

T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

BİR FİNANSAL VARLIK SINIFI OLARAK KRİPTO  
PARALARIN İSTATİSTİKSEL MEKANİK AÇIDAN  
İNCELENMESİ

Samet ÇAĞLAYAN

Danışman: Dr. Öğr. Ü. Ahmet ÇELİKOĞLU

Fizik Anabilim Dalı  
Matematiksel Fizik

İzmir  
2024



## EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bir Finansal Varlık Sınıfı Olarak Kripto Paraların İstatistiksel Mekanik Açından İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

04/04/2024

Samet Çağlayan



**ÖZET****BİR FİNANSAL VARLIK SINIFI OLARAK KRİPTO  
PARALARIN İSTATİSTİKSEL MEKANİK AÇIDAN  
İNCELENMESİ**

ÇAĞLAYAN, Samet

Yüksek Lisans Tezi, Matematiksel Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇELİKOĞLU

Nisan 2024, 32 sayfa

Bu çalışmada son yıllarda yeni bir varlık sınıfı olarak hayatımıza giren kripto paralar istatistiksel mekanik açıdan incelenmiştir. Bu incelemede seçilen bazı kripto paralar için cüzdan transferlerine odaklanılmıştır. Cüzdanlar arası gerçekleşen transferler, faz uzayındaki bir yayılma gibi ele alınarak entropi hesabı yapılmıştır. Literatürde kripto paralar için hali hazırda bazı entropi çalışmaları olmasına rağmen bu çalışmalar daha çok fiyatın kendisi üzerinden yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında ise cüzdanlar arası transferlere odaklanılmıştır. Bu inceleme için başlangıçta tek seferde maksimum arzı kadar basılan kriptoparalara odaklanılmıştır. Bir kripto paraya sahip tüm cüzdanların bir faz uzayı oluşturduğu varsayılarak, bu cüzdanlara ilk andan itibaren yapılan para transferleri kayıt altına alınmıştır. Bu yolla her bir zaman adımında tüm cüzdanlar üzerinden bir entropi hesabı yapmak mümkün olmuştur. Hesaplanan entropiler ile kripto paraların o andaki fiyat hareketleri arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Her ne kadar bazı yüksek hacimli fiyat hareketlerinde entropi artışı (azalışı) ile fiyat artışı (azalışı) arasında paralellikler görülse de, bu durum her zaman gözlenmediğinden net bir ilişki kurulamamıştır.

**Anahtar sözcükler:** Entropi, Kripto Para, Blok Zinciri.



**ABSTRACT****Statistical Mechanical Analysis of Cryptocurrencies as a Class of  
Financial Assets**

ÇAĞLAYAN, Samet

MSc in Department of Mathematical Physics

Supervisor: Asst. Prof. Ahmet ÇELİKOĞLU

April 2024, 32 pages

In this study, cryptocurrencies, which have entered our lives as a new asset class in recent years, are analysed from a statistical mechanics perspective. In this analysis, wallet transfers are focussed for some selected cryptocurrencies. The transfers between wallets are treated as a propagation in phase space and entropy is calculated. Although there are already some entropy studies for cryptocurrencies in the literature, these studies are mostly based on the price itself. In this thesis, we focus on inter-wallet transfers. For this analysis, we initially focus on cryptocurrencies that are minted up to their maximum supply at a single time. It is assumed that all wallets which have selected cryptocurrency create a phase space. All transfers made to these wallets are recorded from the first transfer. In this way, it is possible to calculate the entropy over all wallets at each time step. We tried to establish a relationship between entropy and the current price movements of cryptocurrencies. Although there are parallels between entropy increase (decrease) and price increase (decrease) in some high-volume price movements, a clear relationship could not be established since this situation is not always observed.

**Keywords:** Entropy, Cryptocurrencies, BlockChain.



## ÖNSÖZ

Bu tez konusunu lisans zamanlarından danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇELİKOĞLU ile kararlaştırmamıza rağmen bu araştırma başladığı günden beri sürekli bir mücadele içerisinde bir çalışmayla karşı karşıya kaldım. Bu çalışmayı yapabilmek için başlangıçta nelere ihtiyacım olduğunu bile bilmiyor olmamdan kaynaklı olarak öncelikle çalışmanın ilerleyişi için gerekli bilgiyi edinmekle ilgili zorluklarla başa çıkmaya çalıştım. Ders döneminin sonunda Erasmus+ programı kapsamında İsveç’de eğitim almaya gitmemden ve sonrasında yaşadığım evlenme sürecimden dolayı çalışmalarım kısmen aksamış olsa da danışmanım Ahmet Çelikoğlu’nun yönlendirmeleri ile devam edebildim. Bu çalışma yeni başlamış bir veri bilimcinin literatürdeki bir eksiği kapatma çalışmasıdır.

İZMİR

04/04/2024

*Samet Çağlayan*



**İÇİNDEKİLER****Sayfa**

İÇ KAPAK . . . . .	ii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI . . . . .	v
ÖZET . . . . .	vii
ABSTRACT . . . . .	ix
ÖNSÖZ . . . . .	xi
İÇİNDEKİLER . . . . .	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ . . . . .	xv
TABLOLAR DİZİNİ . . . . .	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ . . . . .	xix
1 GİRİŞ . . . . .	1
2 ENTROPİ . . . . .	3
3 FİNANS VE ENTROPİ . . . . .	13
4 BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ VE KRIPTO PARALAR . . . . .	15
5 SEÇİLEN TOKENLAR İÇİN ENTROPİ ANALİZİ . . . . .	18
5.1 Marlin POND (POND) . . . . .	18
5.2 ORIGIN TOKEN (OGN) . . . . .	20
5.3 TENSER (10SET) . . . . .	21
5.4 DIA . . . . .	23
6 SONUÇ . . . . .	25
KAYNAKLAR DİZİNİ . . . . .	27
TEŞEKKÜR . . . . .	31
ÖZGEÇMİŞ . . . . .	32



**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 IBM için getiri değerlerinin zamana bağlı grafiği . . . . .	16
4.2 ABD dolarına karşı İngiliz Paundu (siyah), SP500 (kırmızı), IBM (yeşil) ve ham petrol (mavi) için ortalama bekleme zamanının eşik değere göre değişimi . . . . .	17
5.1 POND Entropi, Fiyat, Return Grafiği . . . . .	19
5.2 OGN Entropi, Fiyat, Return Grafiği . . . . .	21
5.3 10SET Entropi, Fiyat, Return Grafiği . . . . .	22
5.4 DIA Entropi, Fiyat, Return Grafiği . . . . .	24



## TABLÖLAR DİZİNİ

Çizelge

Sayfa





**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
MÇEİ	Minimum Çapraz-Entropi İlkesi
API	Application Programming Interface
BGS	Boltzmann-Gibbs-Shannon Entropisi





# 1 GİRİŞ

İnsanoğlu binlerce yıldır farklı nesnelere para olarak kullanmış ve bazen bu nesnelere değeri saklama aracı olarak görmüş ve yatırım yapmıştır. İnsanlık tarihi deniz kabuklarının para olarak kullanılması ve Roma döneminde askerlere maaşlarını tuz olarak ödemek gibi pek çok farklı şekilde paranın ele alınışına şahitlik etmiştir. Son yıllarda merkez bankalarının sınırsız arz yapısına tepki olarak ise kripto paralar ortaya çıkmıştır. Önceleri finansal bir varlık olarak kabul görmese de şimdilerde dev yatırım fonlarının iştahını kabartan kripto paralar tüm dünya da kabul görmüştür. Dolayısıyla bu yeni varlık sınıfının geleneksel piyasalarla olan benzerliklerini ve farklı davranışlarını incelemek son derece yararlı çıktılar verebilir.

Geleneksel piyasa enstürümanları pek çok kez istatistiksel mekaniğin nimetlerinden faydalanılarak incelenmiş ve günlük hayatta karşılaştığımız fiziksel yasalar farklı bir uygulama alanı daha bulmuştur. Bu çalışmaların bazılarına sonraki bölümlerde değinilecektir. Kripto paralar ise bazı yönleri ile geleneksel varlıklardan oldukça farklıdır. Bu farklılıklar kripto paraların istatistiksel mekanik açıdan çalışılmasını çok cazip hale getirmektedir. Bunun başlıca sebeplerinden biri kripto paraların borsalarda sürekli olarak işlem görmeleridir. Oysa ki hisse senetleri vb. varlıklar belirli saat aralıklarında işlem görmektedirler. Yine bir şirket hissesi yüzde ondan fazla arttığında veya azaldığında devre kesiciye girmekte ve işlemler durdurulmaktadır. Dolayısıyla sistemin dinamiğine dışarıdan müdahale edilmektedir. Bu yönüyle finans piyasalarının dinamiğini kavramak ve benzer çığ davranışı sergileyen pek çok sistem ile aralarında analogi yapmak için kripto paralar geleneksel finanstan çok daha uygundur. Bununla birlikte kripto paraların (pek çoğunun) cüzdan hareketleri şeffaftır ve takip edilebilir. Oysa ki kimin kaç parası veya ne kadar altın veya gümüşe sahip olduğunu bilmemiz mümkün değildir. Kripto paralarda ise her bir cüzdandan cüzdana transfer kayıt altında olduğundan paranın ilk andan itibaren yayılışı takip edilebilir. Bu yayılma süreci parçacığın faz uzayındaki hareketine benzetilebilir. Dolayısıyla paranın tek bir cüzdandan

yayılmamasını tıpkı faz uzayında bir yayılma gibi ele alarak entropi hesabı yapılabilir. Geleneksel varlıklarda bu pratikte mümkün değildir. Literatürde kripto paraların entropisini hesaplamak için yapılmış çalışmalar olmasına rağmen bu çalışmalar cüzdan hareketlerine değil fiyat hareketlerine odaklanmıştır.

