

Dijital Varlıklar ve Yapay Zekâ Çağında Yatırım Analizi Yeni Nesil Portföy Yönetimi Stratejileri

Yazar

Dr. Burçak SARI



© Copyright 2026

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Yayınevi A.Ş.'ye aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN

978-625-362-147-6

Kitap Adı

Dijital Varlıklar ve Yapay Zekâ Çağında Yatırım Analizi Yeni Nesil Portföy Yönetimi Stratejileri

Yazar

Burçak SARI

ORCID iD: 0000-0002-8697-2286

Yayın Koordinatörü

Yasin DİLMEN

Sayfa ve Kapak Tasarımı

Akademisyen Dizgi Ünitesi

Yayıncı Sertifika No

47518

Baskı ve Cilt

Vadi Matbaacılık

Bisac Code

COM100000

DOI

10.37609/akya.4273

Kütüphane Kimlik Kartı

Sarı, Burçak

Dijital Varlıklar ve Yapay Zekâ Çağında Yatırım Analizi Yeni Nesil Portföy Yönetimi Stratejileri / Burçak Sarı.

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2026.

154 s. ; 160x235 mm.

Kaynakça var.

ISBN 9786253621476

GENEL DAĞITIM

Akademisyen YAYINEVİ A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖN SÖZ

Finansal iktisat disiplini, son iki yüzyıl içinde, Bernoulli'nin beklenen fayda sezgisinden Markowitz'in ortalama-varyans devrimine, oradan Sharpe ve Lintner'in denge fiyatlama kuramına uzanan bir dizi paradigmatik dönüşümden geçmiştir. Ne var ki bu disiplinin görece istikrarlı bir olgunluk dönemine ulaştığı düşünülen son çeyrek yüzyılda, iki eş zamanlı gelişme, alanın kuramsal ve uygulamalı zeminini yeniden ve köklü biçimde sarsmıştır: Blokzincir teknolojisinin doğurduğu dijital varlık sınıfının yükselişi ve yapay zekâ ile makine öğrenmesi yöntemlerinin finansal karar süreçlerine nüfuz etmesi. Bu kitap, işte bu iki eş zamanlı dönüşümün finansal iktisat ve portföy yönetimi kuramı üzerindeki etkilerini, dağınık ve parçalı bir literatür yığını olarak değil, birbirine bağlı ve kronolojik bir kuramsal anlatı bütünlüğü içinde ele almak amacıyla kaleme alınmıştır.

Bu kitabı yazma saikim, akademik camiada ve uygulamalı finans pratiğinde giderek daha sık karşılaştığım bir boşluk gözleminden doğmuştur: Dijital varlıklar üzerine yazılan eserlerin büyük çoğunluğu, ne yazık ki popüler finans yayıncılığının sığ ve spekülatif üslubundan kendini kurtaramamakta; buna karşılık klasik portföy teorisi ders kitapları ise, dijital varlıkların ve yapay zekâ yöntemlerinin doğurduğu kuramsal zorlukları çoğu zaman görmezden gelmektedir. Bu kitap, söz konusu iki kutup arasında üçüncü bir yol önermeyi hedeflemektedir: Markowitz'den Fama'ya, Kahneman'dan López de Prado'ya uzanan saygın finans literatürüne sıkı sıkıya bağlı kalarak, ancak bu klasik kuramsal araç setini, dijital varlıkların istatistiksel gerçekliği ve yapay zekânın analitik gücüyle sistematik biçimde genişleterek ilerleyen, üst düzey akademik bir sentez sunmak.

Bu amaç doğrultusunda kitap, sekiz bölümden oluşan ve her biri kendi içinde tamamlanmış, ancak birbirini besleyen sürekli bir kuramsal anlatı bütünlüğü içinde ilerleyen bir yapı izlemektedir. Birinci bölüm, yatırım analizinin epistemolojik temellerinden başlayarak, Beklenen Fayda Teorisi'nden Markowitz'in ortalama-varyans modeline, Sermaye Varlıkları Fiyatlama Modeli'nden Arbitraj Fiyatlama Teorisi'ne, Etkin Piyasa Hipotezi'nden davranışsal finansın eleştirel katkılarına uzanan klasik paradigmanın evrimini sistematik biçimde ortaya koymakta ve bu klasik zeminin dijital çağda karşılaştığı kuramsal kırılma noktalarını belirlemektedir. İkinci bölüm, bu kırılma noktalarının kaynağı olan dijital varlıkların kurumsal ve teknolojik mimarisini — dağıtık defter teknolojisinden uzlaşma mekanizmalarına, akıllı sözleşmelerden merkez bankası dijital paralarına kadar — finansal iktisadın kurumsal analiz araçlarıyla incelemektedir. Üçüncü bölüm, dijital varlıkları doğrudan bir varlık sınıfı olarak, istatistiksel özellikleri, risk-getiri profili ve portföy teorisi içindeki konumlanışı açısından ele almaktadır.

Dördüncü ve beşinci bölümler, kitabın analitik ağırlık merkezini yapay zekâyâ kaydırarak, makine öğrenmesi ve derin öğrenme mimarilerinin finansal tahminlemedeki

rolünü ve büyük veri, duygu analizi ile yüksek frekanslı işlemlerin piyasa mikroyapısı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Altıncı bölüm, bu teknik birikimin somut bir uygulama alanı olan robo-danışmanlık ve otomatik servet yönetimini; yedinci bölüm ise, algoritmik portföy optimizasyonunun yeni nesil stratejilerini — Bayesyen entegrasyondan derin pekiştirmeli öğrenmeye, kuantum hesaplama ufkuna kadar — ele almaktadır. Kitap, sekizinci ve son bölümde, tüm bu teknik ve kuramsal gelişmelerin işlediği düzenleyici zemine, sistemik risk ve etik sorumluluk meselelerine yönelerek, bütüncül bir sentezle tamamlanmaktadır.

Bu kitabın her bölümü, uluslararası saygın finans literatürüne dayalı, formüllerle desteklenmiş ve eleştirel bir analitik duruşla kaleme alınmıştır. Amacım, okuyucuya yalnızca “ne olduğunu” değil, aynı zamanda “neden böyle olduğunu” ve “bu bilginin hangi sınırlar içinde geçerli kaldığını” da aktarmaktır; zira finansal iktisadın en değerli mirası, yalnızca doğru cevapları değil, doğru soruları sorma disiplini de içermektedir. Bu kitap boyunca sıkça karşılaşılabilecek bir kuramsal motif — bir ampirik bulgunun piyasa etkisizliğini mi yoksa yanlış model spesifikasyonunu mu yansıttığı sorusu — tam da bu disiplinin bir yansımasıdır ve okuyucuyu, kolay ve kesin cevaplardan ziyade, titiz ve sağlamlığı doğrulanmış çıkarımlara yönlendirmeyi hedeflemektedir.

Bu eserin ortaya çıkış sürecinde, akademik disiplinime yön veren tüm hocalarıma, meslektaşlarıma ve finans alanındaki uzun yıllara dayanan kurumsal tecrübemi bu kitaba taşımamda bana ilham veren iş dünyasındaki tüm paydaşlarıma şükranlarımı sunarım. Ayrıca, bu yoğun akademik üretim sürecinde sabır ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme en derin teşekkürlerimi iletiyorum. Bu kitabın, dijital finans ve yapay zekâ çağının doğurduğu sayısız soruya kesin bir son söz olmadığını, aksine bu alandaki akademik tartışmanın canlı ve gelişmeye açık doğasına mütevazı bir katkı sunma niyetiyle kaleme alındığını özellikle belirtmek isterim.

Dr. Burçak SARI

İÇİNDEKİLER

Ön Söz..... iii

BÖLÜM 1: YATIRIM ANALİZİNİN KURAMSAL TEMELLERİ VE MODERN PORTFÖY TEORİSİ'NİN EVRİMİ 1

- 1.1. Yatırım Kavramının Epistemolojik Temelleri ve Tarihsel Gelişimi..... 1
- 1.2. Beklenen Fayda Teorisi ve Rasyonel Yatırımcı Varsayımı 3
- 1.3. Markowitz Ortalama-Varyans Modeli: Çeşitlendirme ve Etkin Sınır..... 5
- 1.4. Sermaye Varlıkları Fiyatlama Modeli (CAPM) ve Sistemik Risk..... 7
- 1.5. Arbitraj Fiyatlama Teorisi (APT) ve Çok Faktörlü Modeller (Fama-French) 9
- 1.6. Etkin Piyasa Hipotezi (EMH) ve Eleştirileri..... 11
- 1.7. Davranışsal Finansın Yükselişi: Prospect Teorisi ve Bilişsel Önyargılar..... 13
- 1.8. Klasik Paradigmanın Sınırları: Dijital Çağa Doğru Kuramsal Kırılma 15
- Kaynaklar 18

BÖLÜM 2: DİJİTAL VARLIKLARIN DOĞUŞU VE BLOKZİNCİR MİMARİSİNİN FİNANSAL TEMELLERİ..... 21

- 2.1. Dağıtık Defter Teknolojisi (DLT) ve Blokzincir Mimarisi..... 21
- 2.2. Uzlaşım Mekanizmaları (PoW, PoS) ve Ekonomik İmplikasyonları 23
- 2.3. Kripto Paraların Para Teorisi Açısından Konumlandırılması..... 25
- 2.4. Akıllı Sözleşmeler ve Programlanabilir Finansın Doğuşu..... 27
- 2.5. Tokenizasyon: Gerçek Dünya Varlıklarının (RWA) Dijitalleştirilmesi..... 28
- 2.6. Stabilcoin'ler ve Algoritmik Para Mekanizmaları..... 30
- 2.7. Dijital Varlık Sınıflandırması: Taksonomik Bir Çerçeve..... 32
- 2.8. Merkez Bankası Dijital Paraları (CBDC) ve Kurumsal Dönüşüm 34
- Kaynaklar 36

BÖLÜM 3: BİR VARLIK SINIFI OLARAK DİJİTAL VARLIKLARIN ANALİZİ 39

- 3.1. Dijital Varlıkların Risk-Getiri Profili ve İstatistiksel Özellikleri..... 39
- 3.2. Volatilite Yapısı, Kuyruk Riski ve Aşırı Çarpıklık (Fat Tails) 41
- 3.3. Kripto Varlıkların Geleneksel Varlıklarla Korelasyon Dinamikleri 43
- 3.4. Çeşitlendirme Aracı mı, Spekülatif Varlık mı? Ampirik Tartışma 44
- 3.5. Merkeziyetsiz Finans (DeFi) Ekosistemi: Likidite Havuzları ve Getiri Çiftçiliği 46

3.6. Dijital Varlıklarda Değerleme Modelleri (NVT, Metcalfe Yasası, Stok-Akış)	47
3.7. Piyasa Mikroyapısı, Likidite ve Manipülasyon Riskleri	50
3.8. Dijital Varlıkların Portföye Dahil Edilmesi: MPT Çerçevesinin Genişletilmesi .	52
Kaynaklar	54

BÖLÜM 4: YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENMESİNİN FİNANSAL

