanılan veri setleri ETH-BTC, BTC-USDT, ETH-USDT kur verileridir.

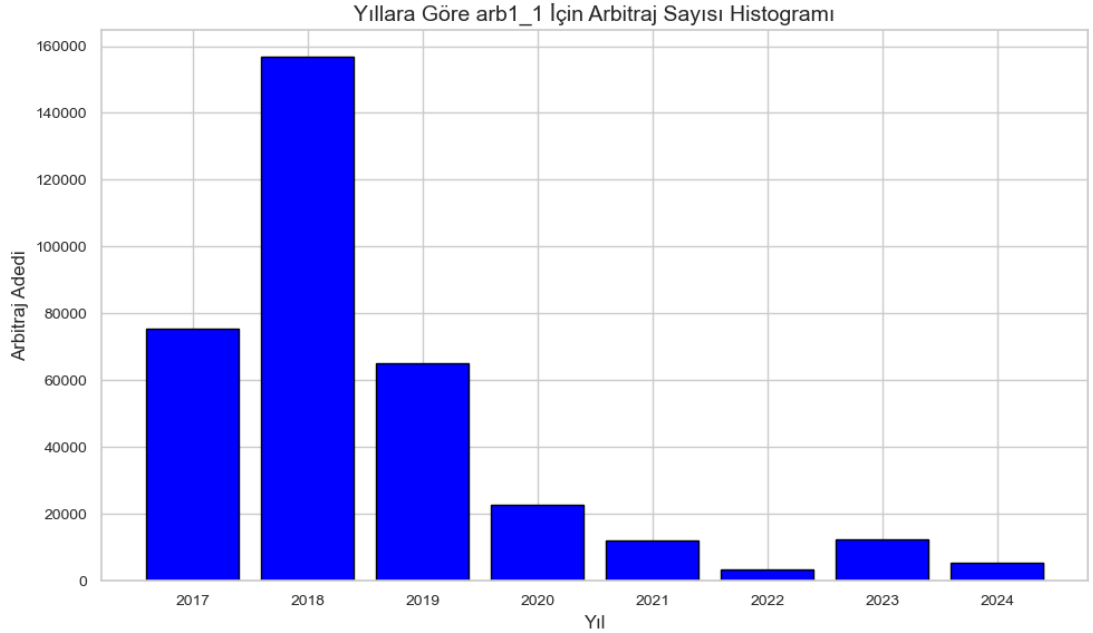
4.2.1. γ_1 ile Hesaplama

İlgili hesaplama Denklem (4.2) kullanılarak yapılmıştır:

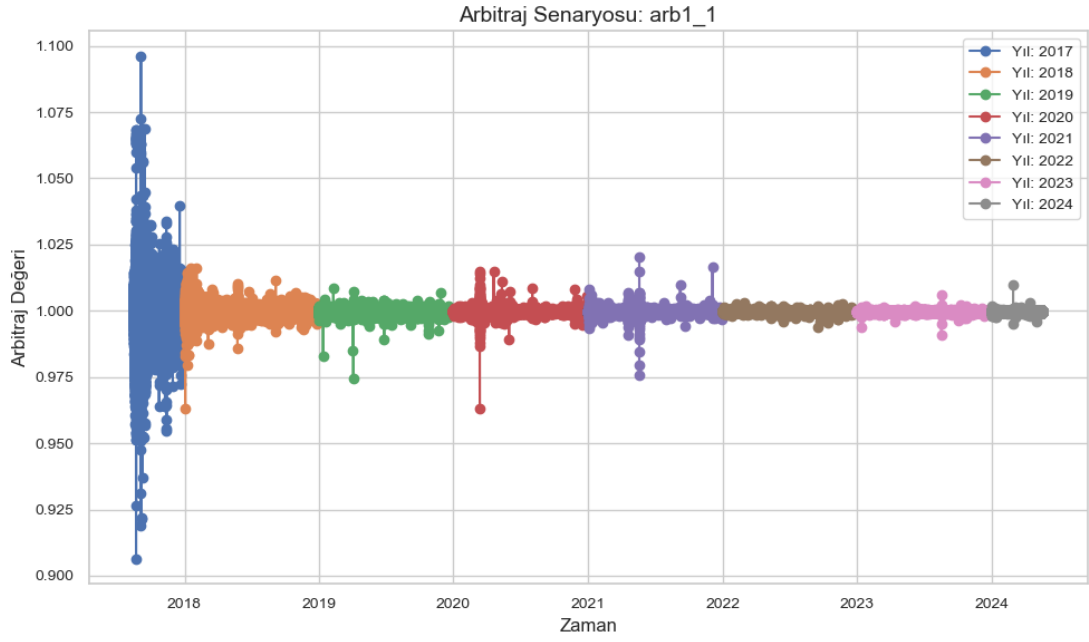
Hesaplamalar 0.0001, 0.00025, 0.0005, 0.00075 komisyon oranları baz alınarak yapılmıştır.

- **0.0001'lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

2017 yılında 75 bin seviyesinde seyreden arbitraj sayısının 2018 yılında 157 bin seviyesine çıktığı gözlemlenmiştir. 2019 yılında 65 bin olan arbitraj fırsatının yıllar içerisinde düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.6-4.7).

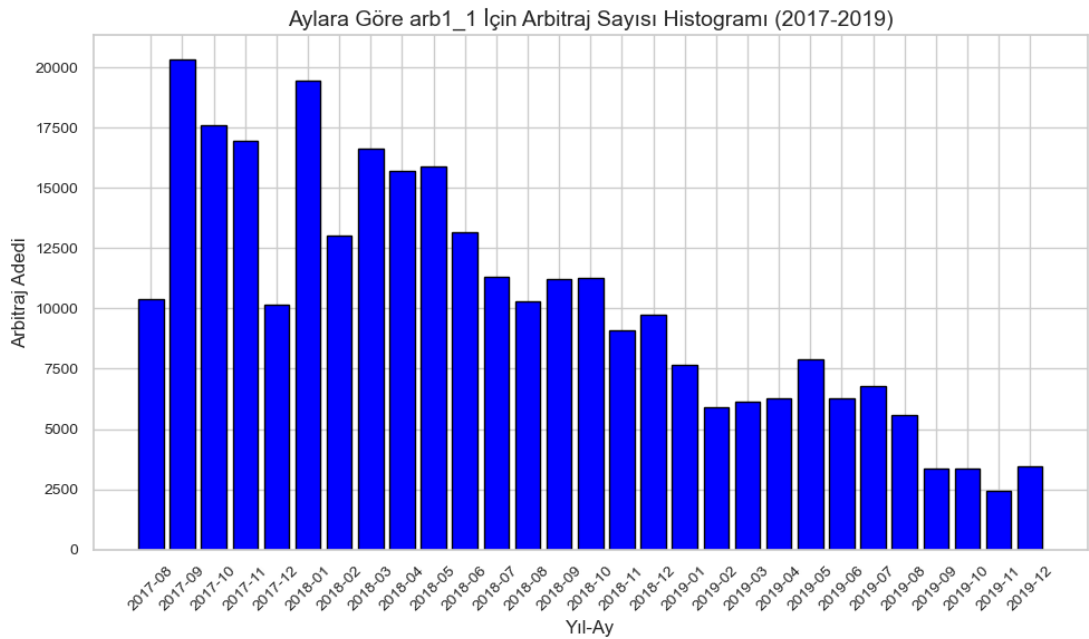


Şekil 4.6: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,0001 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.7: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,0001 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

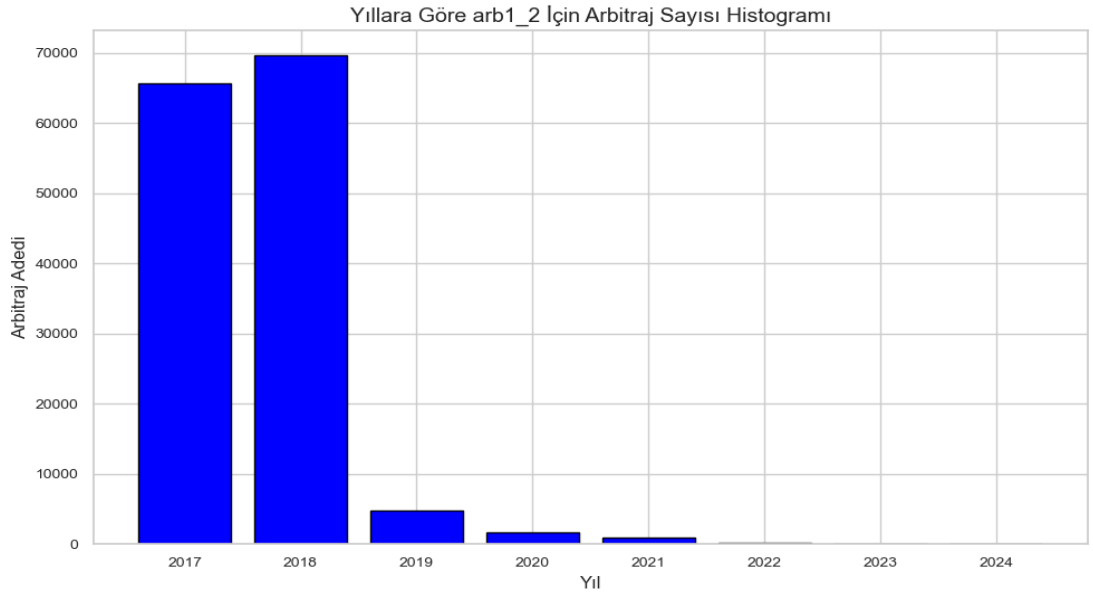
Arbitraj fırsatı sayısının yüksek olduğu 2017 ve 2018 yılları ay bazında incelenecek olursa; en yüksek arbitraj fırsatının 20319 adet ile 2017 Eylül ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük arbitraj fırsatının 2418 adet ile 2019 yılı Kasım ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).



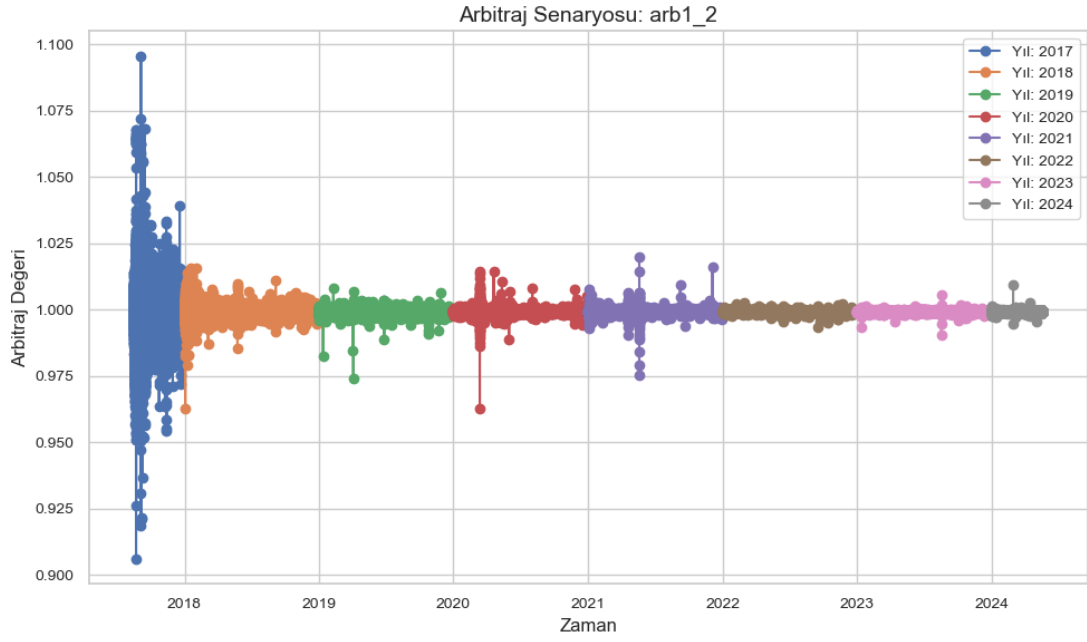
Şekil 4.8: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,0001 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.00025’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

0.00025 komisyonlu satış fiyatı üzerinden hesaplanan arbitraj hesaplamasında 2017 ve 2018 yıllarında 60bin üzerinde arbitraj fırsatı söz konusu iken 2019 yılında bu sayı radikal bir düşüş yaşamış ve 4705 adet arbitraj fırsatı gözlemlenmiştir. Bu sayının yıllar içerisinde düşüş yaşadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.9-4.10).

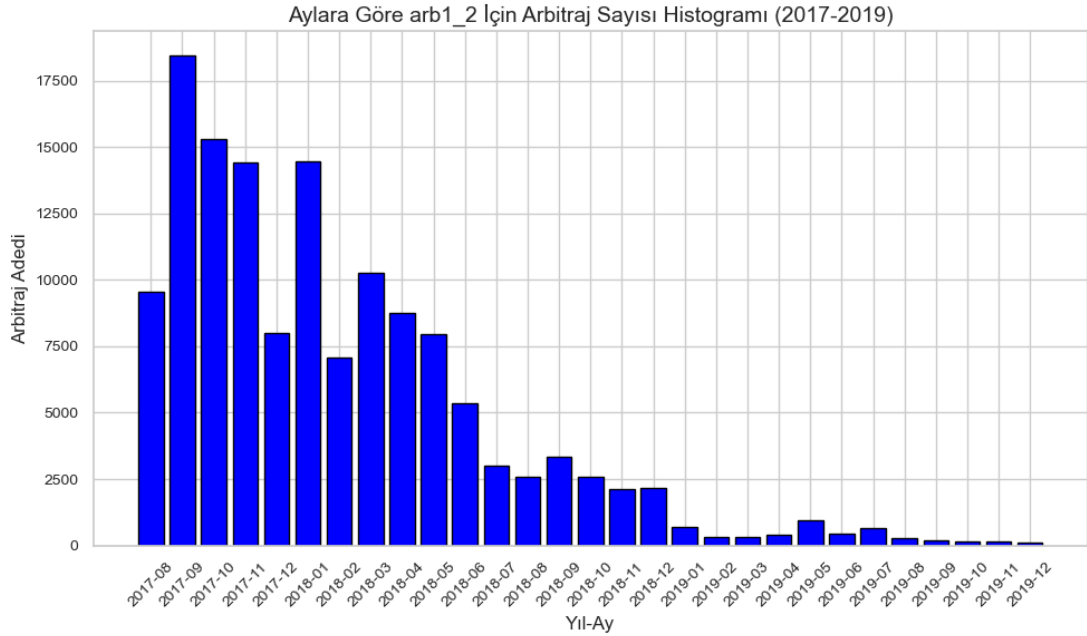


Şekil 4.9: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,00025 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.10: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,00025 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

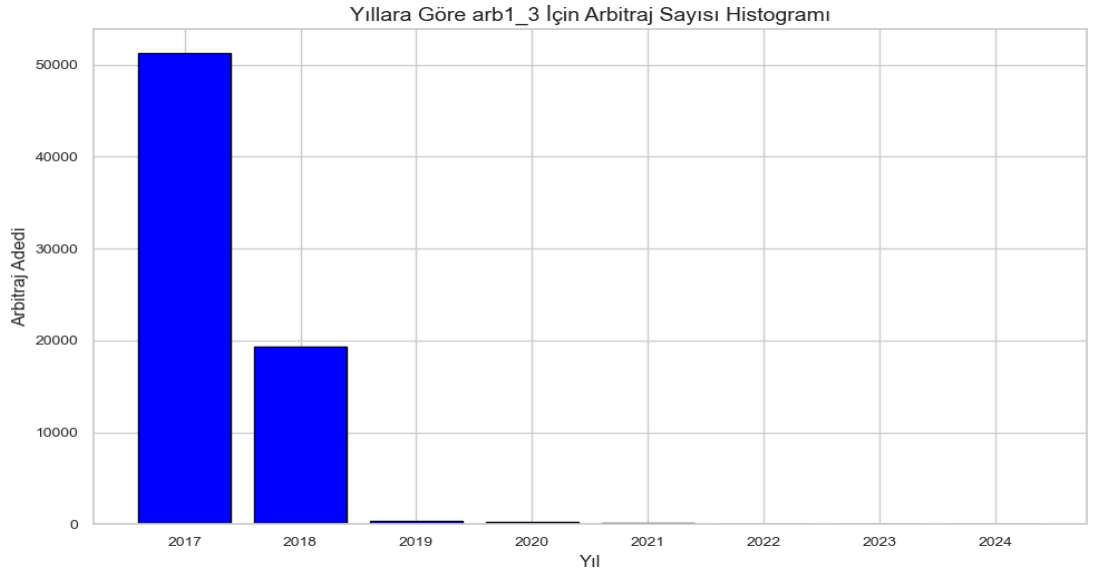
Yüksek arbitraj fırsatının çokluğundan dolayı 2017 ve 2018 yıllarındaki arbitraj fırsatları ay bazında incelenecek olursa; en yüksek arbitraj fırsatının 18436 fırsat ile 2017 Eylül ayında; en düşük arbitraj fırsatının ise 2019 yılının Aralık ayında 102 adet ile gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4.11).



