

10.Uluslararası Muhasebe ve Finans Araştırmaları Kongresi Özel Sayısı 10th International Congress on Accounting and Finance Research (ICAFR23)

Piyasa Sıcaklığının Hesaplanmasında Kullanılan Modeller: Kleinert ve Chen ile Subias Piyasa Sıcaklık Modellerinin Kıyaslanması ve Modifikasyon Önerisi

Models Used in the Calculation of Market Temperature: Comparison of Kleinert and Chen
and Subias Market Temperature Models and Modification

Hüseyin Serdar YALÇINKAYA

Corresponding Author | Sorumlu Yazar

Dr. Öğr. Üyesi | Asst. Prof.

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya Ereğli Kemal Akman
Meslek Yüksekokulu, Konya, Türkiye

Necmettin Erbakan University, Konya Ereğli Kemal Akman
Vocational School, Department of Accounting and Tax, Konya,
Türkiye

syalcinkaya@erbakan.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-5064-5144>

Nizamettin BAŞARAN

Dr. Öğr. Üyesi | Asst. Prof.

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, , Ulukışla Meslek
Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Niğde, Türkiye

Niğde Ömer Halisdemir University, Ulukışla Vocational School,
Department of Transportation Services, Niğde, Türkiye

nbasaran@ohu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-0459-1819>

Makale Bilgisi | Article Information

Makale Türü | Article Type: Araştırma Makalesi | Research Article

Geliş Tarihi | Received: 19.11.2023

Kabul Tarihi | Accepted: 07. 03.2024

Yayın Tarihi | Published: 14.03.2024

Atıf | Cite As

Yalçinkaya, H.S., & Başaran, N. (2024). Piyasa Sıcaklığının Hesaplanmasında Kullanılan Modeller: Kleinert ve Chen ile Subias Piyasa Sıcaklık Modellerinin Kıyaslanması ve Modifikasyon Önerisi. *Hitit Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(ICAFR Özel Sayısı), 144-158.
<https://doi.org/10.17218/hititsbd.1393063>

Yazar Katkıları: %50-%50

Değerlendirme: Bu makalenin ön incelemesi iki iç hakem (editörler - yayın kurulu üyeleri) içerik incelemesi ise iki dış hakem tarafından çift taraflı kör hakemlik modeliyle incelendi. Benzerlik taraması yapılarak (Turnitin) intihal içermediği teyit edildi.

Etik Beyan: Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

Etik Bildirim: husbededitor@hitit.edu.tr

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/hititsbd>

Çıkar Çatışması: Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Finansman: Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır.

Telif Hakkı & Lisans: Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Author Contributions: 50% - 50%

Review: Single anonymized - Two Internal (Editorial board members) and Double anonymized - Two External Double-blind Peer Review

It was confirmed that it did not contain plagiarism by similarity scanning (Turnitin).

Ethical Statement: It is declared that scientific and ethical principles have been followed while conducting and writing this study and that all the sources used have been properly cited.

Complaints: husbededitor@hitit.edu.tr

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/hititsbd>

Conflicts of Interest: The author(s) has no conflict of interest to declare.

Grant Support: The author(s) acknowledge that they received no external funding to support this research.

Copyright & License: Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0.

Models Used in the Calculation of Market Temperature: Comparison of Kleinert and Chen and Subias Market Temperature Models and Modification*

Abstract

Physics, which is accepted as a science, examines the cause, condition and change of the structures that have emerged depending on matter and matter. The structures that emerge in terms of physical science are examined in two basic cases as macro and micro structures, and inferences are obtained through the interaction of micro and macro states. Here, it is the examination of the interaction of molecular and atomic structures with the macro structure of matter as micro states. In economic sciences, each individual (agent) performing a transaction is considered as a micro state and its interaction with the macro state. Although it is thought that Fisher (1933) first proposed these simulation-based modelling, modelling analyses of physics and economic sciences by analogy with each other have been put forward in a much earlier period. The coming together of physics and economic sciences on a common denominator started with the interest of economists in the mathematical models that emerged due to the development of physics science and the curiosity of whether these models work with economic concepts. The convergence of physical and economic sciences in various aspects is not a new concept, but has a long history. In particular, the search for a causal relationship in the problems researched in all fields of science has led scientists to propose deterministic, mathematical, understandable and simple models. This situation has manifested itself in economic sciences as classical and neo-classical economic schools. However, stochastic analyses in the field of physics have affected economic sciences and especially the field of finance. The effort to explain economic problems with stochastic models, which started with the Keynes school of economics, led to the development of econometrics. The development of statistical physics in the field of physics has played a major role in the development of statistics and indirectly in the development of econometrics. In addition, it is understood from the research papers of the last 40-50 years that newly created probabilistic models are more successful than deterministic models in solving financial problems. The inference to be drawn from all these statements is that thermodynamics and thermodynamic theories, which are the main subject in the development of statistical physics, should be tested in economic sciences, especially in finance. The aim of this study is to investigate whether the concept of temperature in thermodynamics, which is one of the most fundamental issues in physics, can be calculated in financial time series. If a temperature concept can be established on financial time series and meaningful relationships can be established between the calculated temperature values and time series, a new analysis measure will emerge for financial analyses. The obtained temperature values can also be used in the solution of other financial problems with statistical physics concepts in future studies. In this framework, the first objective of our study is to investigate whether the concept of temperature can be calculated in financial time series, and also to compare the Kleinert and Chen Market Temperature Model and the Subias Market Temperature Model and to investigate which one is more successful in explaining the logarithmic returns of the S&P500 index. Another aim of the study is to modify and re-compare both models and contribute to the literature according to the findings obtained. In this framework, Kleinert and Chen Market Temperature Model and Subias Market Temperature Model were first used in the calculations, then both models were modified and market temperatures were recalculated and compared. In order to compare both market temperature models under the same conditions, daily closing data of the S&P 500 index between 02/01/2010 - 30/12/2022 were used. According to the results obtained from the findings, it is seen that both models do not produce sufficiently significant results, but after the modification of the models, market temperature data with negative temperature values are sufficient to explain the log returns of the S&P500 index. In addition, when the two models are compared, it is seen that the KCMT[^] model is more successful in explaining the log returns of the S&P500 index than the SMT[^] model.

Keywords: Econophysics, Market Temperature, Kleinert and Chen Market Temperature Model, Subias Market Temperature Model

Piyasa Sıcaklığının Hesaplanmasında Kullanılan Modeller: Kleinert ve Chen İle Subias Piyasa Sıcaklık Modellerinin Kıyaslanması ve Modifikasyon Önerisi**

Öz

Fen bilimi olarak kabul edilen fizik; madde ve maddeye bağlı olarak ortaya çıkmış yapıların ortaya çıkış nedenini, durumunu ve değişimini incelemektedir. Fizik bilimi açısından ortaya çıkan yapılar makro ve mikro yapılar olarak iki

* This study is a revised version of the paper presented at the 10th International Congress on Accounting and Finance Research (ICARF'23) organized by Hitit University between September 14-16, 2023.