TAHMİNLEMEDEKİ ROLÜ	57
4.1. Finasta Yapay Zekânın Kuramsal Çerçevesi ve Paradigma Dönüşümü	57
4.2. Denetimli ve Denetimsiz Öğrenme Algoritmalarının Finansal Uygulamaları ...	59
4.3. Derin Öğrenme Mimarileri: LSTM, CNN ve Transformer Tabanlı Modeller.....	61
4.4. Zaman Serisi Tahminlemede Geleneksel Ekonometri ve ML Karşılaştırması63	
4.5. Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning) ile Dinamik Karar Verme	64
4.6. Özellik Mühendisliği ve Aşırı Öğrenme (Overfitting) Sorunsalı	66
4.7. Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) ve Finansal Karar Şeffaflığı	68
4.8. Model Riski, Veri Sızıntısı ve Tahmin Güvenilirliği.....	70
Kaynakça	72

BÖLÜM 5: BÜYÜK VERİ, DUYGU ANALİZİ VE YÜKSEK FREKANSLI

İŞLEMLER (HFT)	75
5.1. Büyük Veri (Big Data) Paradigması ve Alternatif Veri Kaynakları	75
5.2. Doğal Dil İşleme (NLP) ile Finansal Metin Madenciliği	77
5.3. Duygu Analizi: Sosyal Medya, Haber Akışı ve Piyasa Beklentisi	79
5.4. Davranışsal Sinyallerin Fiyatlamaya Yansımaları ve Tahmin Gücü.....	80
5.5. Yüksek Frekanslı İşlemlerin (HFT) Mikroyapısal Etkileri.....	82
5.6. Algoritmik İşlem Stratejileri ve Piyasa Verimliliği Tartışması	84
5.7. Gecikme Arbitraji (Latency Arbitrage) ve Adillik Sorunsalı	86
5.8. Veri Etiği, Mahremiyet ve Bilgi Asimetrisi	87
Kaynaklar	90

BÖLÜM 6: YAPAY ZEKÂ TABANLI ROBO-DANIŞMANLIK VE

OTOMATİK SERVET YÖNETİMİ	93
6.1. Robo-Danışmanlığın Doğuşu ve Kavramsal Çerçevesi	93
6.2. Yatırımcı Profillemesi ve Risk Toleransının Algoritmik Ölçümü	95
6.3. Otomatik Varlık Dağılımı ve Yeniden Dengeleme Mekanizmaları.....	97
6.4. Vergi Optimizasyonu (Tax-Loss Harvesting) ve Maliyet Etkinliği.....	99
6.5. Hibrit Danışmanlık Modelleri: İnsan-Makine Etkileşimi	101



6.6. Robo-Danışmanlıkta Güven, Benimseme ve Davranışsal Faktörler.....	102
6.7. Finansal Kapsayıcılık (Financial Inclusion) ve Demokratikleşme	104
6.8. Algoritmik Önyargı ve Danışmanlık Sorumluluğu (Fiduciary Duty).....	106
Kaynaklar	109

BÖLÜM 7: ALGORİTMİK PORTFÖY OPTİMİZASYONU

VE YENİ NESİL STRATEJİLER	111
7.1. Klasik Optimizasyonun Ötesinde: Makine Öğrenmesi Tabanlı Tahsis	111
7.2. Black-Litterman Modeli ve Bayesçi Yaklaşımların Entegrasyonu	113
7.3. Hiyerarşik Risk Paritesi (HRP) ve Ağ Tabanlı Çeşitlendirme.....	115
7.4. Derin Pekiştirmeli Öğrenme ile Dinamik Portföy Yönetimi	117
7.5. Çok Amaçlı Optimizasyon ve ESG Kriterlerinin Entegrasyonu.....	119
7.6. Hibrit Portföyler: Geleneksel ve Dijital Varlıkların Birlikte Optimizasyonu	121
7.7. Sağlamlık (Robustness), Geri Test (Backtesting) ve Strateji Doğrulama.....	123
7.8. Kuantum Hesaplama ve Geleceğin Optimizasyon Paradigmaları.....	124
Kaynaklar	126

BÖLÜM 8: DİJİTAL FİNANSIN REGÜLASYONU,

RİSK YÖNETİMİ VE GELECEĞİ.....	129
8.1. Dijital Varlık Regülasyonunda Küresel Yaklaşımlar (MiCA, SEC, Türkiye)	129
8.2. Sistemik Risk, Bulaşma Etkisi ve Finansal İstikrar	131
8.3. Algoritmik Sistemlerin Yönetimi ve Denetimi (AI Governance).....	133
8.4. Siber Güvenlik, Operasyonel Risk ve Akıllı Sözleşme Açıkları	135
8.5. Kara Para Aklama (AML) ve Bilinmeyen Müşteri (KYC) Sorunsalları.....	137
8.6. Etik, Hesap Verebilirlik ve Yapay Zekânın Sorumlu Kullanımı.....	139
8.7. Merkeziyetsizlik ile Regülasyon Arasındaki Gerilim	141
8.8. Geleceğin Finansal Mimarisi: Sentez ve Araştırma Gündemi	143
Kaynaklar	145

BÖLÜM 1

YATIRIM ANALİZİNİN KURAMSAL TEMELLERİ VE MODERN PORTFÖY TEORİSİ'NİN EVRİMİ

1.1. YATIRIM KAVRAMININ EPİSTEMOLOJİK TEMELLERİ VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Yatırım olgusu, iktisat biliminin en eski ve en temel meselelerinden birini oluşturur: Belirsizlik altında, zaman içinde kaynak tahsisi. Bu bölümün amacı, yatırım kavramının salt işlemsel bir tanımının ötesine geçerek, onun epistemolojik temellerini finansal iktisadın kuramsal gelişimi içinde konumlandırmaktır. Zira çağdaş portföy yönetimi disiplini, tesadüfen ortaya çıkmış bir teknikler bütünü değil, iki yüzyılı aşkın bir zaman diliminde biriken kuramsal tartışmaların rafine olmuş bir ürünüdür.

Yatırımın epistemolojik özü, Irving Fisher'ın (1930) "Sabırsızlık teorisi" (theory of impatience) çerçevesinde ortaya koyduğu gibi, bugünkü tüketimden vazgeçme karşılığında gelecekteki daha yüksek bir tüketim düzeyine erişme tercihinde yatar. Fisher'ın zamanlararası tercih (intertemporal choice) modeli, yatırım kararını salt bir servet biriktirme eylemi olmaktan çıkarıp, bireyin zaman tercihi (time preference) ile piyasanın sunduğu yatırım fırsat kümesi (investment opportunity set) arasındaki optimizasyon problemine indirger. Bu çerçevede yatırımcı, bugünkü faydadan (utility) feragat ederek, sermayenin marjinal verimliliği (marginal efficiency of capital) üzerinden gelecekteki fayda akışını maksimize etmeye çalışan rasyonel bir aktör olarak kavramsallaştırılır.

Ancak yatırım kavramının bilimsel bir disiplin statüsü kazanması, ancak belirsizlik (uncertainty) ile risk (risk) kavramları arasındaki ayrımın netleştirilmesiyle mümkün olmuştur. Frank Knight'ın (1921) "Risk, Belirsizlik ve Kâr" adlı klasik eserinde ortaya koyduğu ayrım, finansal iktisadın temel taşlarından birini oluşturur: Risk, olasılık dağılımı bilinen ve dolayısıyla ölçülebilir bir durumu ifade ederken; belirsizlik, olasılık dağılımının dahi bilinmediği, radikal biçimde açık bir durumu tanımlar. Knight'çı ayrım, sonraki dönemde Markowitz'in varyans risk ölçütü olarak konumlandırmasının zımni felsefi teme-

yanıt olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde dijital varlıkların getiri dinamiklerinin karmaşıklığı ve yüksek boyutlu, yapılandırılmamış verinin (alternative data) yatırım analizine dâhil olması, klasik paradigmanın doğrusal ve düşük boyutlu varsayımlarını zorlamakta; bu da yatırım kuramının, klasik finansal iktisadın normatif zarafetini derin öğrenmenin ampirik esnekliğiyle sentezleyen yeni bir kuramsal çerçeveye ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır. Bu kitabın izleyen bölümleri, tam da bu sentezin inşasına — dijital varlık portföylerinin risk yönetiminden, yapay zekâ destekli varlık dağılımı modellerine ve açıklanabilirlik temelli düzenleyici çerçevelere kadar — sistematik bir katkı sunmayı amaçlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Arrow, K. J. (1965). Aspects of the Theory of Risk-Bearing. Yrjö Jahnssonin Säätiö.
- Banz, R. W. (1981). The relationship between return and market value of common stocks. *Journal of Financial Economics*, 9(1), 3-18.
- Barber, B. M., & Odean, T. (2001). Boys will be boys: Gender, overconfidence, and common stock investment. *Quarterly Journal of Economics*, 116(1), 261-292.
- Bernoulli, D. (1738/1954). Exposition of a new theory on the measurement of risk. *Econometrica*, 22(1), 23-36.
- Black, F., Jensen, M. C., & Scholes, M. (1972). The capital asset pricing model: Some empirical tests. *Studies in the Theory of Capital Markets*, 79-121.
- Black, F., & Litterman, R. (1992). Global portfolio optimization. *Financial Analysts Journal*, 48(5), 28-43.
- Carhart, M. M. (1997). On persistence in mutual fund performance. *Journal of Finance*, 52(1), 57-82.
- Cochrane, J. H. (2011). Presidential address: Discount rates. *Journal of Finance*, 66(4), 1047-1108.
- De Bondt, W. F., & Thaler, R. (1985). Does the stock market overreact? *Journal of Finance*, 40(3), 793-805.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Fama, E. F., & French, K. R. (1992). The cross-section of expected stock returns. *Journal of Finance*, 47(2), 427-465.
- Fama, E. F., & French, K. R. (1993). Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics*, 33(1), 3-56.
- Fama, E. F., & French, K. R. (2015). A five-factor asset pricing model. *Journal of Financial Economics*, 116(1), 1-22.
- Fama, E. F., & MacBeth, J. D. (1973). Risk, return, and equilibrium: Empirical tests. *Journal of Political Economy*, 81(3), 607-636.
- Fischer, T., & Krauss, C. (2018). Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. *European Journal of Operational Research*, 270(2), 654-669.
- Frazzini, A., & Pedersen, L. H. (2014). Betting against beta. *Journal of Financial Economics*, 111(1), 1-25.
- Graham, B., & Dodd, D. (1934). *Security Analysis*. McGraw-Hill.
- Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980). On the impossibility of informationally efficient markets.



- American Economic Review, 70(3), 393-408.
- Harvey, C. R., Liu, Y., & Zhu, H. (2016). ...and the cross-section of expected returns. *Review of Financial Studies*, 29(1), 5-68.
- Jegadeesh, N., & Titman, S. (1993). Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. *Journal of Finance*, 48(1), 65-91.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-291.
- Knight, F. H. (1921). *Risk, Uncertainty and Profit*. Houghton Mifflin.
- Lo, A. W. (2004). The adaptive markets hypothesis. *Journal of Portfolio Management*, 30(5), 15-29.
- Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Michaud, R. O. (1989). The Markowitz optimization enigma: Is 'optimized' optimal? *Financial Analysts Journal*, 45(1), 31-42.
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). "Why should I trust you?": Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD*, 1135-1144.
- Roll, R. (1977). A critique of the asset pricing theory's tests. *Journal of Financial Economics*, 4(2), 129-176.
- Ross, S. A. (1976). The arbitrage theory of capital asset pricing. *Journal of Economic Theory*, 13(3), 341-360.
- Shefrin, H., & Statman, M. (1985). The disposition to sell winners too early and ride losers too long. *Journal of Finance*, 40(3), 777-790.
- Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance*, 19(3), 425-442.
- Shiller, R. J. (1981). Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends? *American Economic Review*, 71(3), 421-436.
- Shleifer, A., & Vishny, R. W. (1997). The limits of arbitrage. *Journal of Finance*, 52(1), 35-55.
- Thaler, R. H. (1985). Mental accounting and consumer choice. *Marketing Science*, 4(3), 199-214.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), 297-323.
- von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.

