



From Biological Constraints to Synthetic Rationality: An Evolutionary Paradigm Analysis of Decision Making and the Rise of "Robo Economicus"

Ömür Saltık^{1,a,*}, Süleyman Değirmen^{2,b}

¹ Department of Economy, Faculty of Business, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye

² Department of Econometrics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 04/02/2026

Accepted: 06/03/2026

ABSTRACT

The epistemological journey of financial economics has long been anchored in the axiomatic ideal of Homo Economicus, a figure defined by emotionless consistency and boundless computational power (Mill, 1844; von Neumann & Morgenstern, 1944). The emergence of bounded rationality precipitated a significant disruption within this established mathematical framework, a development that repositioned cognitive limitations and the constraints of information processing as central to the discussion (Simon, 1955). Furthermore, the behavioral literature provided additional insights, demonstrating that individuals, when confronted with uncertainty, frequently rely on systematic biases and reference-dependent frameworks (Kahneman & Tversky, 1979). Current findings in neuroeconomics and neurofinance indicate that these departures from expected behavior are not solely products of psychological inclination; rather, they are fundamentally linked to the brain's biological structure, particularly concerning processing velocities and energy-conservation mechanisms. This body of work conceptualizes the evolution of financial rationality through four distinct paradigms: traditional, behavioral, neurological, and synthetic. Our theoretical inquiry spans the technological leap from early logical neurons to Transformer architectures and chain of thought mechanisms. These advancements, in the end, bypass human weaknesses like memory loss and attention problems. They signal a shift from the biologically limited Homo Sapiens to a Robo Economicus type, which has improved reasoning abilities.

Keywords: Financial Economics, Neurofinance, Synthetic Rationality, Robo Economicus, Chain-of-Thought, Transformer Architecture.

Biyolojik Kısıtlardan Sentetik Rasyonelliğe: Karar Alma Sürecinin Evrimsel Paradigma Analizi ve "Robo Economicus"un Doğuşu

Öz

Finansal iktisadın geçirdiği epistemolojik evrim, duygulardan arındırılmış, tutarlı ve sınırsız işlem gücüne sahip aksiyomatik bir Homo Economicus idealine dayanmaktadır (Mill, 1844; von Neumann & Morgenstern, 1944). Ancak bu katı matematiksel çerçeve, sınırlı bilişsel kapasite ve bilgi işleme kısıtlarını merkeze alan yaklaşımlarla önemli bir kırılma yaşamıştır (Simon, 1955). Davranışsal iktisat literatürü, bireylerin belirsizlik altında karar verirken sistematik yanlılıklara başvurduğunu ve referans-bağımlı tercih yapıları sergilediğini ortaya koymuştur (Kahneman & Tversky, 1979). Güncel nöroiktisat ve nörofinans çalışmaları ise rasyonellikten sapmaların yalnızca psikolojik tercihlerden değil, beynin işlem hızı, enerji tasarrufu ve bilişsel kapasite gibi biyolojik kısıtlarından kaynaklandığını göstermektedir. Bu çalışma, finansal rasyonellik kavramının dönüşümünü geleneksel, davranışsal, nörolojik ve sentetik rasyonellik olmak üzere dört paradigma çerçevesinde ele almaktadır. Tartışmanın kuramsal zemini, erken dönem mantıksal nöron modellerinden Transformer mimarilerine ve zincirleme düşünce mekanizmalarına uzanan teknolojik gelişmelere dayanmaktadır. Bulgular, bu ilerlemelerin unutmama, dikkat darboğazı ve bilişsel uyumsuzluk gibi insani kısıtları aşarak karar vericinin Homo Sapiens'ten yüksek hafıza ve muhakeme kapasitesine sahip bir Robo Economicus tipolojisine doğru evrildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Finansal İktisat, Davranışsal İktisat, Yapay Zeka, Sentetik Rasyonellik, Robo Economicus.

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

^a omursaltik09@gmail.com

^b [0000-0001-8507-8971](tel:0000-0001-8507-8971)

^b suleymandegirmen@gmail.com

^b [0000-0001-8750-652X](tel:0000-0001-8750-652X)

How to Cite: Saltık Ö, Değirmen S (2026) From Biological Constraints to Synthetic Rationality: An Evolutionary Paradigm Analysis of Decision Making and the Rise of "Robo Economicus", CUJOSS, 50(1): 81-94.

Giriş

İktisadi düşüncenin serüveni, beklenen fayda yaklaşımından rasyonel birey modeline ve aksiyomatik karar teorisine uzanan çerçevede şekillenmiş; bu ideal yapı daha sonra sınırlı rasyonellik, Umut Teorisi ve davranışsal iktisat bulgularıyla bilişsel ve biyolojik gerçeklik doğrultusunda yeniden değerlendirilmiştir (Bernoulli, 1954 [1738]¹; Mill, 1844; von Neumann & Morgenstern, 1944; Simon, 1955; Kahneman & Tversky, 1979; Thaler, 1985). Finansal piyasalarda etkinlik hipotezi sistematik bir kuramsal yapı kazanmış olmakla birlikte, karar vericilerin bilişsel ve donanımsal kısıtlarına ilişkin erken dönem öngörüler ve sonraki ampirik çalışmalar bu çerçevenin sınırlarını tartışmaya açmıştır (Sharpe, 1964; Lintner, 1965; Fama, 1970; Selden, 1912; Srivastava et al., 2019).

Zihnin hesaplamalı bir yapı olarak modellenmesi, erken dönem mantıksal nöron yaklaşımlarından başlayarak bağlantıcı ağ kuramları ve çağdaş bilişsel mimarilerle kuramsal ve teknik olarak olgunlaşmıştır (McCulloch & Pitts, 1943; Piccinini, 2004; Hopfield, 1982; Rumelhart ve diğ., 1986; Cohen ve diğ., 2022). Derin öğrenme literatüründe tartışılan “unutma kısıtları” ise uzun-kısa süreli bellek çözümleri ve dikkat mekanizmaları sayesinde önemli ölçüde aşılmış, bilgi darboğazı problemi daha esnek mimarilerle yeniden yapılandırılmıştır (Bengio et al., 1994; Elman, 1990; Hochreiter & Schmidhuber, 1997; Vaswani et al., 2017; Devlin et al., 2018). Son dönemde geliştirilen büyük ölçekli modeller, sentetik rasyonellik kavramını güçlendirerek biyolojik sınırlara tabi Homo Sapiens’ten, yüksek hafıza ve muhakeme kapasitesiyle tanımlanan bir “Robo Economicus” tipolojisine doğru kuramsal bir geçişe işaret etmektedir (DeepSeek-AI ve diğ., 2024a, 2024b, 2025; Raeini, 2025)²³⁴.

Bilginin unsurlarının sayısal yığınardan ziyade ilişkisel “anlam vektörleri” olarak tanımlanması, yapay zekâ paradigmasındaki epistemolojik kırılmanın merkezinde yer almaktadır. Bu dönüşüm, dağılımsal hipotez çerçevesinde temellenmiş, derin ağlarda gözlenen kaybolan gradyan sorununa ilişkin bulgularla tartışılmış ve Word2Vec ile GloVe mimarileri sayesinde varlıkların birlikte ortaya çıkma olasılıklarını çok boyutlu uzayda temsil edebilen yapılarla kurumsallaştırmıştır (Harris, 1954; Bengio et al., 1994; Mikolov ve diğ., 2013; Pennington, 2014).