** Bu çalışma 14-16 Eylül 2023 tarihleri arasında Hitit Üniversitesi tarafından düzenlenen 10. Uluslararası Muhasebe ve Finans Araştırmaları Kongresi'nde sunulan bildirinin gözden geçirilmiş halidir.

temel durumda incelenir ve mikro durum ve makro durumların etkileşimi üzerinden çıkarımlar elde edilmektedir. Burada söz konusu mikro durumlar olarak molekül ve atom boyutundaki yapıların maddenin makro yapısı ile olan etkileşimlerin incelenmesidir. İktisadi bilimlerde ise işlem yapan her bir birey (temsilci (Agent)) bir mikro durum olarak kabul edilerek makro durumla olan etkileşimi. Söz konusu bu benzetime dayalı modellemelerin ilk olarak Fisher (1933) tarafından öne sürüldüğü düşünülse de çok daha eski dönemde fizik ve iktisadi bilimlerin birbirlerine benzetim yolu ile modelleme çözümlenmeleri ortaya atılmıştır. Fizik ve iktisadi bilimlerin ortak bir paydada bir araya gelmeleri fizik biliminin gelişimine bağlı olarak ortaya çıkartılan matematiksel modellerin iktisatçılar tarafından ilgi görmesi ve söz konusu modellerin ekonomik kavramlarla da çalışıp çalışmadığının merak edilmesi ile başlamaktadır.Çeşitli yönleri ile fizik ve iktisadi bilimlerin birbirlerine yakınlaşması yeni bir kavram olmayıp geçmiş olduğu eskilere dayanmaktadır. Özellikle tüm bilim alanlarında araştırılan problemlerde nedensellik ilişkisi aranması bilim insanlarını öncelikle deterministik, matematiksel, anlaşılır ve basit modeller önermeye itmiştir. Bu durum kendini iktisadi bilimlerde klasik ve neo klasik iktisadi ekol olarak göstermiştir. Ancak fizik alanında yaşanan stokastik çözümlenmeler iktisadi bilimlere ve özellikle de finans alanını etkilemiştir. Keynes iktisat ekolü ile başlayan iktisadi problemleri stokastik modellerle açıklama çabası ekonometri biliminin gelişmesine neden olmuştur. Fizik alanında istatistiksel fiziğin gelişmesi öncelikle istatistiğin ve dolaylı olarak ta ekonometrinin gelişmesindeki rolü oldukça büyük olmuştur. Ayrıca finansal problemlerin çözümünde yeni oluşturulan olasılıklı modellerin deterministik modellerden daha başarılı olduğu son 40-50 yılın araştırma makalelerinden anlaşılmaktadır. Tüm anlatımlardan elde edilecek çıkarım ise istatistiksel fiziğin gelişmesinde temel konu olan termodinamik ve termodinamik kuramlarının iktisadi bilimlere içerisinde özellikle finans konularında da test edilmesi gerekliliğidir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada fizik biliminin ilgilendiği en temel konulardan biri olan termodinamiğin içerisinde sıcaklık kavramının finansal zaman serilerinde hesaplanabilir olup olmadığını araştırmaktır. Eğer finansal zaman serileri üzerinde bir sıcaklık kavramı oluşturulabilirse ve hesaplanan sıcaklık değerleri ile zaman serileri arasında anlamlı ilişkiler kurulabilirse finansal analizler için yeni bir analiz ölçüsü ortaya çıkacaktır. Elde edilen sıcaklık değerleri daha sonraki çalışmalarda istatistiksel fizik kavramları ile diğer finansal problemlerin çözümünde de kullanılabilir. Bu çerçevede çalışmamızın birinci amacı, sıcaklık kavramının finansal zaman serilerinde hesaplanabilir olup olmadığını, aynı zamanda da Kleinert ve Chen Piyasa Sıcaklık Modeli ile Subias Piyasa Sıcaklık Modelini karşılaştırarak hangisinin S&P500 endeksinin logaritmik getirilerini açıklamakta daha başarılı sonuçlar verdiği araştırmaktır. Çalışmanın bir diğer amacı ise her iki modelde modifiye ederek yeniden karşılaştırmak ve elde edilen bulgulara göre literatüre katkı sağlamaktır. Bu çerçevede hesaplamalarda önce Kleinert ve Chen Piyasa Sıcaklık Modeli ile Subias Piyasa Sıcaklık Modeli kullanılmış, daha sonra her iki model modifiye edilerek piyasa sıcaklıkları yeniden hesaplanmış ve kıyaslanmıştır. Her iki piyasa sıcaklığı modelini aynı şartlar altında kıyaslayabilmek için S&P 500 endeksinin 02/01/2010 – 30/12/2022 tarihleri arasında günlük kapanış verileri kullanılmıştır. Elde edilen bulgulardan ulaşılan sonuçlara göre, her iki modelinde yeterince anlamlı sonuçlar üretmediği, ancak modellerin modifiye edilmesi sonrasında negatif sıcaklık değerlerine sahip piyasa sıcaklık verilerinin S&P500 endeksinin log getirilerini açıklamak için yeterli veriler oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca iki model kıyaslandığında KCMT[^] modelinin SMT[^] modeline göre S&P500 endeksinin log getirilerini açıklamada daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ekonofizik, Piyasa Sıcaklığı, Kleinert ve Chen Piyasa Sıcaklık Modeli, Subias Piyasa Sıcaklık Modeli

Giriş

Fizik ve iktisadi bilimlerin ortak bir paydada bir araya gelmeleri fizik biliminin gelişimine bağlı olarak ortaya çıkartılan matematiksel modellerin iktisatçılar tarafından ilgi görmesi ve söz konusu modellerin ekonomik kavramlarla da çalışıp çalışmadığının merak edilmesi ile başlamaktadır. Fizik biliminin gelişiminde iki dönüm noktası bulunmaktadır. Bunlardan ilki Galileo, Descart ve Newton tarafından temelleri atılan ve temel hareket yasalarını tanımlayan Klasik Fizik (Newton Fiziği) ve 20. yy. başlarında Einstein önderliğinde geliştirilen kuantum ve görelilik kuramlarından oluşan Modern Fiziktir (Kırer, 2011, s.5; Mirowski, 1984, s.365). Tarihsel gelişime bağlı olarak Newton fiziğinden etkilenen ekonomik kuramcılar klasik ekol temsilcileridir. Modern fizikten etkilenen ekonomik kuramcılar ise Keynes ekolü temsilcileri olmaktadır. Söz konusu etkileşimleri daha iyi anlamak için fizik ve iktisadi bilimlerin etkileşiminden ortaya atılan tezleri kronolojik sıra ile incelemek faydalı olacaktır:

Newton tarafından geliştirilen hareket yasaları ve Öklid geometrisi klasik ekonomik ekol tarafından ekonomik denklemlerin ve özellikle arz talep dengesinin anlaşılmasında önemli rol aldığı ve ayrıca termodinamik yasaların ve diferansiyel denklemlerin ise neoklasik ekonomik ekolün gelişmesinde büyük etkisi olduğu düşünülmektedir (Kırer ve Ercan, 2015, ss.32-33). Newton'un hareket yasaları ile birlikte ortaya koyduğu kütle çekim yasası tüm bilim alanlarında rasyonalizme, deneyselliğe, determinizme ve tümevarıma dayalı araştırmaları teşvik etmiştir (Pereira ve diğerleri, 2017, s.252). Bu yeni akıma göre ilk ekonomik çıkarımlar Pareto (1897) tarafından ortaya konulmuştur. Pareto "Politik İktisat Dersleri" eserinde fizikte geçerli olan mekanik denge yapısını ekonomik denge yapısına uyarlamıştır. Pareto yaptığı çalışmada farklı ekonomik büyüklüklerin (farklı toplulukların refah büyüklüğü) dağılımını güç yasası dağılımı ile açıklamaya çalışmıştır (Pereira ve diğerleri, 2017, s.252; Özyiğit ve Mazgirt, 2021, s.382). Pareto'nun güç yasası teoremini Levy (1925) matematiksel bir dağılım yapısına dönüştürmüştür. Levy tarafından oluşturulan dağılım serisini inceleyen Mandelbrot fiyatların standart dağılıma göre daha fazla değişebileceğini, Levy ise fiyatların dağılımında şişman kuyruk yapısının varlığını güç dağılımını kullanarak göstermiştir (Kitt, 2005; Kırer ve Ercan, 2015, s.37).