BÖLÜM 2

DİJİTAL VARLIKLARIN DOĞUŞU VE BLOKZİNCİR MİMARİSİNİN FİNANSAL TEMELLERİ

2.1. DAĞITIK DEFTER TEKNOLOJİSİ (DLT) VE BLOKZİNCİR MİMARİSİ

Birinci bölümde ele alınan klasik portföy teorisinin kuramsal evrimi, örtük biçimde belirli bir kurumsal altyapıyı — merkezi takas kurumlarını, güvenilir aracılara (trusted intermediaries) ve merkezi mülkiyet sicillerini — varsayıyordu. Dağıtık Defter Teknolojisi'nin (Distributed Ledger Technology, DLT) ve onun en yaygın uygulaması olan blokzincirin (blockchain) ortaya çıkışı, finansal iktisadın kurumsal temellerine ilişkin bu zımni varsayımı doğrudan sorgulayan bir teknolojik-kurumsal yeniliktir. Bu bölümün amacı, blokzincir mimarisini salt bir bilgi teknolojisi yeniliği olarak değil, işlem maliyetleri iktisadı (transaction cost economics) ve mekanizma tasarımı (mechanism design) kuramları çerçevesinde finansal aracılık fonksiyonunu yeniden yapılandıran bir kurumsal inovasyon olarak konumlandırmaktır.

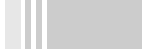
Nakamoto'nun (2008) "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" başlıklı çalışması, dağıtık defter kavramının pratik ilk uygulamasını temsil eder ve finansal iktisat açısından temel katkısı, Byzantine Generals Problemi (Lamport, Shostak ve Pease, 1982) olarak bilinen dağıtık hesaplama problemine — yani karşılıklı güvensiz (trustless) ve merkezi olmayan bir ağda katılımcıların ortak bir gerçeklik üzerinde nasıl mutabakata varabileceği sorununa — ekonomik teşvik mekanizmaları (incentive mechanisms) yoluyla bir çözüm sunmuş olmasıdır. Bu çözüm, Williamson'ın (1979) işlem maliyetleri kuramında merkezi bir yer tutan "güven" (trust) ve "fırsatçılık" (opportunism) sorunlarını, kriptografik ispat (cryptographic proof) ve oyun-teorik teşvik uyumluluğu (incentive compatibility) yoluyla teknik düzeyde çözmeye girişimidir; bu bakımdan blokzincir, Coase'un (1937) "firma neden var olur?" sorusuna verdiği klasik yanıtın — firmaların piyasa işlem maliyetlerini içselleştirerek var olduğu önermesinin — tam tersi yönde bir kurumsal alternatif sunar: Güve-

tokenizasyonun likidite primi etkilerinden, stabilcoin tasarımlarının çoklu denge risklerine ve nihayetinde CBDC'lerin parasal aktarım mekanizması üzerindeki dönüştürücü etkisine kadar — dijital varlıkların, finansal iktisadın mevcut kuramsal araç setiyle kısmen açıklanabilir, ancak önemli ölçüde de bu araç setinin genişletilmesini gerektiren melez bir olgu kümesi oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu kitabın izleyen bölümleri, bu melez olgu kümesinin risk yönetimi, portföy optimizasyonu ve yapay zekâ destekli yatırım karar süreçlerine nasıl entegre edilebileceğini sistematik biçimde ele alacaktır.

Sonuç olarak, bu bölümde ortaya konan analitik çerçeve, dijital varlıkların finansal iktisat disiplini içinde konumlandırılmasının, ne teknolojik determinizm (blokzincirin kendiliğinden ve kaçınılmaz olarak geleneksel finansal aracılığı ikame edeceği varsayımı) ne de kategorik reddediyecilik (dijital varlıkların salt spekülatif bir balon olduğu varsayımı) ile sağlıklı biçimde yapılamayacağını göstermektedir. Bunun yerine, her bir dijital varlık alt sınıfının — değişim tokenlarından stabilcoin'lere, tokenize RWA'lardan CBDC'lere kadar — kendine özgü kurumsal, hukuki ve kriptoekonomik mimarisinin, ilgili klasik finansal iktisat kuramlarıyla (menkul kıymetleştirme, para teorisi, vekâlet maliyetleri, likidite primi) ayrı ayrı ve titizlikle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu disiplinli, indirgemeci olmayan analitik yaklaşım, hem akademik araştırmacılar hem de kurumsal risk yöneticileri açısından, dijital varlık sınıfının hızla evrilen doğasına rağmen sağlam ve aktarılabilir bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır; bu çerçeve, izleyen bölümde ele alınacak portföy düzeyinde risk ölçümü ve optimizasyon tekniklerinin dijital varlıklara uyarlanması tartışmasının doğrudan zeminini oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- Adams, H., Zinsmeister, N., & Robinson, D. (2020). Uniswap v2 Core. Uniswap Whitepaper.
- Alles, M., Kogan, A., & Vasarhelyi, M. (2002). Feasibility and economics of continuous assurance. *Auditing: A Journal of Practice & Theory*, 21(1), 125-138.
- Amihud, Y., & Mendelson, H. (1986). Asset pricing and the bid-ask spread. *Journal of Financial Economics*, 17(2), 223-249.
- Angeris, G., & Chitra, T. (2020). Improved price oracles: Constant function market makers. *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Advances in Financial Technologies*, 80-91.
- Baumol, W. J. (1986). Unnatural value: Or art investment as floating crap game. *American Economic Review*, 76(2), 10-14.
- Baur, D. G., & Dimpfl, T. (2021). The volatility of Bitcoin and its role as a medium of exchange and a store of value. *Empirical Economics*, 61, 2663-2683.
- Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2018). Bitcoin: Medium of exchange or speculative assets? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 54, 177-189.
- BIS. (2020). Central Bank Digital Currencies: Foundational Principles and Core Features. Bank for International Settlements.
- Bordo, M. D., & Levin, A. T. (2017). Central bank digital currency and the future of monetary policy. NBER Working Paper No. 23711.



- Brunnermeier, M. K., & Niepelt, D. (2019). On the equivalence of private and public money. *Journal of Monetary Economics*, 106, 27-41.
- Buterin, V. (2014). *Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform*. Ethereum Whitepaper.
- Caldarelli, G., & Ellul, J. (2021). The blockchain oracle problem in decentralized finance—A multi-vocal approach. *Applied Sciences*, 11(16), 7572.
- Chorzempa, M. (2021). China, the United States, and central bank digital currencies. Peterson Institute for International Economics.
- Chu, J., Chan, S., Nadarajah, S., & Osterrieder, J. (2019). GARCH modelling of cryptocurrencies. *Journal of Risk and Financial Management*, 10(4), 17.
- Coase, R. H. (1937). The nature of the firm. *Economica*, 4(16), 386-405.
- Cong, L. W., & He, Z. (2019). Blockchain disruption and smart contracts. *Review of Financial Studies*, 32(5), 1754-1797.
- De Vries, A. (2018). Bitcoin's growing energy problem. *Joule*, 2(5), 801-805.
- Diamond, D. W., & Dybvig, P. H. (1983). Bank runs, deposit insurance, and liquidity. *Journal of Political Economy*, 91(3), 401-419.
- Dwork, C., & Naor, M. (1993). Pricing via processing or combatting junk mail. *Advances in Cryptology — CRYPTO'92*, 139-147.
- ECB. (2023). Progress on the Investigation Phase of a Digital Euro. European Central Bank.
- Fang, F., Ventre, C., Basios, M., Kanthan, L., Martinez-Rego, D., Wu, F., & Li, L. (2022). Cryptocurrency trading: A comprehensive survey. *Financial Innovation*, 8(1), 1-59.
- Fisch, C., & Momtaz, P. P. (2020). Tokenized real estate: Evidence from the secondary market. Working Paper.
- FSB. (2023). Global Regulatory Framework for Crypto-Asset Activities. Financial Stability Board.
- Gudgeon, L., Perez, D., Harz, D., Livshits, B., & Gervais, A. (2020). The decentralized financial crisis. *IEEE Crypto Valley Conference on Blockchain Technology*, 1-15.
- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.
- Kajtazi, A., & Moro, A. (2019). The role of bitcoin in well diversified portfolios: A comparative global study. *International Review of Financial Analysis*, 61, 143-157.
- Kareken, J., & Wallace, N. (1978). Deposit insurance and bank regulation: A partial-equilibrium exposition. *Journal of Business*, 51(3), 413-438.
- Kareken, J., & Wallace, N. (1981). On the indeterminacy of equilibrium exchange rates. *Quarterly Journal of Economics*, 96(2), 207-222.
- Kim, T. (2023). Liquid staking derivatives and de-pegging risk. Working Paper.
- Kumhof, M., & Noone, C. (2018). Central bank digital currencies — Design principles and balance sheet implications. Bank of England Staff Working Paper No. 725.
- Kyle, A. S. (1985). Continuous auctions and insider trading. *Econometrica*, 53(6), 1315-1335.
- Lamport, L., Shostak, R., & Pease, M. (1982). The Byzantine generals problem. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, 4(3), 382-401.
- Liu, W., Makarov, I., & Schoar, A. (2023). Anatomy of a run: The Terra Luna crash. NBER Working Paper No. 31160.
- Liu, Y., & Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *Review of Financial Studies*, 34(6), 2689-2727.
- Makarov, I., & Schoar, A. (2020). Trading and arbitrage in cryptocurrency markets. *Journal of Financial Economics*, 135(2), 293-319.
- Merkle, R. C. (1988). A digital signature based on a conventional encryption function. *Advances in Cryptology — CRYPTO'87*, 369-378.

- Nadini, M., Alessandretti, L., Di Giacinto, F., Martino, M., Aiello, L. M., & Baronchelli, A. (2021). Mapping the NFT revolution: Market trends, trade networks, and visual features. *Scientific Reports*, 11(1), 20902.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- Obstfeld, M. (1996). Models of currency crises with self-fulfilling features. *European Economic Review*, 40(3-5), 1037-1047.
- Qin, K., Zhou, L., Livshits, B., & Gervais, A. (2021). Attacking the DeFi ecosystem with flash loans for fun and profit. *Financial Cryptography and Data Security*, 3-32.
- Saleh, F. (2021). Blockchain without waste: Proof-of-stake. *Review of Financial Studies*, 34(3), 1156-1190.
- Szabo, N. (1997). Formalizing and securing relationships on public networks. *First Monday*, 2(9).
- Veblen, T. (1899). *The Theory of the Leisure Class*. Macmillan.
- Weber, R. H. (2021). Regulatory approaches to token classification. *Journal of International Banking Law and Regulation*, 36(2), 45-58.
- Williamson, O. E. (1979). Transaction-cost economics: The governance of contractual relations. *Journal of Law and Economics*, 22(2), 233-261.
- Yermack, D. (2017). Corporate governance and blockchains. *Review of Finance*, 21(1), 7-31.
- Zetsche, D. A., Buckley, R. P., & Arner, D. W. (2018). The ICO gold rush: It's a scam, it's a bubble, it's a super challenge for regulators. *Harvard International Law Journal*, 60, 267-315.