Bağlam birimleriyle başlayan dinamik modelleme süreci, kodlayıcı-çözücü mimarilerdeki bilgi darboğazı sorununu dikkat mekanizmasıyla aşmış, ardından yalnızca dikkat temelli Transformer yaklaşımıyla yinelemeli yapıları büyük ölçüde geride bırakılmıştır (Elman, 1990; Sutskever ve diğ., 2014; Cho et al., 2014; Bahdanau ve diğ., 2014; Vaswani ve diğ., 2017). Bu çizgi, ön eğitilmiş dil modelleriyle olgunlaşarak, yapay zekâyı salt veri işleyen bir sistemden bağlamsal derinliğe sahip, “sentetik sezgi” üretebilen bütüncül bir

yorumlayıcıya dönüştürmüştür (Devlin et al., 2018; Radford ve diğ., 2018).

Paradigmatik dönüşümün son aşaması, istatistiksel öngörünün ötesine geçen “süper rasyonel” ajan tasarımlarının ortaya çıkışıyla tanımlanmaktadır (Raeini, 2025). İnsan zihninin bilişsel yük ve bilişsel ekonomi sınırları artık silikon temelli mimarilere aktarılmaktadır (Sweller, 1988; Gigerenzer ve Gaissmaier, 2011). Bu süreç, biyolojik kısıtların teknolojik mimariler aracılığıyla aşılmasına dayanan kademeli bir evrim olarak değerlendirilebilir. Mimari uzmanlaşma ve uzmanların karışımı yaklaşımları ile çok kafalı dikkat mekanizmaları, hafıza darboğazlarını önemli ölçüde azaltmıştır (DeepSeek-AI ve diğ., 2024a). Çoklu jeton tahmini yetisi sayesinde anlık parçalı çıktılar yerine daha stratejik gelecek projeksiyonları üretilebilmektedir (DeepSeek-AI ve diğ., 2024b). Zincirleme düşünce mekanizmaları ise karmaşık akıl yürütme süreçlerinde kritik bir eşik oluşturmuştur (Wei ve diğ., 2022; DeepSeek-AI ve diğ., 2025). Bilişsel uyumsuzluk olarak tanımlanan hatayı rasyonelize etme eğilimi, bu mimarilerde geri besleme temelli iyileştirme süreçlerine dönüştürülmektedir (Festinger, 1957). Sonuçta, biyolojik sınırlılıklarla tanımlanan Homo Economicus kavrayışı, sentetik ve yüksek kapasiteli bir Robo Economicus tipolojisine doğru evrimleşmektedir.

Araştırmanın özgünlüğü, karar alma paradigmasındaki dönüşümü biyolojik zorunluluk ile teknolojik çözümün kesişiminde yeniden konumlandırmasında yatmaktadır (Gigerenzer ve Brighton, 2009; Srivastava ve diğ., 2019). Bu çerçeve, insan zihninin bilişsel sınırlarını aşan “Robo Economicus” tipolojisini kuramsal bir zemine yerleştirirken, klasik iktisadın idealize ettiği rasyonelliğin silikon tabanlı bir mimariye evrildiğini göstermektedir.

Finansal rasyonelliğin evrimi dört paradigma üzerinden ele alınmaktadır. Geleneksel paradigma ve Homo Economicus yaklaşımı (Mill, 1844; von Neumann ve Morgenstern, 1944), yerini davranışsal kırılmaya bırakmıştır (Simon, 1955; Kahneman ve Tversky, 1972, 1979, Kahneman vd. 1991; Tversky ve Kahneman, 1973, 1974). Bu kırılma, karar sapmalarını donanımsal ve nörofizyolojik kısıtlarla ilişkilendiren nörolojik paradigma ile derinleşmiştir (Srivastava ve diğ., 2019; Faris ve diğ., 2024).

Beşinci bölüm, erken hesaplamalı zihin modelleriyle başlayan sürecin modern dikkat temelli mimarilerle birleşerek “Sentetik Rasyonellik” aşamasına evrilmesini incelemektedir (McCulloch ve Pitts, 1943; Vaswani ve diğ., 2017). Altıncı ve yedinci bölümler ise ekolojik rasyonellik yaklaşımını bilişsel uyumsuzluğun öz-düzeltilici bir mekanizmaya dönüşümüyle birlikte ele almakta ve bu çerçevede “Robo Economicus” tipolojisi ile dürtme temelli düzenleme yaklaşımlarını “Sonuç ve Politika Önerileri” kapsamında tartışmaktadır (Gigerenzer ve Goldstein, 1996, 2002; Festinger, 1957; Thaler ve Sunstein, 2008).

¹ Orijinal çalışma 1738 yılında yayınlanmıştır.

² Bu çalışma Mersin Üniversitesi İktisat Anabilim Dalı’nda Prof. Dr. Süleyman DEĞİRMEN danışmanlığında Ömür SALTİK tarafından 2020 yılında yazılmış olan “Azalan Belirsizlikler Altında Yatırım Kararlarının İncelenmesi: Nöroekonomik Bir Yaklaşım” doktora tezinden türetilmiştir.

³ Bu tez Mersin Üniversitesi BAP Birimi “2018-2-TP3-2986” Doktora Tez Projesi (TP3) kapsamında desteklenmiştir.

⁴ Gerçekleştirilen araştırmanın klinik izinleri, Mersin Üniversitesi Klinik Araştırma Etik Kurulu’nun onayı ile verilmiştir. Çalışmanın, 1964 Helsinki Bildirgesi ve sonraki değişikliklerinde belirtilen etik standartlara veya benzer etik standartlara uygun olarak gerçekleştirildiğini onaylarız.

Birinci Paradigma: Finansal İktisadin Rasyonel Temelleri Ve Homo Economicus İdeali

Finansal iktisat, özündeki belirsiz kararları matematiksel bir kesinlikle ifade etmesiyle şekillenmiştir. Bu süreçte insani eylem duygulanımlardan ve sinaptik gecikmelerden bütünüyle soyutlanmıştır.

İlerleyen bölümlerde davranışsal ve nörolojik eleştirilere hedef olacak bu "rasyonel çekirdek" üç evrede irdelenmektedir. Disiplinin bu kuramsal iskeletini anlamak, rasyonelliğin neden "biyolojik bir imkansızlık" olarak görüldüğünü kavramak açısından hayatidir.