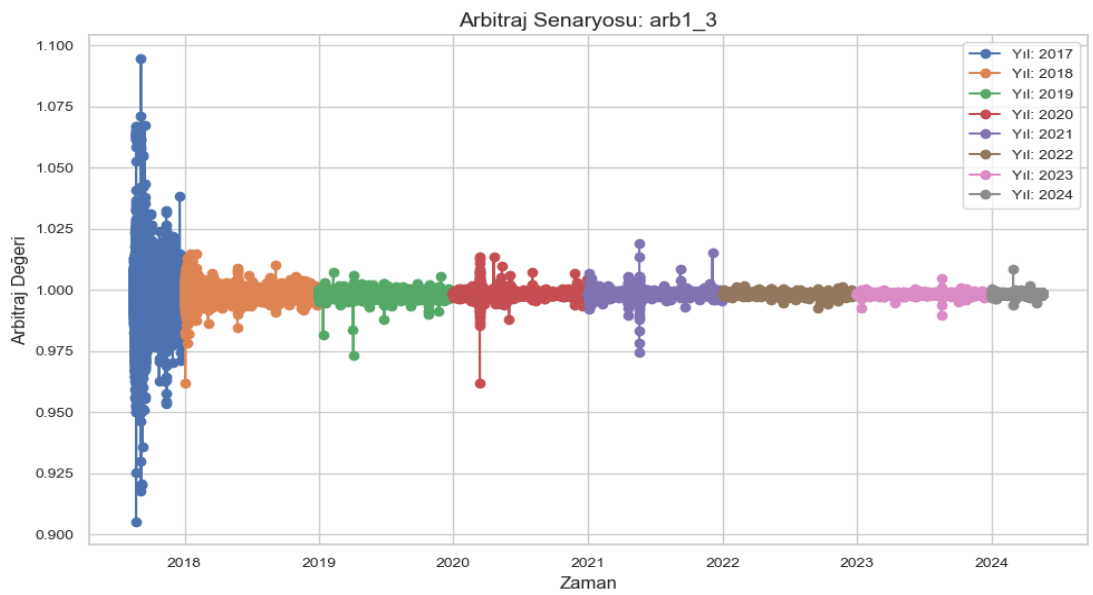
Şekil 4.11: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,00025 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.0005’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

Yıl bazında incelendiğinde hesaplanan dönemler arasında en yüksek arbitraj fırsatının yaklaşık 51 bin fırsat ile 2017 yılında olduğu gözlemlenmiştir. 2018 yılında yaklaşık 20 bin’e düşen arbitraj fırsatı 2019 yılında 329’a, 2021 yılında 148’e düşmüştür. Zaman içerisinde neredeyse yok olan arbitraj fırsatları 2023 yılında 9 adet olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.12-4.13).

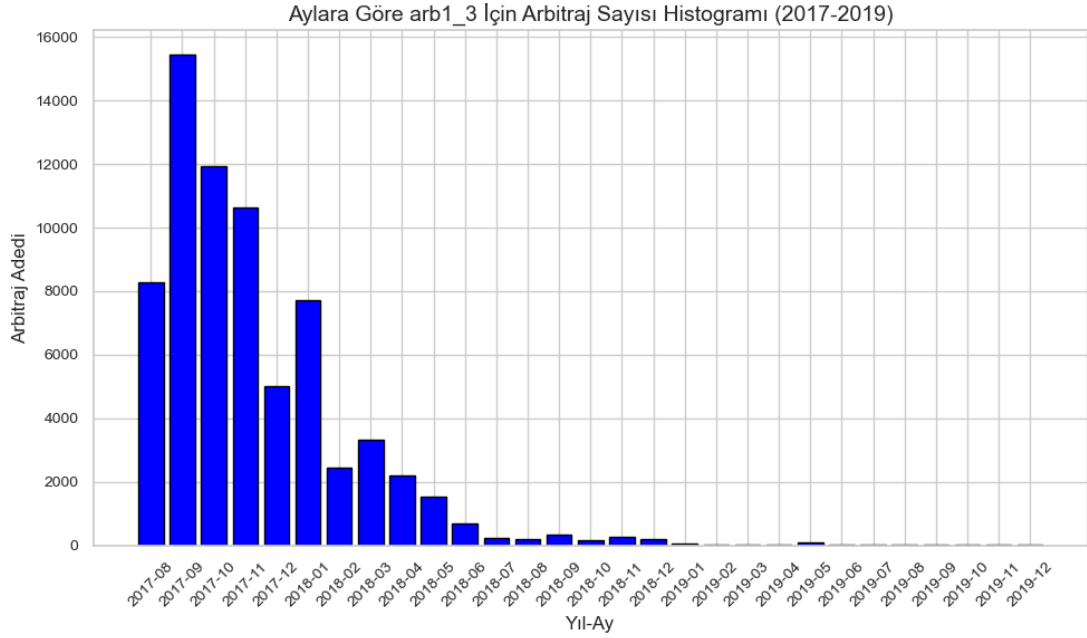


Şekil 4.12: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,0005 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.13: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,0005 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

Ay bazında değerlendirildiğinde en yüksek fırsatın 15437 adet ile 2017 yılının Eylül ayında olduğu gözlemlenmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 5 adet ile 2019 yılının Aralık ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.14).

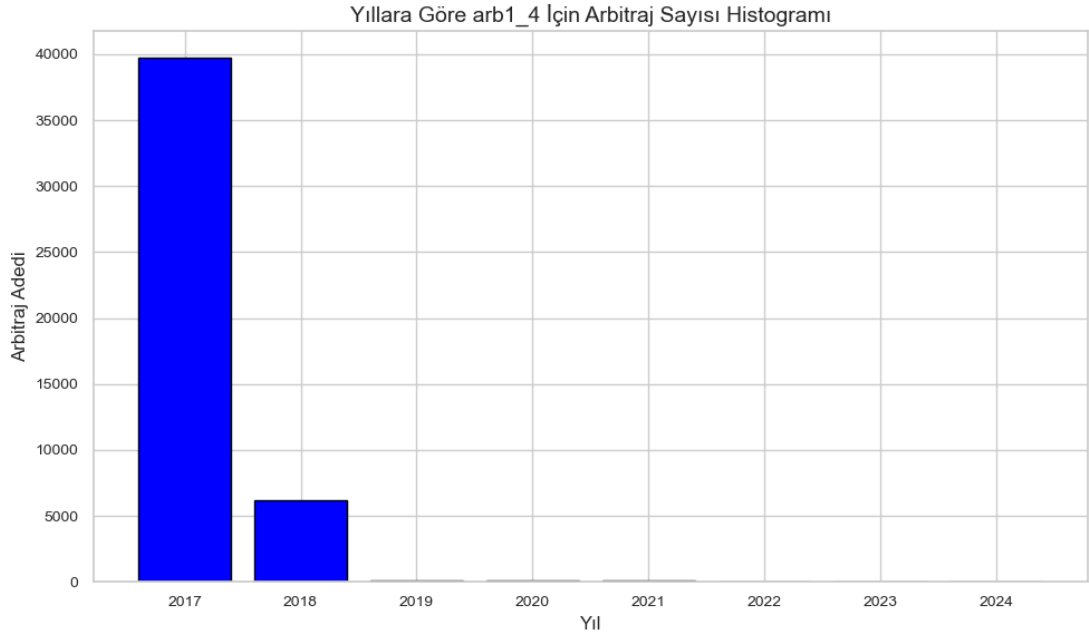


Şekil 4.14: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,0005 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

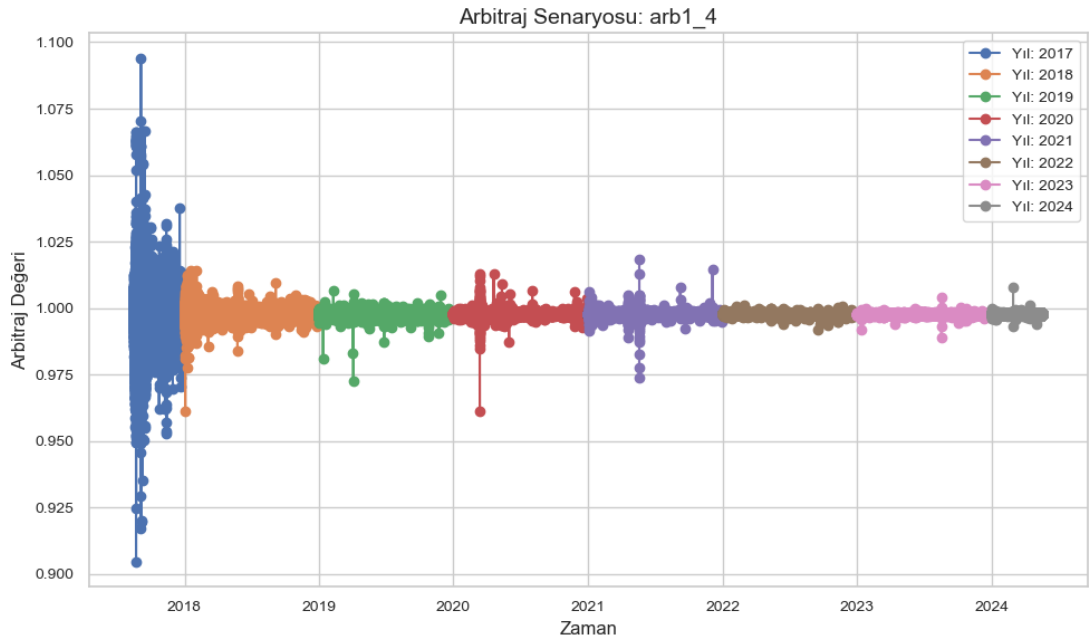
- **0.00075’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

Yıl bazında incelendiğinde hesaplanan dönemler arasında 0,00075’lik komisyon satışı en yüksek arbitraj fırsatının yaklaşık 40 bin fırsat ile 2017 yılında olduğu gözlemlenmiştir. 2018 yılında yaklaşık 6 bin’e düşen arbitraj fırsatı 2019 yılında

neredeyse taban seviyede seyrederek 73 adet gözlemlenmiştir. En düşük arbitraj fırsatı sayısının 2 adet ile 2024 yılında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.15-4.16).

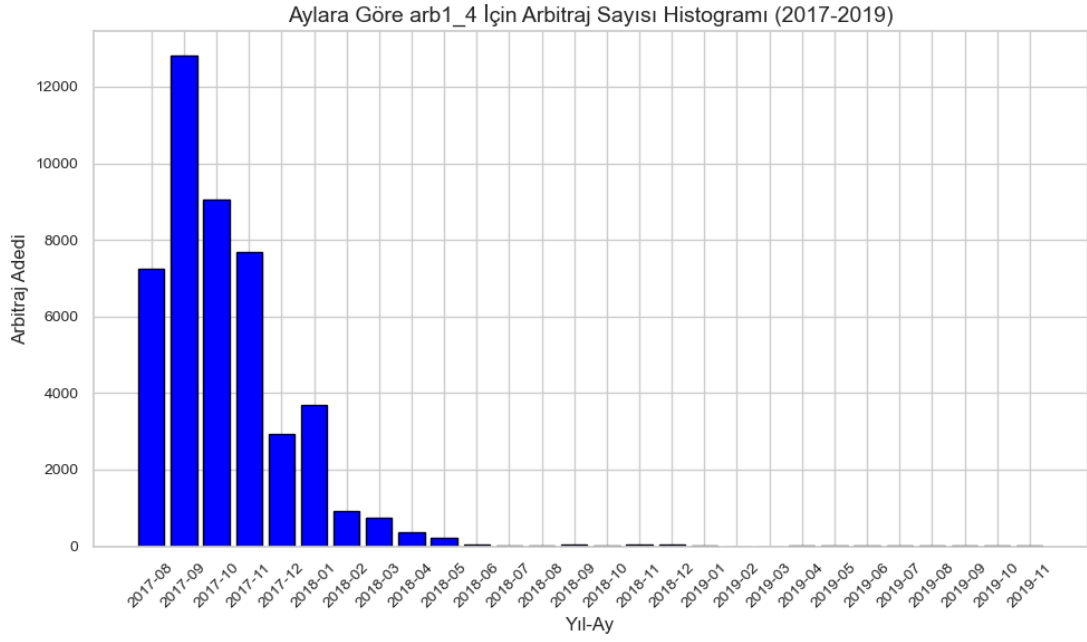


Şekil 4.15: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,00075 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.16: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,00075 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

0,00075'lik komisyonlu satışlarda hesaplanan ay kırılımlı arbitraj fırsatı adetlerinde ise en yüksek fırsat 12804 adet ile 2017 Eylül ayında söz konusu iken en düşük arbitraj fırsatı 2 adet ile 2019 Mart ayı için gözlemlenmiştir (Şekil 4.17).

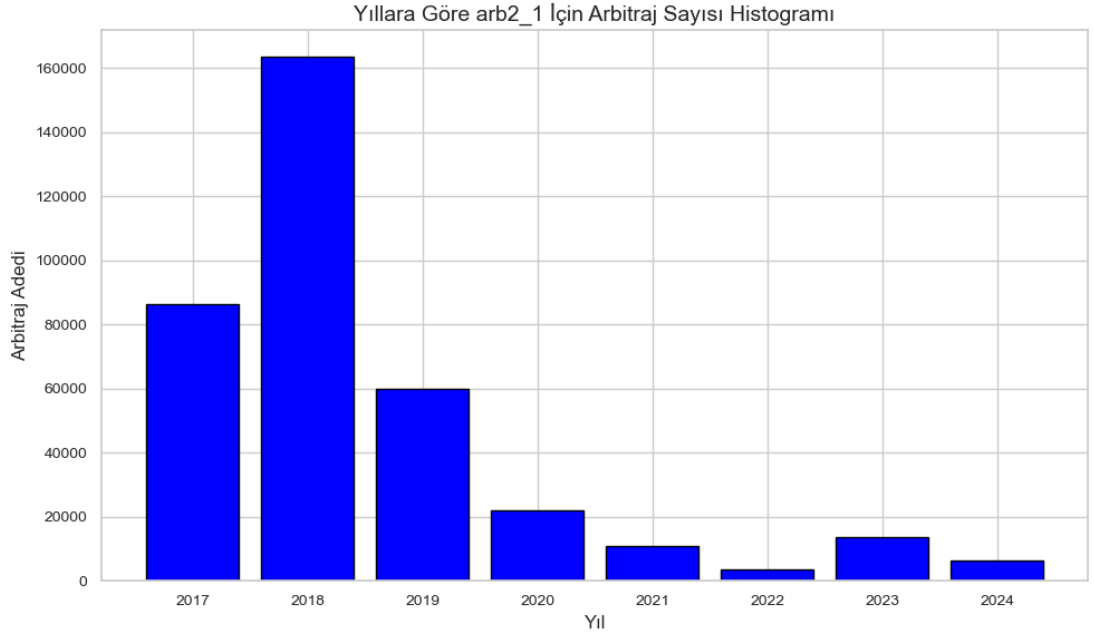


Şekil 4.17: Senaryo 1 ve γ_1 için 0,00075 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