Fizik dünyası 19. yy içerisinde büyük değişimlere sahne olmuş ve bu dönemde Planck ve Einstein'ın çalışmalarına bağlı olarak fiziğin Newton'un yasalaştırdığı şekilde deterministik olmayacağını, daha çok olasılıklar içerisinde göreceli bir yapıya sahip olacağını ortaya koymuşlardır. Fizik alanında yapılan bu devrimsel çalışmalardan etkilenen ekonomi araştırmacıları da daha stokastik yapıda araştırmalar ortaya koymaya başlamışlardır. Ortaya çıkan bu yeni akıma bağlı olarak ilk önemli çalışma Bachelier (1900) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bachelier yaptığı çalışmada finans alanında kullanılan en temel teoremlerden olan "rassal yürüyüş" teoreminin matematiksel modelini geliştirmiştir. Rassal yürüyüş yapısına bağlı olarak ortaya çıkan "Brownian Hareketi" Einstein tarafından matematiksel bir model haline dönüştürülmüştür (Burda ve diğerleri, 2003; Kırer ve Ercan, 2015, s.38). Fizik alanındaki bu stokastik yaklaşımlar istatistik biliminin gelişmesini teşvik etmiş ve istatistik ile fiziğin birleşimi mekanik istatistik kuramlarının oluşmasına neden olmuştur. Mekanik istatistik (istatistiksel fizik) alanında Poincare, Maxwell, Boltzman ve Gibbs kendi çalışmaları ile öncü araştırmacılar olmuşlardır. Söz konusu araştırmacılar bir zaman serisinin öngörülemezliği fikrinin yerine öngörülemezliğin olasılığının hesaplanabilirliğini savunmuşlardır. Oluşturulan bu hipotezlere bağlı olarak fizik ve finans başta olmak üzere bir çok bilim dalını etkileyen kaos teorisi ortaya çıkmıştır (Özyiğit ve Mazgirt, 2021, s.383). 20. yy ekonofizik çalışmaları incelendiğinde ise özellikle finans piyasalarını derinden etkileyen "Opsiyon Değerleme Modeli" çalışması karşımıza çıkmaktadır. Ficher Black, Myron Scholes ve Robert Merton tarafından gerçekleştirilen çalışma, termodinamiğin sıcaklık yayılım modelini temel alarak Bachelier'in çalışma sonuçlarından yararlanmaktadır (Günay, 2016, s.286). Fizik ve iktisadi bilimler arasındaki etkileşim örneklerini çoğaltmak mümkündür ancak burada en temel ve dikkat çekici çalışmalara yer verilmiştir. Verilen fizik ile iktisadi ve özellikle finansal alan hibrit çalışmaları 1980'li yıllardan sonra hibrit bilim dalının ortaya çıkmasına evrilmiş ve bu gün ekonofizik adı verilen bilim alanı ortaya çıkmıştır.

1. Ekonofizik ve Piyasa Sıcaklığı

1.1. Ekonofizik

Ekonofizik oldukça yeni bir kavram olması sebebiyle bir çok bilim insanı tarafından tanımlanmaya ve bir sistematige konulmaya çalışılmıştır. Ekonofizik kavramı ilk olarak 1995 yılında Kalküta'da düzenlenen "Kompleks Sistemlerin Dinamikleri" (Dynamics of Complex Systems) konferansında fizikçi H. Eugene Stanley tarafından ortaya atılmıştır. Stanley sunumunda fiziksel (canlı olmayan) varlıkların davranışları ile canlıların davranışlarını açıklayabileceğini savunmuştur. Fizikçilerin finans alanı ile ilgilenmeye başlaması ile birlikte birçok farklı yeni terim (örn: "Phynance")

önerilmişse de Stanley tarafından ortaya atılan “Econophysics” terimi geniş kitlelerce kabul görmüştür (Yakovenko, 2008, s.1). Daha sonra Montegna ve Stanley (1999) “An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance” başlıklı kitaplarında ekonofiziği; fizik alanında ortaya çıkmış kavramları ekonomik ve finansal problemlerin çözümünde kullanmaya çalışan fizik bilim insanlarının çalışma alanı olarak tanımlamaktadır (Mantegna ve diğerleri, 2000, s.5).

Ekonofizik, Burda ve diğerleri (2003)’e göre istatistiksel fizik yöntemlerinin kullanımı ile ekonomik ve finansal problemlere niceliksel yaklaşımlar bütünüdür. Afşar (2013) ekonofiziği yeni bir yaklaşım olan karmaşıklık ve kaos araştırmalarının bir uzantısı olup konvansiyonel determinizm yapısından uzaklaşma çabası olarak tanımlamaktadır. Bu durum oldukça kompleks problemlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu anlayışa bağlı olarak ekonofizik kavramı indirgemeci bir yapıda olmayıp zor problemlerin çözümü için çalışan disiplinler arası bir kavramdır.

Roehner (2002)’e göre ekonofizik disiplinler arası bir bilim olmaktan çok, farklı bileşenlere sahip farklı bilimsel problemlerin aynı teoriler ile açıklanabilmesi ve sonuçlarının karşılaştırılmasını sağlayan bir düşünce yapısı olarak tanımlanmaktadır. Coelho’ya (2007) göre ekonofizik, finansal zaman serileri ve iktisadi paylaşım problemlerini çözmek için istatistiksel fizik kavramlarının kullanılmasıdır. Özellikle borsa üzerinde tespit edilen problemlerin çözümünde istatistiksel fizik kavramlarının oldukça kullanışlı olabileceğini belirtmektedir. Son olarak, Yakovenko (2008) ise ekonofiziği doğrudan istatistiksel fiziğin kavramlarının ekonomi ve finansın problemlerini çözmek için kullanılan disiplinler arası bilim dalı olarak tanımlamaktadır.

Finansal piyasaların oldukça karmaşık yapısını anlama ve karşılaşılan sorunları çözme konusunda indirgeyici yaklaşımların tam olarak istenilen cevaplara ulaşamadığı anlarda ekonofiziğin karmaşık yapıları çözümlenmekte yararlandığı istatistiksel fizik kavramlarının kullanılması bir sorun teşkil etmemelidir. Hatta sadece istatistiksel fizik kavramları dışında Newton fiziği kavramlarının da kullanılması bir problemi anlaşılır hale getiriyorsa sakıncalı bir durum değildir. Ancak disiplinler arası bu yaklaşımlar temel düzeyde kendi teori birimlerinin birbiri ile olan ilişkilerini sağlam bir teorik alt yapıda oluşturmalarıdır.