Faydanın Aksiyomatik İnşası

Öznel fayda yaklaşımı, St. Petersburg Paradoksu çerçevesinde değer psikolojik temellerine işaret ederek klasik fayda anlayışından önemli bir kopuşu temsil etmiştir (Bernoulli, 1954). Bu zemin, daha sonra duygudan arındırılmış bir "Homo Economicus" soyutlamasıyla sistematikleştirilmiş ve rasyonel aksiyomatik bir çerçevede formülize edilmiştir ((Mill, 1844; von Neumann ve Morgenstern, 1944). Ancak bu yaklaşım, karar sürecini mekanik bir indirgemecilik içinde ele alarak, nörofinans literatürünün ilerleyen dönemlerde "biyolojik olarak sürdürülemez" olarak nitelendireceği bir hesaplama kapasitesini varsaymaktadır. Teorik olarak tutarlı görünen bu yapı, fiilen insan bilişsel sınırlarının ötesinde bir işlem gücünü ima etmektedir.

$$E[U(W)] = \sum_{i=1}^n p_i \cdot u(x_i)$$

Rasyonelliğin "Anayasası" olarak kabul edilen bu formül bireyin "Rasyonel Ağırlıklandırılmış Eklemeli Kural" (RAEK) uyguladığını varsayar. Yani "Homo Economicus", duygularına kapılmadan her bir sonucun faydasını ($u(x_i)$) olasılığıyla (p_i) çarpıp toplar ve toplam faydayı maksimize eden seçeneği tercih eder. Bu kurgu, "Takviyeli Öğrenme" ve Bellman Denklemleriyle sentetik bir kesinliğe ulaşsa da insan zihin bilişsel kısıtlar sebebiyle "Sezgisel En İyi Seçme" (SEİS) gibi kısa yollara yönelir.

Genel Denge ve Riskin Fiyatlanması

Markowitz (1952) sonrası Sharpe (1964), Lintner (1965) ve Mossin (1966) ile kristalize olan SVFM (Sermaye Varlıklarının Fiyatlama Modeli), piyasayı psikolojiden arınmış rasyonel bireye dayalı mekanik bir denge sistemi olarak kurgular. Sharpe (1964), fiyatı zaman ve riskin bileşeni olarak tarif eder. Bu mekanik denge, günümüzde de temel kabul edilen şu eşitlik ile ifade edilir:

$$E(R_i) = R_f + \beta_i [E(R_m) - R_f]$$

R_f (Zamanın Fiyatı): Risksiz faiz oranıdır.

$[E(R_m) - R_f]$ (Riskin Piyasa Fiyatı): Piyasada risk almanın genel ödülüdür (Risk Primi).

β_i (Sistemik Risk): Varlığın piyasa ile ne kadar birlikte hareket ettiğini gösteren katsayıdır.

Rasyonellik, varlıkların tekil varyanslarından ziyade aralarındaki kovaryans yapısı üzerinden temellendirilmiş ve riskin kaynağı ilişkisellik içinde tanımlanmıştır. Özdeş beklenti varsayımı ise bilişsel heterojenliği dışlayan güçlü bir kabul olarak ortaya konmuştur. Bu çerçevede risk, tekil oynaklıktan

çok finansal varlıklar arasındaki yapısal bağıntılarda konumlanmaktadır (Lintner, 1965):

$$\beta_i = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

SVFM finansal iktisat açısından kuramsal bir zirve oluştursa da, nörolojik bulgular bu çerçevenin biyolojik zihin için aşılması güç sınırlara sahip olduğunu göstermektedir. Genel dengenin rasyonel homojenlik varsayımı üzerine inşa edildiği yaklaşım, biyolojik gerçeklikle tam uyumlu görünmemektedir (Mossin, 1966; Tseng, 2006). Kovaryans matrisine dayalı yoğun hesaplamaların prefrontal kortekste (DLPFC) yaratabileceği metabolik maliyet, yatırımcıları RAEK yerine SEİS gibi daha pragmatik stratejilere yöneltebilmektedir (Lintner, 1965; Gigerenzer ve Goldstein, 1996). Buna karşılık, veriyi paralel işleyen mimariler rasyonelliği sentetik bir düzleme taşıyarak Robo Economicus tipolojisini teknik olarak mümkün kılmaktadır (Vaswani ve diğ., 2017).

Etkin Piyasalar ve Bilgi İşleme Kapasitesi

Fama (1970), fiyatların (P_t) tüm bilgi kümesini (Φ_t) yansıttığı ideal bir dengeyi kabul eder. Yatırımcı, beklenti operatörü (E) vasıtasıyla veriyi eşanlı, maliyetsiz ve hatasız işleyerek geleceği yansız biçimde öngörür:

$$E(P_{j,t+1} | \Phi_t) = [1 + E(R_{j,t+1} | \Phi_t)] P_{j,t}$$

Φ_t (Bilgi Seti): Piyasadaki mevcut tüm bilgileri (geçmiş fiyatlar, bilançolar, haberler) içerir.

$E(\cdot)$ (Beklenti Operatörü): Yatırımcıların bu bilgiyi kullanarak gelecekteki fiyatı ($P_{j,t+1}$) hatasız ve yansız (unbiased) tahmin ettiğini varsayar.

Fama'nın (1970) bilgi kümesine (Φ_t) Knight (1921) uyarınca risk ve belirsizlik arasındaki epistemolojik uçuruma çarpmaktadır. Rasyonelite, matematiksel kesinliğini yitirerek sınırlarına ulaşmışken, Simon (1955) ile Tversky ve Kahneman (1981) ise zihnin bir alt küme ($\phi_t \subset \Phi_t$) üzerinden şekillendiğini ifade eder. Bu durum dopaminerjik ödül sistemleri ve amigdala reaksiyonlarıyla şekillenen biyolojik bir zorunluluktur. Wichary ve diğ. (2017) ve Ramana ve diğ. (2024) verilerindeki P300 olay ilişkili potansiyelleri, enerji darboğazının rasyonelliği beyin için kaçınılmaz bir sapmaya dönüştürdüğünü kanıtlamaktadır:

$$P_{insan} = E(P | \phi_{sezgisel}) + b + \epsilon$$

P_{insan} : Biyolojik Fiyatlama. İnsanın biyolojik kısıtları ve psikolojik önyargılarıyla "algıladığı" değeri.

$E(P | \phi_{sezgisel})$: Kısıtlı Bilgi Kümesi (Sınırlı Rasyonellik)

Wichary ve diğ. (2017) uyarınca enerji darboğazı yaşayan zihin, bilgiyi elemeye veya sadece "erişilebilir" olana odaklanmaya çalışır (Gigerenzer ve Goldstein, 1996; Tversky ve Kahneman, 1973). Yani, $\phi_{sezgisel}$ gerçeğin filtrelenmiş ve sıkıştırılmış bir versiyonudur. Geleneksel modellerde hata terimi (ϵ), rastgele bir gürültüdür ve genelde büyük sayılar kanunu kapsamında ortalama sıfır olur ($[E(\epsilon | \phi) = 0]$). Shefrin ve Statman (1994) uyarınca "olasılık haritalama hatası", Bayes yerine "Temsil Edilebilirlik" sezgisinden kaynaklanan sistematik bir sapmadır. Kahneman ve Tversky (1979) ise "Kayıptan Kaçınma" üzerinden, bireylerin kayıp bölgesindeki risk severliğini ve fiyatlarda doğan matematiksel olmayan öznel primi temellendirmektedir.