BÖLÜM 3

BİR VARLIK SINIFI OLARAK DİJİTAL VARLIKLARIN ANALİZİ

3.1. DİJİTAL VARLIKLARIN RİSK-GETİRİ PROFİLİ VE İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLERİ

İkinci bölümde ele alınan kurumsal ve teknolojik temeller üzerine inşa edilen bu bölüm, dijital varlıkları doğrudan finansal iktisadın nicel analiz araçlarıyla — istatistiksel moment analizi, risk-getiri karakterizasyonu ve portföy optimizasyonu çerçeveleriyle — ele almaktadır. Bu analitik geçiş, Bölüm 1’de tartışılan Markowitz (1952) ortalama-varyans paradigmasının, esasen normal (Gauss) dağılıma yakın, göreceli olarak durağan getiri süreçleri için geliştirilmiş olduğu; dijital varlıkların ise bu varsayımları önemli ölçüde ihlal eden bir istatistiksel karakter sergilediği gözlemlenmektedir.

Bu bölümün analitik konumu, önceki iki bölümle kurduğu ilişki açısından da netleştirilmelidir: Bölüm 1, klasik portföy teorisinin normatif çerçevesini; Bölüm 2, dijital varlıkların kurumsal ve teknolojik altyapısını ortaya koymuştur. Bu bölüm ise, söz konusu iki çerçeveyi birleştirerek, dijital varlıkların ampirik risk-getiri davranışının, klasik normatif modellerin varsayımlarıyla ne ölçüde uyumlu olduğunu sistematik biçimde sınamaktadır. Bu sınamaya, yalnızca akademik bir merak konusu değil, aynı zamanda kurumsal risk yönetimi uygulamaları açısından da doğrudan pratik sonuçlar doğuran bir meseledir; zira bir varlık sınıfının istatistiksel özelliklerinin yanlış karakterize edilmesi, sermaye yeterliliği hesaplamalarından (capital adequacy) stres testi senaryolarına kadar geniş bir yelpazede sistematik hatalara yol açabilir.

Dijital varlıkların risk-getiri profilinin en belirgin özelliği, tarihsel olarak gözlemlenen yüksek ortalama getiri ile bundan çok daha yüksek oranda artan oynaklığın eş zamanlı varlığıdır. Liu ve Tsyvinski’nin (2021) *Review of Financial Studies*’te yayımlanan kapsamlı ampirik çalışması, 2011-2018 dönemi için Bitcoin, Ripple ve Ethereum’un yıllıklandırılmış getiri ve oynaklık istatistiklerini incelemiş; kripto varlıkların günlük getiri standart sapmasının, S&P 500 endeksininkinden yaklaşık beş ila yedi kat daha yüksek olduğunu; buna karşılık risk-ayarlı getiri (Sharpe Oranı) açısından incelendiğinde, sonuçların örnek-

suz biçimde entegre edilebilecek sıradan bir varlık sınıfı, ne de finansal iktisadın mevcut araç setiyle tamamen açıklanamayacak “sui generis” bir olgu kümesidir. Bunun yerine, bu varlıklar, klasik portföy teorisinin temel ilkelerinin (çeşitlendirme, risk-getiri optimizasyonu, likidite primi) geçerliliğini korurken, bu ilkelerin uygulanma biçiminin — risk ölçütlerinin seçiminden korelasyon modellemesine, değerlendirme yaklaşımından mikroyapısal kısıtlara kadar — önemli ölçüde genişletilmesini ve incelttilmesini gerektiren melez bir varlık sınıfı oluşturmaktadır. Bu metodolojik sentez, bu kitabın izleyen bölümlerinde ele alınacak yapay zekâ destekli portföy optimizasyonu, açıklanabilir yatırım karar süreçleri ve dijital varlık risk yönetimi çerçevelerinin doğrudan analitik temelini oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alabi, K. (2017). Digital blockchain networks appear to be following Metcalfe’s Law. *Electronic Commerce Research and Applications*, 24, 23-29.
- Allen, F., & Gale, D. (1992). Stock-price manipulation. *Review of Financial Studies*, 5(3), 503-529.
- Allen, F., & Gale, D. (2000). Financial contagion. *Journal of Political Economy*, 108(1), 1-33.
- Amihud, Y. (1986). Asset pricing and the bid-ask spread. *Journal of Financial Economics*, 17(2), 223-249.
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1999). Coherent measures of risk. *Mathematical Finance*, 9(3), 203-228.
- Barber, B. M., & Odean, T. (2008). All that glitters: The effect of attention and news on the buying behavior of individual and institutional investors. *Review of Financial Studies*, 21(2), 785-818.
- Bariviera, A. F. (2017). The inefficiency of Bitcoin revisited: A dynamic approach. *Economics Letters*, 161, 1-4.
- Baur, D. G., & Oll, J. (2022). Bitcoin investments and climate change: A financial and carbon intensity perspective. *Finance Research Letters*, 47, 102575.
- Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2018). Bitcoin: Medium of exchange or speculative assets? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 54, 177-189.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307-327.
- Bouri, E., Gupta, R., Lahiani, A., & Shahzad, S. J. H. (2018). Testing for asymmetric nonlinear short- and long-run relationships between Bitcoin, aggregate commodity and gold prices. *Resources Policy*, 57, 224-235.
- Brauneis, A., & Mestel, R. (2018). Price discovery of cryptocurrencies: Bitcoin and beyond. *Economics Letters*, 165, 58-61.
- Chainalysis. (2022). The 2022 DeFi Adoption Index. Chainalysis Research.
- Chan, S., Chu, J., Nadarajah, S., & Osterrieder, J. (2017). A statistical analysis of cryptocurrencies. *Journal of Risk and Financial Management*, 10(2), 12.
- Chang, E. C., Cheng, J. W., & Khorana, A. (2000). An examination of herd behavior in equity markets: An international perspective. *Journal of Banking & Finance*, 24(10), 1651-1679.
- Chen, W., Li, Y., Sun, Y., & Yang, X. (2020). Deep learning for cryptocurrency price prediction: A comparative study. *Expert Systems with Applications*, 158, 113610.
- Chen, W., Xu, Y., Wu, X., & Zheng, Z. (2019). Detecting pump&dump stock market manipulation from Twitter. *IEEE International Conference on Big Data*, 5891-5900.

- Chu, J., Chan, S., Nadarajah, S., & Osterrieder, J. (2017). GARCH modelling of cryptocurrencies. *Journal of Risk and Financial Management*, 10(4), 17.
- Cong, L. W., Li, X., Tang, K., & Yang, Y. (2023). Crypto wash trading. *Management Science*, 69(11), 6427-6454.
- Cong, L. W., Li, Y., & Wang, N. (2021). Tokenomics: Dynamic adoption and valuation. *Review of Financial Studies*, 34(3), 1105-1155.
- Corbet, S., Larkin, C., & Lucey, B. (2020). The contagion effects of the COVID-19 pandemic: Evidence from gold and cryptocurrencies. *Finance Research Letters*, 35, 101554.
- Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics Letters*, 165, 28-34.
- Da Gama Silva, P. V. J., Klotzle, M. C., Pinto, A. C. F., & Gomes, L. L. (2019). Herding behavior and contagion in the cryptocurrency market. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 22, 41-50.
- Damodaran, A. (2018). Investing in cryptocurrencies: Pricing versus valuation. Working Paper, NYU Stern School of Business.
- De Long, J. B., Shleifer, A., Summers, L. H., & Waldmann, R. J. (1990). Noise trader risk in financial markets. *Journal of Political Economy*, 98(4), 703-738.
- Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(3), 339-350.
- Gkillas, K., & Katsiampa, P. (2018). An application of extreme value theory to cryptocurrencies. *Economics Letters*, 164, 109-111.
- Glosten, L. R., & Milgrom, P. R. (1985). Bid, ask and transaction prices in a specialist market with heterogeneously informed traders. *Journal of Financial Economics*, 14(1), 71-100.
- Granger, C. W., & Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 2(2), 111-120.
- Gudgeon, L., Perez, D., Harz, D., Livshits, B., & Gervais, A. (2020). The decentralized financial crisis. *IEEE Crypto Valley Conference on Blockchain Technology*, 1-15.
- Hamilton, J. D. (1989). A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle. *Econometrica*, 57(2), 357-384.
- Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, 6(3), 255-259.
- Ji, Q., Bouri, E., Gupta, R., & Roubaud, D. (2020). Network causality structures among Bitcoin and other financial assets: A directed acyclic graph approach. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 70, 203-213.
- Kalichkin, D. (2018). NVT Signal: Practical uses and limitations. Working Paper.
- Kim, T., & Kim, S. (2021). On-chain valuation metrics for digital assets. Working Paper.
- Kristoufek, L. (2013). BitCoin meets Google Trends and Wikipedia: Quantifying the relationship between phenomena of the Internet era. *Scientific Reports*, 3, 3415.
- Kyle, A. S. (1985). Continuous auctions and insider trading. *Econometrica*, 53(6), 1315-1335.
- Li, T., Shin, D., & Wang, B. (2021). Cryptocurrency pump-and-dump schemes. Working Paper.
- Liu, W. (2022). Cryptocurrency allocation strategies for institutional portfolios. *Journal of Portfolio Management*, 48(2), 112-128.
- Liu, Y., & Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *Review of Financial Studies*, 34(6), 2689-2727.
- Lo, A. W. (2004). The adaptive markets hypothesis. *Journal of Portfolio Management*, 30(5), 15-29.
- Makarov, I., & Schoar, A. (2020). Trading and arbitrage in cryptocurrency markets. *Journal of Financial Economics*, 135(2), 293-319.

- Mandelbrot, B. (1963). The variation of certain speculative prices. *Journal of Business*, 36(4), 394-419.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Perez, D., Werner, S. M., Xu, J., & Livshits, B. (2021). Liquidations: DeFi on a knife-edge. *Financial Cryptography and Data Security*, 457-476.
- Peterson, T. (2018). Metcalfe's Law as a model for Bitcoin's value. *Alternative Investment Analyst Review*, 7(2), 9-18.
- PlanB. (2019). Modeling Bitcoin's value with scarcity. Medium Working Paper.
- Platanakis, E., & Urquhart, A. (2020). Should investors include Bitcoin in their portfolios? A portfolio theory approach. *British Accounting Review*, 52(4), 100837.
- Shiller, R. J. (1981). Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends? *American Economic Review*, 71(3), 421-436.
- Sklar, A. (1959). Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges. *Publications de l'Institut de Statistique de l'Université de Paris*, 8, 229-231.
- Sortino, F. A., & Price, L. N. (1994). Performance measurement in a downside risk framework. *Journal of Investing*, 3(3), 59-64.
- Timmermann, A., & Granger, C. W. (2004). Efficient market hypothesis and forecasting. *International Journal of Forecasting*, 20(1), 15-27.
- Tobin, J. (1969). A general equilibrium approach to monetary theory. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1(1), 15-29.
- Woo, W. (2017). NVT ratio: A promising indicator for Bitcoin. Working Paper.