Bu çalışmada son on yılda en bilinen yatırım araçları arasına giren kripto varlıkları ve entropiyi farklı bir bakış açısıyla ele alarak incelenmek istenmiştir. Literatürde market hacminden yola çıkarak yatırım araçları elde edilmeye çalışılmıştır. Ancak bu çalışmada entropi değişimi incelenerek bu değişikliklerin etkileri ile ilgili çıkarımlar yapmak hedeflenmiştir.

Bulduk ve Ecer (2023), coinmarketcap'te market hacmi olarak en yüksek olan 10 kripto varlığı Entropi ve ARAS yöntemiyle ele almışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda ele aldıkları bu varlıklar için yatırım yapılabilirlik sıralaması bulmuşlardır. Elde edilen sıralama Bitcoin (BTC), Tether (USDT), USD Coin (USDC), Ethereum (ETH), Solana (SOL), Binance Coin (BNB), Ripple (XRP), Cardano (ADA), Polkadot (DOT) ve Dogecoin (DOGE) şeklindedir. Bu sonuç incelendiğinde ise yatırım yapılabilirlik sıralaması ile market hacmi arasında pozitif bir bağlantı olduğu gözlemlenmiştir.

Fiyat ve market hacmini ele alarak yapılan çalışmaların dışında konu hakkında çalışma yapılmamış olduğundan ve kripto varlıkların transferleri ile oluşan deseni belirli bir faz uzayındaki bir bölgeden başka bölgeye parçacıkların hareketi ile oluşan desenle bağdaştırabileceğimiz düşüncesinden dolayı farklı bir yol izlenmiştir. Elde edilen verilerle yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan sonuçlar bu düşünceleri destekler niteliktedir.

Bu çalışma için yapılan kripto varlık incelemelerinde araştırmada kullanılacak nitelikteki varlıkları seçerken kullanılan en önemli koşul kripto varlığın işlem kayıtlarını elde etme konusunda API'lerden yararlanabilmemiz olmuştur. Çok sayıda borsada işlem görseler dahi kayıtları belli başlı veritabanlarında tutulmakta olduğu için veriler parçalı da olsa bu veritabanlarından API'ler yardımıyla elde edilmiştir. Bu verilerle yapılan hesaplardan sonra elde edilen veriler ve grafikler incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2 ENTROPİ

Entropi genellikle doğadaki süreçlerin doğal yönünü ifade eden temel bir termodinamik terimdir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre entropi genellikle artar. Bu artışın anlamı çoğu zaman bir sistemdeki düzensizliğin veya karmaşanın artması olarak yorumlanır. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse doğal olarak ilerleyen süreçlerin daha fazla düzensizlik oluşturmasıyla alakalı bir durumdur. Entropi, mikroskobik düzeydeki parçacıkların termal hareketlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Bu hareketler ele alınan sistemin sıcaklık, ısı kapasitesi ve termal enerji gibi termal özelliklerini belirler.

Entropi farklı alanlarda farklı anlamlar yüklenerek ele alındığı için bilim, felsefe ve toplumda karmaşık ve tartışmalı bir konudur. Modern fizikçilerden bazıları termal enerjinin diğer enerji türlerinden ayırt edilemez olarak kabul etme davranışı sergilemektedirler. Bu nedenle entropinin anlaşılması zorlaşmakta ve felsefi alanlara taşınmasına neden olmaktadır. Romer (2001) in belirttiği gibi “Isı bir isim değildir.” söylemi termal enerjinin entropinin doğru anlaşılmasına yönelik modern tartışmaları yansıtmaktadır. Bununla beraber Ben-Naim (2008) entropi kavramını eleştirel bir gözle ele almakta ve yenilikçi yaklaşımları yansıtmaktadır. Leff (2012) entropi ve termodinamiğin doğru anlaşılması üzerine çalışmalar olarak referans gösterilebilir.

Termal enerjinin mikroskobik yapıdan makroskobik özelliklere nasıl dönüştüğü entropi ile açıklanır. Bu dönüşüm sistemlerin termal özelliklerinin ve doğada gerçekleşen süreçlerin doğasının anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Ancak yine de entropi hakkında net bir tanım ve anlaşılabilirlik doğru kullanılması ve uygulanması açısından önem arz etmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalar termodinamiğin ve entropinin anlaşılmasına katkı sağlayarak bilimsel düşünceyi geliştirir.

Isı ve ilgili termal hareketlerin malzeme yapısının karmaşıklığından dolayı entropi kavramının anlaşılmasında zorluk çıkmasına neden olmaktadır. Bu zorluğa neden olan termal karışıklık farklı türlerdeki enerjinin termal ısıya dönüşümünden ileri gelmektedir. Entropinin benzersiz olması ve evrensel

olarak kabul edilmesi enerjinin yönlendirilmiş taşınmasını temsil eden neden-sonuç ilişkisinden gelir. Doğal süreçlerin gelişimi enerjinin yüksek yoğunluktan düşük yoğunluğa doğru taşınmasıyla gerçekleşir. Böylece enerji potansiyelinin azalmasına neden olur. Birbirinden farklı sistemler çalışma potansiyelini değişik şekillerde ele alarak çeşitli olayları gerçekleştirir. Bu zorlanmış enerji transferi, termal enerjinin yayılmasına eşlik ederek geri dönüşümsüz entropi oluşmasına katkıda sağlar. Mikro düzeyde bir parçacığın entropisi yoktur ancak çok sayıda parçacıktan oluşan sistemlerde termal etkileşimlerle birlikte entropi artar.

Entropi, ısının termal dinamikleriyle ilişkilidir ve enerjinin termal dağılımını temsil etmektedir. Sistemin termal kaotik hareketlerini ve enerji taşınımalarını ifade ederek sistem içerisindeki parçacıkların topluca davranışlarını yansıtır. Bu özellikler katılar, sıvılar ve gazlar gibi farklı fiziksel durumları açıklamak için kullanılır.

Entropi, Clausius'un 1865 yılında yaptığı çalışmalar sırasında elde ettiği yeni termodinamik özelliğe verdiği isimdir. Birimi J/K ile gösterilen entropinin simgesi ise S ile ifade edilir.

$$dS = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{ictentersinir}}, \quad (2.1)$$

formülü ile ifade edilir. İki hal değişimi arasındaki entropi değişimi üstteki ifadenin ilk ve son haller arasındaki integrali ile elde edilebilir.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{ictentersinir}} \quad (2.2)$$

Entropiyi tanımlamak için verilen denklemler incelendiğinde net bir entropi miktarından söz edilmediği, sadece entropinin değişimi anlatıldığı görülmektedir. Düzensizliğin veya rastgeleliğin bir ölçüsü olan entropi hal değişimleri sırasında, hal değişiminin tersinir veya tersinmez olmasına bağlı olarak değer almaktadır. Eğer hal değişimi tamamen tersinir olarak gerçekleşirse entropi değişimi sıfır olur. Hal değişiminin tersinmez olduğu durumlarda ise entropi değişimi pozitif değer almaktadır. Bunun bir sonucu olarak entropinin azalmayacağını söylemek mümkündür. Entropi bir hal değişimi esnasında

sabit kalabilir veya artabilir. Hal değişimi esnasında entropinin negatif olduğu değerleri gözlemlemek mümkün olsa da işlem sonunda yine sıfır veya pozitif değer alacaktır.

Doğal süreçlerde, entropinin artması kaçınılmazdır; bu, ısı akışının genellikle yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru gerçekleşmesiyle bağlantılıdır. Bu durum, enerjinin israf edilmemesi ilkesiyle de uyumludur. Enerjinin verimli bir şekilde kullanılması gerektiği vurgulanır. Antoine Laurent de Lavoisier ve Hermann Helmholtz gibi bilim insanlarının maddenin ve enerjinin korunumu prensiplerine atıfta bulunulur. Ancak, entropinin maddenin ve enerjinin korunumlu değerlerinden farklı olduğu vurgulanır; entropi korunumlu bir değere sahip değildir ve doğal süreçlerde tabiatın tercihlerini ifade eder. Aynı zamanda Descartes'in ifade ettiği "Tabiat, hedeflerine varmak için daima en kısa yolu kullanır" prensibine de değinilir. Bu prensip, tabiatın eylemlerinin genellikle en az dirençle gerçekleştiğini ifade eder. Sonuç olarak, termodinamik yasalar ve felsefi prensipler arasındaki ilişki açıklanarak, doğal süreçlerin temeli anlatılmış olur.

Entropik düzensizlik bazen "karmaşa, belirsizlik" anlamındaki "kaos" ile karıştırılabilir. Aslında, bu kelimenin kökeni Yunancadır ve orijinal anlamı "derin, karanlık, ürpertici uçurum" veya "cehennem, cehennem çukuru"dur. Eşanlamlısı "anarşi"dir, "An-arche", düzensizlik, düzen yokluğu anlamına gelmektedir. Eski Grek filozofları tarafından kâinatın ilk olarak yaratılmasından önceki bilinemez kargaşa hâli anlamında kullanılmıştır. Kaos, köken olarak "düzenli" anlamına gelen ve bir terim olarak da kâinat anlamına gelen kozmos'un zıddıdır ve uzun bir süre bu şekilde kullanılmıştır. Örneğin, Immanuel Kant, "Evrensel Doğa Tarihi Ve Gökler Kuramı" isimli eserinde, kâinat'ın kaostan kozmosa dönüştüğünü öne sürmüştür. Ancak, kaos kelimesi bugün fizik bilimi dışında genellikle Grekçedeki ilk anlamına yakın şekilde kullanılmaktadır ve bu anlam, "entropik düzensizlik" ile ilgili bir kavram değildir (Kant, (1969)).