Birinci Paradigma Yanlılık = 0 ve $\phi = \Phi_{tüm}$ varsayarken, Üçüncü Paradigma Yanlılığın kaynağının prefrontal ile amigdala arasındaki enerji savaşı olduğunu ve $\phi_{sezgisel}$ 'in bir "donanım kısıtı" olduğunu kabul eder. Dördüncü Paradigma, "Dikkat Mekanizması" sayesinde $\phi_{sezgisel}$ kümesini tekrar $\Phi_{tüm}$ kümesine genişleterek ve "Zincirleme Düşünce" ile Bias terimini minimize ederek bu denklemi Sentetik Rasyonelliğe ($P_{AI} \approx P_{Rasyonel}$) dönüştürür.

"Dikkat Mekanizması" Φ_t tüm bilgi kümesindeki milyarlarca veriyi paralel bir düzlemde işleyerek, Fama (1970)'nin hayal ettiği tam yansıtma ($E(P|\phi_{tümveri})$)'ya dayalı "Robo Economicus" tipolojisini inşa edebilmektedir. Birinci paradigmanın peşinen varsaydığı bu ideal, dördüncü paradigma ile makineler için somut bir gerçekliğe dönüşmüştür.

İkinci Paradigma: Davranışsal Kırılma Ve Psikolojik Gerçeklik

Geleneksel iktisadi ve finansal modeller mekanik denge kurgusu, 20. yüzyıl ortasında biyolojik gerçeklikle yüzleşmiş, anomalilerin zihinsel mimariden doğan sistematik sapmalar olduğunu tescilleyen epistemolojik bir kopuş yaşanmıştır. Bu kırılma, rasyonellikle ilgili eleştirilerin ve davranışsal modellerin inşa sürecini üç temel evrede sunmaktadır. Rasyonellik artık korunması gereken bir ideal değil, sınırlılıkları kabul edilen bir donanım meselesi olarak yeniden konumlanmıştır.

Sınırlı Rasyonellik

Piyasaların matematiksel formüllerden çok psikolojik döngülerle hareket ettiği fikri, Selden (1912) ile "umut ve korku" döngülerinin merkeze alınmasıyla teorik anlam kazanmıştır. Simon'ın (1955) "Sınırlı Rasyonellik" yaklaşımı, von Neumann ve Morgenstern'in (1944) ideal insan modelinin yerine, biyolojik kısıtlarla "tatmin edici" seçenekle yetinen gerçekçi bireyi getirmiştir. Festinger'in (1957) "Bilişsel Uyumsuzluk" kuramı ise, bireylerin inançlarına ters düşen veriyi rasyonelize etmek yerine tamamen reddetme eğilimini göstermiştir. Böylece karar verme süreci, artık matematiksel optimizasyondan çok biyolojik kapasite ve uyumla açıklanır hale gelmiştir.

Bu paradigma değişimini matematiksel olarak, geleneksel modellerin (1. Paradigma) öngördüğü "Global Rasyonellik", karar vericinin sonsuz bir evren kümesi (X) içindeki tüm alternatifleri değerlendirip faydayı (u) maksimize etmesini gerektirir:

$$\text{Karar}_{Opt} = \max_{x \in X} \sum_{i=1}^n p_i \cdot u(x_i)$$

Burada birey, tüm olasılıkları (p_i) ve sonuçların faydalarını ($u(x_i)$)'nin RAEK ile hatasız hesaplar (Payne ve diğ., 1993; Dummel ve diğ., 2016). Ancak Simon (1955), biyolojik kısıtlar altında bu denklemin çözülemesini olduğunu, bunun yerine bireylerin belirli bir "Özlem Seviyesi" (τ) belirleyerek, bu eşiği geçen ilk seçeneği kabul ettikleri "Tatmin Edicilik" stratejisini kullandıklarını öne sürer. Kahneman ve Tversky (1979) "Umut Teorisi" ile birleştirildiğinde:

$U(x) \geq \tau$ koşulunu sağlayan ilk x seçilir

Karar_{Sat} = x | V(x) ≥ τ

$V(x, p; y, q) = \pi(p)v(x) + \pi(q)v(y)$

$V = i \sum \pi(p_i)v(\Delta x_i)$

Bu iki denklemi ele aldığımızda, birinci denklemde V, iki temel ölçeğin birleşimidir:

V(x) (Değer Fonksiyonu) sonucun (x) öznel değerini ifade eder. Ancak bu değer, geleneksel teorideki gibi "son servet durumuna" göre değil, bir "Referans Noktasına" (status quo) göre tanımlanan kazanç veya kayıplara göre ölçülür. $\pi(p)$ (Karar Ağırlığı), olasılığın (p) karar üzerindeki etkisidir. Düşük olasılıklar aşırı ve yüksek olasılıkları olduğundan az algılama eğilimindedir. Denklemde en iyiyi (max) aramak yerine, bilişsel maliyet minimizasyonu süreci tatmin edici bir değere (τ) ulaşıldığında durur (Gigerenzer ve Goldstein, 1996). Bu bir hata değil, beynin enerji optimizasyonu evrimsel bir uyumdur (Gigerenzer ve Brighton, 2009; Wichary vd., 2017).

Bu "kısıtlı" yaklaşımın "tam rasyonel" modellere göre üstünlüğü "Yanlılık-Varyans İkilemi" denklemi ile gösterilebilir (Gigerenzer ve Brighton, 2009). Karmaşık dünyada "Toplam Tahmin Hatası" ise aşağıdaki denklemle ifade edilir:

Toplam Hata = (Yanlılık)² + Varyans + Gürültü

Geleneksel RAEK modelleri piyasa gürültüsünde boğulurken, SEİS yapıları, Gigerenzer ve Brighton (2009) uyarınca, belirsizlikte rasyonel üstünlük sağlar. Simon'ın (1955) vizyonu bugün DeepSeek-V2 (MoE) mimarisinde somutlaşmaktadır. Karar kalitesi artık verinin hacminde değil, mimari uzmanlaşmanın derinliğinde aranmalıdır.

Yargısal Yanılığın Haritası

Zihnin sezgisel patikalara yönelmesi yapısal bir zorunluluk olarak tanımlanmış ve bu yönelimin, rasyonel piyasa idealini zedeleyen öngörülebilir yanlılıklar ürettiği gösterilmiştir (Simon, 1955; Tversky ve Kahneman, 1973:1974; Fama, 1970). Bu çerçevede yatırımcı, Bayesyen güncelleme yerine bellekteki erişilebilirlik ve temsiliyet süzgeçlerine başvurmakta, bu eğilim "Küçük Sayılar Yasası" gibi sistematik sapmaları pekiştirmektedir (Kahneman ve Tversky, 1972; Tversky ve Kahneman 1971). Yüksek hesaplama maliyeti içeren RAEK yerine SEİS stratejisinin tercih edilmesi ise, bilişsel ekonomi bağlamında uyarlanabilir bir refleks olarak yorumlanmaktadır (Gigerenzer ve Goldstein, 1996; Gigerenzer ve Brighton, 2009). Buna karşılık, ilk paradigmanın rasyonel kararı temel oranları dikkate alan Bayesyen güncelleme kuralına dayanmaktadır:

$$P(A|D) = \frac{P(D|A) \cdot P(A)}{P(D)}$$

Paradigma değişiminin matematiksel temeli, "rasyonel karar" anlayışını kavramak için kritiktir. Rasyonel eylem, bir olayın (A) olasılığını hesaplarken hem mevcut veriyi (D) hem de olayın temel oranını dikkate alan Bayes Teoremi'ne dayanır:

$$P_{insan}(A|D) \approx S(A, D)$$

Bu denklemde, veri (D) olayın stereotipine (A) benziyorsa (S yüksekse), birey temel oranı (P(A)) göz ardı edip olasılığı olduğundan yüksek algılar. Shefrin ve Statman (1994), bu "olasılık haritalama hatasının" piyasalarda aşırı tepki anomalileri ürettiğini göstermiştir.