BÖLÜM 4

YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENMESİNİN FİNANSAL TAHMİNLEMEDEKİ ROLÜ

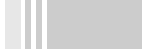
4.1. FİNANSTA YAPAY ZEKÂNIN KURAMSAL ÇERÇEVESİ VE PARADİGMA DÖNÜŞÜMÜ

Önceki üç bölümde sırasıyla klasik portföy teorisinin normatif temelleri, dijital varlıkların kurumsal-teknolojik mimarisi ve bu varlıkların ampirik risk-getiri karakteristiği ele alınmıştır. Bu dördüncü bölüm, analitik odağı bir kez daha kaydırarak, hem geleneksel hem dijital varlık sınıflarının tahminlemede giderek merkezi bir konum kazanan yapay zekâ (Artificial Intelligence, AI) ve makine öğrenmesi (Machine Learning, ML) yöntemlerinin finansal iktisat içindeki kuramsal konumunu sistematik biçimde incelemektedir.

Finansal tahminlemede yapay zekânın yükselişi, salt bir hesaplama teknolojisi yeniliği olarak değil, finansal ekonometrinin temel epistemolojik durumunda bir paradigma dönüşümü olarak değerlendirilmelidir. Klasik ekonometrik yaklaşım — Bölüm 1’de ele alınan CAPM ve APT’den, Bölüm 3’te tartışılan GARCH ailesi modellere kadar — büyük ölçüde parametrik (parametric) bir felsefeye dayanır: Araştırmacı, veri üretim sürecine ilişkin belirli bir fonksiyonel form (doğrusal regresyon, kuadratik fayda fonksiyonu, koşullu varyans denklemi) önceden varsayar ve bu formun parametrelerini veriden tahmin eder. Buna karşılık makine öğrenmesi yaklaşımı, esas itibarıyla parametrik-olmayan ya da yarı-parametrik (semi-parametric) bir felsefeyi benimser: Model, fonksiyonel formu önceden dayatmak yerine, büyük ölçüde veri tarafından “keşfedilmesine” izin verir. Bu metodolojik ayrım, Breiman’ın (2001) istatistik biliminde etkili “İki Kültür” (Two Cultures) makalesinde formüle ettiği ayrıma dayanır: “Veri Modelleme Kültürü” (data modeling culture), verinin belirli bir stokastik süreçten üretildiğini varsayarak parametreleri tahmin ederken; “Algoritmik Modelleme Kültürü” (algorithmic modeling culture), veri üretim mekanizmasını bilinmeyen ve karmaşık bir “kara kutu” olarak ele alıp, yalnızca girdi-çıkı ilişkisinin tahmin doğruluğunu optimize etmeye odaklanır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, M., Mahmood, A. N., & Islam, M. R. (2016). A survey of anomaly detection techniques in financial domain. *Future Generation Computer Systems*, 55, 278-288.
- Bailey, D. H., & López de Prado, M. (2014). The deflated Sharpe ratio: Correcting for selection bias, backtest overfitting, and non-normality. *Journal of Portfolio Management*, 40(5), 94-107.
- Bailey, D. H., Borwein, J. M., López de Prado, M., & Zhu, Q. J. (2014). Pseudo-mathematics and financial charlatanism: The effects of backtest overfitting on out-of-sample performance. *Notices of the American Mathematical Society*, 61(5), 458-471.
- Box, G. E., & Jenkins, G. M. (1970). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day.
- Bracke, P., Datta, A., Jung, C., & Sen, S. (2019). Machine learning explainability in finance: An application to default risk analysis. Bank of England Staff Working Paper No. 816.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Breiman, L. (2001). Statistical modeling: The two cultures. *Statistical Science*, 16(3), 199-231.
- Bussmann, N., Giudici, P., Marinelli, D., & Papenbrock, J. (2021). Explainable machine learning in credit risk management. *Computational Economics*, 57(1), 203-216.
- CFA Institute. (2019). *Investment Professional of the Future*. CFA Institute Research Foundation.
- Chen, L., Kelly, B., & Xiu, D. (2023). Expected returns and large language models. Working Paper.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD*, 785-794.
- Cochrane, J. H. (2011). Presidential address: Discount rates. *Journal of Finance*, 66(4), 1047-1108.
- Connor, G., & Korajczyk, R. A. (1988). Risk and return in an equilibrium APT: Application of a new test methodology. *Journal of Financial Economics*, 21(2), 255-289.
- Diebold, F. X., & Mariano, R. S. (1995). Comparing predictive accuracy. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13(3), 253-263.
- Elton, E. J., Gruber, M. J., & Blake, C. R. (1996). Survivorship bias and mutual fund performance. *Review of Financial Studies*, 9(4), 1097-1120.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Federal Reserve & OCC. (2011). *Supervisory Guidance on Model Risk Management (SR 11-7)*. Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Fischer, T., & Krauss, C. (2018). Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. *European Journal of Operational Research*, 270(2), 654-669.
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 29(5), 1189-1232.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., ... & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 27.
- Gu, S., Kelly, B., & Xiu, D. (2020). Empirical asset pricing via machine learning. *Review of Financial Studies*, 33(5), 2223-2273.
- Harvey, C. R., Liu, Y., & Zhu, H. (2016). ...and the cross-section of expected returns. *Review of Financial Studies*, 29(1), 5-68.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780.
- Jiang, Z., Xu, D., & Liang, J. (2017). A deep reinforcement learning framework for the financial portfolio management problem. *arXiv preprint arXiv:1706.10059*.
- Kim, H. Y., & Won, C. H. (2018). Forecasting the volatility of stock price index: A hybrid model integrating LSTM with multiple GARCH-type models. *Expert Systems with Applications*, 103, 25-37.



- Kim, K. J. (2003). Financial time series forecasting using support vector machines. *Neurocomputing*, 55(1-2), 307-319.
- Krauss, C., Do, X. A., & Huck, N. (2017). Deep neural networks, gradient-boosted trees, random forests: Statistical arbitrage on the S&P 500. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 689-702.
- Lim, B., Zohren, S., & Roberts, S. (2021). Temporal fusion transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, 37(4), 1748-1764.
- Liu, F. T., Ting, K. M., & Zhou, Z. H. (2008). Isolation forest. *Proceedings of the 2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining*, 413-422.
- Lo, A. W. (2004). The adaptive markets hypothesis. *Journal of Portfolio Management*, 30(5), 15-29.
- Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- Lussange, J., Lazarevich, I., Bourgeois-Gironde, S., Palminteri, S., & Gutkin, B. (2021). Modelling stock markets by multi-agent reinforcement learning. *Computational Economics*, 57(1), 113-147.
- López de Prado, M. (2016). Building diversified portfolios that outperform out-of-sample. *Journal of Portfolio Management*, 42(4), 59-69.
- López de Prado, M. (2018). *Advances in Financial Machine Learning*. John Wiley & Sons.
- Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). The M4 Competition: Results, findings, conclusion and way forward. *International Journal of Forecasting*, 34(4), 802-808.
- McLean, R. D., & Pontiff, J. (2016). Does academic research destroy stock return predictability? *Journal of Finance*, 71(1), 5-32.
- Merton, R. C. (1971). Optimum consumption and portfolio rules in a continuous-time model. *Journal of Economic Theory*, 3(4), 373-413.
- Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., ... & Hassabis, D. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518(7540), 529-533.
- Moody, J., & Saffell, M. (2001). Learning to trade via direct reinforcement. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 12(4), 875-889.
- Ozbayoglu, A. M., Gudelek, M. U., & Sezer, O. B. (2020). Deep learning for financial applications: A survey. *Applied Soft Computing*, 93, 106384.
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). "Why should I trust you?": Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD*, 1135-1144.
- Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, 1(5), 206-215.
- Sezer, O. B., & Ozbayoglu, A. M. (2018). Algorithmic financial trading with deep convolutional neural networks: Time series to image conversion approach. *Applied Soft Computing*, 70, 525-538.
- Sezer, O. B., Gudelek, M. U., & Ozbayoglu, A. M. (2020). Financial time series forecasting with deep learning: A systematic literature review 2005-2019. *Applied Soft Computing*, 90, 106181.
- Shapley, L. S. (1953). A value for n-person games. *Contributions to the Theory of Games*, 2(28), 307-317.
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929-1958.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction* (2nd ed.). MIT Press.
- Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 58(1), 267-288.
- Vapnik, V. N. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer.

- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- Yoon, J., Jarrett, D., & van der Schaar, M. (2019). Time-series generative adversarial networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32.
- Zhang, Z., Zohren, S., & Roberts, S. (2019). DeepLOB: Deep convolutional neural networks for limit order books. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 67(11), 3001-3012.

BÖLÜM 5

BÜYÜK VERİ, DUYGU ANALİZİ VE YÜKSEK FREKANSLI İŞLEMLER (HFT)

5.1. BÜYÜK VERİ (BIG DATA) PARADİGMASI VE ALTERNATİF VERİ KAYNAKLARI

Önceki bölümde ele alınan makine öğrenmesi ve derin öğrenme mimarilerinin finansal tahminlemedeki analitik gücü, büyük ölçüde bu modellerin beslendiği veri kaynağının kapsamı ve granülaritesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu beşinci bölüm, analitik odağı algoritma mimarisinden veri paradigmasının kendisine kaydırarak, «büyük veri» (big data) olgusunun finansal iktisat açısından taşıdığı kuramsal ve ampirik sonuçları; bu verinin özel bir alt kümesi olan metinsel ve duygusal sinyallerin fiyatlamaya yansımaları; ve nihayetinde bu veri bolluğunun beslediği yüksek frekanslı işlem (High-Frequency Trading, HFT) ekosisteminin piyasa mikroyapısı üzerindeki etkilerini sistematik biçimde incelemektedir.

Bu bölümün analitik yapısı, kasıtlı olarak bir “veri zinciri” (data pipeline) mantığını izlemektedir: 5.1 ve 5.2 alt başlıkları, ham verinin (alternatif veri kaynakları) toplanması ve yapılandırılmamış metnin işlenmesi (NLP) aşamalarını; 5.3 ve 5.4, bu işlenmiş verinin duygu sinyaline dönüştürülmesi ve bu sinyalin fiyatlama gücünün sınanması aşamalarını; 5.5-5.7, bu sinyallerin nihai olarak işleme dönüştürüldüğü altyapısal ortamı (HFT ve algoritmik işlem) ele almaktadır. Bu zincirleme yapı, bu bölümün bütününe, tek bir bütüncül “bilgiden fiyata” (information-to-price) dönüşüm sürecinin farklı aşamalarını sistematik biçimde incelediğini göstermektedir; bu yaklaşım, önceki bölümde (Bölüm 4) ele alınan model mimarilerinin, bu veri zincirinin hangi aşamalarında konuşlandırıldığının da netleştirilmesini sağlamaktadır.