Evrenimizin daha düzenli bir halden düzensizliğe yönelimini bilgi aktarım sistemleri için ele alan Claude E. Shannon bilginin aktarımı esnasında ortaya

çıkan bozulmaların da bir tür entropi olduğunu öne sürmüştür. Shannon'a göre entropi bir iletinin taşıdığı bilgi miktarı olarak tanımlamıştır (Shannon, 1948).

Bilgi aktarımı konusunda yapılan en eski çalışma Harry NYQUIST tarafından yapılmış ve telgraf üzerinden bozulmaya maruz kalmadan en hızlı bilgi aktarımının nasıl olması gerektiğini 'Certain Factors Affecting Telegraph Speed' makalesinde açıklamıştır (Nyquist, 1924).

Shannon bir bilgi kaynağının ürettiği bilginin miktarını ve oranını ölçen bir tanım yapmıştır.  $n$  tane olası sonucu  $A_1, A_2, \dots, A_n$  olan bir kaynağı ele alalım. Bu  $n$  tane sonucun  $p_1 = p(A_1), p_2 = p(A_2), \dots, p_n = p(A_n)$  gerçekleşme olasılıkları olsun. Bu bilgiler ışığında tanımlanan bir  $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$  fonksiyonunun aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

1. H fonksiyonu her olasılık için sürekli olmalıdır.
2. Tüm  $p$  olasılıkları aynı ve  $1/n$  'e eşitse H monoton artan fonksiyondur.
3. Bir seçim durumu ardışık 2 seçim durumuna ayrılacak olursa ilk H değeri, yeni oluşan H değerlerinin ağırlıklandırılmış toplamı şeklinde olması gerekir.

Bu koşulları sağlayan H fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$H = -k \sum_{i=1}^n (p_i \log_2 p_i) \quad (2.3)$$

Burada  $k$  pozitif bir sabittir. Bu ifade Shannon tarafından kesikli sistemler için entropi olarak tanımlanmıştır. Sürekli sistemlere uyarlanmak istendiğinde toplam ifadesinin integral ile değiştirilmesi gerekmektedir.

Ben-Naim (2008)'de entropi kavramının moleküler seviyede açıklanmasına yönelik yaygın anlayışları sorgulayan bir tartışmanın parçasıdır. Özellikle entropinin "düzensizlik, özgürlük veya enerjinin yayılması" gibi basitleştirici tanımlarla ifade edilmesini eleştirmiştir. Bu kitap bilgi teorisini resmi olarak ele alan Shannon (1948) i temel olarak almaktadır. Bu kitapta yazar entropi değişimlerinin nedeni konusuna odaklanarak daha derin bir anlayışa gerek olduğunu öne sürmektedir. Entropi ve bilgi arasındaki ilişki daha G.N Lewis tarafından yaklaşık 20 yıl önceden ima edilmesine rağmen Shannon bu ilişkiyi matematiksel olarak sağlamlaştırmıştır. Ben-Naim popüler entropi

metaforlarını eleştirirken yanında entropinin karmaşıklığını ve yanlıcılığını vurgulamak için kitabın alt başlığında fazladan “S” harflerine yer vermiştir. Bu kitap ayrıca entropi hakkındaki tartışmalı konuları aydınlatıcı bir şekilde ele alır ve bu konudaki genel kabulleri sorgular.

1864 yılında, Rudolf Clausius Yunanca ”Entropein” kelimesinden türetilen ”dönüşüm ve değişim” anlamına gelen ”entropi” terimini termodinamikle ilişkilendirerek tanıttı. Entropi kavramı, termodinamiğin ikinci yasasının bir ifadesini sağlayarak ortaya çıkmaktadır. Sonrasında, istatistiksel mekanik termodinamik entropi ile sistem makro durumuna uygun mikro durumların logaritmasının bağlantısını sağladı. Boltzmann entropisi, S, Denklem 2.4 ile ifade edilmektedir.

$$S = k_B \ln(W) \quad (2.4)$$

Burada  $k_B$ , entropi ölçümünün termodinamik birimidir ve Boltzmann sabitidir. W ise termodinamik olasılık veya olasılık yoğunluğu olarak adlandırılır ve sistem makroskopik haliyle uyumlu olan mikroskobik hallerin veya komplekslerin toplam sayısını ifade eder. Boltzmann entropisi, Boltzmann-Gibbs entropisi veya termodinamik entropi olarak da bilinir ve böylece bir tekil sistem için faz uzayında tanımlanmış bir fonksiyondur. Denklem 2.4, başlangıçta 1872 ve 1875 yılları arasında Boltzmann tarafından formüle edilmiş olup daha sonra Max Planck tarafından 1900 civarında mevcut şekline kavuşmuştur.

Gibbs (1902) de, Gibbs entropisi tanıttı. Boltzmann entropisinin aksine, bir mikroskobik klasik sistemin Gibbs entropisi, faz uzayı üzerinde bir olasılık dağılımının bir fonksiyonu, yani bir topluluktur. Gibbs entropisi sistem X’in faz uzayındaki t zamanında  $SG(t)$  ile tanımlanır:

$$SG(t) = -k_B \int_X f_t(x) [\log f_t(x) - 1] dx \quad (2.5)$$

Burada,  $k_B$  Boltzmann sabiti ve  $f_t$ , faz uzayındaki olasılık dağılımının zaman evriminin yoğunluğudur.

Boltzmann entropisi bir sistem makro durumu için tanımlanırken, Gibbs entropisi Boltzmann entropisinin bir topluluk üzerindeki genelleştirilmesidir,

yani makrodurumların olasılık dağılımı üzerinedir.

1928 yılında elektrik mühendisi Ralph Hartley, herhangi bir sonlu varlık grubuyla ilişkilendirilen bilgi miktarının, grubun boyutunun bir fonksiyonu olarak anlaşılabilirliğini önerdi (Hartley, (1928)). Hartley,  $X$  adlı sonlu bir kümeyle ilişkilendirilen bilgi miktarını,  $X$ 'ın boyutunun  $b$  tabanında logaritmasını alarak tanımladı:

$$h(X) = \log_b |X| \quad (2.6)$$

Bu miktar, Hartley entropisi olarak bilinir ve özel durumlarında Rényi entropisi ile ilişkilidir.

1932 yılında, Von Neumann, Gibbs entropisini kuantum mekaniğine genelleştirdi ve bu genelleme Von Neumann entropisi olarak bilinir (Von Neumann, (1932)). Bu entropi, yoğunluk matrisinin özdeğerleriyle ilişkilendirilen Shannon entropisinin kuantum genellemesi olarak başladı. Von Neumann entropisi, Shannon entropisinin kuantum mekaniği içindeki karşılığıdır ve kuantum bilgi kuramının önemli bir parçasıdır.

1948 yılında Amerikalı Claude Shannon, "A Mathematical Theory of Communication" adlı eserini Bell System Teknik Dergisi'nin Temmuz ve Ekim sayılarında yayımladı. Shannon, sinyal içindeki bilginin ne kadar beklenmedik veri içerdiğini ölçmek için entropi kavramını önerdi. Bu ölçüm, Shannon entropisi (SE) olarak bilinir ve şu şekilde tanımlanır:

$$SE(X) = - \sum_i p_i \cdot \ln(p_i) \quad (2.7)$$

$X = \{x_i, i = 1, \dots, N\}$  bir zaman serisidir.  $0 \cdot \ln(0) = 0$  alışılmış bir kural olarak kabul edilir ve  $p_i$ ,  $x_i$  değerinin olasılığını temsil eder, yani tüm  $i$  değerleri için olasılık sıfırdan büyük ve tüm durumlarda bulunma olasılıkları toplamı 1 olacaktır.

1949'da, Shannon'ın işvereni Warren Weaver'ın isteği üzerine, Shannon'ın makalesi bir kitap olarak tekrar yayımlandı. Weaver (1953), Shannon'ın fikirlerinin başlangıçtaki hedeflerinin çok ötesine nasıl genişleyebileceğini açıklamaya çalışmıştır, bu da geniş anlamda iletişim problemlerini ele alan tüm bilimler

için geçerlidir. Weaver, bilgi kuramının ilk yazarı olarak bazen alıntılanır. Ancak, kendi ifadesiyle: "Kendi katkımın bu kitaba karşı anlamsız olduğunu kimse daha iyi görememiştir" (Kline, (2015)). Shannon ve Weaver, "The Mathematical Theory of Communication" adlı kitaplarında Tolman (1938)'i referans gösterir, ki bu da Pauli (1933)'nin Shannon'ın kullandığı entropi tanımını öne sürdüğünü iddia etmektedir. Birçok yazar, Boltzmann, Gibbs ve Shannon'ın entropi ifadelerini genelleştirerek Boltzmann-Gibbs-Shannon entropisi (BGS) terimini kullanmıştır.

1957'de Khinchin, Boltzmann entropisinin dört gereklilik üzerine kurulu aksiyomatik bir tanımını önerdi ve bu, Shannon-Khinchin aksiyomları olarak bilinir. Khinchin ayrıca Shannon entropisinin şu şekilde genelleştirildiğini gösterdi:

$$H(X) = -k \sum_i p_i \log(p_i) \quad (2.8)$$

Burada  $k$ , ölçüm birimi olarak kullanılan pozitif bir sabittir. Bu özellik, tanımdaki logaritmanın tabanını değiştirmemize olanak tanır, yani

$$SE_b(X) = \log_b SE_a(X) \quad (2.9)$$

Bu nedenle, uygulama alanına bağlı olarak, Denklem 2.9'deki doğal logaritma yerine başka tabanlardan logaritma kullanılabilir.