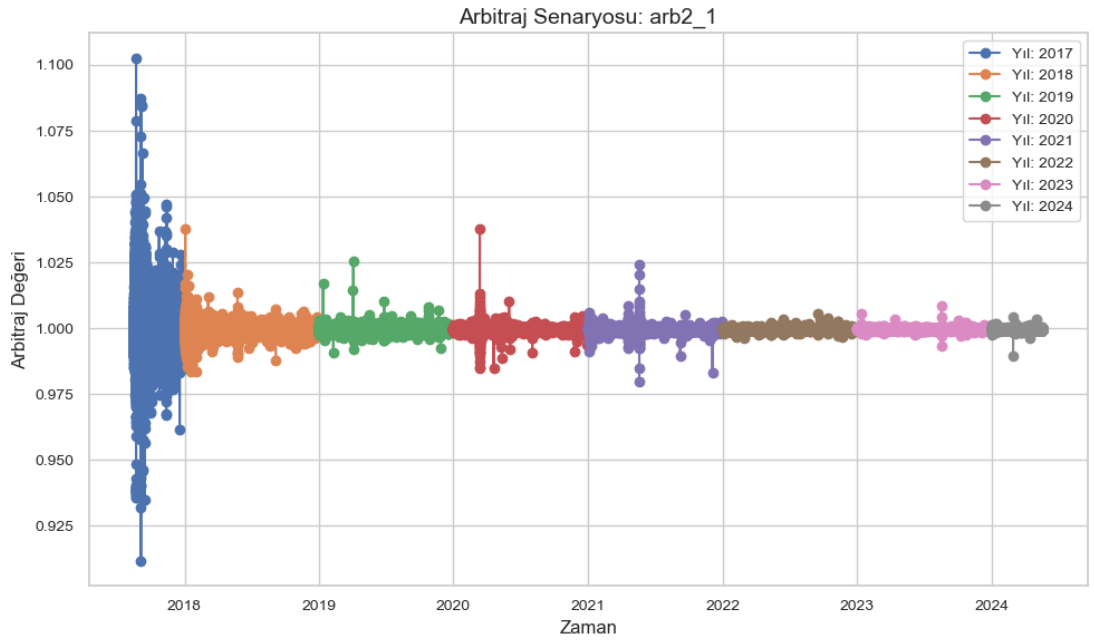
4.2.2. γ_2 İle Hesaplama

- **0.0001’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

Hesaplanan arbitraj fırsatları arasında en yüksek değer ile 2018 yılında 163 bin seviyesinde seyreden arbitraj sayısının 2019 yılında 60 bin seviyesinde olduğu gözlemlenmiştir. 2020 yılında 22 bin olan arbitraj fırsatının yıllar içerisinde düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. En düşük arbitraj değerinin 3673 ile 2022 yılında olduğu gözlemlenen değerler arasındadır (Şekil 4.18-4.19).

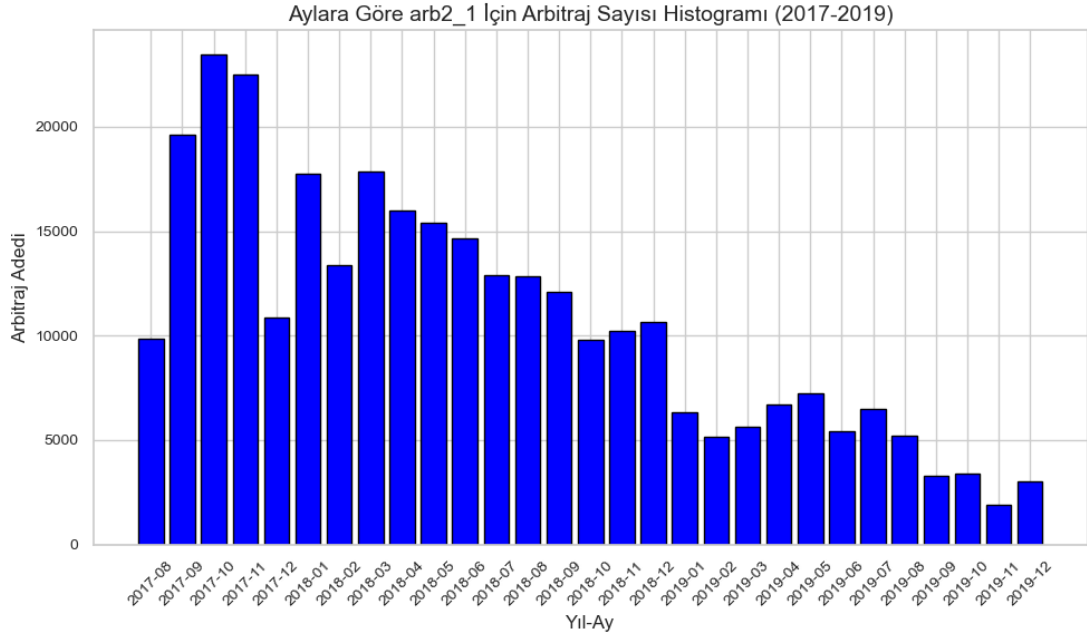


Şekil 4.18: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,0001 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.19: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,0001 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

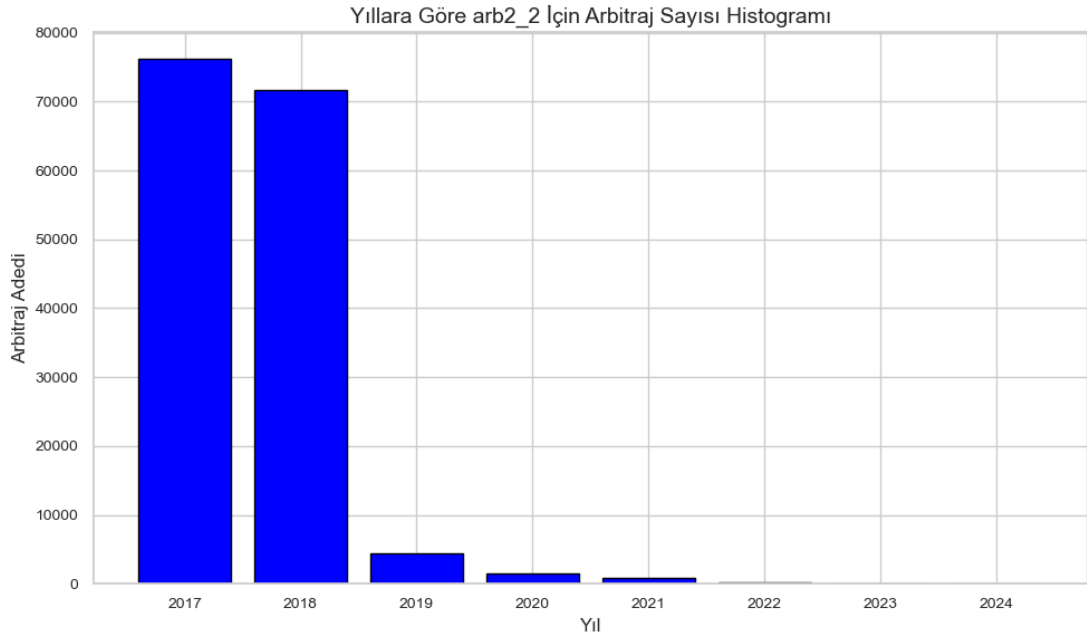
0,0001 komisyon ile hesaplanan arbitraj değerlerinin ay kırılımlarına bakıldığında 23446 ile en yüksek sayıdaki arbitraj fırsatının 2017 yılının Ekim ayında gerçekleştiği, en düşük sayıdaki arbitraj fırsatının ise 1875 adet ile 2019 yılının Kasım ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.20).



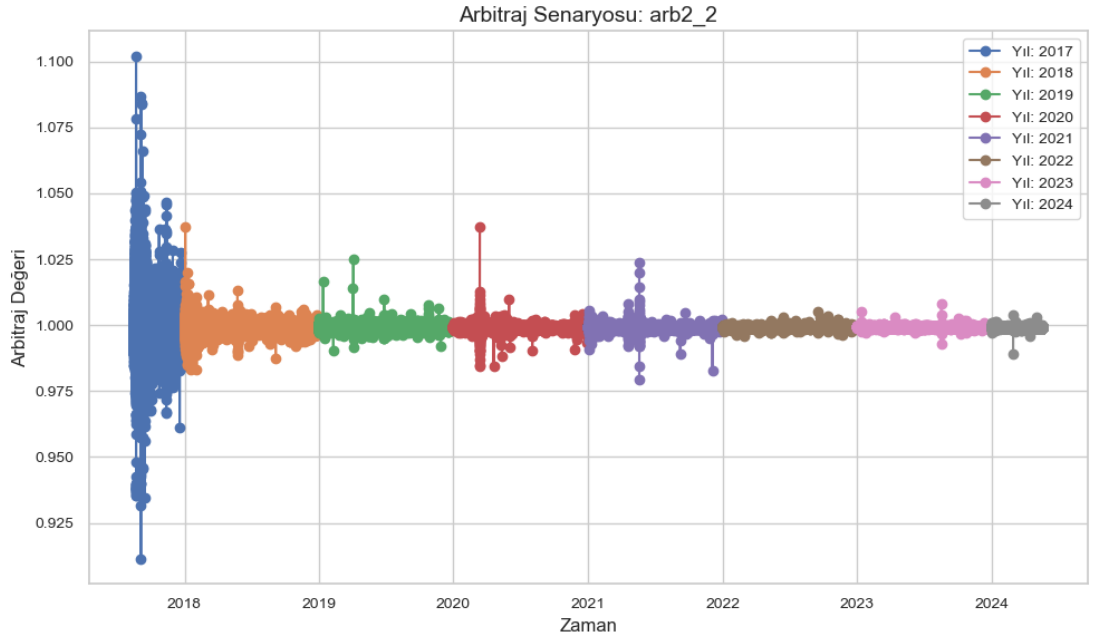
Şekil 4.20: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,0001 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.00025’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesapla**

2017 yılında 76 bin olan arbitraj fırsatı 2018 yılında yaklaşık 72 bin iken 2019 yılında 4454 adet gözlemlenmiştir (Şekil 4.21-4.22).

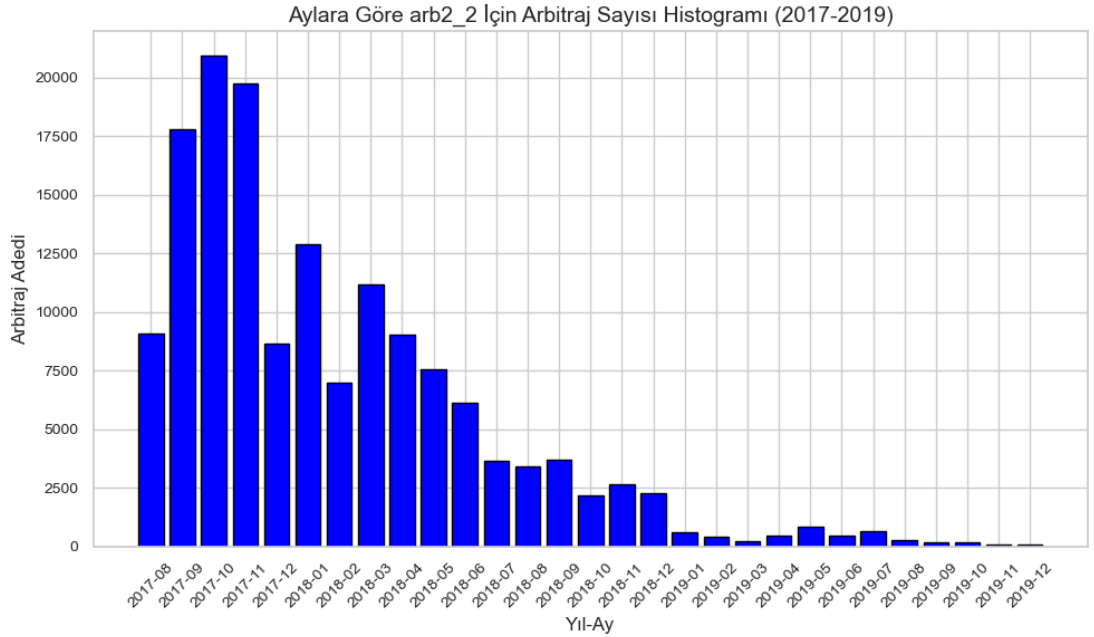


Şekil 4.21: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,00025 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.22: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,00025 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

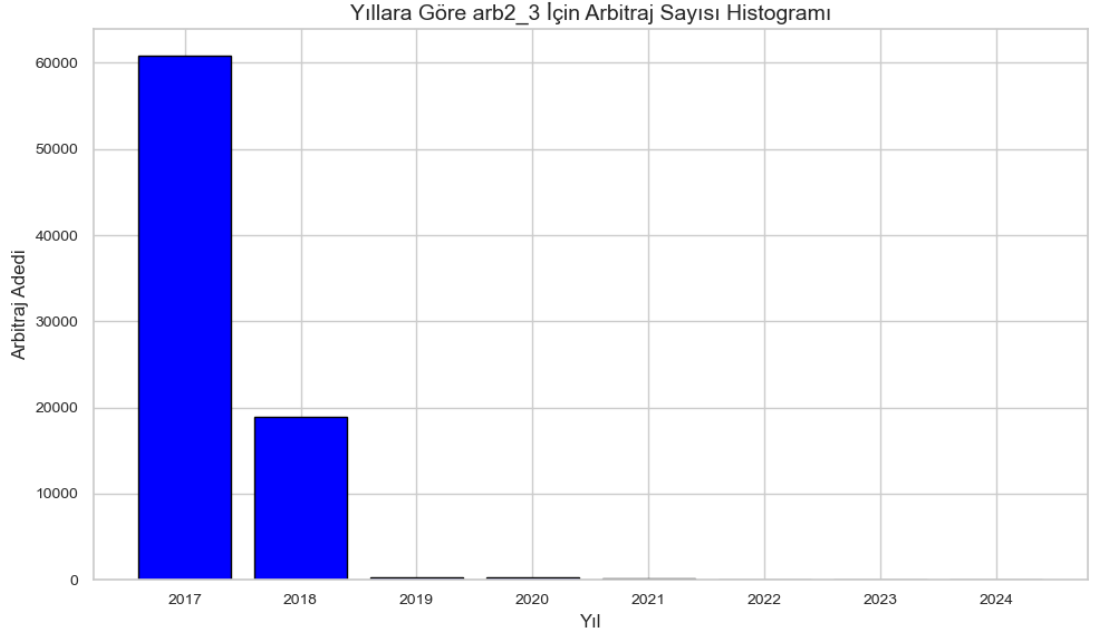
En yüksek arbitraj 2017 yılının Ekim ayında 20934 adet ile gözlemlenmiştir. Hesaplanan yıllar içerisinde en düşük seviyede 92 adet ile 2019 yılının Aralık ayında gözlemlenmiştir (Şekil 4.23).



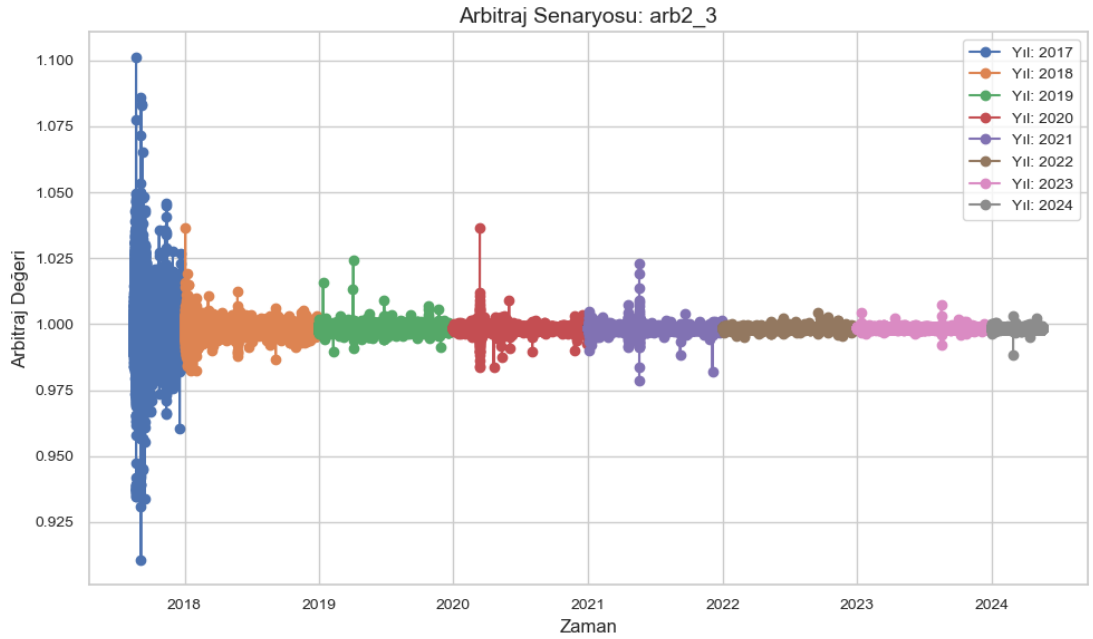
Şekil 4.23: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,00025 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.0005’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

0,0005’lik komisyon oranı ile hesaplanan arbitraj fırsatlarında 2017 yılında 60 bin olan arbitraj fırsatı 2018 yılında yaklaşık 19 bin iken 2019 yılında 321 adet gözlemlenmiştir (Şekil 4.24-4.25).