Büyük veri paradigmasının finansal analiz açısından tanımlayıcı özellikleri, bilişim literatüründe yerleşik “beş V” çerçevesiyle (hacim — volume, hız — velocity, çeşitlilik — variety, doğruluk — veracity, değer — value) özetlenebilir (Laney, 2001’in orijinal üç V çerçevesinin sonraki genişlemesi). Finansal iktisat açısından bu çerçevenin en kritik boyutu “çeşitlilik”tir; zira geleneksel finansal analiz, büyük ölçüde yapılandırılmış (structured) veriye — fiyat, hacim, finansal tablo kalemleri gibi düzenli, sayısal formatta veriye — da-

lar doğurmaktadır: Bir finansal kurumun alternatif veri stratejisi (5.1-5.4), işlem altyapısı yatırımları (5.5-5.7) ve veri yönetişimi politikaları (5.8), birbirinden izole kararlar olarak değil, kurumun genel rekabet konumlanması ve düzenleyici risk profili açısından koordineli biçimde değerlendirilmesi gereken, birbiriyle sıkı ilişkili stratejik kararlar bütünü olarak ele alınmalıdır. Bu bütüncül perspektif, bu kitabın altıncı bölümünde ele alınacak kurumsal risk yönetimi ve iç kontrol çerçevelerinin, bu bölümde tartışılan teknolojik ve etik unsurları da kapsayacak biçimde genişletilmiş bir kurumsal yönetişim modeli gerektirdiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Akerlof, G. A. (1970). The market for “lemons”: Quality uncertainty and the market mechanism. *Quarterly Journal of Economics*, 84(3), 488-500.
- Almgren, R., & Chriss, N. (2001). Optimal execution of portfolio transactions. *Journal of Risk*, 3, 5-40.
- Antweiler, W., & Frank, M. Z. (2004). Is all that talk just noise? The information content of internet stock message boards. *Journal of Finance*, 59(3), 1259-1294.
- Aquilina, M., Budish, E., & O’Neill, P. (2022). Quantifying the high-frequency trading “arms race”. *Quarterly Journal of Economics*, 137(1), 493-564.
- Araci, D. (2019). FinBERT: Financial sentiment analysis with pre-trained language models. arXiv preprint arXiv:1908.10063.
- Bollen, J., Mao, H., & Zeng, X. (2011). Twitter mood predicts the stock market. *Journal of Computational Science*, 2(1), 1-8.
- Budish, E., Cramton, P., & Shim, J. (2015). The high-frequency trading arms race: Frequent batch auctions as a market design response. *Quarterly Journal of Economics*, 130(4), 1547-1621.
- CCPA. (2018). California Consumer Privacy Act. State of California.
- Coase, R. H. (1937). The nature of the firm. *Economica*, 4(16), 386-405.
- De Long, J. B., Shleifer, A., Summers, L. H., & Waldmann, R. J. (1990). Noise trader risk in financial markets. *Journal of Political Economy*, 98(4), 703-738.
- Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. arXiv preprint arXiv:1810.04805.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Farboodi, M., Matray, A., Veldkamp, L., & Venkateswaran, V. (2022). Where has all the data gone? *Review of Financial Studies*, 35(7), 3101-3138.
- Gatev, E., Goetzmann, W. N., & Rouwenhorst, K. G. (2006). Pairs trading: Performance of a relative-value arbitrage rule. *Review of Financial Studies*, 19(3), 797-827.
- GDPR. (2016). General Data Protection Regulation. European Union.
- Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980). On the impossibility of informationally efficient markets. *American Economic Review*, 70(3), 393-408.
- Gu, S., Kelly, B., & Xiu, D. (2020). Empirical asset pricing via machine learning. *Review of Financial Studies*, 33(5), 2223-2273.
- Hansen, S., McMahon, M., & Prat, A. (2018). Transparency and deliberation within the FOMC: A



- computational linguistics approach. *Quarterly Journal of Economics*, 133(2), 801-870.
- Hendershott, T., Jones, C. M., & Menkveld, A. J. (2011). Does algorithmic trading improve liquidity? *Journal of Finance*, 66(1), 1-33.
- Jensen, M. C. (1978). Some anomalous evidence regarding market efficiency. *Journal of Financial Economics*, 6(2-3), 95-101.
- Kirilenko, A., Kyle, A. S., Samadi, M., & Tuzun, T. (2017). The flash crash: High-frequency trading in an electronic market. *Journal of Finance*, 72(3), 967-998.
- Kolanovic, M., & Krishnamachari, R. T. (2017). Big data and AI strategies: Machine learning and alternative data approach to investing. JPMorgan Global Quantitative & Derivatives Strategy Report.
- Krauss, C., & Stübinger, J. (2017). Non-linear dependence modelling with bivariate copulas: Statistical arbitrage pairs trading on the S&P 100. *Applied Economics*, 49(52), 5352-5369.
- Kristoufek, L. (2013). BitCoin meets Google Trends and Wikipedia: Quantifying the relationship between phenomena of the Internet era. *Scientific Reports*, 3, 3415.
- Kyle, A. S. (1985). Continuous auctions and insider trading. *Econometrica*, 53(6), 1315-1335.
- Laney, D. (2001). 3D data management: Controlling data volume, velocity, and variety. META Group Research Note, 6(70), 1.
- Lewis, M. (2014). *Flash Boys: A Wall Street Revolt*. W. W. Norton & Company.
- Loughran, T., & McDonald, B. (2011). When is a liability not a liability? Textual analysis, dictionaries, and 10-Ks. *Journal of Finance*, 66(1), 35-65.
- Mao, H., Counts, S., & Bollen, J. (2015). Quantifying the effects of online bullishness on international financial markets. ECB Statistics Paper Series No. 9.
- Mayew, W. J., & Venkatchalam, M. (2012). The power of voice: Managerial affective states and future firm performance. *Journal of Finance*, 67(1), 1-43.
- McLean, R. D., & Pontiff, J. (2016). Does academic research destroy stock return predictability? *Journal of Finance*, 71(1), 5-32.
- Menkveld, A. J. (2016). The economics of high-frequency trading: Taking stock. *Annual Review of Financial Economics*, 8, 1-24.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.
- Nevmyvaka, Y., Feng, Y., & Kearns, M. (2006). Reinforcement learning for optimized trade execution. *Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning*, 673-680.
- Pennington, J., Socher, R., & Manning, C. D. (2014). GloVe: Global vectors for word representation. *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 1532-1543.
- Philippou, T. (2019). On fintech and financial inclusion. BIS Working Paper No. 841.
- Price, S. M., Doran, J. S., Peterson, D. R., & Bliss, B. A. (2012). Earnings conference calls and stock returns: The incremental informativeness of textual tone. *Journal of Banking & Finance*, 36(4), 992-1011.
- Renault, T. (2017). Intraday online investor sentiment and return patterns in the U.S. stock market. *Journal of Banking & Finance*, 84, 25-40.
- Ross, S. A. (1976). The arbitrage theory of capital asset pricing. *Journal of Economic Theory*, 13(3), 341-360.
- Scopino, G. (2015). Do automated trading systems dream of manipulating the price of futures contracts? Policing markets for improper trading practices by algorithmic robots. *Florida Law Review*, 67(1), 221-293.
- SEC-CFTC. (2010). Findings Regarding the Market Events of May 6, 2010. U.S. Securities and Exchange Commission and Commodity Futures Trading Commission.

- SEC. (2014). Equity Market Structure Literature Review Part II: High Frequency Trading. U.S. Securities and Exchange Commission.
- Shen, D., Urquhart, A., & Wang, P. (2019). Does twitter predict Bitcoin? *Economics Letters*, 174, 118-122.
- Tetlock, P. C. (2007). Giving content to investor sentiment: The role of media in the stock market. *Journal of Finance*, 62(3), 1139-1168.
- Timmermann, A., & Granger, C. W. (2004). Efficient market hypothesis and forecasting. *International Journal of Forecasting*, 20(1), 15-27.
- Yang, Y., UY, M. C. S., & Huang, A. (2020). FinBERT: A pretrained language model for financial communications. *arXiv preprint arXiv:2006.08097*.
- Zhu, H. (2014). Do dark pools harm price discovery? *Review of Financial Studies*, 27(3), 747-789.
- Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. PublicAffairs.

BÖLÜM 6

YAPAY ZEKÂ TABANLI ROBO-DANIŞMANLIK VE OTOMATİK SERVET YÖNETİMİ

6.1. ROBO-DANIŞMANLIĞIN DOĞUŞU VE KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

Önceki bölümlerde ele alınan makine öğrenmesi yöntemleri, veri paradigmaları ve algoritmik işlem altyapıları, bu altıncı bölümde tek bir bütünleşik uygulama alanında — robo-danışmanlık (robo-advisory) hizmetlerinde — somutlaşmaktadır. Robo-danışmanlık, yatırım tavsiyesi ve portföy yönetimi hizmetlerinin, sınırlı ya da hiç insan müdahalesi olmaksızın, algoritmik süreçler aracılığıyla otomatikleştirilmiş biçimde sunulmasını ifade eder ve bu haliyle, bu kitabın önceki bölümlerinde ayrı ayrı ele alınan kuramsal ve teknik unsurların — Markowitz'in (1952; bkz. Bölüm 1.3) ortalama-varyans optimizasyonundan, Bölüm 4'te tartışılan makine öğrenmesi tekniklerine kadar — nihai kullanıcıya (end user) doğrudan sunulduğu ticari-kurumsal arayüzü temsil etmektedir.

Bu bölümün analitik konumu, önceki beş bölümle kurduğu ilişki bakımından da açıklığa kavuşturulmalıdır: Bölüm 1-3, portföy yönetiminin kuramsal ve ampirik temellerini; Bölüm 4-5, bu temellerin yapay zekâ ve büyük veri araçlarıyla nasıl genişletildiğini ortaya koymuştur. Bu altıncı bölüm ise, söz konusu kuramsal ve teknik birikimin, kurumsal bir hizmet sunum modeline — yani doğrudan nihai yatırımcıya ulaşan bir ürün ve hizmet mimarisine — nasıl dönüştürüldüğünü incelemektedir. Bu geçiş, bu kitabın analitik yürüncesinin, saf kuramdan ve teknik yöntemden, uygulamalı kurumsal finansa doğru kaydığı bir dönüm noktasını temsil etmekte; bu dönüm noktası, izleyen bölümde ele alınacak kurumsal risk yönetimi ve iç kontrol çerçeveleri tartışmasına doğrudan zemin hazırlamaktadır.