1.2. Piyasa Sıcaklığı

Piyasa sıcaklığı kavramı ilk olarak Kleinert ve Chen (2007) tarafından ortaya atılmış olup, piyasa risklerini çok kısa zaman dilimleri içerisinde Gauss dağılımı yerine Boltzman dağılımına yakınsadığını ve buna bağlı olarak piyasa risklerinin ölçülmesi için piyasa sıcaklığının kullanılabilmesini önermektedir. Aynı yıl içerisinde Yakovenko ve Rosser (2007) kendi çalışmalarında finansal piyasa dinamiklerini istatistiksel fizik kuramları ile açıklamaya çalıştıklarında para ve enerji analogisi üzerinden paranın sıcaklığını hesaplayan bir model önermesi getirmişlerdir. Yakovenko’nun bu çalışmasında paranın sıcaklığı hesaplanmakta ancak finansal piyasa sıcaklığı üzerine bir öneri getirilmemektedir. Subias (2012) yaptığı çalışmada ise kendinden önceki çalışmaları ele alarak ve benzer analogiler kullanarak piyasa sıcaklığını hesaplayan bir model geliştirmiştir. Subias’ın bu çalışmadaki amacı; hesaplanan piyasa sıcaklığı verileri ile finansal zaman serileri üzerinde tutarlı öngörülerde bulunabilmektir. Literatürdeki bu üç çalışma içerisinde piyasa sıcaklığını ölçmeye çalışan Kleinert ve Chen (2007) ile Subias’ın (2012) çalışmaları temel piyasa sıcaklığı ölçmeye çalışan makaleler olarak kabul edilmelidir. Söz konusu her iki çalışmada elde edilen modeller farklı olmakla birlikte benzer sonuçları elde etmeyi amaçlamaktadır. Bizim yapacağımız araştırmanın temelini de bu iki çalışma üzerinden elde edilecek veriler oluşturacak olup, hangi piyasa sıcaklık modelinin öngörü becerisinin daha iyi olduğunu araştırmak olacaktır.

2. Piyasa Sıcaklığı Hesaplama Modelleri

Daha öncede belirtildiği üzere piyasa sıcaklığının hesaplanmasında kullanılan iki temel model mevcuttur. Kronolojik olarak önce Kleinert ve Chen (2007) tarafından oluşturulan piyasa sıcaklık modeli açıklanacak ve daha sonra ise Subias (2012) tarafından oluşturulan piyasa sıcaklık modeli açıklanacaktır.

2.1. Kleinert ve Chen Piyasa Sıcaklık Modeli

Kleinert ve Chen geçmiş dönem finansal veri dağılım çalışmalarını (Mantegna ve Stanley, 1994; Bouchaud ve Cont, 1999; Laloux ve diğerleri, 1999; Bouchaud ve Potters, 2000; Silva ve Yakovenko, 2003) referans olarak finansal verilerin Gauss dağılımına uymadığını kabul etmektedir. Yaptıkları çalışmada S&P 500 ve NASDAQ 100 endekslerinin 1990-2006 yılları arası finansal verilerinin 1 dk, 5dk, 30dk, 1 saat, 1 gün ve haftalık logaritmik getirilerini hesaplayarak dağılımlarını incelemişlerdir. Yaptıkları araştırma sonucunda süreler uzadıkça logaritmik getirilerin Gauss dağılımına yaklaştığını ancak kısa ve çok kısa zaman diliminde logaritmik getirilerin Boltzman dağılımına yakınsadığını keşfetmişlerdir. Logaritmik getirilerin Boltzman dağılımına yakınsaması sonucunda formül (1)'e bağlı olarak piyasa sıcaklığının hesaplanabileceğini önermişlerdir.

$$\tilde{B}(z) = \frac{1}{2T} e^{-\frac{|z|}{T}} \quad (1)$$

Formül (1)'de $B(z)$ logaritmik getiri olasılık dağılım değerini, z logaritmik getiriyi, T ise sıcaklığı göstermektedir. Boltzman dağılımının zamana bağlılığını ortaya koyabilmek için Fourier dönüşümü kullanıldığında formül (2) elde edilmektedir:

$$B(p) = \int_{-\infty}^{\infty} dx e^{ipz} \frac{1}{2T} e^{-\frac{|z|}{T}} = \frac{1}{1+T(p)^2} \quad (2)$$

Fourier'e bağlı olarak dönüştürülmüş Boltzman dağılımı Hamiltonian yöntemi ile zamana göre (t) genişletilirse formül (3) elde edilmektedir:

$$B(z; t) = \frac{1}{T\sqrt{\pi T(t)}} \left(\frac{|z|}{2T}\right)^{t-1/2} \quad (3)$$

Elde edilen dağılım formülünün varyansının zamana bağlı olarak doğrusal arttığı kabulü ile formül (4)'deki öneri kabul edilmektedir:

$$\sigma^2(t) \equiv \langle z^2 \rangle(t) = \sigma^2 t = 2T^2 t \quad (4)$$

Elde edilen bu eşitliğe bağlı olarak piyasa sıcaklığı formül (5)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$T = \sqrt{\frac{\sigma^2 t}{2t}} \quad (5)$$

Zaman dilimleri aynı olduğundan buradaki (t) değişkeninin sonuca etkisi olmayacağı için formülün daha kısa yazılması da mümkündür. Elde edilen formüle göre piyasa sıcaklığı finansal varlığın varyansı ile doğrudan ilişkilidir. Bu sonuç sıcaklığın tanımı olan makro seviyede bir maddenin mikro seviyedeki parçacıklarının ortalama kinetik enerjisi tanımı ile örtüşmektedir.

2.2. Subias Piyasa Sıcaklık Modeli

Subias oluşturduğu modelde borsayı kapalı bir sistem, işlem yapan yatırımcıları birer gaz molekülü olarak tanımlamış ve her bir molekülün manyetik alan içindeki spin hareketlerinin tek boyutlu Brownian hareketine benzediğini kabul etmiştir. Brownian hareketine benzetilen finansal sistemin dolaylı olarak Einstein'in ortalama kare yer değiştirme ve Einstein-Smoluchowski denklemlerine uyumlu hale geldiği kabul edilecektir. Einstein'in ortalama kare yer değiştirme hesaplaması formül (6)'da ve Einstein-Smoluchowski denklem hesaplaması formül(7)'de gösterilmiştir:

$$D = \frac{\langle x^2 \rangle}{2t} \quad (6)$$

$$D = \mu k_B T \quad (7)$$

Formül (6) ve (7) birleştirildiğinde sıcaklık formülü formül (8)'de gösterildiği gibi elde edilmektedir:

$$T = \frac{\langle x^2 \rangle}{2t\mu k_B} \quad (8)$$

Formül (8)'de yer alan T mutlak sıcaklığı, $\langle x^2 \rangle$ ortalama kare yer değiştirmeyi, t ortalama etkileşim zamanını, μ hareketi, k_B ise Boltzman sabitini göstermektedir. Daha önceden belirtildiği üzere borsanın Brownian hareket kaynağı kabulüne bağlı olarak logaritmik getirilerin Brownian parçacık hareketi ile uyumlu olması beklenmektedir. Bu kabule bağlı olarak ortalama kare yer değiştirme logaritmik getirinin kare ortalaması olmaktadır ve bu formül (9)'da şu şekilde gösterilmektedir:

$$\langle x^2 \rangle_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} r_{i,t}^2 \quad (9)$$

Formül (9)'da $r_{i,t}$ logaritmik getiriyi ifade etmekte ve formül (10)'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$r_{i,t} = \ln P_{i,t} - \ln P_{i-1,t} \quad (10)$$

$P_{i,t}$, t zaman birimi içerisindeki i . zamanındaki fiyatı göstermektedir. Formül (9) gösterilen ortalama kare yer değiştirme formülü finans literatüründeki varyans formülü ile eşdeğer olup elde edilen formül aşağıdaki şekle dönüştürülebilmektedir:

$$\langle \sigma^2 \rangle_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} r_{i,t}^2 \quad (11)$$

Formül (8) ve (11) birleştirildiğinde formül (12)'de gösterilen piyasa sıcaklığının mutlak değeri hesaplanabilmektedir.