Shannon entropisine dayanarak, birçok araştırmacı daha doğru karmaşıklık tahmini için Shannon entropisinin performansını artırmaya yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar arasında diferansiyel entropi, spektral entropi, ton-entropi, wavelet entropi, deneysel mod çözümlene enerji entropisi ve D-entropi gibi yöntemler bulunmaktadır.

Tsallis (1988) de Boltzman-Gibbs entropi tanımını genelleştirmiştir. Bu tanım uzun erimli ekileşmeye ve hafızaya sahip denge dışı sistemler için daha uygundur. Bu entropi Tsallis entropisi veya  $q$ -entropi şeklinde adlandırılır. Tsallis entropisi

$$S_q = \frac{1 - \sum_{i=1}^W p_i^q}{q - 1} \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $W$  girilebilir durumların sayısını,  $p_i$  i. durumun olasılığını gösterirken,  $q$  ise entropik indekstir.

Shannon entropisi, kesikli olasılık dağılımları için formülize edilmiştir. Ancak, entropi kavramı sürekli dağılımlara, differential entropi (DE) olarak bilinen bir miktar aracılığıyla genişletilebilir. DE kavramı, Shannon tarafından bir sürekli durum genişlemesi olarak tanıtılmıştır (Cover (2012)). Ancak, daha ayrıntılı analizler, onu görüldüğünden daha az kullanışlı hale getiren birkaç eksikliği ortaya çıkarmaktadır. DE, bir sürekli zaman serisi  $X$ 'in olasılık yoğunluğu  $p(x)$  ile tanımlanır ve şu şekildedir:

$$DE(X) = - \int_S p_i \ln(p_i) dx \quad (2.11)$$

burada  $S$ , rastgele değişkenin destek kümesidir. Marsh (2013) da, "sürekli entropinin başlı başına sorunlu olduğunu" ve diferansiyel entropinin,  $n$  sonsuza giderken Shannon entropisinin bir sınıra gitme hali olmadığını belirtti. Aksine, bu, Shannon entropisinin sınırından sonsuz bir uzaklıkta farklılık gösterir. Sürekli entropinin negatif olabileceği birçok sorunları arasında sayılabilir, halbuki kesikli entropi her zaman negatif değildir. Örneğin, sürekli rastgele değişken  $U$ ,  $(a, b)$  aralığında eşit olarak dağılmışsa,  $p(u) = 1/(b - a)$  olduğunda, Denklem 2.11 aşağıdaki sonucu verir:

$$DE(U) = \ln(b - a) \quad (2.12)$$

Denklem 2.12'de elde edilen entropi değeri, aralığın uzunluğu 1'den küçük olduğunda negatiftir.

Kapur et al. (1992) de, Fourier dönüşüm yönteminden elde edilen güç spektral yoğunluk  $\hat{P}(f)$ 'yi kullanan spektral entropi (SpEn) önermiştir. Güç spektral yoğunluk, frekansın bir fonksiyonu olarak gücün dağılımını temsil eder. Bu nedenle,  $\hat{P}(f)$ 'nin normalizasyonu, bir olasılık yoğunluğu fonksiyonunu verir. Shannon entropisinin tanımı kullanılarak, SpEn Denklem 2.13 deki gibi tanımlanır:

$$SpEn = - \sum_{i=f_l}^{f_h} p_i \log(p_i) \quad (2.13)$$

burada  $[f_l, f_h]$  frekans bandını ifade eder. Spektral entropi genellikle normalleştirilmiş  $SpEn/\log Nf$  olarak tanımlanır, burada  $Nf, [f_l, f_h]$  aralığındaki frekans bileşenlerinin sayısını ifade eder.

Oida et al. (1997), kalp periyodu değişim oranının yüzde indeksi (PI) zaman serilerini karakterize etmek için tone-entropi (T-E) analizini önerdi. Bu çalışmada, yazarlar zaman serilerini PI ile karakterize etmek için ton ve entropiyi kullandılar.  $X = x_i, i = 1, \dots, N_g$  zaman serisi düşünüldüğünde, PI şu şekilde tanımlanır:

$$PI(i) = \frac{(x_i - x_{i+1}) \times 100}{x_i} \quad (2.14)$$

Ton, bu PI zaman serisinin birinci derece momenti (aritmetik ortalaması) olarak tanımlanır:

$$Ton = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N PI(i) \quad (2.15)$$

Entropi, PI'nin olasılık dağılımından yararlanılarak Shannon'ın denklemi olan Denklem 2.7 kullanılarak,  $\ln$  yerine  $\log_2$  ile tanımlanır.

Rosso and Blanco (2001), dalgacık entropisi (WaEn) kavramını tanıttı. WaEn, çok frekanslı sinyal yanıtı ile ilişkilendirilen düzensizlik derecesinin bir göstergesidir. WaEn'nin tanımı şu şekildedir:

$$WaEn = - \sum_{i < 0} p_i \log(p_i) \quad (2.16)$$

Burada  $p_i$ , zaman serisinin olasılık dağılımını ve  $i$  de farklı çözünürlük seviyelerini belirtmektedir.

Yu et al. (2006), deneysel mod ayrışma (EMD) ile elde edilen intrinsik mod fonksiyonları (IMF) yardımıyla zaman serilerinin düzenliliğini ölçen Deneysel Mod Ayrışma Enerji entropisini (EMDEnergyEn) önerdi.

D-entropy, Chen et al. (2011) de tanıtılmıştır. Bu ölçüm, zaman serisinin dinamik aralığına duyarlıdır. D-entropy, iki terime sahiptir. Bunlardan ilki Shannon entropisi ile elde edilen olasılıksal belirsizliği ölçer. İkincisi ise hata değişkenindeki dağılımı ölçer:

$$HD(X) = - \sum_i p_i \log(p_i) + \log(D(X)) \quad (2.17)$$

Burada  $X = \{x_i, i = 1, \dots, N_g\}$  zaman serisidir. Buna göre  $D(X)$  Denklem 2.18'deki gibi ifade edilir.

$$D(X) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |x_{i+1} - x_i| \quad (2.18)$$

D-entropy, ölçeğin  $D(X)$  sifira yaklaştığında DE'ye dönüşür. Ölçek doğal sayılara varsayılan değere döndüğünde ( $D(X) = 1$  ve dolayısıyla  $\log(D(X)) = 0$  olduğunda) D-entropy, SE'den ayırt edilemez hale gelir (Chen et al. (2011)).



### 3 FİNANS VE ENTROPİ

Finans dünyasında entropi kavramının kullanımı, bilgi entropisinin ve olasılık entropisinin genişletilmiş bir versiyonu olarak değerlendirilebilir. Bu, portföy seçimi ve varlık fiyatlandırması gibi alanlarda önemli bir araç olarak karşımıza çıkar.

Portföy seçimi alanında entropi kavramının kullanılması ilk olarak Philippatos ve Wilson tarafından gerçekleştirilmiştir (Philippatos and Wilson, (1972)). Onların tezinde, ortalama-entropi yaklaşımı önerilmiş ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. 14 yıllık bir dönem boyunca 50 menkul kıymet için aylık kapanış fiyatlarından rastgele seçilmiş bir örnek oluşturularak tüm olası etkin portföyler incelenmiştir. Araştırmaları, ortalama-entropi portföylerinin Markowitz tam-kovaryans ve Sharpe tek-endeks modelleriyle uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın bazı eksiklikleri olmasına rağmen, portföy seçimi alanına önemli katkılar sağlamışlardır.

Bu çalışmadan sonra birçok araştırmacı, portföy seçimi teorisini entropi kavramlarıyla zenginleştirmiştir. Bazıları farklı entropi formları önermişlerdir. Geleneksel portföy seçimi teorisine kıyasla, artımsal entropiye dayalı teoriler, belirli bir getiri olasılığı için en uygun portföyü vurgulamışlardır (Ou, (2005)). Bazı türlerde hibrit entropiler de portföy seçiminde kullanılmıştır. Hibrit entropi, güvenlik riskini ölçebildiği için bazı araştırmacılar bu tür entropiyi orijinal portföy seçim modellerine entegre etmişlerdir. Örneğin, Xu ve ekibi (Xu et al., (2011)), rastgelelik ve belirsizlik nedeniyle oluşan varlık riskini tahmin etmek için hibrit entropiyi kullanarak portföy seçimi problemlerini incelemişlerdir. Usta ve Kantar (2011), entropi ögesiyle ortalama-kovalans-asimetri modelini test etmişler ve bu modelin geleneksel portföy seçim modellerine kıyasla daha iyi performans gösterdiğini göstermişlerdir.

Entropi ayrıca opsiyon fiyatlamasında da kullanılmıştır. Gulko tarafından tanımlanan Entropi Fiyatlandırma Teorisi (EFT), Sharpe-Lintner sermaye varlık fiyatlama modeli ve Black-Scholes formülüne benzer değerlendirme sonuçları sunabileceği gösterilmiştir. Ayrıca EFT modeli, hisse senedi opsiyonları ve

tahvil opsiyonları fiyatlandırması gibi alanlarda kullanılmıştır.

Diğer entropi yöntemleri arasında Minimum Çapraz-Entropi İlkesi (MÇEİ) de bulunmaktadır. Bu ilke, Kullback and Leibler (1951) tarafından geliştirilmiş ve entropi optimizasyonunun önemli ilkelerinden biri olarak kabul edilmiştir. MÇEİ, opsiyon fiyatlamasında da kullanılmış ve etkili sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada, finans dünyasında entropi kavramının kullanımı ve bu kavramların portföy seçimi ve varlık fiyatlandırması gibi alanlardaki uygulamaları incelenecektir. Özellikle opsiyon fiyatlaması alanındaki entropi yöntemleri ve ilgili prensipler ele alınacaktır. Araştırmaların sonuçları, finansal karar verme süreçlerinde entropi kavramının önemini vurgulayacaktır.