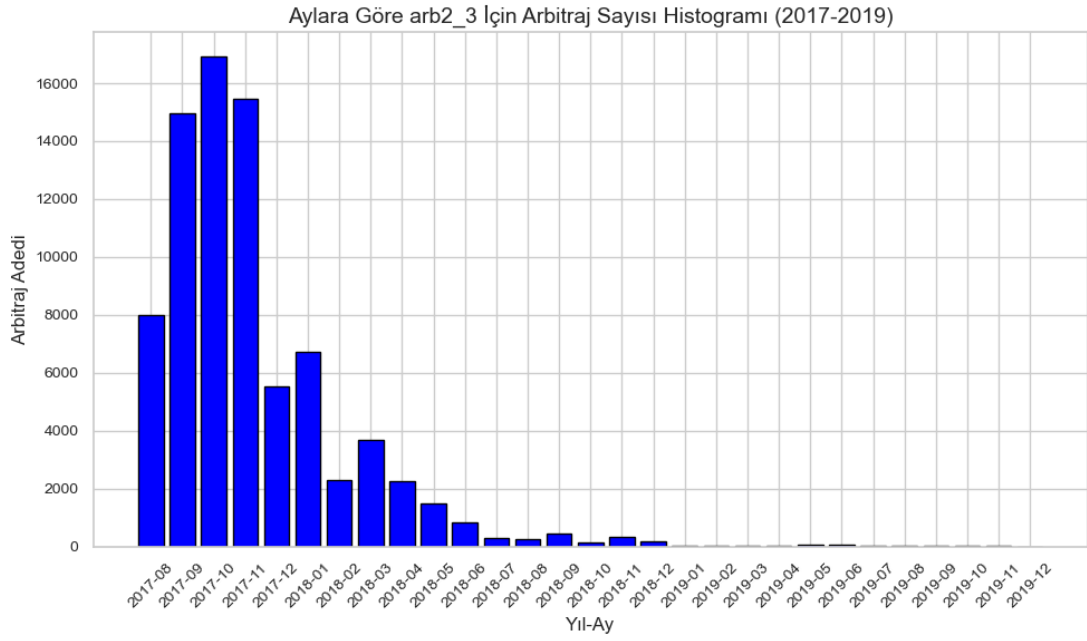


Şekil 4.24: Senaryo 1 ve γ_2 0,0005 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.25: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,0005 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

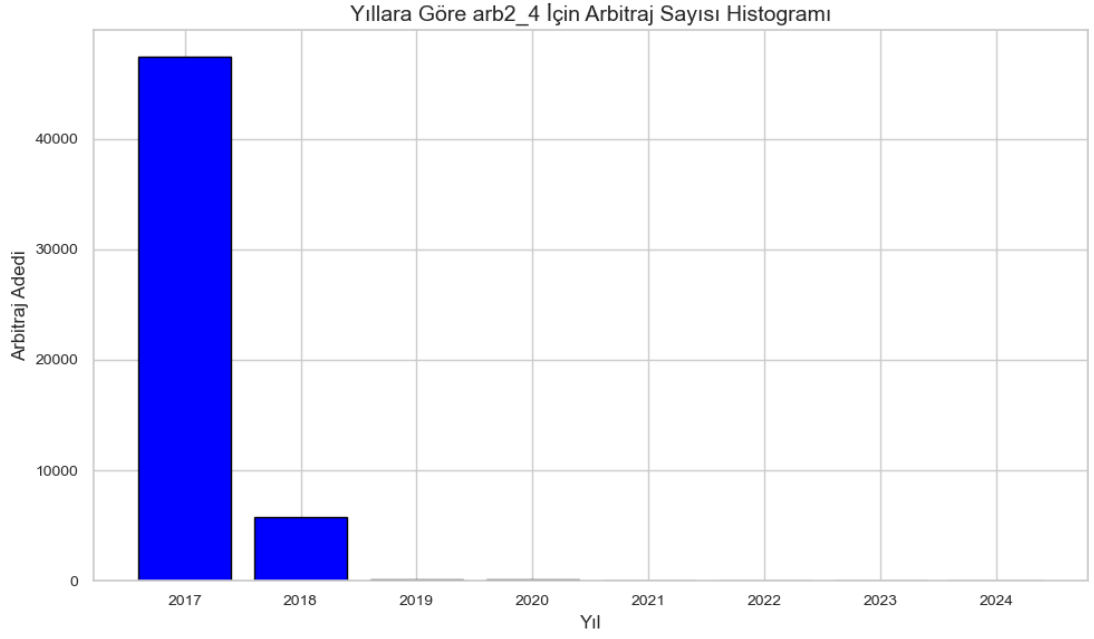
2017 yılının Ekim ayında 16911 adet ile en yüksek arbitraj seviyesinin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. En düşük arbitraj fırsatları incelendiğinde 2019 yılının Aralık ayında 3 adet ile gerçekleştiği gözlemlenen değerler arasındadır (Şekil 4.26).



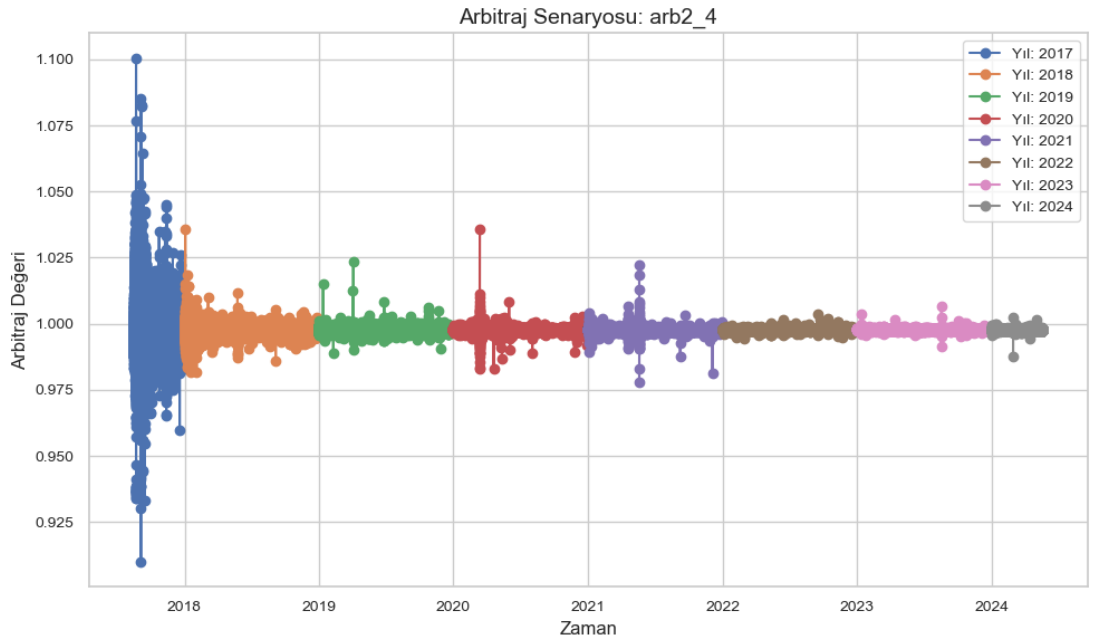
Şekil 4.26: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,0005 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.00075’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

2017 yılında 47 bin olan arbitraj fırsatı 2018 yılında 5770 olarak gözlemlenmiştir. En düşük arbitraj fırsatı ise 2024 yılında 4 adet olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.27 – 4.28).

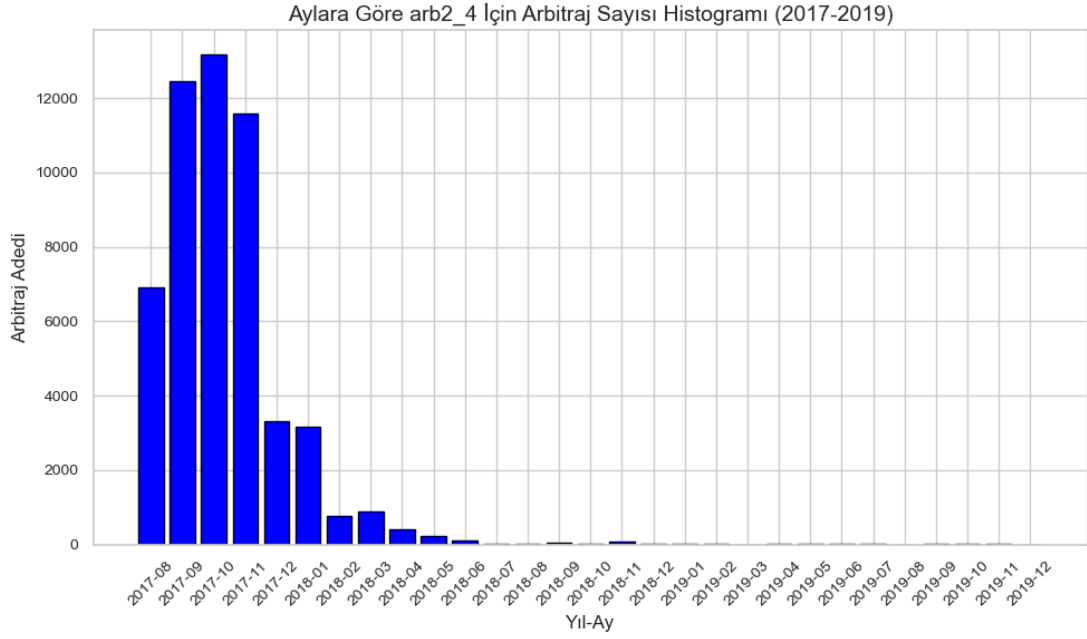


Şekil 4.27: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,00075 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.28: Senaryo 1 ve γ_2 0,00075 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

2017 yılının Ekim ayında 13162 adet ile en yüksek arbitraj fırsatı gözlemlenmiştir. 2019 yılının Aralık ayında ise 1 adet ile en düşük arbitraj fırsatı gözlemlenmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29: Senaryo 1 ve γ_2 için 0,00075 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

4.3. II. Arbitraj Senaryosu

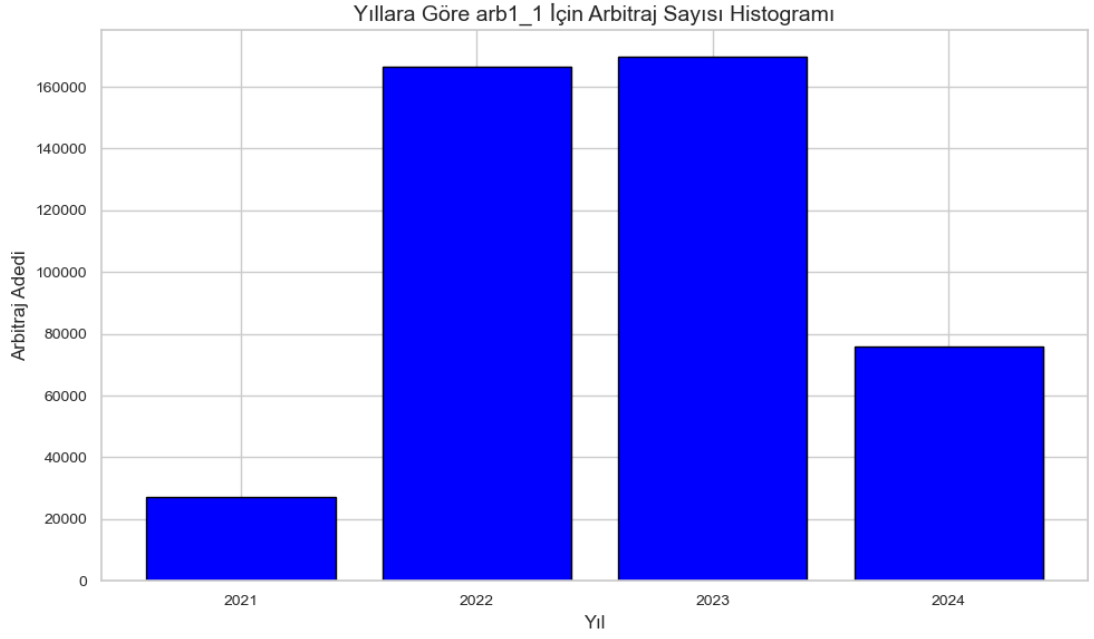
Arbitraj fırsatları hesaplanan bir diğer senaryo ise **DOT → ETH → BTC → DOT**'dur.

Kullanılan veri setleri DOT-ETH, ETH-BTC ve DOT-BTC kur verileridir.

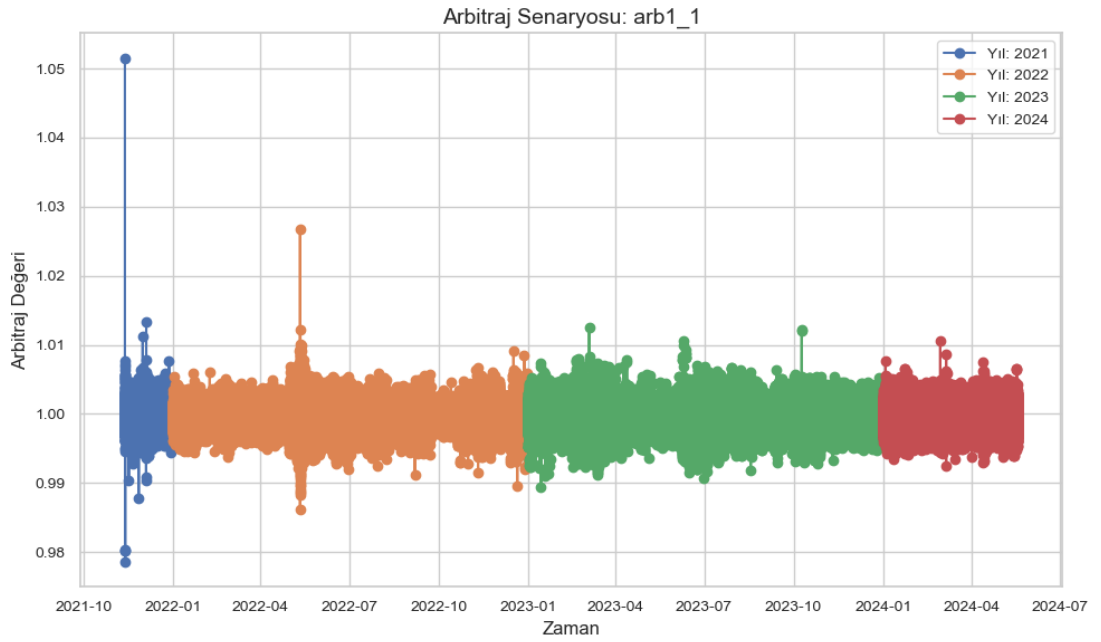
4.3.1. γ_3 İle Hesaplama

- **0.0001'lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

En yüksek arbitraj fırsatının 170 bin ile 2023 yılında gerçekleştiği gözlemlenirken en düşük arbitrajın 27 bin ile 2021 yılında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.30-4.31).