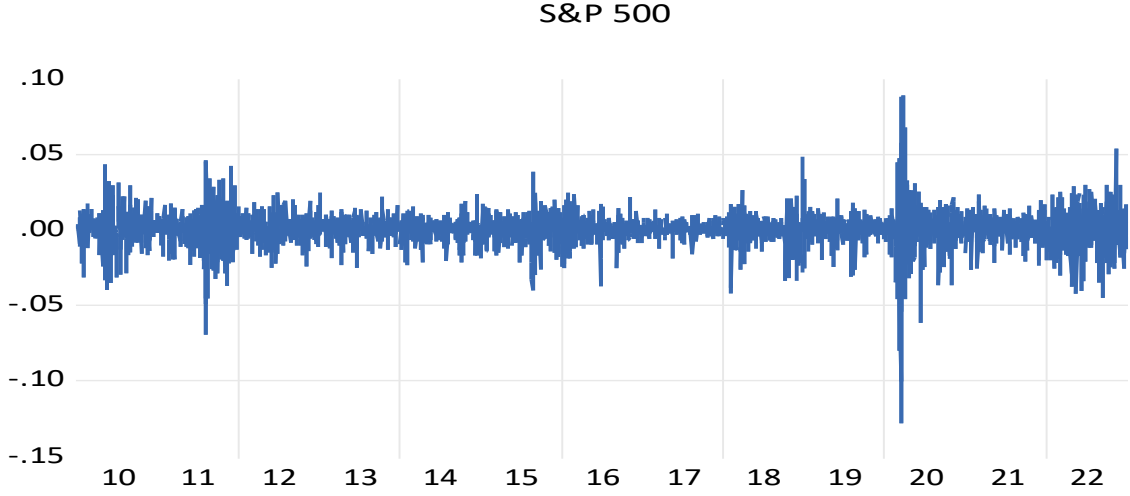
$$T = \frac{\langle \sigma^2 \rangle}{2\mu k_B} \quad (12)$$

Elde edilen formülde μk_B sabit bir sayı olmak üzere 10^{-3} olarak kabul edilmektedir. Subias'ın oluşturduğu model aslında Kleinert ve Chen'in oluşturduğu modelin karesine eşdeğerdir. Ayrıca her iki modelde elde edilen sıcaklık değerleri mutlak değer sıcaklıkları olup fiyat düşüş ve artışlarından bağımsız olarak sadece pozitif değerler vermektedirler.

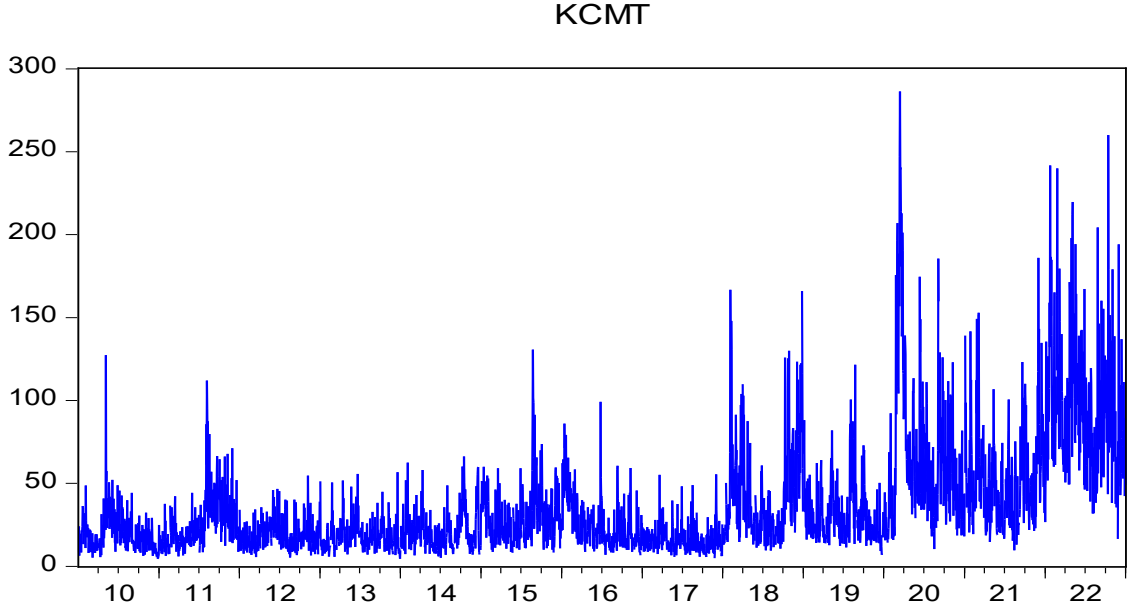
Elde edilen her iki piyasa sıcaklık modeli ile piyasa logaritmik getirileri arasında öncül bir bağıntı olup olmadığı ekonometrik modeller yardımı ile sorgulanacak ve hangi modelin bir dönem sonraki fiyat oluşumunu daha iyi tahmin ettiğinin kıyaslaması yapılacaktır

3. Veri Seti ve Metodoloji

Her iki piyasa sıcaklığı modelini aynı şartlar altında kıyaslayabilmek için S&P 500 endeksinin 02/01/2010 – 30/12/2022 tarihleri arasında günlük kapanış verileri araştırmaya dâhil edilmiştir. Elde edilen gün sonu verileri üzerinden her iki modelin de talep ettiği gibi logaritmik getiriler hesaplanmış ve elde edilen zaman serisi Grafik 1'de gösterilmiştir.

Grafik 1. S&P 500 endeksinin Logaritmik Getirisi

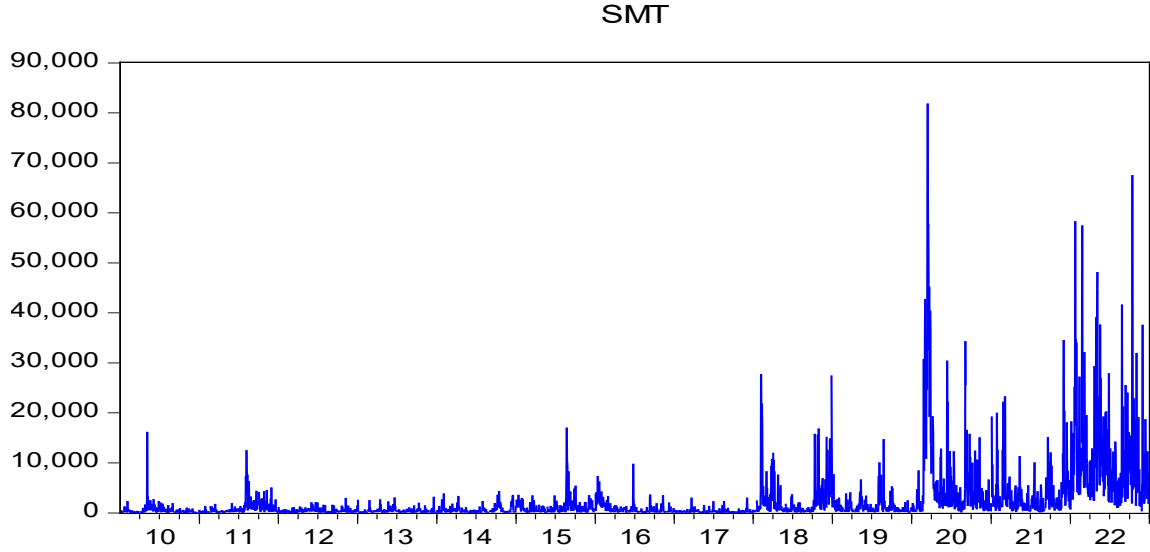
Hesaplanan logaritmik getiriler üzerinden öncelikle Kleinert ve Chen modeline göre ve sonra Subias modeline göre piyasa sıcaklıkları hesaplanmış ve günlük sıcaklık değerleri üzerinden piyasa sıcaklık zaman serileri oluşturulmuştur. Grafik 2’de Kleinert ve Chen modeline göre hesaplanmış piyasa sıcaklık zaman serisi (KCMT) gösterilmektedir:

Grafik 2. KCMT Zaman Serisi

S&P500 loggetiriler pozitif ve negatif değerler alırken KCMT sadece pozitif değerler almakta ve buna bağlı olarak piyasa sıcaklık değerlerinin mutlak değer sonuçları olduğu bir kez daha anlaşılmaktadır. KCMT’ye göre piyasa sıcaklıkları 2010 yılından 2017 sonuna kadar 50 değeri etrafında yoğunlaşırken 2018 ve sonrasında piyasa değerlerinin arttığı anlaşılmaktadır.

Daha sonraki aşamada Subias tarafından oluşturulan piyasa sıcaklık modeli (SMT) ile zaman serisi oluşturulmuş ve bu zaman serisi Grafik 3’te gösterilmiştir:

Grafik 3. SMT Zaman Serisi



SMT zaman serisi de KCMT zaman serisine benzer özellikler göstermekte ancak zaman içerisindeki değerlerin artış hızının KCMT'den daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen zaman serilerinin tanımlayıcı istatistik verileri Tablo 1'de sunulmuştur:

4. Bulgular

Her iki piyasa sıcaklık modeli için oluşturulan en küçük kareler model sonuçları Tablo 3 ve 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3. KCMT ve LNGetiri Arasındaki İlişkinin Anlamlılığı
(Bağımlı Değişken: LNGETIRI)

Bağımsız Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-İstatistiği	Olasılık
KCMT	-4.65E-05	5.89E-06	-7.885	0.0000
C	0.00203	0.00028	7.090	0.0000
R ²	0.018			
Düzenlenmiş R ²	0.018			
Olasılık(F-istatistiği)	0.000			

Tablo 3'te gösterildiği gibi loggetiriler ile KCMT arasında anlamlı ve negatif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Ancak elde edilen ilişkinin anlamlılık düzeyi oldukça düşük (%1,86) seviyededir. Aynı analiz işlemleri SMT zaman serisi ile LnGetiri arasında da gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Tablo 4. SMT ve LNGetiri Arasındaki İlişkinin Anlamlılığı
(Bağımlı Değişken: LNGETIRI)

Bağımsız Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-İstatistiği	Olasılık
SMT	-2.68E-07	3.49E-08	-7.692	0.000
C	0.00101	0.00021	4.767	0.000
R ²	0.017			
Düzenlenmiş R ²	0.017			
Olasılık(F-istatistiği)	0.000			

Loggetiri ile SMT zaman serileri arasında da bir önceki analiz sonuçlarına benzer anlamlı bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir ve bir önceki test sonuçları ile tutarlı olarak LnGetiri ile SMT arasındaki ilişkinin anlamlılığı (%1,77) oldukça düşük seviyededir.

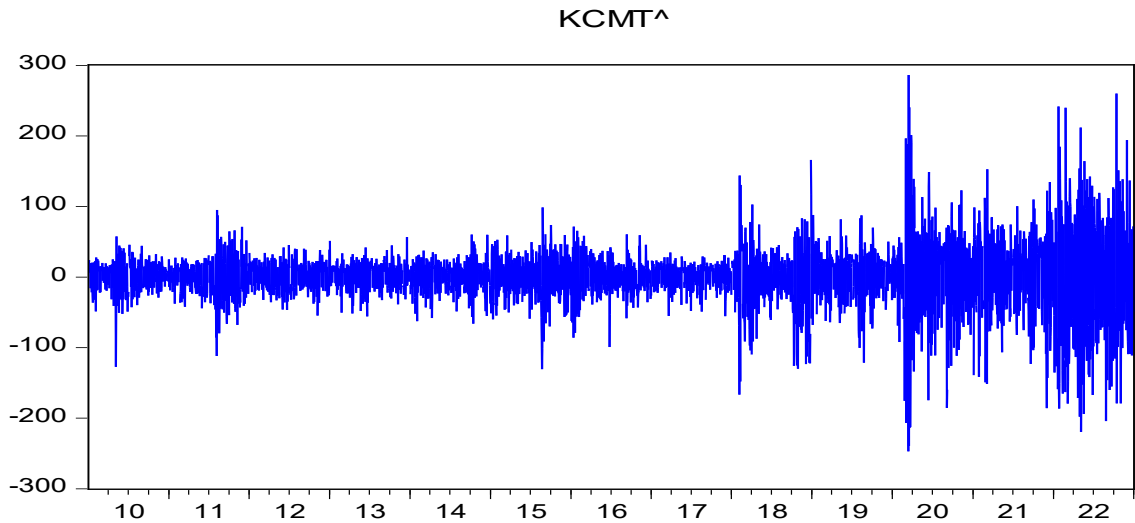
Elde edilen sonuçlara göre hem KCMT, hem de SMT S&P500 endeksinin logaritmik getirisine etki etmekte olduğu anlaşılmakta olup bunun çok anlamlı bir seviyede olduğu söylenemez. Bu sonucun, uygulanan piyasa sıcaklığı hesaplama modellerinin sonucunda hesaplanan değerlerin, mutlak değer olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kleinert ve Chen (2007, s.2) kendi çalışmalarında log getiri hesaplamalarında, bilinen negatif değerlerin piyasa sıcaklık değerlerinde kaybolacağını belirtmiştir. Subias da (2012) kendi çalışmasında sıcaklık hesabında negatif değerlerin kaybolduğunu ve ayrıca negatif Kelvin kavramı ile negatif sıcaklıkların ayrıca nasıl hesaplanması gerektiğini anlatmıştır. Elde edilen sonuçlara ve her iki model yazarlarının sundukları ek bilgiye bağlı olarak negatif sıcaklık değerlerinin hesaplanması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Her iki piyasa sıcaklığı modeli analogisi incelendiğinde yatırımcıların birer molekül ya da mikro parçacık, borsa ise kapalı bir sistem olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu analogilere bağlı olarak kapalı sistemde parçacıkların enerji transferleri doğal olarak gelişmesi gereken bir durumdur ve söz konusu enerji transferlerini ise finansal sistemde para olarak kabul etmemiz gayet doğaldır. Subias'ta kendi makalesinde aynı önermeyi savunmuş ve iç enerji değişimine bağlı olarak sıcaklıkların pozitif ve negatif değerler alması gerektiğini açıklamıştır. Piyasa sıcaklık değerlerinin hangi durumda pozitif ve hangi durumda negatif olması gerekliliği ile ilgili bizim düşüncemiz, iç enerjide yaşanacak küçülme sıcaklık düşüşü olarak kabul edilmeli ve o zamana bağlı değerin negatif, tersi ise pozitif sıcaklık olarak analize dâhil edilmelidir. Yapılan bu kabul gereği iç enerji değişimi formül (13)'te gösterildiği gibi hesaplanmalıdır:

$$\Delta \bar{E}_t = \sum_{i=1}^{n_t} P_{i,t} V_{i,t} - \sum_{i=1}^{n_{t-1}} P_{i,t-1} V_{i,t} \quad (13)$$