Benzer şekilde, "Erişilebilirlik" sezgiseli, bir olayın frekansını gerçek sıklığı (*Frekans*) yerine hafızadan çağırma kolaylığı (*R*) ile tahmin eder (Tversky ve Kahneman, 1973:1974).

$$Frekans_{Algılanan} = g(\text{geri çağrılan } (A)) + \epsilon_{Sapma}$$

Zihinsel kestirmelerin metabolik yükü dengeleyen evrimsel savunma mekanizmaları olarak işlediği gösterilmiştir (Wichary ve diğ., 2017; Gigerenzer ve Brighton, 2009). Buna karşılık dördüncü paradigma, bu biyolojik kısıtları aşan ontolojik bir kırılmaya işaret etmektedir. İnsan belleğinin ihmal edebildiği Bayesyen öncüller [P(A)] ve bütüncül veri yapıları [P(D)], zincirleme düşünce mimarileri aracılığıyla eksiksiz biçimde işlenebilmektedir (DeepSeek-AI ve diğ., 2025). Bu bağlamda, klasik literatürde sınırları vurgulanan rasyonellik anlayışı (Tversky ve Kahneman, 1974), "Robo Economicus" tipolojisiyle biyolojik bir niyetten sentetik bir kapasite düzeyine taşınmaktadır (DeepSeek-AI ve diğ., 2025).

Umut Teorisi ve Finansal Modellerin Yeniden İnşası

Davranışsal paradigma, beklenen fayda çerçevesinin öznel ve referans bağımlı bir karar modeline evrildiğini ortaya koymuştur (Bernoulli, 1954; Kahneman ve Tversky, 1979). Kararların mutlak servet yerine referans noktalarına göre şekillendiği ve kayıptan kaçınma sezgisinin kuramsal bir temele oturtulduğu gösterilmiştir (Markowitz, 1952; Pratt 1964; Kahneman ve Tversky, 1979). Paranın rasyonel ikame edilebilirliği zihinsel muhasebe yaklaşımıyla sorgulanmış ve piyasa fiyatlarının gürültücü aktörler tarafından etkilenebileceği ampirik olarak belgelenmiştir (Thaler, 1985; Smith ve diğ., 1988; Shefrin ve Statman, 1994). Bu çerçevede rasyonellik istisna değil, bağlama bağlı bir sonuç haline gelmiştir. Geleneksel modellerdeki Beklenen Fayda denklemi ise bu çok katmanlı yapıyı indirgenmiş bir formda temsil etmektedir.:

$$U(Total) = \sum p_i \cdot u(W_{final})$$

Olasılıklar (p_i) olduğu gibi algılanır ve fayda (u) nihai servet (W_{final}) üzerinden hesaplanır. Ancak Kahneman ve Tversky (1979), insan zihninin bu doğrusal işlemi yapamadığını iddia ederek denklemi dönüştürmüştür:

$$V(x) = \sum \pi(p_i) \cdot v(\Delta x)$$

Denklemler paradigmalarda kırılımlara yol açan iki kritik dönüşüme işaret etmektedir. Birincisi, "Değer Fonksiyonu ($v(\Delta x)$)" ve kayıptan kaçınma ile fayda, toplam servet (W) üzerinden değil, referans noktasına göre değişim (Δx) üzerinden tanımlanır. Markowitz (1952), "servetin faydası" üzerine yaptığı erken dönem çalışmalarında bu ayrımı sezmiş olsa da, Kahneman ve Tversky bunu "Kayıptan Kaçınma" katsayısı " λ " ile formüle etmiştir. Kayıp bölgesindeki eğri, kazanç bölgesinden daha diktir:

$$v_x = \begin{cases} x^\alpha \text{ eğer } x \geq 0 \\ -\lambda(-x)^\beta \text{ eğer } x < 0 \end{cases} \quad (\alpha, \beta \in (0,1), \lambda > 1)$$

Burada $\lambda > 1$ (genellikle ≈ 2.25) olması, kayıpların yarattığı üzüntünün, eşit miktardaki kazancın yarattığı hazdan biyolojik olarak daha şiddetli olduğunu gösterir (Kahneman ve diğ., 1991; Srivastava ve diğ., 2019). Sentetik ajanlar, amaç fonksiyonu tasarımına bağlı olarak $\lambda=1$ (simetrik değerlendirme) varsayımıyla çalıştırılabilir, bu da kayıp-kazanç asimetrisinin model seviyesinde ortadan kaldırılması anlamına gelir.

İkinci kritik dönüşüm "Karar Ağırlıkları" ($\pi(p)$) ve "Olasılık Bükülmesi"dir. İnsan zihni objektif olasılıkları (p) doğrusal işlemez ve düşük olasılıkları olduğundan büyük, yüksek olasılıkları olduğundan küçük algılar:

$$\pi(p) \neq p$$

Varlık fiyatlarının temel değerden saptması ve deneysel piyasalarda balon oluşumunun matematiksel temelleri davranışsal SVFM çerçevesinde açıklanmıştır (Shefrin ve Statman, 1994; Smith ve diğ., 1988). Bu dönüşüm, kuramsal süreklilik içinde önceki ve sonraki paradigmlar arasında güçlü bir nedensellik bağı kurmaktadır. Paranın tam ikame edilebilir olduğu varsayımı zihinsel muhasebe yaklaşımıyla sorgulanmış, bireylerin $v(\Delta x)$ fonksiyonunu homojen değil, "kazanç" ve "kayıp" hesapları üzerinden değerlendirdiği ve her birine farklı risk atfettiği gösterilmiştir (Thaler, 1985). Böylece soyut rasyonelite idealinin yerini öznel muhasebe süreçleri almıştır. Kayıptan kaçınma olgusunun ise amigdala ile prefrontal korteks arasındaki nöral gerilimden kaynaklanan bir donanım kısıtı olduğu nöro iktisat ve nörofinans literatüründe ortaya konmuştur (Srivastava ve diğ., 2019; Wichary ve diğ., 2017). Bu eğilim, enerji optimizasyonuna dayalı biyolojik bir zorunluluk olarak yorumlanmaktadır.