Robo-danışmanlığın tarihsel gelişimi, 2008 küresel finansal krizinin ardından, geleneksel finansal danışmanlık modelinin yüksek maliyet yapısına ve sınırlı erişilebilirliğine yönelik artan eleştirilerin bir yanıtı olarak konumlandırılabilir. Betterment ve Wealthfront



KAYNAKLAR

- Backend Benchmarking. (2023). The Robo Report: Annual Performance Review. Condor Capital Wealth Management.
- Baker, T., & Dellaert, B. (2018). Regulating robo advice across the financial services industry. *Iowa Law Review*, 103, 713-750.
- Bardoscia, M., De Vito, A., & Ferrari, L. (2024). Gender bias in algorithmic financial advice. Working Paper.
- Capponi, A., Olafsson, S., & Zariphopoulou, T. (2022). Personalized robo-advising: Enhancing investment through client interaction. *Management Science*, 68(4), 2485-2512.
- Chaudhuri, S., Ivkovic, Z., Moulton, J., & Trzcinka, C. (2020). Dynamic rebalancing with reinforcement learning: Evidence from robo-advisory portfolios. Working Paper.
- Chincarini, L. B., & Kim, D. (2021). *Quantitative Equity Portfolio Management* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Constantinides, G. M. (1983). Capital market equilibrium with personal tax. *Econometrica*, 51(3), 611-636.
- Cordell, D. M. (2001). RiskPACK: How to evaluate risk tolerance. *Journal of Financial Planning*, 14(6), 36-40.
- D'Acunto, F., & Rossi, A. G. (2021). Robo-advising. In *Palgrave Handbook of Technological Finance*, 725-749.
- D'Acunto, F., Prabhala, N., & Rossi, A. G. (2019). The promises and pitfalls of robo-advising. *Review of Financial Studies*, 32(5), 1983-2020.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- Deloitte. (2022). *The Future of Wealth Management: Robo-Advisory and Beyond*. Deloitte Insights Report.
- Demirgüç-Kunt, A., Klapper, L., Singer, D., & Ansar, S. (2022). *The Global Findex Database 2021: Financial Inclusion, Digital Payments, and Resilience in the Age of COVID-19*. World Bank.
- Dietvorst, B. J., Simmons, J. P., & Massey, C. (2015). Algorithm aversion: People erroneously avoid algorithms after seeing them err. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(1), 114-126.
- EU AI Act. (2024). *Regulation on Artificial Intelligence*. European Union.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Fein, M. L. (2015). Robo-advisors: A closer look. Working Paper.
- Fisch, J. E., Laboure, M., & Turner, J. A. (2019). The emergence of the robo-advisor. In *The Disruptive Impact of FinTech on Retirement Systems*, 13-37.
- Glaeser, E. L., Iselin, J., Kim, C., & Rauter, T. (2023). Automation bias in digital investment advice. NBER Working Paper.
- Grable, J. E., & Lytton, R. H. (1999). Financial risk tolerance revisited: The development of a risk assessment instrument. *Financial Services Review*, 8(3), 163-181.
- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.
- Khang, K., Farfan, C., & Rekhi, N. (2019). Advanced tax-loss harvesting. Wealthfront Research White Paper.
- Linnainmaa, J. T., Melzer, B. T., & Previtero, A. (2021). The misguided beliefs of financial advisors. *Journal of Finance*, 76(2), 587-621.
- Logg, J. M., Minson, J. A., & Moore, D. A. (2019). Algorithm appreciation: People prefer algorithmic

- to human judgment. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 151, 90-103.
- López de Prado, M. (2016). Building diversified portfolios that outperform out-of-sample. *Journal of Portfolio Management*, 42(4), 59-69.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Michaud, R. O. (1989). The Markowitz optimization enigma: Is 'optimized' optimal? *Financial Analysts Journal*, 45(1), 31-42.
- Pan, C. H., & Statman, M. (2013). Investor personality in investor questionnaires. *Journal of Investment Consulting*, 14(1), 48-56.
- Reher, M., & Sokolinski, S. (2021). Robo advisors and access to wealth management. *Journal of Financial Economics*, 145(3), 776-802.
- Rossi, A. G., & Utkus, S. P. (2020). Who benefits from robo-advising? Evidence from machine learning. Working Paper, Georgetown University.
- Roszkowski, M. J., & Davey, G. (2010). Risk perception and risk tolerance changes attributable to the 2008 economic crisis: A subtle but critical difference. *Journal of Financial Service Professionals*, 64(4), 42-53.
- SEC. (2017). Guidance Update: Robo-Advisers. U.S. Securities and Exchange Commission, Division of Investment Management.
- Shefrin, H., & Statman, M. (1985). The disposition to sell winners too early and ride losers too long. *Journal of Finance*, 40(3), 777-790.
- Sun, W., Fan, A., Chen, L. W., Schouwenaars, T., & Albota, M. A. (2006). Optimal rebalancing for institutional portfolios. *Journal of Portfolio Management*, 32(2), 33-43.

BÖLÜM 7

ALGORİTMİK PORTFÖY OPTİMİZASYONU VE YENİ NESİL STRATEJİLER

7.1. KLASİK OPTİMİZASYONUN ÖTESİNDE: MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI TAHSİS

Bu kitabın önceki altı bölümünde geliştirilen kuramsal ve teknik birikim — Markowitz'in (1952) ortalama-varyans çerçevesinden dijital varlıkların istatistiksel özelliklerine, makine öğrenmesi mimarilerinden robo-danışmanlık uygulamalarına kadar — bu yedinci bölümde, portföy optimizasyonunun kendisinin bir mühendislik disiplini olarak yeniden inşa edildiği sentetik bir çerçevede toplanmaktadır. Bu bölümün amacı, klasik ortalama-varyans optimizasyonunun ötesine geçen yeni nesil portföy inşa yöntemlerini — Bayesyen entegrasyondan ağ-tabanlı çeşitlendirmeye, derin pekiştirmeli öğrenmeden çok amaçlı optimizasyona ve nihayetinde kuantum hesaplama kadar — sistematik ve eleştirel bir çerçevede sunmaktır.

Bu bölümün sekiz alt başlığı, kasıtlı olarak artan bir metodolojik karmaşıklık sırasını izlemektedir: 7.1 ve 7.2, klasik Markowitz çerçevesinin görece olarak mütevazı genişlemelerini (girdi tahmini iyileştirme, Bayesyen birleştirme) ele alırken; 7.3 ve 7.4, optimizasyon paradigmasının kendisinden köklü biçimde uzaklaşan alternatif yaklaşımları (graf teorisi, dizili karar süreçleri) incelemektedir. 7.5 ve 7.6, bu yöntemlerin çok-boyutlu (ESG) ve çok-varlık-sınıflı (hibrit portföy) gerçek dünya karmaşıklıklarına uygulanmasını; 7.7, bu tüm yöntemlerin ortak doğrulama zeminini; 7.8 ise, hesaplama sınırlarının kendisinin gelecekteki olası dönüşümünü ele almaktadır. Bu sıralı yapı, okuyucunun, portföy optimizasyonu alanındaki yeniliklerin, birbirinden kopuk teknik “moda” akımları değil, ortak bir metodolojik gerilim — girdi belirsizliği ile model karmaşıklığı arasındaki ödünleşim — etrafında biriken, birbirine tutarlı bir gelişim çizgisi oluşturduğunu kavramasını sağlamayı hedeflemektedir.

Klasik ortalama-varyans optimizasyonunun (Bölüm 1.3) pratik uygulanabilirliğine

birlikte, hata düzeltmeli (fault-tolerant) kuantum bilgisayarların olgunlaşması durumunda, özellikle yüksek kardinaliteli ve karmaşık kısıtlı portföy optimizasyon problemlerinin, bu teknolojinin en somut ve ticari açıdan en cazip finansal uygulama alanlarından birini oluşturabileceğini öngörmektedir.

Kuantum hesaplama ile bu bölümde tanıtılan makine öğrenmesi yöntemlerinin sentezi de ayrı bir araştırma sahası olarak gelişmektedir. Kuantum makine öğrenmesi (Quantum Machine Learning, QML), klasik sinir ağı mimarilerinin kuantum devreleriyle hibritleştirilmesini (örneğin bir “kuantum sinir ağı” katmanının, klasik bir LSTM ya da Transformer mimarisisiyle birleştirilmesi) hedeflemektedir; Orus, Mugel ve Lizaso'nun (2019) çalışması, bu tür hibrit kuantum-klasik mimarilerin, özellikle yüksek boyutlu kovaryans matrisi tahmini ve senaryo simülasyonu gibi hesaplama-yoğun alt problemlerde, tam kuantum çözümlerden daha erken bir zaman ufunda pratik fayda sağlayabileceğini öne sürmüştür — zira bu hibrit yaklaşımlar, mevcut NISQ donanımının sınırlı kübit kapasitesini, yalnızca problemin en hesaplama-yoğun alt bileşenine tahsis ederek, donanım olgunluğu sınırlamalarını kısmen aşabilmektedir. Bu gelişme çizgisi, kuantum hesaplamının portföy optimizasyonuna katkısının, muhtemelen ani ve topyekûn bir “paradigma devrimi” biçiminde değil, klasik makine öğrenmesi araç setiyle kademeli ve hibrit bir entegrasyon süreci biçiminde gerçekleşeceğine işaret etmektedir.

Bu bölümün bütününde izlenen analitik seyir — makine öğrenmesi tabanlı tahsisten Bayesyen entegrasyona, ağ-tabanlı çeşitlendirmeden derin pekiştirmeli öğrenmeye, çok-amaçlı ESG optimizasyonundan hibrit varlık sınıfı portföylerine, sağlamlık doğrulamasından kuantum hesaplama ufkuna kadar — portföy optimizasyonu disiplininin, Markowitz'in (1952) 1952 tarihli kurucu formülasyonundan bu yana, hem kuramsal derinlik hem de hesaplama karmaşıklığı açısından sürekli bir genişleme içinde olduğunu; ancak bu genişlemenin her aşamasının, aynı zamanda yeni bir sağlamlık ve doğrulama disiplini gerektirdiğini göstermektedir. Bu sentez, bu kitabın izleyen bölümünde ele alınacak kurumsal risk yönetimi ve iç kontrol çerçevelerinin, bu bölümde tanıtılan gelişmiş optimizasyon tekniklerinin kurumsal ortamda güvenli ve hesap verebilir biçimde konuşlandırılmasının doğrudan analitik temelini oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alexander, C., & Imeraj, A. (2023). Multi-frequency portfolio rebalancing across digital and traditional asset classes. *Journal of Financial Data Science*, 5(1), 45-67.
- Ang, A., & Bekaert, G. (2002). International asset allocation with regime shifts. *Review of Financial Studies*, 15(4), 1137-1187.
- Bailey, D. H., & López de Prado, M. (2014). The deflated Sharpe ratio: Correcting for selection bias, backtest overfitting, and non-normality. *Journal of Portfolio Management*, 40(5), 94-107.