Oh et al. (2014), finansal zaman serilerinin rastgelelik derecesini ve belirsizliğini Shannon entropisi kullanarak ölçmüştür. Shannon ilk olarak entropinin bilgi teorisinde rastgele bir değişkenle ilişkili belirsizliği ölçen bir ölçüt olduğunu önerdiğinden beri entropi, finansal zaman serilerinin rastgelelik derecesini ve belirsizliğini ölçmek için yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen entropi değerinin analizi, finansal piyasalardaki riskin detaylı, sistemli bir şekilde incelenmesine olanak sağlayacak ve bir finansal krizden önce temel bilgileri sağlayan erken bir uyarı sistemini sunabileceği öngörülmüştür.

Ahn et al. (2019), çalışmalarında Çin'deki hisse senedi piyasası belirsizliğinin ekonomik temeller üzerindeki etkilerini, ekonomik faaliyetleri ve sistemik riski, araştırırken piyasadaki belirsizliği doğru bir şekilde yakalamak için, sembolik zaman serileri analizi yoluyla entropi ölçüsünü kullanmışlardır. Entropi analizinde Shannon'un tanıttığı haliyle  $\log_2$  ifadesini kullanmayı tercih etmişlerdir. Bu tercihin nedeni normalleştirilmiş entropinin  $[0,1]$  aralığında sınırlı olması ve bu nedenle nitel analiz için kullanışlı olduğunu düşünmeleridir. Yaptıkları deneyde elde ettikleri bulgular, hisse senedi piyasası belirsizliğinin ekonomik temellere güçlü yayılma etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle belirsizlik şoku, sanayi üretiminde kısa vadeli bir düşüş, bileşik öncü göstergede hızlı bir düşüş ve toparlanma ve sistemik riskte bir artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir.

## 4 BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ VE KRİPTO PARALAR

Blok zinciri kavramı 2008 yılında ortaya çıkmış ve Bitcoinin tanıtılması ile adından söz edilmeye başlanmıştır. Bu teknolojinin temelinde çok farklı konumlarda bulunan kayıt defterleri bulunmaktadır. Bu defterlerde bulunan kayıtlar farklı konumlarda oldukları için değiştirilmeleri neredeyse imkansızdır. Tutulan kayıtlar paylaşılabilir. Tüm verilerin şifrelenmiş olduğu, geri dönülme-yecek şekilde işlemlerin yapıldığı ve bozulamayan bir veritabanıdır.

Blok zincirlerinin en önemli özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Verilerin güvenlik ve doğrulama gibi gerekçelerle birden fazla konumda tutulabilir yani dağıtık yapıda olması.

2. Yapılan tüm işlemler düğüm noktası denen hesaplar tarafından görülebildiği ve doğrulanabildiği için şeffaf olması.

3. Mutabakat yapısı sayesinde merkezi bir otoriteye bağlı olmaksızın veriler düğümler tarafında aktarılabilir. Bu bağımsız olma özelliğidir.

4. Blok zincirine eklenen veri hiçbir şekilde güncellenemez, silinemez ve veri kalıcı olarak saklanır.

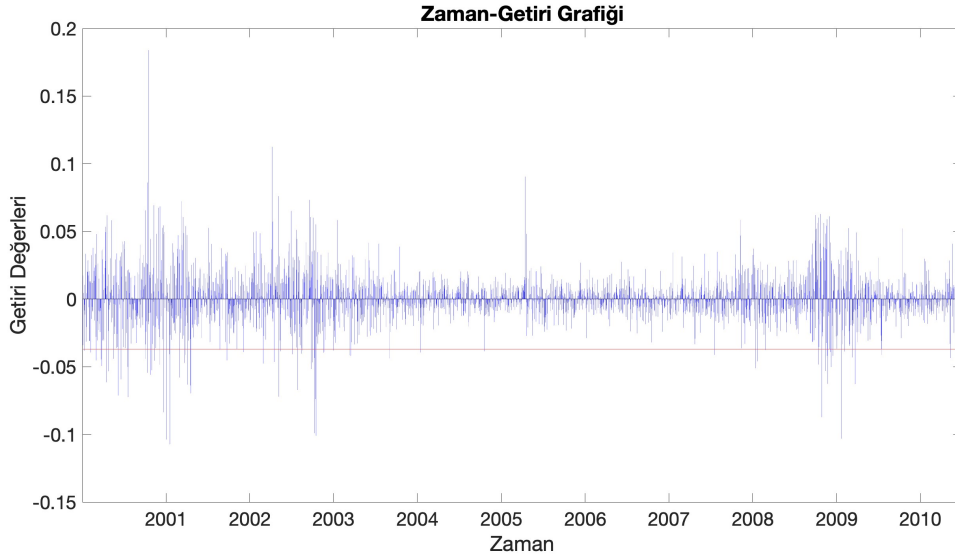
5. Blok zinciri sisteminde düğümler kimlik belirtmeye ihtiyaç duymadan veri aktarımı gerçekleştirebilir. Bu işlem için sadece blok zinciri adresinin bilinmesi gerekmektedir (Unalı, G., Uluçay, C., 2020).

Ludescher et al. "Universal behaviour of interoccurrence times between losses in financial markets: An analytical description" adlı çalışmalarında ABD dolarına karşılık İngiliz paundu, Standard and Poor borsa endeksi (SP500), International Business Machines Şirketinin hisse senedi (IBM), ve ham petrol fiyatlarında meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir (Ludescher et al., 2011). Bu çalışmada 2000-2010 yıl aralığı günlük verileri ele alınmıştır. Günlük fiyat değişiklikleri sonucu oluşan getiri değerleri

$$Xi = (Pi - Pi-1)/Pi-1 \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $P(i)$  değerleri günlük kapamış fiyatlarıdır. Bu

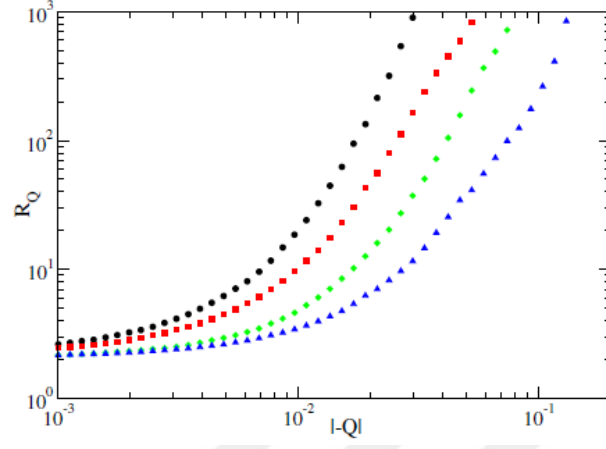
verilerin analizinde getiri değerleri için farklı eşik değer seçilerek bu eşik değerlerin altında kalan getiri değerleri olay olarak adlandırılmıştır. Bu eşik değerlerinden bir tanesi -0,037 olarak seçilmiştir. Bu değer iki olay arasındaki ortalama bekleme süresinin 70 gün olduğu değerdir. Bu şekilde farklı eşik değer ve bekleme süreleri için 16 varlık türünün analizleri yapılmış ve bekleme süreleri dağılım fonksiyonlarının q-eksponansiyel formda olduğu bulunmuştur. Ayrıca yazarlar bu q-eksponansiyel davranışın evrensel olduğunu ve aynı ortalama bekleme süresi değerine sahip farklı varlıkların aynı dağılım fonksiyonuna uyduğunu göstermiştir. Bu günler arasındaki farkların ortalaması alınca ortaya yaklaşık 70 gün çıkmaktadır. Bu yapılan analizi tekrar etmeye çalıştığımızda aynı tarih aralığında işlem yapmamıza rağmen aynı sonuçları elde edemedik. Ludescher ve ark. yaptıkları çalışmada eşik değerini değiştirilerek elde edilen  $R_q$  değerlerinin sonuçlarını grafik üzerinde göstermişlerdir çıkar (Ludescher et al., 2011).



Şekil 4.1: IBM için getiri değerlerinin zamana bağlı grafiği

Şekil 4.1 IBM için getiri değerlerinin zamana bağlı grafiği görülmektedir. Yaklaşık 2003 yılından başlayarak 2008 yılına kadar olan aralıkta  $-0.037$  eşik değerinin altında hiç getiri değeri bulunmamaktadır. Şekil 4.2 de ise

ABD dolarına karşılık İngiliz paundu, SP500, IBM ve ham petrol için eşik değerin mutlak değerine ( $|Q|$ ) karşılık ortalama bekleme zamanı  $R_Q$  değerleri görülmektedir.



Şekil 4.2: ABD dolarına karşı İngiliz Paundu (siyah), SP500 (kırmızı), IBM (yeşil) ve ham petrol (mavi) için ortalama bekleme zamanının eşik değere göre değişimi

## 5 SEÇİLEN TOKENLAR İÇİN ENTROPİ ANALİZİ

Yukarıda da bahsedildiği gibi gerek geleneksel finans gerekse kripto paralar için entropi odaklı farklı çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte cüzdan hareketlerini esas alan bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu aşamada bitcoin, ethereum vb. gibi markette üst sıralarda olan paraların entropisini hesaplamak teorik olarak mümkün olsa da pratikte mümkün değildir. Bitcoinin ilk ortaya çıkışından şu ana kadar tüm cüzdan hareketleri izlenebilir. Dolayısıyla bu transfer hareketlerini ve bitcoinin zamanla daha fazla cüzdana yayılmasını faz uzayındaki bir yayılma gibi ele alabiliriz. Böylece teorik olarak bitcoin cüzdan hareketleri için zamana bağlı olarak entropi hesaplanabilir. Fakat bu hareketin her adımını takip edebilmek de bu büyüklükte bir veriyi işlemeye yetecek bir işlemci gücüne sahip olamadığımız için bu hesabı yapmamız olası değildir. Dolayısıyla arzı sınırlı, görece daha az cüzdan hareketine sahip ve dolayısıyla markette çok daha aşağılarda yer alan kripto paralar için bu analizi yapmak daha akla yatkın görünmektedir. Aşağıda bazı kripto paralar ve entropilerinin zamanla nasıl değiştiği verilmiştir. Bu hesaplamalarda Shannon entropisi kullanılmıştır.