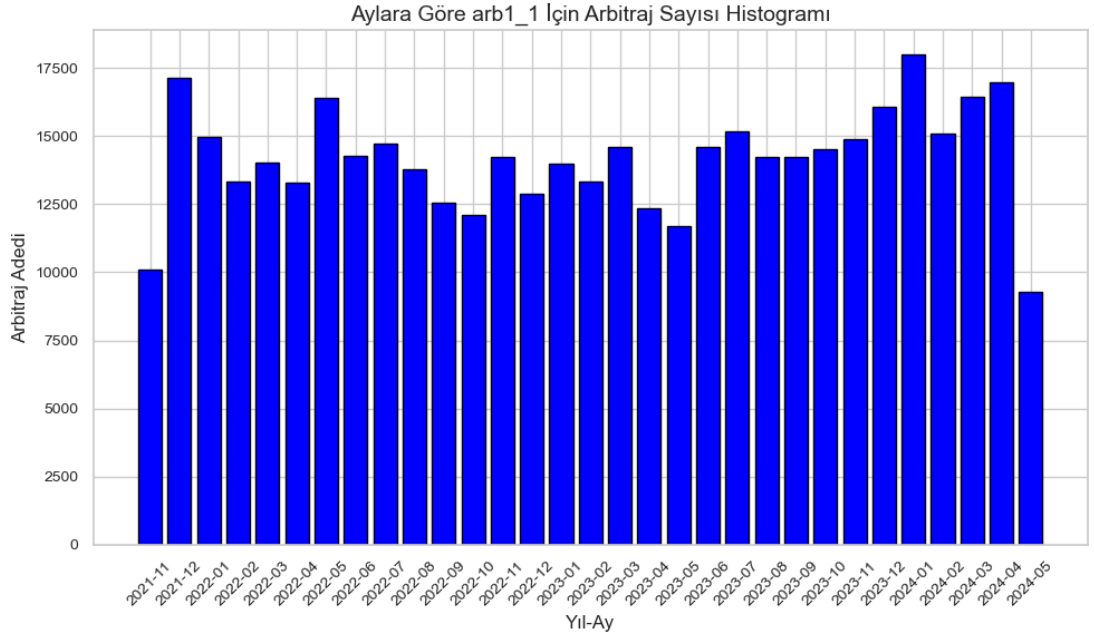


Şekil 4.30: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,0001 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.31: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,0001 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

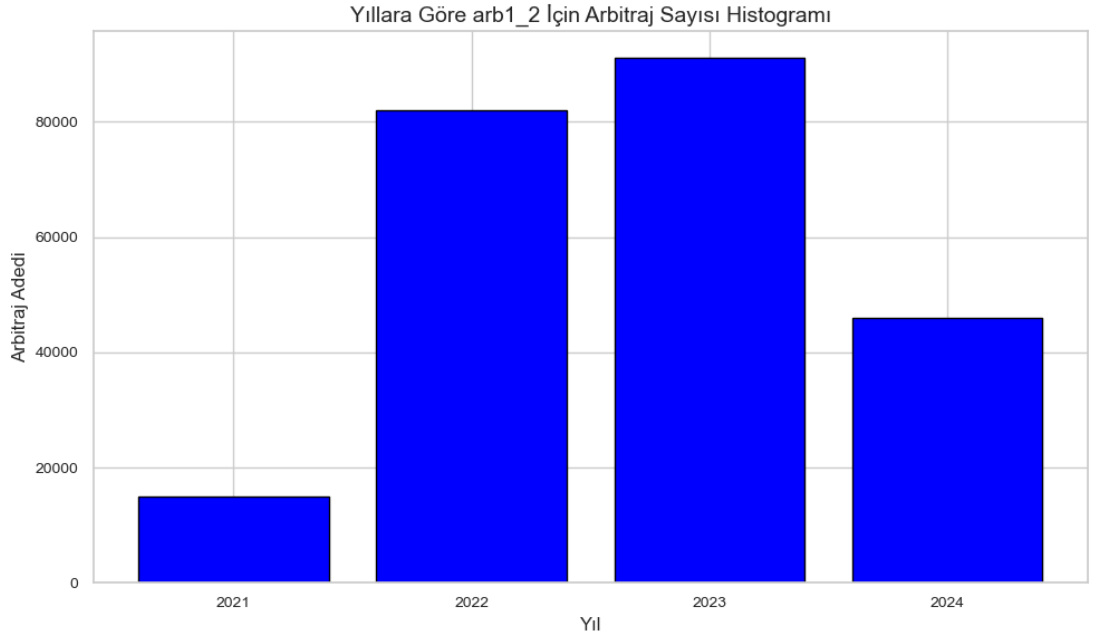
Ay bazında değerlendirildiğinde 2024 yılının Ocak ayında 17994 adet ile en fazla arbitraj fırsatının gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Genel olarak ay bazında arbitraj fırsatlarının dengeli olduğu gözlemlenmekle beraber en düşük arbitraj fırsatının 2024 yılının Mayıs ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.32).



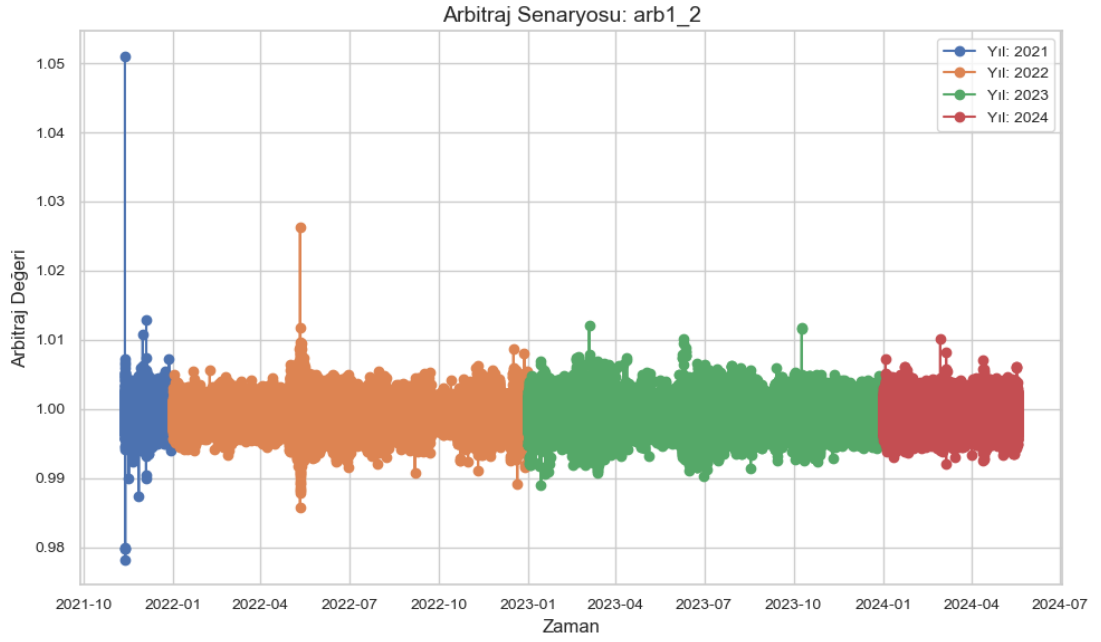
Şekil 4.32: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,0001 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.00025’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

En yüksek arbitraj fırsatı 91 bin ile 2023 yılında gerçekleşirken en düşük arbitraj fırsatı 2021 yılında yaklaşık 15 bin adet ile gerçekleşmiştir (Şekil 4.33-4.34).

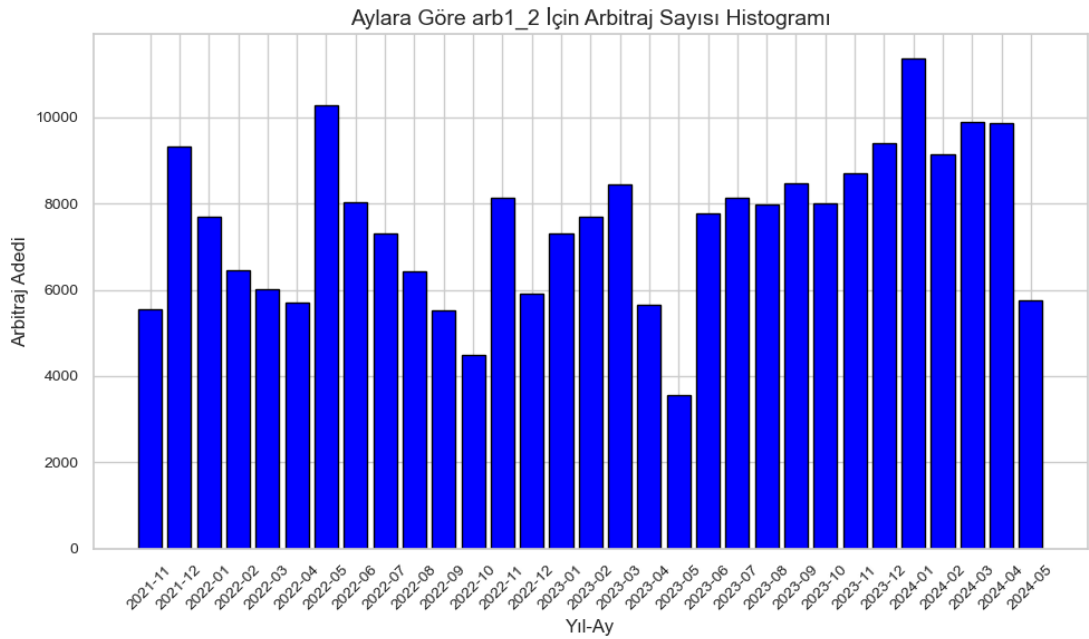


Şekil 4.33: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,00025 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.34: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,00025 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

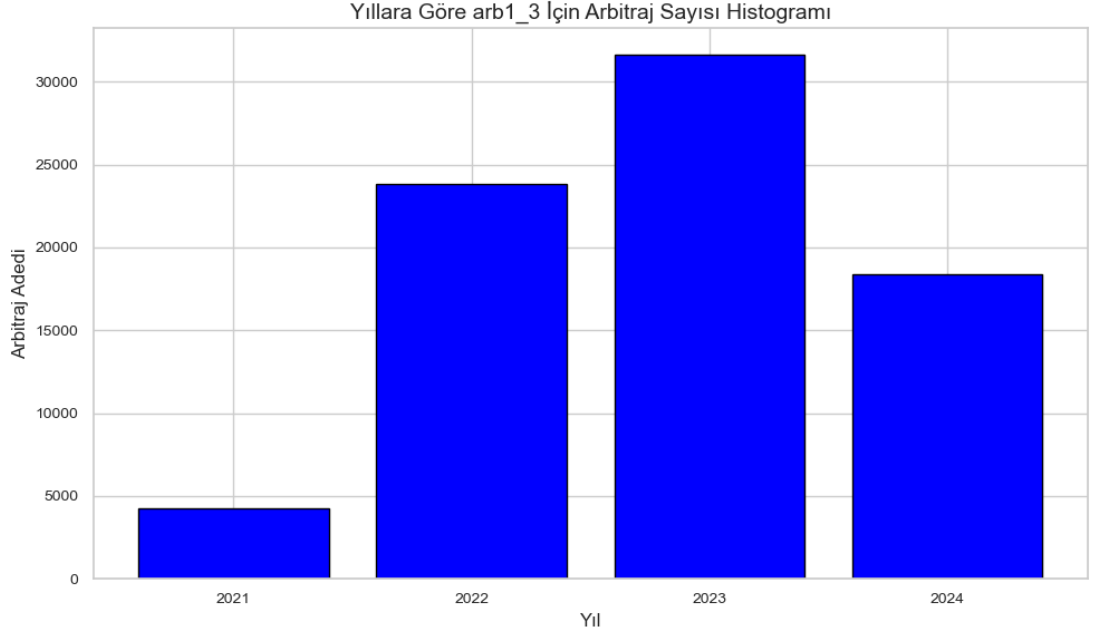
Ay kırılımı baz alındığında 11355 ile en yüksek arbitraj fırsatının 2024 yılının Ocak ayında gerçekleştiği gözlemlenirken en düşük arbitraj fırsatının 3551 adet ile 2023 Mayıs ayında gerçekleştiği gözlemlenen değerler arasındadır (Şekil 4.35).



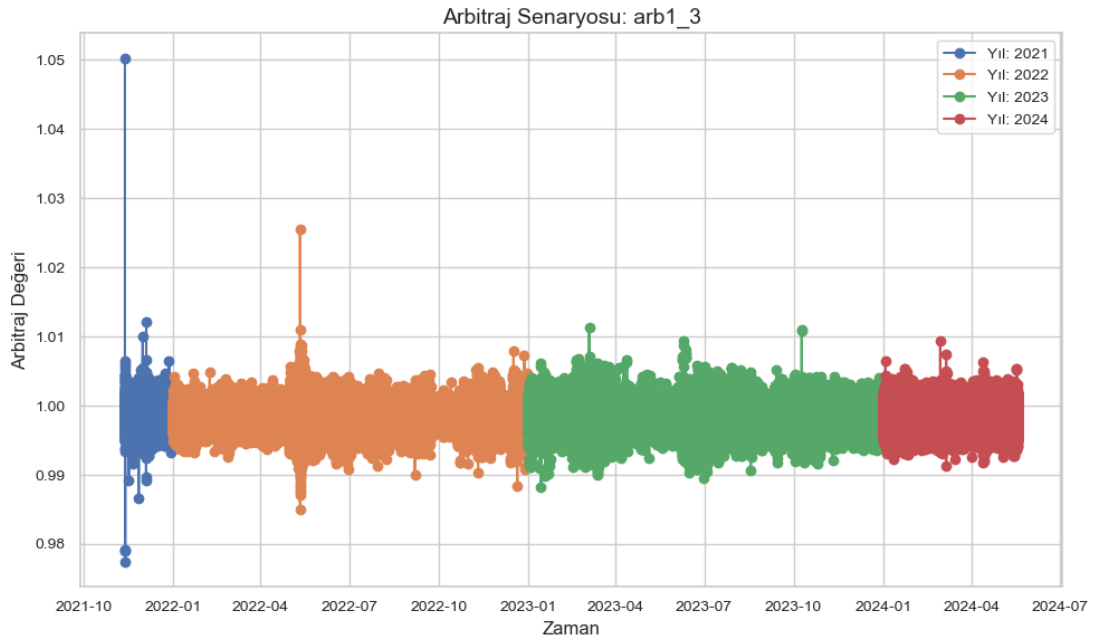
Şekil 4.35: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,00025 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.0005’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

En yüksek arbitraj fırsatı yaklaşık 32 bin ile 2023 yılında gerçekleşirken en düşük arbitraj fırsatı 2021 yılında yaklaşık 4284 adet ile gerçekleşmiştir (Şekil 4.36-4.37).