Günümüzde ise GPT ve DeepSeek-R1 gibi büyük dil modelleri, "Zincirleme Düşünce" sayesinde λ katsayısını nötralize ederek ($\lambda \approx 1$), Festinger'in (1957)'in insani "bilişsel uyumsuzluk" olgusuna düşmeden saf matematiksel beklentiye optimize edebilmektedir (Wei ve diğ., 2022; DeepSeek-AI ve diğ., 2025). Bu sayede rasyonelliğin biyolojik bedenden silikon tabanlı bir donanıma, yani "Sentetik Rasyonellik" düzlemine taşınmıştır. Artık rasyonellik, korunması gereken bir niyet değil, işletilen bir kapasite meselesidir.

Üçüncü Paradigma: Nörolojik Yaklaşım Ve Bilişsel Hesaplamanın Biyolojik Temelleri

Davranışsal iktisadi ve finansal teorilerin (İkinci Paradigma) insanın rasyonel davranmadığını kanıtlaması, bu alanda yeni bir ontolojik soruyu gündeme getirmiştir: "Eğer yatırımcılar sistematik hata yapıyorsa, bu hataların fiziksel kaynağı nedir?" Bu soru, finansı psikolojiden biyolojiye taşıyarak, karar alma süreçlerinin nöronal aktivite, hormonlar ve sinaptik iletim hızları üzerinden incelendiği nöroiktisat/nörofinans paradigmasını doğurmuştur. Bu bölüm, kararların "niyet" değil, "donanım" meselesi olduğunu üç temel evrede incelemektedir.

Karar Faydasından Deneyimlenen Faydaya

Beklenti temelli "karar faydası" yaklaşımının yerine "deneyimlenen fayda" kavramının incelenmesiyle, beklenti ile ödül merkezindeki dopamin tepkisi arasındaki ayrışma ortaya konmuştur. Bu nörobiyolojik mekanizma daha sonra deneysel iktisat ve finans modellerine entegre edilmiştir (Kahneman ve diğ., 1997; Tseng, 2006; Faris ve diğ., 2024). Böylece karar tutarsızlıklarının matematiksel bir eksiklikten değil, biyolojik hayatta kalma dinamikleri ve nörokimyasal ödül optimizasyonundan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu çerçevede rasyonel hesaplama varsayımı, ödül-ceza devrelerinin yarattığı nörofizyolojik gerilim karşısında sınırlı kalmaktadır.

Birinci paradigmanın varsaydığı "Toplam Fayda", bir deneyim süresince (t) hissedilen anlık hazların veya acıların (u_t) zaman üzerindeki integrali olarak tanımlanmalıdır:

$$U_{Gerçek} = \int_{t_{başlangıç}}^{t_{bitiş}} u(t), dt$$

"Homo Economicus" varsayımı altında, zaman monotonluğu ilkesi gereği karar vericinin karmaşık integralleri eksiksiz hesapladığı ve doğrusal rasyonellik sergilediği kabul edilir (Kahneman ve diğ., 1997). Ancak insan beyninin bu düzeyde hesaplamalar için yeterli nöral enerjiye ve bilişsel kapasiteye (Bilişsel RAM) sahip olmadığı deneysel olarak gösterilmiştir (Wichary ve diğ., 2017; Sweller, 1988).

Zihin, kompütasyonel yükten kaçınmak için, Kahneman ve diğ. (1997)'nin "Tepe-Son Kuralı"na uygun şekilde deneyimi zamansal toplam yerine kodlar. Böylece süreç, anlık hazların veya acıların değil, yalnızca en yoğun tepe ve bitiş anına indirgenir. Sonuçta bellek, zamansal yayılımı göz ardı ederek şu sade denklemle işler:

$$U_{Hafıza} \approx \frac{U_{Tepe} + U_{Son}}{2}$$

"Süre İhmali" olgusunda, yatırımcı belleği yalnızca zararın zirvesi (U_{Tepe}) ve kapanıştaki acının (U_{Son}) ortalamasını hatırlar. Deneyimin toplam süresi (t) denklemden çıkar. Karar tutarsızlıklarının matematiksel bir eksiklikten değil, Nucleus Accumbens ile Amygdala arasındaki nörokimyasal gerilimden kaynaklandığı ileri sürülmektedir (Faris ve diğ., 2024). Zihnin geçmiş deneyimleri "Peak-End" filtresi üzerinden kodladığı ve hatırladığı da gösterilmiştir (Cohen ve diğ., 2022). Buna karşılık, dinamik programlama yaklaşımı sonsuz zamanlı karar problemlerini Bellman denklemi çerçevesinde eksiksiz biçimde formüle edebilmektedir (Bellman, 1954). Bu tür hesaplamalar, biyolojik sistemlerde görülen "süre ihmali" sınırlamasını taşımayan sentetik rasyonellik modellerine işaret etmektedir.

Beyin Anatomisi ve Karar Mimarisi

Nörolojik paradigma, kararların tek bir merkezden değil, farklı beyin bölgelerinin etkileşimi ve rekabeti üzerinden şekillendiğini ileri sürmektedir. Analitik işlemenin DLPFC ile, risk tepkilerinin ise amigdala ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Howarth ve diğ., 2012; Wichary ve Smolen, 2016; Srivastava ve diğ., 2019). Rasyonel hesaplamaların yüksek enerji tüketimi ve milisaniyelik gecikme yarattığı, bu nedenle beynin çoğu durumda sezgisel yolları tercih ettiği belirtilmektedir (Wichary ve diğ., 2017; Gigerenzer ve Gaissmaier, 2011). Bu çerçevede karar verme, klasik anlamda rasyonellikten ziyade biyolojik verimlilik ve hız temelinde işleyen bir "nöral optimizasyon" süreci olarak tanımlanmaktadır. Risk algısının salt veri işleme değil, limbik aktivasyon üzerinden oluştuğu da vurgulanmaktadır (Rashid ve diğ., 2022). "Biyolojik İşlem Maliyeti" dikkate alındığında, "Net Nöral Fayda" (D) şu şekilde formüle edilebilir:

$$U_{Net}(D) = E[R] - (C_{Metabolik} + \lambda \cdot T_{Gecikme})$$

$E[R]$ (Beklenen Getiri): Geleneksel finansın odaklandığı parasal kazançtır.

$C_{Metabolik}$ (Enerji Maliyeti): Kararın verilmesi için harcanan glikoz ve oksijen (ATP) miktarıdır.

$T_{Gecikme}$ (İşlem Gecikmesi): Kararın verilmesi (P300 dalgalarındaki gecikme) için geçen süredir.

λ : Zamanın aciliyet katsayısıdır (Piyasa ne kadar hızlıysa, gecikmenin maliyeti o kadar artar).

Bu maliyet fonksiyonu nedeniyle beyin, RAEK ve SEİS arasında bir seçim yapmak zorunda kalır. Rasyonel Yol (RAEK - Yüksek Maliyet), geleneksel modellerin varsaydığı bu yol, tüm bilgilerin (x_i) ağırlıklandırılarak (w_i) toplandığı bir süreçtir:

$$D_{RAEK} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \Rightarrow C_{Metabolik} \uparrow, T_{Gecikme} \uparrow$$

Bu denklem matematiksel olarak "en doğru" sonucu verse de, biyolojik olarak "pahalıdır". Beyin bu işlemi yaparken yorunluk ve yavaşlama sinyalleri verebilmektedir.