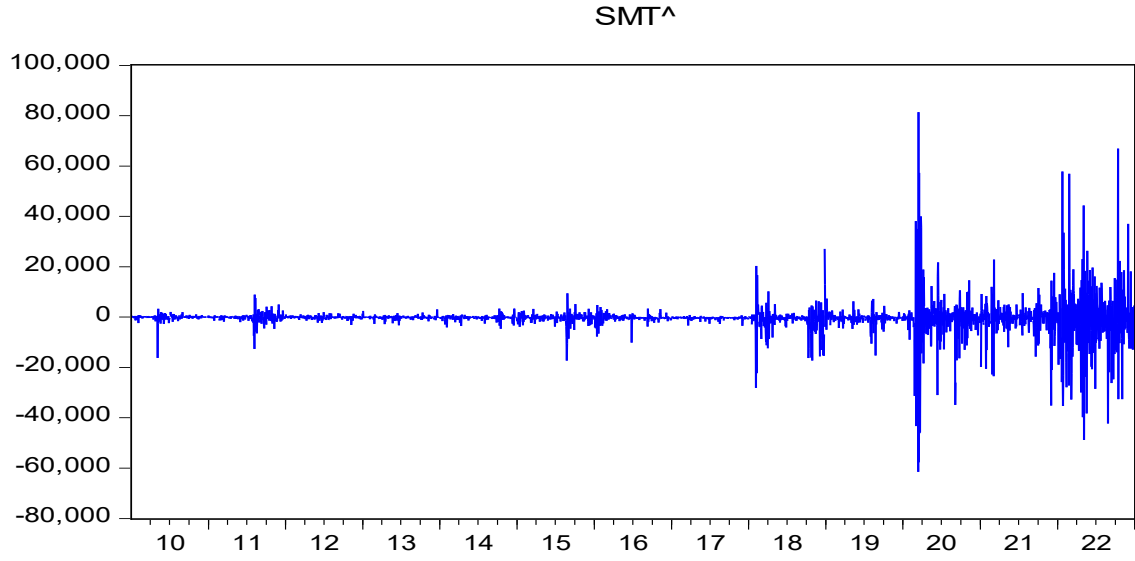
$\Delta \bar{E}_t$ sisteme net enerji girişi olarak tanımlanmakta $P_{i,t}$ t zamanındaki birim fiyat, $V_{i,t}$ t zamanındaki işlem miktarı olarak tanımlanmaktadır. Buradaki zaman birimi bir günlük alınırsa t günü ortalama fiyat ile yapılan işlem miktarı çarpımından enerji girişini, t günü ortalama fiyat ile t-1 günü yapılan işlem miktarı çarpımı da enerji çıkışını hesaplamaktadır. İç enerjide artış olduğu günler +1 ile, iç enerjinin azaldığı günler -1 değeri ile çarpılarak hesaplanan piyasa sıcaklık değerleri pozitif ve negatif değerler alacak şekli ile modifiye edilmiştir. Oluşturulan bu algoritmaya bağlı olarak tekrar oluşturulan KCMT[^] ve SMT[^] zaman serileri Grafik 4 ve 5'te gösterildiği gibidir:

Grafik 3. KCMT[^] Zaman Serisi



Modifiye edilmiş KCMT[^] zaman serisi artık mutlak sıcaklık verisi içermemekte fiyat düşüş ve çıkışlarına uyumlu bir şekilde negatif ve pozitif değerler almaktadır.

Grafik 4. SMT[^] Zaman Serisi



SMT[^] zaman serisi de yapılan modifikasyon ile pozitif ve negatif değerler alan bir zaman serisine dönüşmüştür. Oluşturulan bu iki zaman serisinin tanımlayıcı istatistik verileri Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Modifiye Edilmiş Zaman Serilerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

	SMT [^]	KCMT [^]
Ortalama	-231.487	-0.403
Median	97.528	9.875
En Yüksek	81859.95	286.111
En Düşük	-61018.18	-247.018
Std. Sapma	6074.627	48.739
Çarpıklık	0.528	-0.242
Basıklık	43.503	6.541
Jarque-Bera	223817.2	1742.290
Olasılık	0.0000	0.0000

Elde edilen yeni zaman serilerinin yapısı değiştiği için birim kök sorgulamasının tekrar yapılması gerekmiştir. Yeni zaman serilerinin birim kök test sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur:

Tablo 6. Modifiye Edilmiş Zaman Serilerinin Birim Kök Test Sonuçları

		PP Testi		ADF Testi	
		SMT	KCMT	SMT	KCMT
Sabitli	t-istatistiği	-72.565***	-61.915***	-70.314***	-61.402
	Olasılık değeri	0.000	0.000	0.000	0.000
Sabitli ve trend	t-istatistiği	-73.528***	-62.034***	-70.420***	-61.432***
	Olasılık değeri	0.000	0.000	0.000	0.000
Sabitsiz ve trend	t-istatistiği	-71.752***	-61.921***	-70.201***	-61.410***
	Olasılık değeri	0.000	0.000	0.000	0.000

Elde edilen yeni piyasa sıcaklığı zaman serileri üzerinde yapılan birim kök sınamaları sonucunda birim kök yapısı tespit edilememiştir. Elde edilen bu sonuca bağlı olarak daha önce uygulanan en

küçük kareler yönteminin bu yeni zaman serilerine de uygulanabilir olduğu anlaşılmıştır. Yapılan analiz sonuçları Tablo 7 ve 8’de sunulmuştur.

Tablo 7. KCMT[^] ve LNGetiri Arasındaki İlişkinin Anlamlılığı
(Bağımlı Değişken: LNGETIRI)

Bağımsız Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği	Olasılık
KCMT [^]	0,000188	2.34E-06	80.579	0.000
C	0.000450	0.000114	3.955	0.000
R ²	0.665			
Düzenlenmiş R ²	0.665			
Olasılık(F-istatistiği)	0.000			

İçerisinde negatif sıcaklık değerlerini de barındıran KCMT[^] piyasa sıcaklık değerleri ile log getiri arasında bir ilişkinin varlığı tespit edilmiş ve iki değişken arasındaki bu ilişkinin anlamlılık derecesi (%66,51) mutlak sıcaklık değerleri üzerinden oluşturulan modellerden çok daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 8. SMT[^] ve LNGetiri Arasındaki İlişkinin Anlamlılığı
(Bağımlı Değişken: LNGETIRI)

Bağımsız Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği	Olasılık
SMT [^]	1.26E-06	2.37E-08	53.211	0.0000
C	0.000666	0.000144	4.6163	0.0000
R ²	0.464			
Düzenlenmiş R ²	0.463			
Olasılık(F-istatistiği)	0.000			

Negatif sıcaklık değerleri ile yeniden oluşturulan SMT[^] zaman seri ile log getiri zaman serisi arasında bir ilişkinin varlığı tespit edilmiş olup modelin anlamlılık derecesi (%46,41) bir önceki modelin anlamlılık derecesinden çok daha yüksektir.