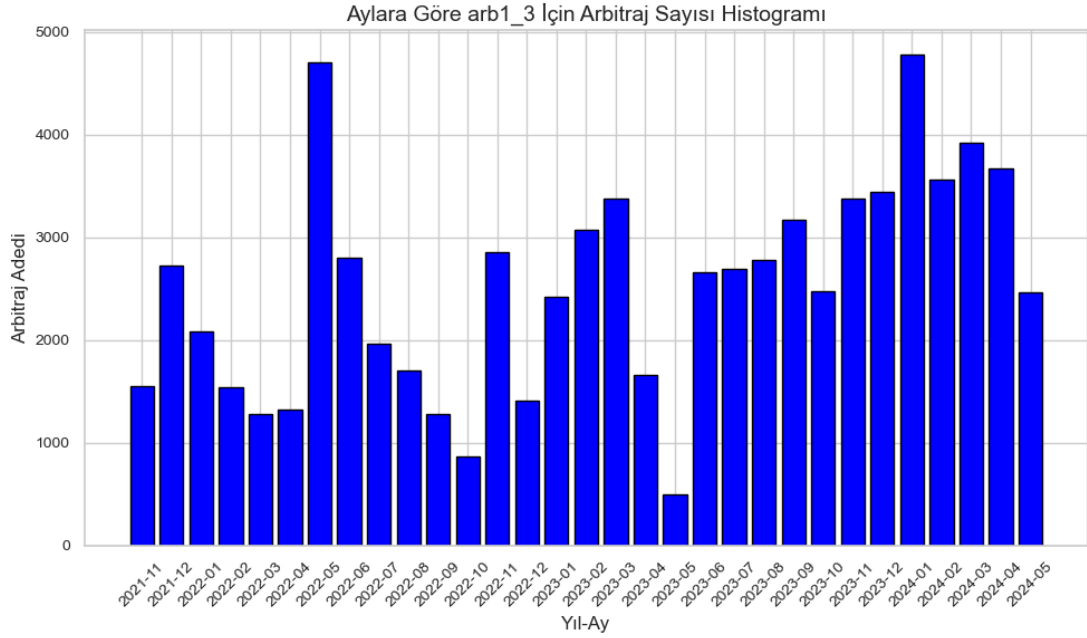


Şekil 4.36: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,0005 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.37: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,0005 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

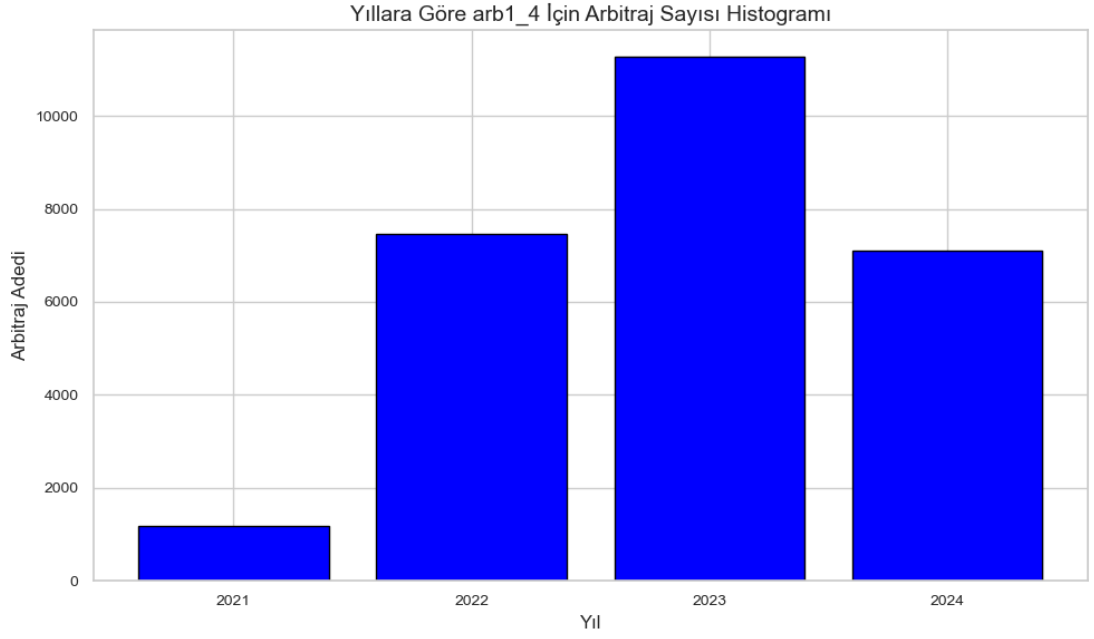
Ay kırılımı baz alındığında 4777 ile en yüksek arbitraj fırsatının 2024 yılının Ocak ayında gerçekleştiği gözlemlenirken en düşük arbitraj fırsatının 495 adet ile 2023 Mayıs ayında gerçekleştiği gözlemlenen değerler arasındadır (Şekil 4.38).



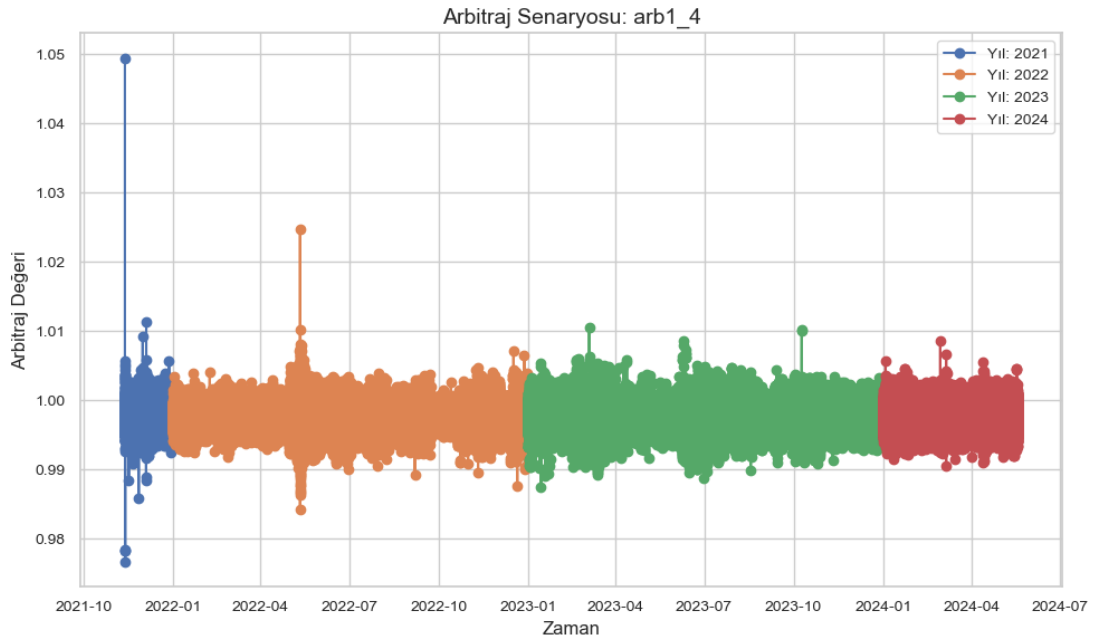
Şekil 4.38: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,0005 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.00075’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

En yüksek arbitraj fırsatı yaklaşık ortalama 11 bin ile 2023 yılında gerçekleşirken en düşük arbitraj fırsatı 2021 yılında 1187 adet ile gerçekleşmiştir (Şekil 4.39-4.40).

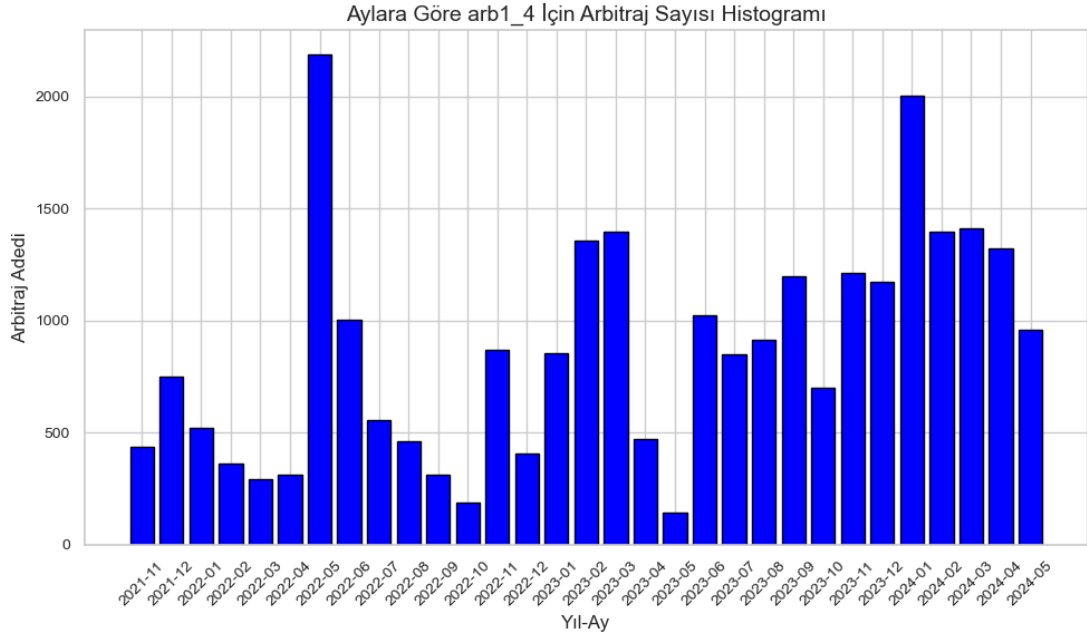


Şekil 4.39: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,00075 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.40: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,00075 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

Ay kırılımı ele alındığında 2022 yılının Mayıs ayında 2185 adet ile en yüksek arbitraj fırsatı tespit edilmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 140 adet ile 2023 yılının Mayıs ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.41).

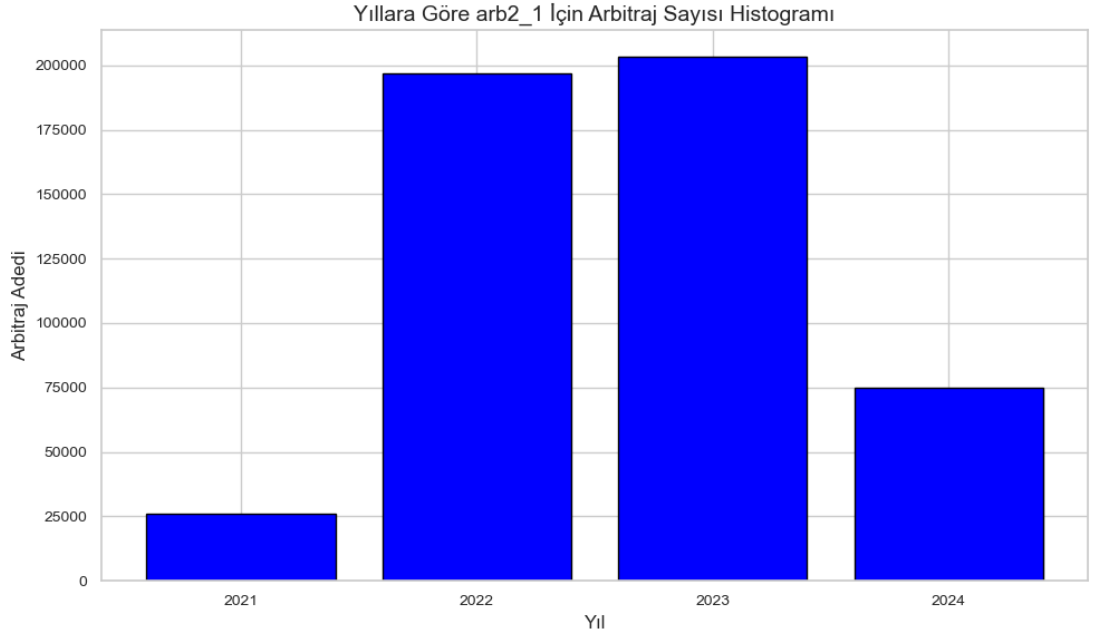


Şekil 4.41: Senaryo 2 ve γ_3 için 0,00075 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

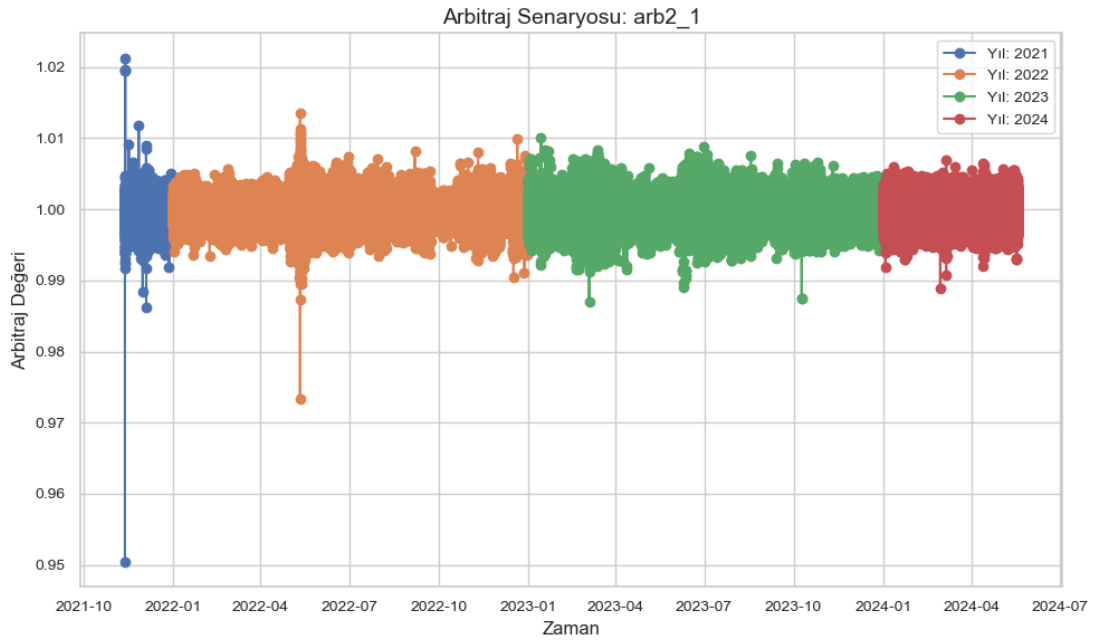
4.3.2. γ_4 İle Hesaplama

- **0.0001’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

İncelemeler ve hesaplamalar neticesinde en yüksek arbitraj fırsatının 203 bin ile 2023 yılında olduğu tespit edilmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 26 bin ile 2021 yılında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.42-4.43).

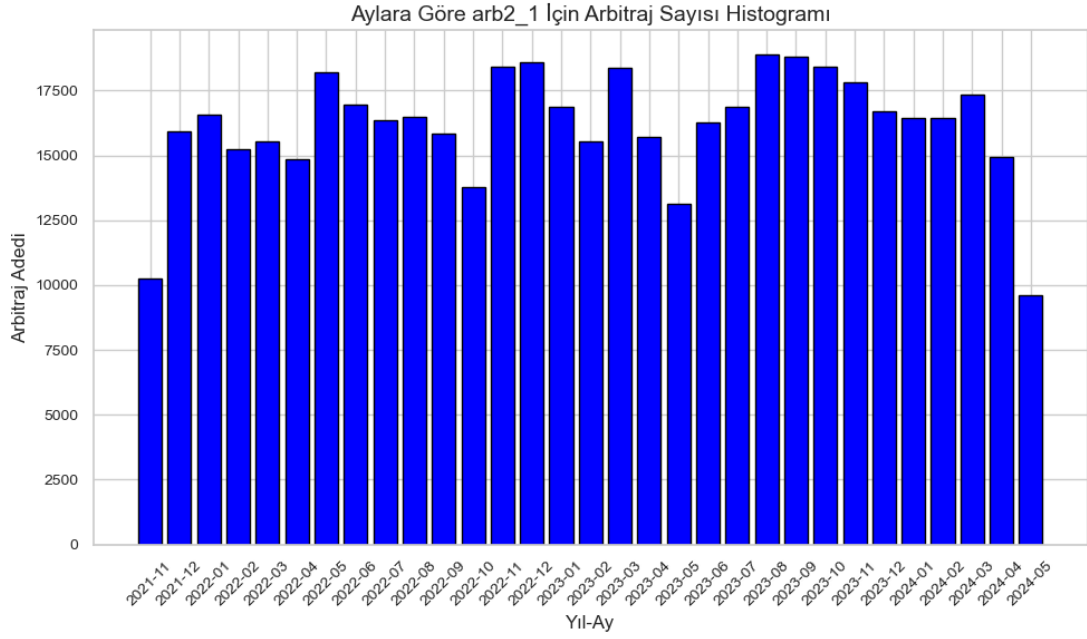


Şekil 4.42: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,0001 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.43: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,0001 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

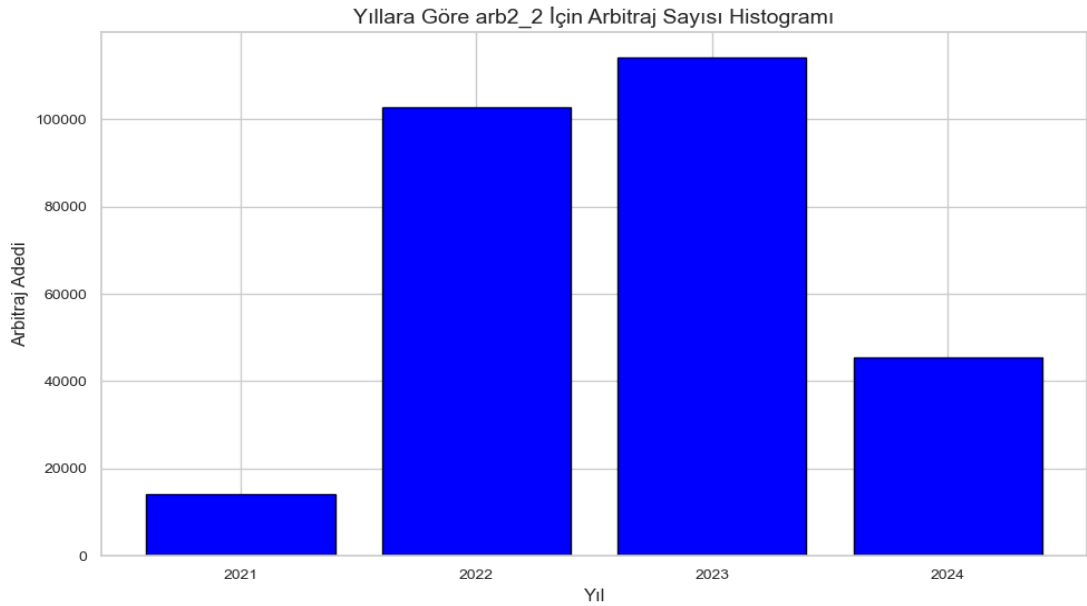
Yapılan arbitraj hesaplamalarında aylık kırılım incelendiğinde 18875 adet arbitraj fırsatı ile 2023 yılı Ağustos ayında en çok arbitraj fırsatının olduğu tespit edilmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 9615 adet ile 2024 yılı Mayıs ayında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.44).