- Bailey, D. H., Borwein, J. M., López de Prado, M., & Zhu, Q. J. (2014). Pseudo-mathematics and financial charlatanism: The effects of backtest overfitting on out-of-sample performance. *Notices of the American Mathematical Society*, 61(5), 458-471.
- Berg, F., Koelbel, J. F., & Rigobon, R. (2022). Aggregate confusion: The divergence of ESG ratings. *Review of Finance*, 26(6), 1315-1344.
- Bianchi, D., Büchner, M., & Tamoni, A. (2021). Bond risk premiums with machine learning. *Review of Financial Studies*, 34(2), 1046-1089.
- Black, F., & Litterman, R. (1992). Global portfolio optimization. *Financial Analysts Journal*, 48(5), 28-43.
- de Prado, M. L., & Lewis, M. J. (2019). Detection of false investment strategies using unsupervised learning methods. *Quantitative Finance*, 19(9), 1555-1565.
- Dimson, E., Karakaş, O., & Li, X. (2015). Active ownership. *Review of Financial Studies*, 28(12), 3225-3268.
- Elmachtoub, A. N., & Grigas, P. (2022). Smart “predict, then optimize”. *Management Science*, 68(1), 9-26.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Farhi, E., Goldstone, J., & Gutmann, S. (2014). A quantum approximate optimization algorithm. *arXiv preprint arXiv:1411.4028*.
- Flood, M. D., & Korenko, G. G. (2015). Systematic scenario selection: Stress testing and the nature of uncertainty. *Quantitative Finance*, 15(1), 43-59.
- Gu, S., Kelly, B., & Xiu, D. (2020). Empirical asset pricing via machine learning. *Review of Financial Studies*, 33(5), 2223-2273.
- Hamilton, J. D. (1989). A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle. *Econometrica*, 57(2), 357-384.
- Harvey, C. R., & Liu, Y. (2015). Backtesting. *Journal of Portfolio Management*, 42(1), 13-28.
- He, G., & Litterman, R. (1999). The intuition behind Black-Litterman model portfolios. Goldman Sachs Investment Management Research Working Paper.
- Herman, D., Googin, C., Liu, X., Sun, Y., Galda, A., Safro, I., ... & Alexeev, Y. (2023). Quantum computing for finance. *Nature Reviews Physics*, 5(8), 450-465.
- Idzorek, T. (2005). A step-by-step guide to the Black-Litterman model. Working Paper, Ibbotson Associates.
- Jiang, Z., Xu, D., & Liang, J. (2017). A deep reinforcement learning framework for the financial portfolio management problem. *arXiv preprint arXiv:1706.10059*.
- Kolm, P. N., & Ritter, G. (2019). Modern perspectives on reinforcement learning in finance. *Journal of Machine Learning in Finance*, 1(1).
- Krueger, P., Sautner, Z., & Starks, L. T. (2020). The importance of climate risks for institutional investors. *Review of Financial Studies*, 33(3), 1067-1111.
- Ledoit, O., & Wolf, M. (2004). Honey, I shrunk the sample covariance matrix. *Journal of Portfolio Management*, 30(4), 110-119.
- López de Prado, M. (2016). Building diversified portfolios that outperform out-of-sample. *Journal of Portfolio Management*, 42(4), 59-69.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Michaud, R. O. (1989). The Markowitz optimization enigma: Is ‘optimized’ optimal? *Financial Analysts Journal*, 45(1), 31-42.
- Moody, J., & Saffell, M. (2001). Learning to trade via direct reinforcement. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 12(4), 875-889.
- Orus, R., Mugel, S., & Lizaso, E. (2019). Quantum computing for finance: Overview and prospects.

- Reviews in Physics, 4, 100028.
- Pastor, L., Stambaugh, R. F., & Taylor, L. A. (2021). Sustainable investing in equilibrium. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 550-571.
- Pedersen, L. H., Fitzgibbons, S., & Pomorski, L. (2021). Responsible investing: The ESG-efficient frontier. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 572-597.
- Pham, T., Nguyen, K., & Wang, C. (2023). Liquidity-adjusted portfolio optimization for hybrid digital-traditional asset allocation. Working Paper.
- Raffinot, T. (2017). Hierarchical clustering-based asset allocation. *Journal of Portfolio Management*, 44(2), 89-99.
- Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000). Optimization of conditional value-at-risk. *Journal of Risk*, 2, 21-42.
- Uysal, A. S., Li, X., & Mulvey, J. M. (2024). End-to-end deep learning for portfolio optimization. *Journal of Portfolio Management*, 50(3), 175-195.
- Venturelli, D., & Kondratyev, A. (2019). Reverse quantum annealing approach to portfolio optimization problems. *Quantum Machine Intelligence*, 1(1), 17-30.
- White, H. (2000). A reality check for data snooping. *Econometrica*, 68(5), 1097-1126.
- Zhang, Z., Zohren, S., & Roberts, S. (2020). Deep reinforcement learning for trading. *Journal of Financial Data Science*, 2(2), 25-40.

BÖLÜM 8

DİJİTAL FİNANSIN REGÜLASYONU, RİSK YÖNETİMİ VE GELECEĞİ

8.1. DİJİTAL VARLIK REGÜLASYONUNDA KÜRESEL YAKLAŞIMLAR (MİCA, SEC, TÜRKİYE)

Bu kitabın önceki yedi bölümünde geliştirilen kuramsal, teknik ve uygulamalı çerçeve — klasik portföy teorisinden dijital varlıkların istatistiksel özelliklerine, yapay zekâ destekli tahminlemeden algoritmik portföy optimizasyonuna kadar — bu son bölümde, tüm bu gelişmelerin işlediği kurumsal-hukuki zemine, yani düzenleyici çerçeveye ve risk yönetimi mimarisine doğru yönelmektedir. Bu son bölümün amacı, dijital finansın teknik ve kuramsal ilerlemesinin, düzenleyici ve kurumsal olgunlaşmayla nasıl bir gerilim ve tamamlayıcılık ilişkisi içinde bulunduğunu sistematik biçimde değerlendirmek ve bu kitabın bütününe analitik sentezini sunmaktır.

Bu son bölümün analitik yapısı, önceki yedi bölümden temelden farklı bir karaktere sahiptir: Bölüm 1-7, büyük ölçüde pozitif (positive) bir analitik duruş benimseyerek, “piyasalar ve algoritmalar nasıl işler?” sorusuna odaklanmıştır; bu son bölüm ise, normatif (normative) bir boyut da ekleyerek, “bu sistemler nasıl yönetilmeli, denetlenmeli ve hesap verebilir kılınmalıdır?” sorusunu merkeze almaktadır. Bu normatif geçiş, finansal iktisadın, saf betimleyici bir bilim olmanın ötesinde, kurumsal tasarım ve kamu politikası önerileri üretme sorumluluğunu da taşıdığı görüşüyle tutarlıdır; bu görüş, Bölüm 1.1’de tartışılan kurumsal iktisat geleneğinin (Coase, North), bu kitabın kapanışında yeniden merkezi bir konuma yerleştirildiğini göstermektedir.

Dijital varlık düzenlemesinin küresel manzarası, üç temel yaklaşım kümesi etrafında farklılaşmaktadır. Avrupa Birliği’nin Kripto Varlık Piyasaları Tüzüğü (Markets in Crypto-Assets Regulation, MiCA, 2023), dünya genelinde ilk kapsamlı ve tek-pazar-çapında (single-market-wide) kripto varlık düzenleme çerçevesini temsil eder; bu çerçeve, Bölüm 2.7’de tartışılan taksonomik ayrımları (değişim tokenları, menkul kıymet tokenları, kullanım tokenları) yasal olarak kodlayarak, her bir kategori için farklı ihraç, ifşa ve gözetim yükümlülükleri öngörmektedir. Zetsche, Annunziata, Arner ve Buckley’nin (2020)



yönetişim, klasik finansal iktisadın yerini alan bir “devrim” değil, onun analitik derinliğini ve ampirik kapsamını genişleten, ancak aynı zamanda onun temel disiplini — kanıta dayalı, sağlamlığı doğrulanmış ve hesap verebilir karar verme ilkesini — daha da zorunlu kılan bir evrim sürecidir. Bu evrimin gelecekteki seyri, teknolojik yeniliğin hızı kadar, bu kitapta sistematik biçimde belgelenen kuramsal disiplinin ve kurumsal sorumluluğun bu yeniliğe ne ölçüde eşlik edebileceğine bağlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Adrian, T., & Brunnermeier, M. K. (2016). CoVaR. *American Economic Review*, 106(7), 1705-1741.
- Allen, F., & Gale, D. (2000). Financial contagion. *Journal of Political Economy*, 108(1), 1-33.
- Aramonte, S., Huang, W., & Schrimpf, A. (2021). DeFi risks and the decentralisation illusion. *BIS Quarterly Review*, December 2021.
- Atzei, N., Bartoletti, M., & Cimoli, T. (2017). A survey of attacks on Ethereum smart contracts. *Principles of Security and Trust*, 164-186.
- Basel Committee on Banking Supervision. (2022). *Prudential Treatment of Cryptoasset Exposures*. Bank for International Settlements.
- Bernoulli, D. (1738/1954). Exposition of a new theory on the measurement of risk. *Econometrica*, 22(1), 23-36.
- Buterin, V. (2017). *The Blockchain Trilemma*. Ethereum Foundation Blog.
- Calvano, E., Calzolari, G., Denicolò, V., & Pastorello, S. (2020). Artificial intelligence, algorithmic pricing, and collusion. *American Economic Review*, 110(10), 3267-3297.
- Chainalysis. (2022). *The 2022 Crypto Crime Report*. Chainalysis Research.
- Coase, R. H. (1937). The nature of the firm. *Economica*, 4(16), 386-405.
- Danielsson, J., Macrae, R., & Uthemann, A. (2022). Artificial intelligence and systemic risk. *Journal of Banking & Finance*, 140, 106290.
- EU AI Act. (2024). *Regulation on Artificial Intelligence*. European Union.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- FATF. (2021). *Updated Guidance for a Risk-Based Approach to Virtual Assets and VASPs*. Financial Action Task Force.
- Ferrari, V. (2022). The regulation of crypto-assets in the EU: Investment and payment tokens under the radar. *Maastricht Journal of European and Comparative Law*, 27(3), 320-339.
- Floridi, L., Cows, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... & Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society. *Minds and Machines*, 28(4), 689-707.
- Foley, S., Karlsen, J. R., & Putniņš, T. J. (2019). Sex, drugs, and bitcoin: How much illegal activity is financed through cryptocurrencies? *Review of Financial Studies*, 32(5), 1798-1853.
- FSB. (2020). *The Use of Supervisory and Regulatory Technology by Authorities and Regulated Institutions*. Financial Stability Board.
- FSB. (2023). *Global Regulatory Framework for Crypto-Asset Activities*. Financial Stability Board.
- Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980). On the impossibility of informationally efficient markets. *American Economic Review*, 70(3), 393-408.
- Gu, S., Kelly, B., & Xiu, D. (2020). Empirical asset pricing via machine learning. *Review of Financial Studies*, 33(5), 2223-2273.
- Gudgeon, L., Perez, D., Harz, D., Livshits, B., & Gervais, A. (2020). *The decentralized financial crisis*.

- IEEE Crypto Valley Conference on Blockchain Technology, 1-15.
- Houben, R., & Snyers, A. (2020). Crypto-assets: Key developments, regulatory concerns and responses. European Parliament Policy Department Study.
- IMF. (2022). Global Financial Stability Report: Crypto Contagion. International Monetary Fund.
- Kaufman, G. G., & Scott, K. E. (2003). What is systemic risk, and do bank regulators retard or contribute to it? *The Independent Review*, 7(3), 371-391.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In *Criticism and the Growth of Knowledge*, 91-196.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- MiCA. (2023). Regulation on Markets in Crypto-Assets. European Union.
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press.
- Perez, D., & Livshits, B. (2021). Smart contract vulnerabilities: Vulnerable does not imply exploited. 30th USENIX Security Symposium, 1325-1341.
- Rikken, O., Janssen, M., & Kwee, Z. (2021). The ins and outs of decentralized autonomous organizations (DAOs) unraveling the definitions, characteristics, and emerging developments of DAOs. *Blockchain: Research and Applications*, 2(4), 100034.
- Wilson, C., & Van der Velden, M. (2022). Sustainable AI: An integrated model to guide public sector decision-making. *Technology in Society*, 68, 101926.
- Zetsche, D. A., Annunziata, F., Arner, D. W., & Buckley, R. P. (2020). The Markets in Crypto-Assets Regulation (MiCA) and the EU digital finance strategy. *Capital Markets Law Journal*, 16(2), 203-225.
- Zetsche, D. A., Buckley, R. P., & Arner, D. W. (2020). Decentralized finance. *Journal of Financial Regulation*, 6(2), 172-203.