Sezgisel Yol (SEİS - Düşük Maliyet), davranışsal modellerin ve beynin bilişsel cimrilik ve verimlilik sağlamak için kullandığı bir kısayoldur. Beyin, tüm veriyi toplamak yerine, en önemli tek bir ipucuna (k) bakar (Gigerenzer ve Goldstein, 1996; Gigerenzer ve Brighton, 2009). Bu durumu aşağıdaki biçimde formülize etmek mümkündür:

$$D_{SEİS} = ArgMax(x_k) \Rightarrow C_{Metabolik} \downarrow, T_{Gecikme} \downarrow$$

Burada, toplama (Σ) yerine sıralama ve seçme aritmetiği uygulanır. Bu, beynin enerjiyi minimize eden evrimsel adaptasyonunun sonucudur. Bu matematiksel kısıtlar ($C_{Metabolik}$ ve $T_{Gecikme}$) finans ve iktisat tarihinde dönüşümün anahtarlarıdır. Böylece Geçmiş (Paradigma 1) ve Gelecek (Paradigma 4) net biçimde tanımlanabilir. Geçmişte (Paradigma 1), von Neumann ve Morgenstern (1944) maliyeti ($C_{Metabolik} = 0$) kabul ederek "Homo Economicus"u tanımlamıştır. Gelecekte (Paradigma 4), insan beynindeki "Gecikme" ve "Enerji" darboğazı, modern yapay zeka (DeepSeek, GPT) algoritmalarıyla aşılmıştır. Cohen ve diğ. (2022)'ye göre, yapay sinir ağları biyolojik sınırları (yorgunluk, glikoz ihtiyacı) taşımamaları sebebiyle insanın maliyetli bulunduğu RAEK denklemini ($\sum w_i x_i$), SEİS hızında çözerek "Sentetik Rasyonellik" yaratılır.

Hesaplamalı Zihin ve Biyolojik Kısıtlar

Üçüncü paradigmanın temelini, beyni biyolojik bir bilgisayar olarak ele alan "Hesaplamalı Zihin" yaklaşımı oluşturmaktadır. Nöronların "hep ya da hiç" ilkesiyle çalışan mantık kapıları olarak modellenmesi, zihinsel süreçlerin matematikselleştirilmesini mümkün kılmıştır (McCulloch ve Pitts, 1943). Bu biyolojik tasarımın Turing makinelerine ilham verdiği ve bilişsel sınırlılıkların beynin kapasite sınırlarından kaynaklandığı ileri sürülmektedir (Piccinini, 2004; Ramana, 2024). Bu çerçevede rasyonellik, salt normatif bir ideal olmaktan çıkmakta, kapasite sorunu yaşayan biyolojik zihin, yalnızca veri işleyen bir sistem değil, modern yapay zekâ mimarilerinin aşmaya yöneldiği yapısal bir sınırlılık olarak konumlandırılmaktadır.

Bu nöro-kompütasyonel bir finansal karar anında (t), beyindeki bir nöronun (N_i) ateşlenmesi (karar vermesi), kendisine gelen sinyallerin (x_j) ağırlıklı toplamının (w_{ij}) belirli bir "Eşik Değeri" (θ_i) aşmasına bağlıdır:

$$N_i(t) = H \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j(t) - \theta_i \right)$$

H (Heaviside Fonksiyonu): Basamak fonksiyonudur. Eğer parantez içi ≥ 0 ise sonuç 1 (Karar/Ateşleme), değilse 0 (Eylemsizlik) olur. Bu, 'Bağlantıcı Modeller'in temel çalışma prensibidir (McCulloch ve Pitts, 1943; Rumelhart ve diğ., 1986).

θ_i (Eşik Değeri): Karar vericinin harekete geçmesi için gereken minimum bilgi veya uyaran miktarıdır. Ramana (2024), yatırımcıların karmaşık türev araçları fiyatlarırken zorlanmasının nedenini, gereken bilişsel yükün bu eşik değerini (θ) ve sinaptik kapasiteyi aşması olarak açıklar.

Biyolojik sistemler "Sinaptik Gecikme" (τ) ve "Enerji Kısıtı" (E_{ATP}) ile sınırlıdır ve biyolojik bir ağın işlem süresi, yapay ağların aksine fiziksel bir zaman maliyeti içerir (Cohen ve diğ., 2022). Biyolojik işlem kısıtını aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür:

$$T_{Karar} = \sum_{k=1}^{Derinlik} \tau_k + \epsilon$$

Geleneksel Modeller (Paradigma 1), bu τ değerini sıfır kabul ederek "anında bilgi işleme" varsayımı yapmaktadır. Öte yandan nörolojik modeller (Paradigma 3), $\tau > 0$ olduğu için yatırımcının piyasa hızına yetişemediğini ve "Gürültü" (ϵ) nedeniyle hata yaptığını iddia eder.

McCulloch ve Pitts (1943)'ten türeyen bu denklem, finans tarihinde 4. Paradigmanın ontolojik sıçramasının anahtarıdır. "Biyolojik Kısıt" altında beyin, toplam sembolü (Σ) için az sayıda nöron ve sınırlı enerji (glikoz) kullanır; bu nedenle, çevredeki tüm ağırlıkları (w_{ij}) hesaplamak yerine, Gigerenzer ve Gaissmaier (2011)'e göre bazı bağlantıları ihmal eder veya 'budayarak' sezgisel (SEIS) kararlar üretir (Cohen ve diğ., 2022).

Dördüncü paradigmada göreceğimiz Derin Öğrenme modelleri, bu denklemi alıp biyolojik kısıtlardan (E_{ATP} ve τ) arındırmıştır. Algoritmalar, milyonlarca katmandaki milyarlarca ağırlığı (w_{ij}) paralel olarak hesaplayarak rasyonel optimizasyonu sentetik bir düzlemde gerçekleştirmektedir (Rosenblatt 1958; Cohen ve diğ., 2022).

Dördüncü Paradigma: Sentetik Rasyonellik Ve Yapay Zekanın Epistemolojik Evrimi

Nörolojik bulguların zihinsel kapasite sınırlarını netleştirmesi, rasyonelliği biyolojik katmanlardan "Sentetik Donanım" düzlemine taşımıştır. Dördüncü paradigma, karar süreçlerinin biyolojik prangalardan sıyrılarak sınırsız bellekli "Yapay Zeka" mimarilerine devredilmesini simgeler. Bu dönüşüm, "Homo Sapiens" figürünün yerini alan "Robo Economicus" tipolojisini üç teknolojik kırılma ekseninde tartışmaya açmaktadır. Rasyonellik artık biyolojik bir niyet olmaktan çıkarak teknolojik bir kapasite sorunu olarak yeniden tanımlanmaktadır.