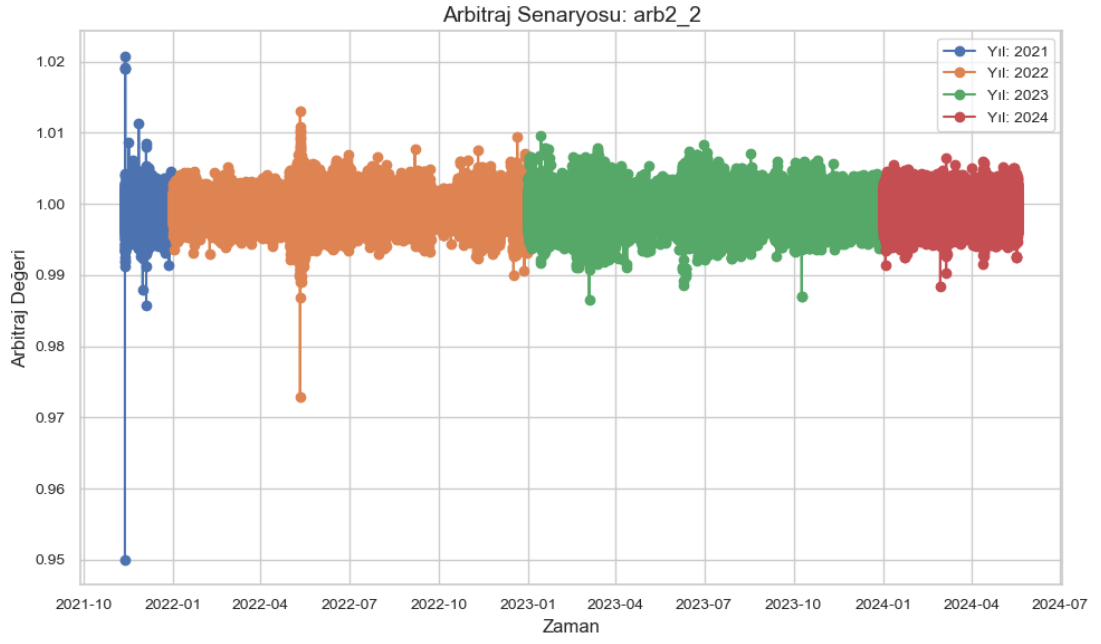
Şekil 4.44: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,0001 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.00025’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

0,00025’lik komisyon hesaplaması ile en yüksek arbitraj fırsatının 114 bin ile 2023 yılında olduğu tespit edilmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 14 bin ile 2021 yılında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.45-4.46).

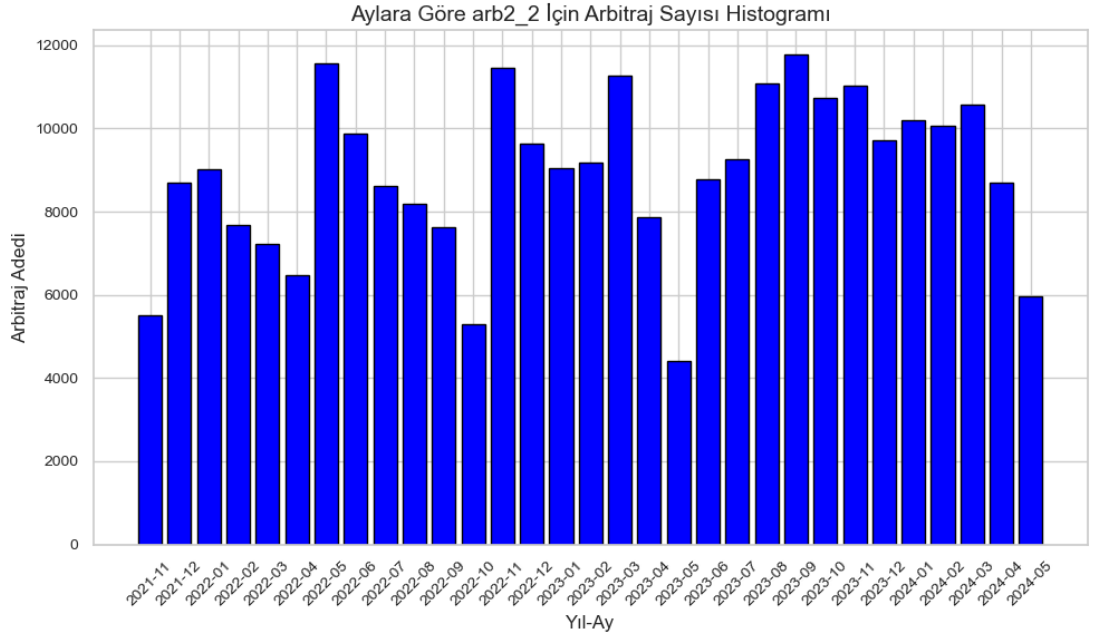


Şekil 4.45: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,00025 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.46: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,00025 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

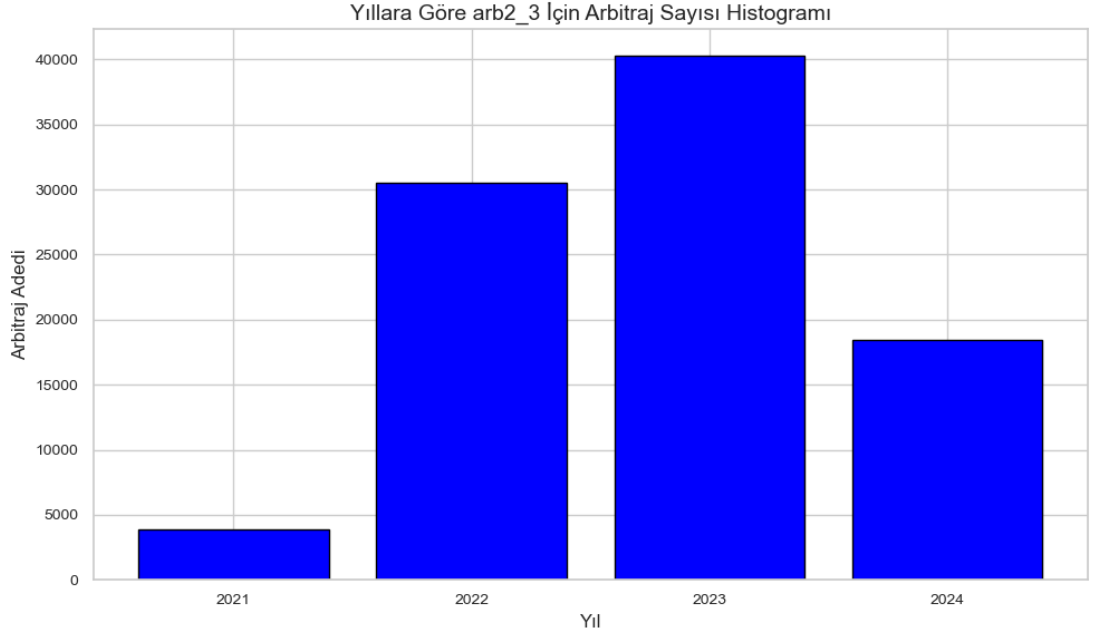
Yapılan arbitraj hesaplamalarında aylık kırılım incelendiğinde 11773 adet arbitraj fırsatı ile 2023 yılı Eylül ayında en çok arbitraj fırsatının olduğu tespit edilmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 4403 adet ile 2023 yılı Mayıs ayında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.47).



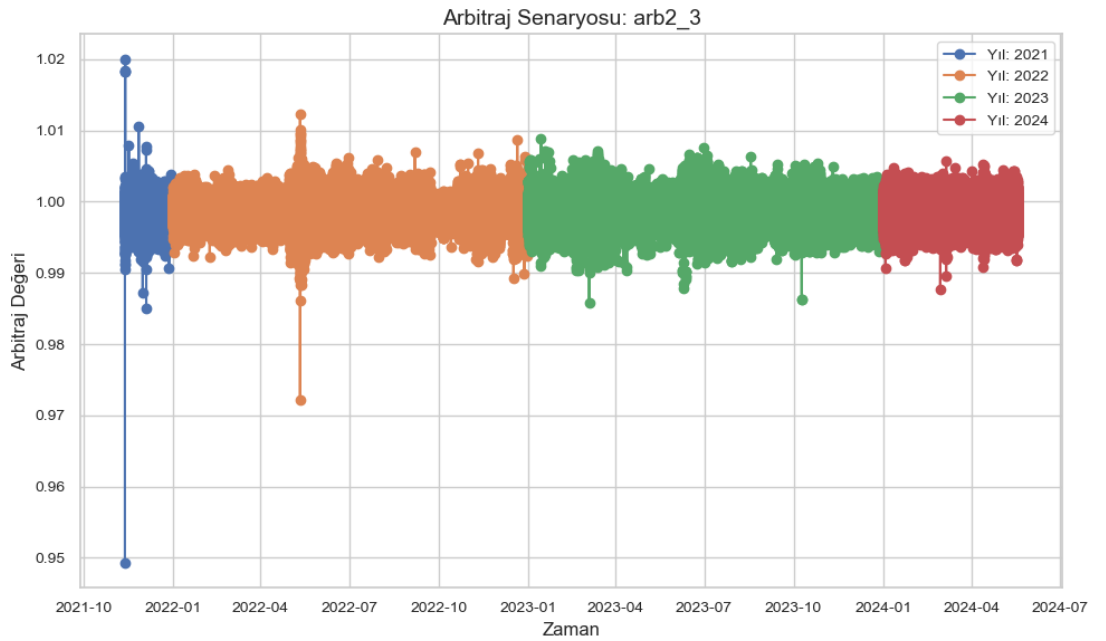
Şekil 4.47: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,00025 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.0005’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

0,0005’lik komisyon hesaplaması ile en yüksek arbitraj fırsatının 40 bin ile 2023 yılında olduğu tespit edilmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 3894 ile 2021 yılında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.48-4.49).

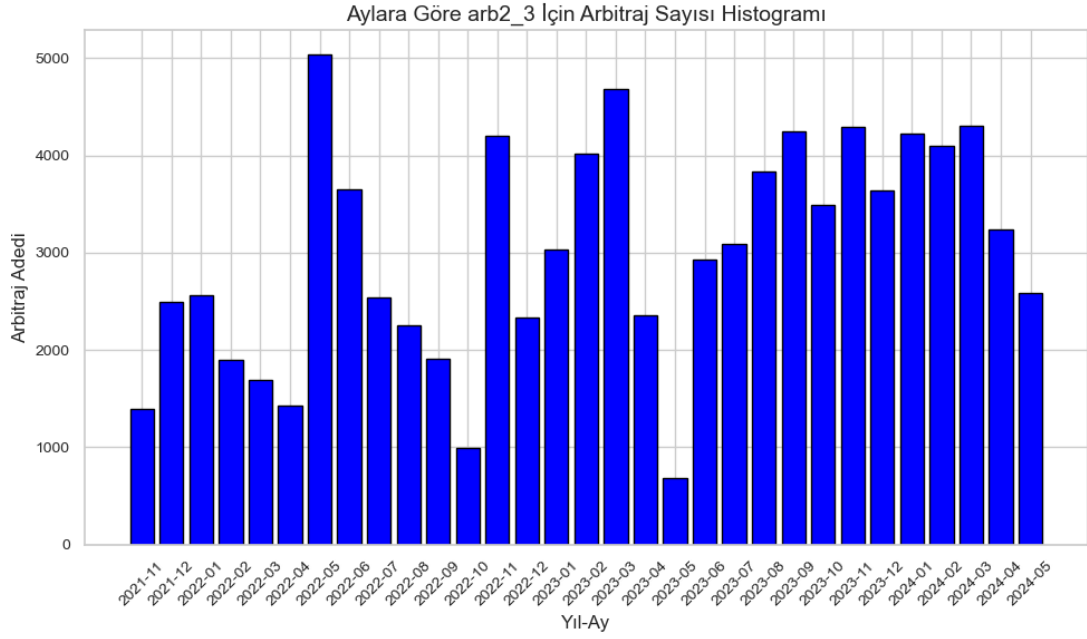


Şekil 4.48: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,0005 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.49: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,0005 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

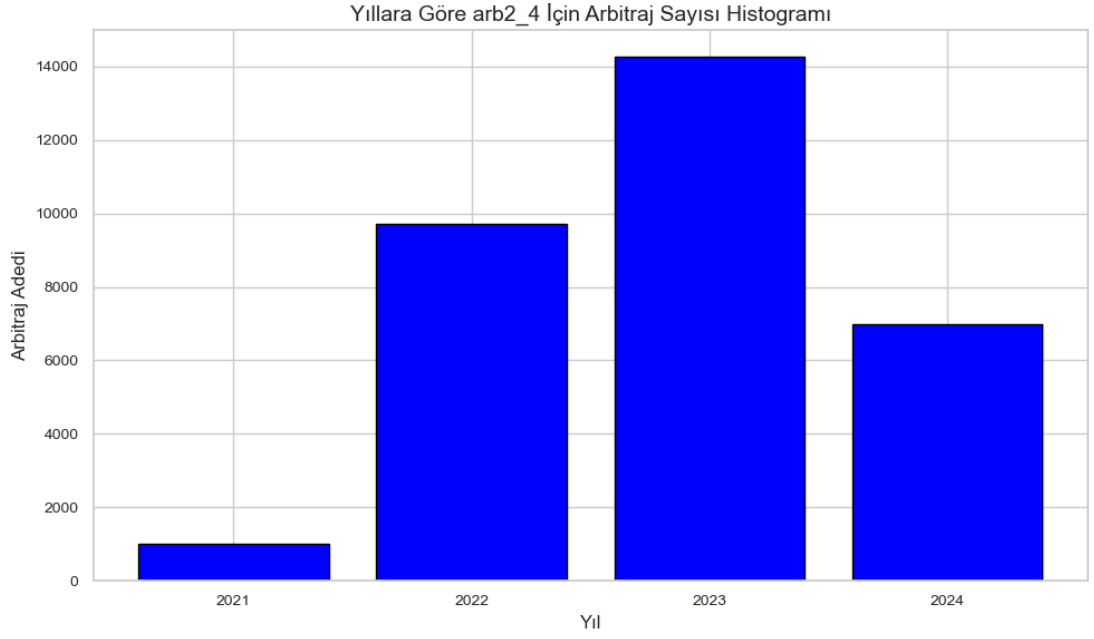
Aylık kırılım incelendiğinde 5034 adet arbitraj fırsatı ile 2022 yılı Mayıs ayında en çok arbitraj fırsatının olduğu tespit edilmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 685 adet ile 2023 yılı Mayıs ayında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.50).