### 5.1 Marlin POND (POND)

Marlin POND (POND) merkezsiz finans (DeFi) ve Web 3.0 için tasarlanmış yüksek performanslı programlanabilir ağ alt yapısı sağlayan açık bir protokoldür. Marlin ağında bulunan Metanodes denilen düğümler, geliştiricilerin özelleştirilmiş versiyonları dağıtması ve uç hesaplamaları yapabilmeleri için sanal bir yönlendirici arayüzü sağlayan MarlinVM'yi çalıştırır. Bu arayüz kullanılarak oluşturulabilecek katmanlar aşağıdakileri içerir.

1. Blok zincirlerini ölçeklendirmek için düşük gecikmeli blok çok noktaya dağıtım

2. Arbitrajcular için düşük gecikmeli bellek senkronizasyonu

3.Örgü ağları

4.Karışık ağlar gibi anonimlik ağları

5.Cihaz optimizasyonu ve önbelleğe alma yanıtları

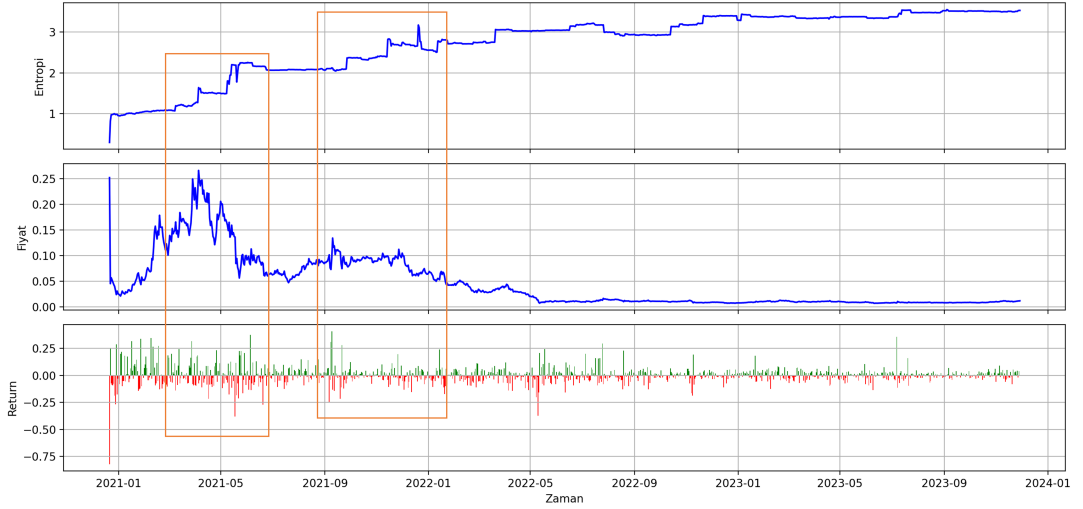
Yerel hizmet tokeni POND şu amaçlarla kullanılır:

1.Staking yoluyla ağ üzerinde doğrulayıcı düğümleri çalıştırmak

2.Ağ kaynaklarının nasıl tahsis edildiğini belirlemek için yönetim teklifleri yapmak ve oylamak

3.Bir dizi ağ performansı denetçisini belirlemek ve kullanıcılara bir sigorta fonundan tazminat ödemek

Piyasalarda MPOND ve POND olmak üzere iki token bulunmaktadır. MPOND'un toplam arz sınırı 10.000 iken POND'un sınırı 10.000.000.000'dir. 1 MPOND 1.000.000 POND olarak işlem görür. Son kontrollerde market hacmi \$119,331,233 ile coinmarketcap'te 332. sırada bulunmaktadır. (Coinmarketcap, 2024)(Marlin Labs, 2024)



Şekil 5.1: POND Entropi, Fiyat, Return Grafiği

Çalışma kapsamında ele alınan ilk kripto para olan Marlin POND grafiği incelendiğinde (Şekil 5.1) 2021 Mayıs ayında gerçekleşen ani fiyat değişimlerine karşılık olarak entropi değişimleri dikkat çekmektedir. Fiyatın ani yükseldiği

zamanda entropinin de sıçrama yaptığı görülmektedir. Fiyat düşüşe geçtiği zaman ise entropinin kısmen azalsa da neredeyse sabit kaldığı görülmüştür. Fiyat daha fazla düşüşe uğradığında ise entropide tekrar bir sıçrama yaşanmıştır.

2021 Eylül-2022 Ocak ayları arasında görülen 2021 Mayıs ayına nazaran daha sakin fiyat değişiklikleri görülmesine karşın entropide ani sıçramalar yaşanmıştır.

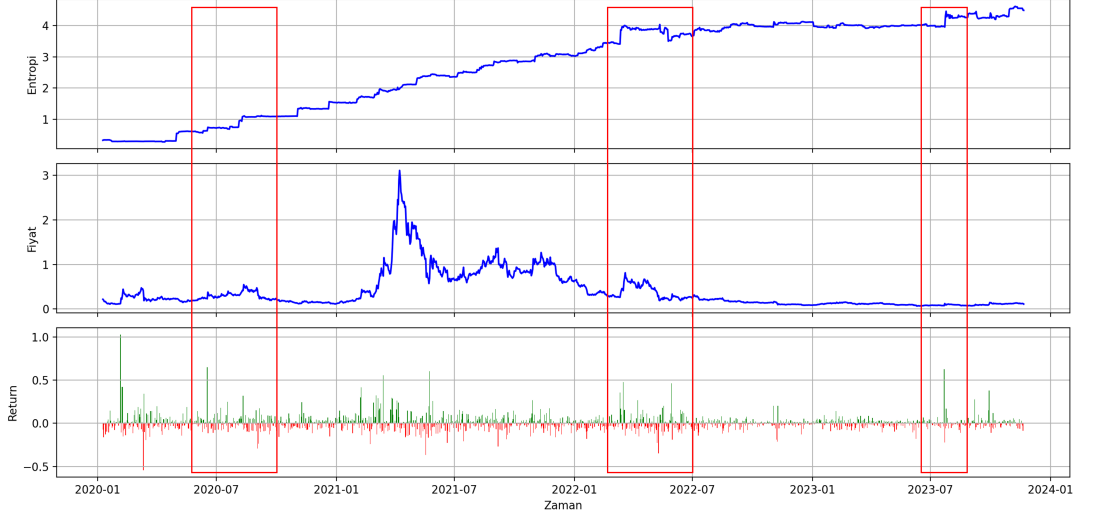
## 5.2 ORIGIN TOKEN (OGN)

Origin Protokolü, takası mümkün olmayan tokenleri (NFT'ler) ve merkezi olmayan finansı (DeFi) kitlelere ulaştırmak amacıyla web3 teknolojileri geliştirmektedir. Protokolün benzersiz araçları ve çeşitli ortaklıkları bu hedeflerin gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Origin Protokolünün Origin Story (OGN) ve Origin Dollar (OGV) olmak üzere iki ana ürünü vardır.

Origin Story, değiştirilemeyen tokenlerden yararlanarak çeşitli sektörlerdeki yıkıcılarla çalışan bir NFT pazar çözümüdür. Platform; emlak, profil resmi, müzik, sanat ve eğlence sektörleri de dahil olmak üzere çeşitli sektörlerdeki NFT pazaryerlerine ve araçlarına ev sahipliği yapmaktadır. Origin Story pazar yerleri, tasarımcılara ve koleksiyonculara içerikleri ve dijital ürünleri üzerinde daha fazla kontrol sağlar. Her beyaz etiketli pazar yeri, entegre bir veri analizi panosu, toplu pazar yeri listeleri, kolaylaştırılmış satın alma deneyimleri ve müşterinin markasıyla uyumlu özel estetik sunar. Origin Protokolü, çeşitli sektörlerde kripto merkezli fırsatlardaki değer kilitini açmayı amaçlamaktadır.

Ethereum'daki bir ERC-20 tokeni olan OGN, Origin Platformunun tamamı için yönetim ve değer tahakkuk tokenidir. Toplam arzı 1.000.000.000 OGN olarak belirlenmiştir. Token sahipleri aşağıdaki tekliflere oy verebilir:

- 1.Yeni getiri kazandıran strateji türlerinin eklenmesi/kaldırılması.
- 2.Sermayenin bir dizi stratejiye tahsis edilmesi.
- 3.Protokol tarafından hangi ücretlerin alınacağı belirlenmesi.
- 4.Sürekli olarak hangi teşviklerin sunulacağını belirlenmesi. (Coinmarketcap, 2024)



Şekil 5.2: OGN Entropi, Fiyat, Return Grafiği

Şekil 5.2 incelendiğinde 2020 Temmuz civarında fiyatta küçük değişimlerin yukarı aşağı yaşanmasına karşılık olarak entropide durağan ilerlemeler arasında ani sıçramalar görülmüştür. 2021 Nisan ayında fiyatta yaşanan ani çıkış ve inişlerin entropide aynı netlikte görülmemiştir. 2022 Mart ayında fiyattaki küçük bir değişiklik ise entropide daha net bir artış olarak karşımıza çıkmıştır. 2023 Ağustos ayında ise nerdeyse sabit izleyen fiyat grafiğine karşılık entropide sıçrama olması dikkat çekmektedir.