Elde edilen sonuçlara göre mutlak piyasa değeri sonuçları veren KCMT ve SMT modellerinin ikisi de S&P500 log getirisi ile anlamlı ilişki içerisindedir, fakat modellerin anlamlılık derecesi tatmin edici seviyelerde değildir. Modifiye edilen yeni hesaplama modelinde, kapalı sistemlerde iç enerji değişimi analogisi yardımı ile negatif sıcaklıklar piyasa sıcaklık hesaplamalarına dâhil edilmiştir. Yapılan modifikasyonlar ile KCMT[^] ve SMT[^] zaman serilerinin S&P 500 endeks log getirisi ile ilişkisi anlamlı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca anlamlılık derecesi olan R2 dereceleri bir önceki yöntemlere göre oldukça yüksek seviyededir. KCMT[^] ve SMT[^] modellerini kendi aralarında kıyasladığımızda ise, KCMT[^] ve LnGetiri arasındaki ilişkinin anlamlılık derecesi %66,51, SMT[^] ve LnGetiri arasındaki ilişkinin anlamlılık derecesi de %46,41 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre KCMT[^] piyasa sıcaklık değerlerinin S&P500 endeks log getirilerini açıklamada STM[^] piyasa sıcaklık değerlerinden daha anlamlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Sonuç

Yapmış olduğumuz bu çalışmada finansal piyasalarda bulunan yatırımcı, işlem miktarı, para gibi kavramların fizikteki mikro madde (molekül ya da parçacık), hacim ve enerji kavramları ile benzetilmesi sonucu ortaya çıkan ve piyasa sıcaklığını hesaplamaya çalışan iki model önce test edilerek karşılaştırılmıştır. Daha sonra ise söz konusu iki model tarafımızca modifiye edilerek yeni zaman serileri oluşturulmuş ve yeni oluşturulan zaman serileri arasındaki ilişki araştırılarak modeller yeniden karşılaştırılmıştır.

Yeni oluşturulan zaman serilerinde KCMT[^] ve LnGetiri arasındaki ilişkinin anlamlılık derecesinin %66,51, SMT[^] ve LnGetiri zaman serileri arasında ilişkinin anlamlılık derecesinin ise %46,41 olduğu bulgularına ulaşılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre iki temel sonuç ortaya çıkmaktadır: İlk olarak S&P500 endeksinin logaritmik getirilerini açıklamakta; her iki modelin de tarafımızca modifiye edilmiş hallerinin daha başarılı sonuçlar verdiği, ikinci olarak ise araştırmaya konu olan Kleinert ve Chen tarafından önerilen piyasa sıcaklığı modeli (KCMT[^]) ile Subias tarafından önerilen piyasa sıcaklığı modeli (SMT[^]) kıyaslandığında KCMT[^] modelinin S&P500 endeksinin logaritmik getirisini açıklamada daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.

Yukarıda bahsedilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere S&P500 endeksinin fiyat oluşumu hakkında yapılacak araştırmalarda Kleinert ve Chen tarafından oluşturulan piyasa sıcaklık modelinin negatif sıcaklık algoritması ile modifiye edilmiş yapısının rahatlıkla kullanılabilir olduğu ispatlanmıştır. Ayrıca önerilen ve modifiye edilmiş olan bu model diğer borsa endekslerine de uygulanarak test edilebilir ve elde edilecek sonuçlara göre borsa endekslerinin fiyat oluşum yapıları yatırımcılar için daha anlaşılır bir duruma dönüştürülebilir.

Kaynakça

- Bachelier, L. (1900). Théorie de la Spéculation, *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure*, 17, 21-86. <https://doi.org/10.24033/asens.476>
- Bouchaud, J.-P., & Cont, R. (1999). Elements for a Theory of Financial Risk. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 263 (1-4), 415-426 [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(98\)00486-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(98)00486-5)
- Bouchaud, J.-P., & Potters, M. (2000). *Theory of Financial Risks: From Statistical Physics to Risk Management*, Cambridge University Press, The Edinburg Building, Cambridge, CB2 2 RU, United Kingdom.
- Burda, Z., Jurkiewicz, J., & Nowak, M. A. (2003). Is Econophysics a Solid Science?. arXiv Preprint Cond-mat/0301096. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/1933852_Is_Econophysics_a_Solid_Science
- Coelho, R. (2007). Applications of Statistical Physics to Problems in Economics, Trinity College Dublin, Transfer Report, April. Erişim adresi: https://www.maths.tcd.ie/~coelhor/Transfer_Book.pdf
- Fisher, I. (1933). Statistics in the Service of Economics. *Journal of the American Statistical Association* 28(181), 1-13. Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/2277998>
- Günay, N. (2016). Economic Science Considering with a Thermodynamic Perspective of a Physicist's Point of View, International Conference on Eurasian Economies, Session 4B, Mikroekonomi, 283-288. <https://doi.org/10.36880/C07.01559>
- Kırer, H. (2011). Türkiye ve Almanya'nın Kişisel Gelir Dağılımına Ekonofizik Yaklaşım [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. Erişim adresi: <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/199>
- Kırer, H., & Ercan, E. (2015). İktisat-Fizik İlişisine Tarihsel Bakış. *Ekonomi-tek*, 4(2), 25-60. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ekonomitek/issue/61941/926885>
- Kitt, R. (2005). Generalised Scale – Invariance in Financial Time Series. [PhD Thesis] Institute of Cybernetics at TUT, Estonya. Erişim adresi: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:1483970>
- Kleinert, H., & Chen, X. J. (2007). Boltzmann Distribution and Market Temperature. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 383(2), 513-518. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2007.04.101>
- Laloux, L. Potters, M. Cont, R. Aguilar, J.-P., & Bouchaud, J.-P. (1999). Are Financial Crashes Predictable?, *Europhys. Lett.*, 45(1). <https://doi.org/10.1209/epl/i1999-00122-9>
- Mantegna, R.N., & Stanley, H.E. (1994). Stochastic Process with Ultraslow Convergence to a Gaussian: The Truncated L'evy Flight. *Phys. Rev. Letters*, 73, 2949. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.73.2946>
- Mantegna, R. N., Stanley, H. E., & Chriss, N.A. (2000). An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance. *Physics Today*, 53(12), 70. <https://doi.org/10.1063/1.1341926>
- Mirowski, P. (1984), Physics and the Marginalist Revolution, *Cambridge Journal of Economics*, 8(4), 361-379. Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/23596645>
- Özyiğit, M., & Mazgıt, İ. (2021). İktisat Fizik Etkileşimi Bağlamında Ekonofizik ve Gelir Dağılımı, *Sosyoekonomi*, 29(48), 377-405. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2021.02.18>
- Pareto, V. (1897). The New Theories of Economics. *Journal of Political Economy*, 5(4), 485-502. Erişim adresi: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/250454>
- Pereira, E.J.D.A.L., da Silva, M.F., & Pereira, H.D.B. (2017). Econophysics: Past and Present. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 473, 251-261. Erişim adresi: <https://polymer.bu.edu/hes/PHYSA-161370-PY538.pdf>
- Roehner, B. (2002). *Patterns of Speculation: A Study in Observational Econophysics*, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511613494>

- Silva, A.C., & Yakovenko, V.M. (2003). Comparison Between The Probability Distribution Of Returns in The Heston Model And Empirical Data For Stock Indexes. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 324(1-2), 303-310. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)01903-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(02)01903-9)
- Subias, J. L. (2012). Negative Kelvin Temperatures in Stock Markets. *arXiv Preprint arXiv:1206.1272*. Erişim adresi: <https://arxiv.org/abs/1206.1272>
- Yakovenko, V.M. (2007). Econophysics, Statistical Mechanics Approach to.arXiv Preprint arXiv:0709.3662. Erişim Adresi: <https://arxiv.org/pdf/0709.3662.pdf>
- Yakovenko, V. M., & Rosser Jr, J. B. (2009). Colloquium: Statistical Mechanics of Money, Wealth, And Income. *Reviews of Modern Physics*, 81(4), 1703. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.1703>