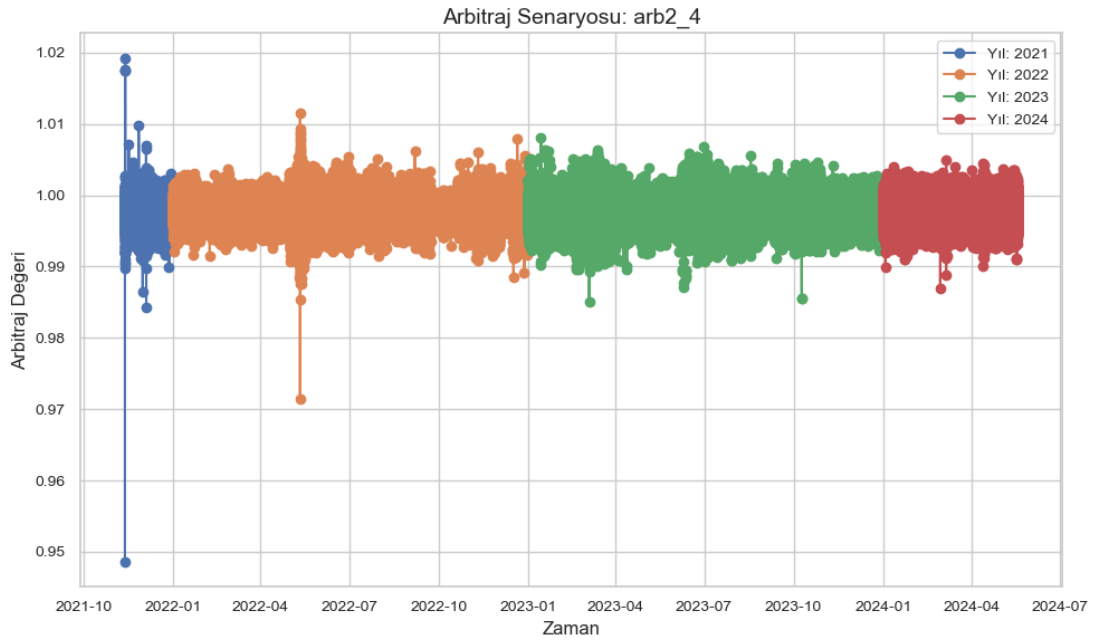
Şekil 4.50: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,0005 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

- **0.00075’lik komisyon oranlı satış fiyatı üzerinden yapılan arbitraj hesaplaması**

Bu hesaplamada yüksek arbitraj fırsatının 14 bin ile 2023 yılında olduğu tespit edilmiştir. En düşük arbitraj fırsatının ise 1016 ile 2021 yılında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.51-4.52).

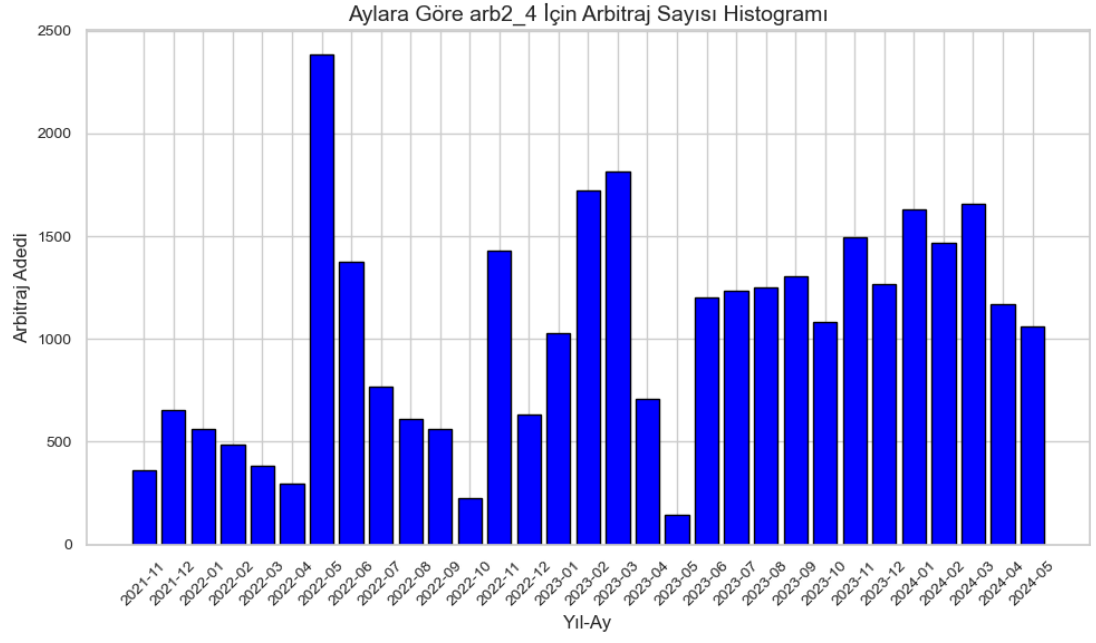


Şekil 4.51: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,00075 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı histogramı



Şekil 4.52: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,00075 komisyon ile yıllık arbitraj fırsatı zaman serisi

Aylık değerlerde 2383 adet ile 2022 yılı Mayıs ayında en çok arbitraj fırsatının olduğu tespit edilmiştir. En düşük ise 144 adet ile 2023 yılı Mayıs ayında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.53).



Şekil 4.53: Senaryo 2 ve γ_4 için 0,00075 komisyon ile aylık arbitraj fırsatı histogramı

5. SONUÇ

Bu çalışma 1 dakikalık frekansta toplulaştırılmış, Ağustos 2017 ve Mayıs 2024 tarihleri arasındaki kripto para verilerini kullanarak, olası üçlü arbitraj fırsatlarını belirlemektedir. Toplanan verilerden çeşitli komisyon oranları baz alınarak alış ve satış fiyatları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu fiyatlar arbitraj fırsatlarını tespit için kullanılmıştır. Arbitraj fırsatı 2 temel senaryoda değerlendirilmiştir.

1. arbitraj senaryosu olan **ETH → BTC → USDT → ETH** döngüsünde, ETH/BTC, BTC/USDT ve ETH/USDT kripto para çiftleri kullanılmıştır. Bu senaryoda en çok üçlü arbitraj fırsatının komisyon oranının 0.0001 olduğu hesaplamada olduğu görülmektedir. 0.0001 komisyon oranı ile hesaplanan üçlü arbitraj fırsatlarının yaklaşık 3,5 milyon adet gözlem için; alış ve satış kullanılmasına bağlı olarak yaklaşık 353 bin ile 365 bin adet olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde 0.00025 komisyon oranıyla hesaplanan üçlü arbitraj fırsatlarının yaklaşık 143 bin ile 155 bin adet olduğu bulunmuştur. Bekleneceği üzere artan komisyon oranları ile (0.0005 ve 0.00075) gözlemlenen fırsat sayılarında önemli miktarda düşüşler gözlemlenmektedir. Bir diğer gözlem ise kullanılan satış fiyatı bazlı denklemin alış fiyatı bazlı denkleme göre daha yüksek miktarda arbitraj fırsatını sağladığı gözlemlenmiştir.

1. senaryo için arbitraj fırsatlarının yıl kırılımlarına bakıldığında yoğunluğun 2017 ve 2018 yıllarında olduğu, özellikle 2017 yılının Ağustos ve Ekim ayları arasında en yüksek seviyeleri gördüğü, 2019 yılında komisyon oranı düşüken de görece anlamlı bir arbitraj fırsatının olduğu görülmüştür.

2. arbitraj senaryosu olan **DOT → ETH → BTC → DOT** döngüsünde, DOT-ETH, ETH-BTC, DOT-BTC kripto para çiftlileri ile hesaplanmıştır. Bu senaryo için 1,3 milyon gözlem içerisinde hesaplanan arbitraj fırsatlarında en yüksek fırsat sayısının 0,0001'lik komisyon ile 2023 yılında 170 bin ve 203 bin olduğu gözlemlenmiştir.

Ay bazında incelendiğinde en yüksek arbitraj fırsatı sayısının 18875 adet ile 2023 yılının Ağustos ayında ve 17994 adet ile 2024 yılının Ocak ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

En düşük arbitraj fırsatının yıl bazında 27 bin ve 26 bin ile 2021 yılında, ay bazında ise 2022 yılının Ekim ayında 12 bin, 2023 yılının Mayıs ayında ise 13 bin olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

1. Senaryoda en yüksek arbitraj fırsatının ay bazında 2017 yılının Eylül ayında 23 bin ile gerçekleştiği gözlemlenmiştir. BTC, ETH ve USDT için aylık toplam işlem hacimlerine bakıldığında BTC'nin 1,2 milyar dolar, ETH'nin 332 milyon dolar, USDT'nin 117 milyon dolar işlem hacmi olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde en düşük arbitraj fırsatının 2019 yılının Kasım ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. İlgili kripto paraların işlem hacimlerine bu aylar içerisinde bakıldığında BTC'nin 17 milyar dolar, ETH'nin 6,5 milyar dolar, USDT 19 milyar dolar olduğu gözlemlenmiştir.

Senaryo 2 için bakıldığında en yüksek arbitraj fırsatının ay bazında 2023 yılının Ağustos ayında olduğu tespit edilmiştir. Bu zaman dilimindeki kripto para işlem hacimlerine bakıldığında BTC'nin 437,7 milyar dolar, ETH'nin 168,6 milyar dolar, DOT'un 3,1 milyar dolar olduğu gözlemlenmiştir. En düşük arbitraj fırsatı olan 2022 yılının Ekim ayı içerisinde gerçekleşen işlem hacmine bakıldığında tüm borsalar bazında toplam olarak BTC'nin 1 Trilyon dolar, ETH'nin 423,8 milyar dolar, DOT'un 8,9 milyar dolar olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm bu veriler ışığında işlem hacmi arttıkça arbitraj fırsatının azaldığı ifade edilebilir. İlgili yıllar düşünüldüğünde; yüksek seyirde gerçekleşen arbitraj fırsatlarının radikal şekilde düştüğü yılların küresel çapta yaşanan COVID-19 pandemisinin başladığı zamanla örtüştüğü görülmektedir. Pandemi ile beraber artan kripto para işlem hacminin arbitraj fırsatlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bir diğer ihtimal de Binance borsasının fiyatlama stratejisini bu fırsatlara imkan vermeyecek şekilde belirlemeye başlamış olması da olabilir. Bu konular da araştırmaya değer olarak olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

Akyıldız A., (1996), “Kâğıt Para”, İstanbul: Eren Yayıncılık.

Atar A., (2015), “XVIII. Yüzyıl’da Yayımlanmış Fetva Mecmualarına Göre Osmanlı’da İktisadî Hayat”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Atlan S., (1993), “Grek Sikkeleri, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, Antik Nümizmatik Dizisi:2”, İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları.

Barber S. N., Conlon T. M., Engels R., Haskel W., (2019), “Deconstructing the cryptocurrency hype: The technological, economic, and regulatory dimensions.”, *Technology in Society*, 57, 101-112.

Battista M., Morosi S., Visentin G., (2020), “Cryptocurrency scams: A classification and empirical analysis”, *Journal of Money Laundering Control*, 23(5), 986-1013.

Bonacina M., Medda G., (2021), “The role of crypto exchanges in the bitcoin price Dynamics”, *Finance Research Letters*, 102, 102-111.

Carradice I., Price M., (2001), “Hellen Dünyasında Sikke”, İstanbul: Homer Kitabevi ve Yayıncılık.

Chaum D., (1981), “Blind signatures for untraceable payments. In: *Advances in cryptology*”, Springer Berlin Heidelberg, pp. 199-214.

Chen, J., <https://coinmarketcap.com/rankings/exchanges/> Erişim Tarihi: 01.06.2024

Ciavolino E., Galati D, (2019), “Herding behavior in cryptocurrencies: A network analysis”, *Chaos, Solitons & Fractals*, 127, 101-784.

Dai W., <http://www.weidai.com/bmoney.txt>, Erişim Tarihi: 06.06.2024

Fidan M., Dilek S., Esev A., (2019), “Dünden Bugüne Paranın Tarihi ve Türkiye’de Kâğıt Para Kullanımı”, *Sosyal Bilimler Dergisi - Journal of Social Sciences*, 9(18), 141-162. ISSN 2146-4561.

Gibbons R., Bauer J., Van D. M. M., (2017), “Brave: A new browser that rewards users for their attention”, *Technical Report*, Brave Software.

Gonnard R., (1938), “Kâğıt Para”, *İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi Mecmuası*, 4(16), s. 728-760.

Haferkamp M., (2021), “Security best practices for cryptocurrency exchanges”, *Journal of Cybersecurity*, 9(1), 12.

Heaton H., (2005), “Avrupa İktisat Tarihi”, Ankara: Paragraf Yayınevi.

Hoskinson C., (2015), “Cardano: A third generation cryptocurrency”, Technical Report, Input Output Hong Kong.

Hull J. C., (2018), “Options, futures, and other derivatives”, 10th Edition, Pearson

King S., Nadal F., Schuermann A., (2018), “Decentralized cryptocurrency and stablecoins: A framework for analysis”, Journal of Financial Economics, 149(3), 438-455.

Kirillov A., Vigna S., (2020), “The liquidity of bitcoin and other cryptocurrencies”, The Journal of Finance, 75(6), 2867-2910.

Lee C., (2011), “Litecoin: A light version of Bitcoin”, Technical Report, Litecoin Foundation.

Murgia M., Piccini M., (2018), “User experience and cryptocurrency exchange adoption”, Journal of Business Research, 101, 373-382.

Mylrea M., Narula S., Narula N., Reed A., (2018), “USD Coin: A white paper”, Technical Report, Circle.

Narula S., (2014), “Blockchain technology: Built for bitcoin, but the real impact lies elsewhere”, Harvard Business Review, 92(2), 94-103.

Özyetgin A. M., (2005), “Eski Türklerde Ödeme Araçları: Kâğıt Para Çav’ın Kullanımı Üzerine. Orta Zaman Türk Dili ve Kültürü Üzerine İncelemeler”, İstanbul: Ötüken Yayınları.

Öztürk E., Başaran E., Aksoy S., (2011), “Modeling of Ground Penetrating Radar”, “Subsurface Sensing Book”, Wiley & Sons Inc.

Praokis J., Salehi M., (2007), “Digital Communications”, 5th Edition, McGraw-Hill.

Ross S. A., Westerfield R. W., Jaffe J., Jordan B. D., (2016), “Corporate finance”, 11. Edition, McGraw-Hill Education.

Sahillioğlu H., (1993), “Darphane”, TDVİA, C. 8, s. 501-505.

Schwartz D., Davies G., De Menezes P., (2012), “Ripple: A new cryptocurrency”, Technical Report, Ripple Labs.

So M. H., (2023), “A comparative analysis of cryptocurrency exchange fees”, Journal of Internet Money, 28(1), 1-23.

Sürmen Y., (2014), “Muhasebe – 1.”, Trabzon: Celepler Matbaacılık.

TCMB, <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/d189b219-fe71-40bf-9754-6a5f7d0a65eb/KagitParaTarihce.pdf?MOD=AJPERES&CVID=>, (01.04.2019), Erişim Tarihi: 15.05.2024.

Tekin O., (2008), “Antik Nümismatik ve Anadolu (Arkaik ve Klasik Çağlar)”, İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları.

Türe A., (2002), “Anadolu Antik Takıları”, İstanbul: Goldaş Kültür Yayınları.

Şenbayram E. A., (2019), “Paranın Geldiği Uç Nokta: Bitcoin”, Econharran Harran Üniversitesi İİBF Dergisi, 3 (4), 72-92.

Wilkinson J., Reed A., Pal A., Stratopoulos S., (2017), “Filecoin: A novel decentralized storage network”, Technical Report, Protocol Labs.

Wyatt M., Worley W., & Hearn B., (2018), “Enjin Coin: A white paper”, Technical Report, Enjin Coin Foundation.

ÖZGEÇMİŞ

Nükhet Nur SAYIN, 2014 yılında İstanbul Arel Üniversitesi İşletme bölümünden mezun olmuştur. Kariyer.net'te Data Platform ekibinin takım lideri olarak çalışmaktadır.

TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Sayın N.N., Uluceviz E., Kripto Paralarda Üçlü Arbitraj Analizi, Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü, 8. Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Mayıs 2024.