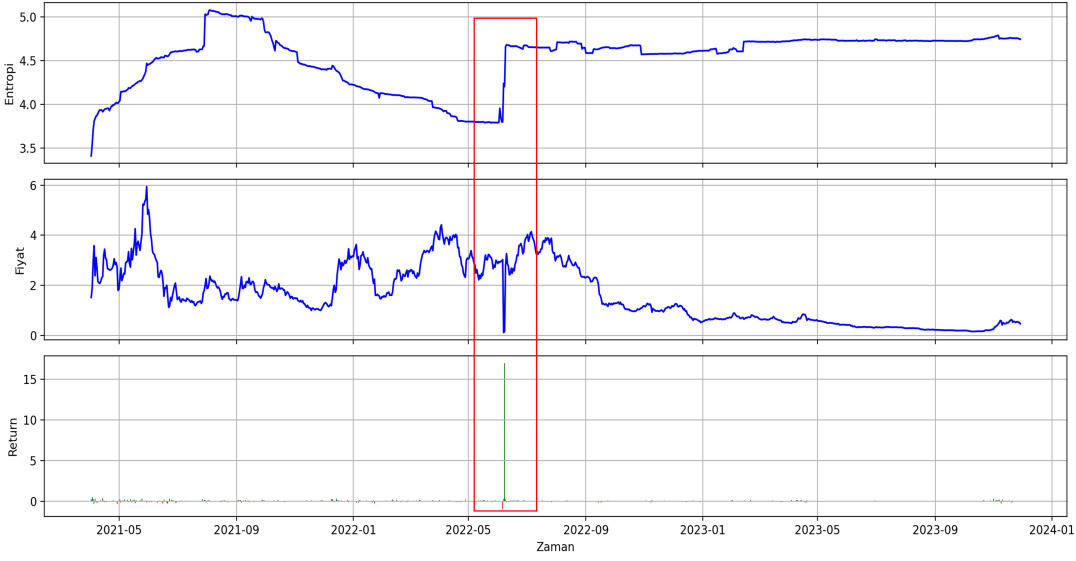
### 5.3 TENSET (10SET)

10SET, blok zinciri konusunda uzmanlaşmış bir teknolojik merkezdir. Yenilikçi genç girişimlere geliştirmeleri için gerekli araçları sağlarken, onları birinci sınıf lansman desteğiyle güçlü pazarlama alanı ile küresel bir toplulukla buluşturmaktadır. Tenset Gem Lansman Platformu, daha önce Metahero ve Everdome gibi oldukça başarılı projeler başlatmış olması nedeniyle kripto alanındaki en iyi fırlatma rampalarından biri olarak bilinmektedir.

10SET Token, BNB zincirini temel alan deflasyonist bir tokendir. Bu yardımcı program tokeni, tüm hizmetler için yerel para birimi görevi gören çeşitli Tenset ekosistemine güç verir. Buna Tenset fırlatma rampası, Infinity

Airdrop platformu, NFT Marketplace, oyun merkezi ve daha fazlasına erişim dahildir. Lansmanlara katılmak için kullanıcıların 10SET token satın alması ve bunları özel cüzdanlarından kilitlemesi gerekmektedir.

10SET ekibi, sadık token sahiplerini ödüllendirmek için önemli sayıda 10SET tokeninin aktif olarak yakıldığını bildirmektedir. Yapılan her işleme %4 vergi uygulanmakta ve %2'si anında yakılmaktadır. Diğer %2 ise stake yapanlar için sürdürülebilir ödüller sağlamak için ayrılmaktadır. Bu politika nedeniyle genel arzı azaltmak için maksimum 210 milyon token arzıyla başlayan projenin maksimum arzı giderek azalmaktadır (Coinmarketcap, 2024).



Şekil 5.3: 10SET Entropi, Fiyat, Return Grafiği

10SET grafiğinde (Şekil 5.3) en çok göze çarpan fiyatta 2022 Temmuz ayında yaşanan ani iniş ve çıkışla entropinin aniden yükselmesi ve bu seviyesini korumasıdır. 2021 Haziran ayında yaşanan düşüş entropide aynı yönde etki etmemiştir.

## 5.4 DIA

DIA (Decentralised Information Asset-Merkezi Olmayan Bilgi Varlığı), piyasa aktörlerinin güvenilir veriler elde etmesine, tedarik etmesine ve paylaşmasına olanak tanıyan açık kaynaklı bir oracle platformudur. DIA, veri analistlerini, veri sağlayıcılarını ve veri kullanıcılarını bir araya getirerek finansal akıllı sözleşme ekosisteminde açık finansal verilere yönelik bir ekosistem olmayı amaçlamaktadır. Genel olarak DIA, çeşitli kaynaklardan gelen zincir dışı veriler ile çeşitli finansal DApp'ler oluşturmak için kullanılacak zincir içi akıllı sözleşmeler arasında güvenilir ve doğrulanabilir bir köprü sağlar.

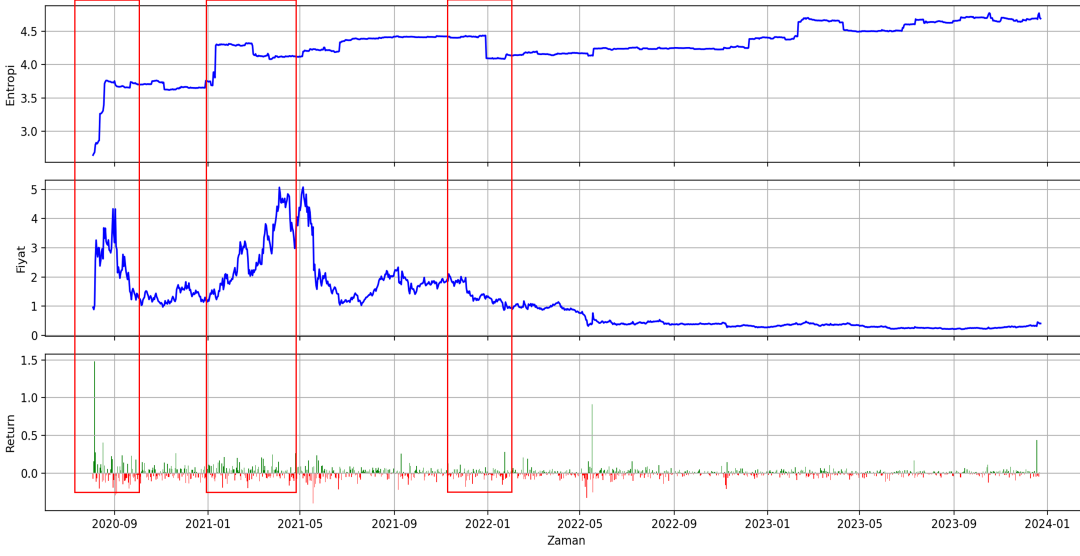
Proje 2018 yılında kurulmuş ve 3 Ağustos ile 17 Ağustos 2020 tarihleri arasındaki tahvil eğrisi satışı sırasında token arzı halka açılmış ve 10,2 milyon token satılmıştır. DIA bir düzine kişiden oluşan bir grup tarafından ortaklaşa kurulmuş, liderleri Paul Claudius, Michael Weber ve Samuel Brack'tir.

DIA, finansal verilerin Wikipedia'sı olmayı hedeflemektedir. Başta DeFi olmak üzere finans ve kripto dünyasındaki tarihli, doğrulanmamış, erişimi zor veriler sorununu özellikle ele almakta ve bunu, kullanıcıların açık akışını sürdürmeleri için bir mali teşvik sistemi aracılığıyla çözmeyi öneriyor.

DIA yönetim tokeni, veri toplamayı, veri doğrulamayı, yönetim kararlarına oy vermeyi finanse etmek ve platformun gelişimini teşvik etmek için kullanılmaktadır. Kullanıcılar, platformda yeni verilerin görünmesini teşvik etmek için DIA tokenlerini stake edebilir, ancak DIA aracılığıyla geçmiş verilere erişim ücretsizdir.

DIA, platformun yönetim tokenidir. Şu anda ERC-20 Ethereum protokolüne dayanmaktadır. Ethereum'un tüm güçlü ve zayıf yönlerini miras alarak çalışabilmesini gerektirir. Ethereum ağı, tüm işlemler Ethash iş kanıtı işlevi tarafından korunduğundan, merkezi olmayan yapısı nedeniyle en büyük ve dolayısıyla en güçlü ağlardan biridir. ERC-20 yalnızca tokenlerin üzerinde çalışacağı bir dizi kuralı tanımlar. Ethereum'un dezavantajları dikkat çekici olabilir: örneğin, tıkanıklık, işlemleri gerçekleştirmek için gereken gas fiyatını artırabilir, bu da tüm katılımcıları etkileyen gecikmelere ve anormal derecede yüksek işlem ücretlerine yol açabilir. Toplam DIA token arzı, basılan 200

milyon coin ile sınırlıdır. Market hacmi \$41.484.097 ile coinmarketcap'te 568. sıradadır (Coinmarketcap, 2024).



Şekil 5.4: DIA Entropi, Fiyat, Return Grafiği

İncelemeye alınan son token olan DIA grafiğinde (Şekil 5.4) tokenın ilk arzında görülen fiyat artışıyla beraber entropide de belirgin bir artış görülmüştür. 2021 Ocak ve Mayıs arasında yaşanan fiyat değişimleri de entropide aynı yönde karşılık gördüğü söylenebilir. 2022 Ocak ayında fiyattaki küçük bir düşüştten bir süre sonra entropideki ciddi düşüş dikkat çekmektedir.

## 6 SONUÇ

Araştırmaya dahil edilen dört tokena ait grafikler incelenmiş ve karşımıza entropi değişiminin zamana göre gerçekleşmesinde bir sıradanlık tespit edilememiştir. Entropi değişimleri fiyat değişimleri ile denk geldiği zamanlar görülmüştür. Ancak bu değişiklikler fiyat değişikliği ile doğru orantılı olarak değil daha rastgele bir halde olduğu gözlemlenmiştir. Bu inceleme sonunda entropinin çoğu zaman düzenli arttığı ancak bazı durumlarda ani düşüş veya çıkışlar da görülebileceği anlaşılmıştır. Bu değişikliklerin nedenleri piyasadaki bazı cüzdanların hızla token toplaması veya tek bir cüzdandan yüklü miktarlarda tokenin çok sayıda cüzdana dağıtılmasının etkisi olmuş olabilir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi dört token için entropi hesabı yapılmış ve entropi ile fiyat arasında bir ilişki olup olmadığı sorgulanmıştır. Bir kripto para piyasaya ilk girdiğinde görece az kişi tarafından bilinir ve satın alınır. Dolayısıyla az sayıda kişinin cüzdanında bulunur. Bununla beraber pek çok kripto para ön satış yöntemiyle piyasaya sürülerek kendini fonlamaktadır. Böylece piyasaya ilk çıktığı gün aynı anda çok sayıda cüzdana dağıtım yapıldığı için entropide hızlı bir artış görülür. Bu çok sayıda cüzdan sonraki aşamadaki cüzdan sayılarıyla kıyaslandığında hala görece az olarak ele alınabilir. Sonraki günlerde para popüler oldukça farklı kişiler almak isterler ve daha fazla sayıda cüzdana dağılır. Buradaki beklenti alma isteğinin kendisini fiyatta artış olarak göstermesidir. Dolayısıyla bu ikili arasında pozitif bir ilişki olması beklenir. Fakat bu yönde emaralar olsada her zaman entropi artışına fiyat eşlik etmemiştir. Buradaki en önemli faktör ele alınan zaman aralıklarının aynı sezonuna denk gelmiş olmasıdır. Bu sezonda her kripto para düşüş eğilimindedir. Bununla beraber hala alım satım devam ettiği için farklı cüzdanlara hareket devam etmektedir. Kripto para yüksek kapasiteli cüzdanlardan fiyat düşüşü ile dağıldıkça entropi artar fakat fiyat buna eşlik edemez. Bu analiz boğa sezonunda tekrarlanırsa entropi artışı ile fiyat arasında pozitif korelasyon gözlemlenmesi olasıdır. Diğer yandan ön satıştan piyasaya giren paralar belirli bir token ekonomisi takvimine göre dağıldığından genelde ayda bir gün

entropide sıçrama olabilir, aynı günlerde satış baskısı artar ve fiyat düşer. Özellikle bu iki unsur dinamiğin tam olarak gözlenememesine sebep olmuştur. Bununla beraber cüzdan hareketleri kullanılarak entropi hesaplanmış ve ileride yapılacak çalışmalar için literatüre katkıda bulunulmuştur.



## Kaynaklar

- [1] Romer, R.H. (2001). *Heat is not a noun. Am. J. Phys.*
- [2] Ben-Naim, A. (2008). *Farewell to Entropy: Statistical Thermodynamics Based on Information. World Scientific: Singapore*
- [3] Leff, H.S. (2012). *Removing the mystery of entropy and thermodynamics—Part II.. Phys. Teach*
- [4] Shannon, C.E. (1948). *A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal*
- [5] Gibbs, J.W. (1902). *Elementary Principles in Statistical Mechanics: Developed with Especial Reference to the Rational Foundation of Thermodynamics. C. Scribner's Sons: Farmington Hills*
- [6] Hartley, R.V. (1928). *Transmission of information. The Bell System Technical Journal*
- [7] Von Neumann, J. (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany*
- [8] Weaver, W. (1953). *Recent contributions to the mathematical theory of communication. ETC Rev. Gen. Semant*
- [9] Kline, R.R. (2015). *The Cybernetics Moment: Or Why We Call Our Age the Information Age. JHU Press*
- [10] Tolman, E.C. (1938). *The Determiners of Behavior at a Choice Point. University of California*
- [11] Pauli, W. (1933). *Die allgemeinen Prinzipien der Wellenmechanik. In: Bethe, H., et al. Quantentheorie. Handbuch der Physik. Springer, Berlin, Heidelberg*
- [12] Tsallis, C. (1988). *Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. Journal of Statistical Physics*

- [13] Cover, T.M. (2012). *Elem. Inf. Theory. JohnWiley and Sons: Hoboken*
- [14] Kapur, J.N. (1992). *Entropy optimization principles and their applications. In Entropy and Energy Dissipation in Water. Springer: Berlin/Heidelberg*
- [15] Oida, E., Moritani, T., Yamori, Y. (1997). *Tone-entropy analysis on cardiac recovery after dynamic exercise. J. Appl. Physiol*
- [16] Rosso, O.A., Blanco, S., Yordanova, J., Kolev, V., Figliola, A., Schurmann, M., Başar, E. (2001). *Wavelet entropy: A new tool for analysis of short duration brain electrical signals. Journal of Neuroscience Methods*
- [17] Yu, Y., Junsheng, C. (2006). *A roller bearing fault diagnosis method based on EMD energy entropy and ANN. Journal of Sound and Vibration*
- [18] Chen, B., Zhu, Y., Hu, J., Pri, J.C. (2011). *D-Entropy: Definition, properties and applications in system identification with quantized data. Information Sciences*
- [19] Philippatos, G.C., Wilson, C.J. (1972). *Entropy, market risk, and the selection of efficient portfolios. Appl. Econ.*
- [20] Ou, J.S. (2005). *Theory of portfolio and risk based on incremental entropy. J. Risk Finance*
- [21] Xu, J.P., Zhou, X.Y., Wu, D.D. (2011). *Portfolio selection using mean and hybrid entropy. Annals of Operations Research*
- [22] Kullback, S., Leibler, R.A. (1951). *On Information and Sufficiency. Annals of Mathematical Statistics*
- [23] Oh G, Kim HYong, Ahn S-W, Kwak W. (2015). *Analyzing the financial crisis using the entropy density function. Physica A*
- [24] Ahn, K., Lee, D., Sohn, S., Yang, B. (2019). *Stock market uncertainty and economic fundamentals: an entropy-based approach. Quantitative Finance*

- [25] Usta, I., Kantar, Y.M. (2011). *Mean-variance-skewness-entropy measures: a multi-objective approach for portfolio selection. Entropy*
- [26] Bulduk, S., Ecer, F. (2023). *Entropi-ARAS Yaklaşımıyla Kripto Para Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*
- [27] Coinmarketcap, "About Marlin", [Çevrimiçi; Erişim tarihi: 02 Ocak 2024]. <https://coinmarketcap.com/currencies/marlin/>
- [28] Coinmarketcap, "About Origin Protocol", [Çevrimiçi; Erişim tarihi: 02 Ocak 2024]. <https://coinmarketcap.com/currencies/origin-protocol/>
- [29] Coinmarketcap, "About TENSET", [Çevrimiçi; Erişim tarihi: 02 Ocak 2024]. <https://coinmarketcap.com/currencies/tenset/#About>
- [30] Coinmarketcap, "About DIA", [Çevrimiçi; Erişim tarihi: 02 Ocak 2024]. <https://coinmarketcap.com/currencies/dia/#About>
- [31] Kakavand, H., Kost De Sevres, N., Chilton, B., "The Blockchain Revolution: An Analysis of Regulation and Technology Related to Distributed Ledger Technologies", [Çevrimiçi; Erişim tarihi: 03 Ocak 2024]. <https://ssrn.com/abstract=2849251>
- [32] Marlin Labs, "Design and Analysis of a Decentralized Relay Network", [Çevrimiçi; Erişim tarihi: 03 Ocak 2024]. <https://www.marlin.org/whitepaper>
- [33] Nyquist, H. (1924). *Certain Factors Affecting Telegraph Speed. The Bell System Technical Journal*
- [34] Kant, I. (1969). *Universal Natural History and Theory of the Heavens. The University of Michigan Press.*

- [35] Ludescher, J, Tsallis, C., Bunde, A. (2011). *Universal behaviour of interoccurrence times between losses in financial markets: An analytical description. Epl Journal*
- [36] Ünalı, G., Uluyol, Ç. (2020). *Blok Zinciri Teknolojisi. Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(2), 168.
- [37] Kostic, Milivoje M. (2014). *Entropy* 16, no.2: 953-967. <https://doi.org/10.3390/e16020953>. *The Elusive Nature of Entropy and Its Physical Meaning*, 13(2), 168.



## TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince gerekli bilgi ve mantörlük desteğinden dolayı tez danışmanım Dr. Öğr. Ü. Ahmet ÇELİKOĞLU'na ve tüm süreçte sabırla yanımda olduğunu gösteren sevgili eşim Sultan COŞKUN ÇAĞLAYAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

04/04/2024

Samet Çağlayan

## ÖZGEÇMİŞ

Yazar ilköğretim ve lise eğitimini Çorum'da tamamlamıştır. Lisans eğitimini ise İzmir'de Ege Üniversitesi'nde 2020 yılında tamamlamış ve 2021 yılında yine Ege Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. İş hayatında perakende satış sektörü, metal sektörü gibi sektörlerde çalışan yazarımız şu anda trafo sektöründe AR-GE biriminde çalışmaktadır.