Olasılıksal Dil ve Nöronal Mantık

Sentetik rasyonellik, bilginin belirsizliğinin matematiksel kesinliğe dönüştürülmesine dayanmaktadır. Olayların bağımsızlığı varsayımının sorgulanması, modern dil modellerinin istatistiksel temelini şekillendirmiştir (Markov, 1913; Raeini, 2025). Kural tabanlı sistemlerin erken bir örneği olarak geliştirilen ELIZA, bu dönüşümün ilk teknik adımlarından biri olarak kabul edilmektedir (Weizenbaum, 1966). Böylece piyasa, kaotik duygusal tepkilerden ziyade hesaplanabilir bir olasılık ağı olarak kavramsallaştırılmıştır. Bu aşamada rasyonellik, normatif bir ideal olmaktan çıkarak istatistiksel bir zorunluluk niteliği kazanmıştır.

Geleneksel modellerin (Paradigma 1) "Rastgele Yürüyüş" teorisi, fiyat hareketlerinin geçmişle bağıni koparıp bağımsız bir yapıda ($P(x_t|x_{t-1}) = P(x_t)$) olduğunu savunurken (Fama, 1970), Markov (1913)'ün "Zincirleme Olasılık" kavrayışı, geleceğin aslında geçmişin bir fonksiyonu olduğunu şu temel denklemle göstermiştir:

$$P(x_t|x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_0) \approx P(x_t|x_{t-1})$$

Bu denklemde x_t değişkeni şimdiki durumu, x_{t-1} ise bu durumu önceleyen aşamayı temsil etmektedir. Markov (1913), Puşkin'in "Eugene Onegin" yapıtındaki olasılıksal bağımlılıkları kanıtlayarak modern LLM mimarilerinin "bir sonraki adımı tahmin etme" temelini atmıştır (Raeini, 2025). Shannon (1948) ise belirsizliği soyutluktan çıkarıp "Entropi" (H) kavramı aracılığıyla matematiksel bir bit değerine dönüştürmüştür:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

Burada p_i , bir olayın (i) gerçekleşme olasılığıdır. Shannon (1948) "Entropi" yaklaşımı, piyasadaki yüksek belirsizliği çözmek için gereken bilgi miktarını veya haber akışını bir bilgi işleme problemine dönüştürmüştür.

McCulloch ve Pitts (1943) ise biyolojik olarak nöronların "Hep ya da Hiç" yasasına dayalı mantıksal geçitler olarak tanımlanması ile zihinsel süreçlerin soyut bir "Kompütasyonel Hesaplama" ile simüle edilebileceğini kuramsal düzeyde ispatlamıştır. Böylece rasyonellik, biyolojik bir doku, matematiksel ve işlevsel bir süreç olarak yeniden kurgulanmıştır. Bu durum nöronun (N) ateşlenmesi için, girdilerin (x) ağırlıklı toplamının (w) belirli bir eşik değerini (θ) aşması gerektiğini şu eşitsizlikle formüle edilebilir:

$$N(t) = 1 \quad \text{eğer} \quad \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j(t-1) \geq \theta$$

$$N(t) = 0 \quad \text{eğer} \quad \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j(t-1) < \theta$$

Bu yalın denklemin, insan zihnini bir "Turing Makinesi" olarak konumlandıran "Hesaplamalı Zihin" paradigmasının teorik temelini oluşturduğu ileri sürülmektedir (Piccinini, 2004). Bu bakışa göre finansal kararlar (Al/Sat), doğrudan sinaptik ağırlıkların (w_i) toplamının mantıksal sonucudur. Nörolojik yaklaşım, zihnin enerji kısıtlarını biyolojik sınır olarak görürken, yapay zeka milyarlarca parametreyle anında kesinlik sağlayabilmektedir. Böylece rasyonellik, insani sınırlarından silikon tabanlı "Sentetik Rasyonellik" düzlemine taşınır. Artık rasyonellik korunacak bir niyet değil, devasa işlem kapasitesinin bir sonucudur.

Hafızanın İcadı ve Zamanın Öğrenilmesi

Öğrenme kapasitesi Rumelhart ve diğ. (1986) ile geliştirilmiş olsa da, Elman (1990) ve Jordan (1986) mimarilerinde ortaya çıkan ve "kaybolan gradyan" sorunu olarak tanımlanan sınırlılık, uzak geçmiş bilginin korunmasını engellemiştir (Bengio ve diğ., 1994). Bu hafıza kısıtı, hücre kapıları mekanizması sayesinde Uzun Kısa Süreli Hafıza (LSTM) mimarisine büyük ölçüde aşılmıştır (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997). Ardından Word2Vec yaklaşımı, vektör uzayı temsili üzerinden anlam ilişkilerini cebirsel bir düzleme taşımıştır (Mikolov ve diğ., 2013). Böylece rasyonellik, biyolojik bellek sınırlarından çıkarılarak genişletilmiş sentetik kapasite bağlamında yeniden tanımlanmıştır.

Ağ önceki durumunu (h_{t-1}) bir sonraki adıma taşıyan "bağlam birimlerini" geliştirerek yapay zekaya kısa süreli bir hafıza kazanmıştır (Elman, 1990). Yinelemeli Sinir Ağ'ında (RNN), anlık karar (h_t), sadece mevcut piyasa verisine (x_t) değil, geçmişin hatırasına (h_{t-1}) da bağlı hale gelmiştir:

$$h_t = \sigma(W_h h_{t-1} + W_x x_t + b)$$

Bengio ve diğ. (1994)'nin "Kaybolan Gradyan" yani hata sinyallerinin sönümlenmesiyle somutlaşan bu miyopi, Hochreiter ve Schmidhuber (1997) imzalı LSTM mimarisine yerini kurumsal bir hafızaya bırakmıştır. Söz konusu yapı, matematiksel "kapılar" aracılığıyla insani dikkati sentetik bir süreklilikle taklit ederek uzun vadeli bağımlılıklara yani 2008 krizi gibi uzak geçmişteki kritik kırılmalara karşı korumayı başarır. Model, hangi bilginin saklanacağını ve hangisinin unutulacağını "Unutma Kapısı" (Forget Gate - f_t) denklemiyle belirler:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

Burada f_t , 0 ile 1 arasında bir değer alır. Eğer sonuç 0 ise bilgi (eski fiyat hareketi) tamamen unutulur, 1 ise tamamen hafızada tutulur. Böylece LSTM, 1000 adım gerideki bir piyasa şokunu dahi "unutmadan" bugünkü karara dahil edebilen, biyolojik sınırları aşmış bir hafıza yapısı sunar (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997).

Word2Vec'in anlamsal ilişkileri çok boyutlu bir vektör uzayında temsil eden yaklaşımı, veriler arasındaki bağlamsal yakınlıkların matematiksel olarak haritalanmasını mümkün kılmıştır (Mikolov ve diğ., 2013). Bu gelişme, sentetik rasyonelliğin yalnızca sayısal optimizasyona değil, dilsel ve anlamsal ilişkiselliğe dayalı bir işleme kapasitesine dayanmasını sağlamış; böylece veri, dördüncü paradigmanın dil merkezli epistemolojik zeminine taşınmıştır.

$$\text{Vektör(Kral)} - \text{Vektör(Erkek)} + \text{Vektör(Kadın)} \\ \approx \text{Vektör(Kraliçe)}$$

Piyasa işleyişindeki "Enflasyon"- "Faiz" ve "Kur"- "İthalat" arasındaki yapısal simetrisinin bu yollarla makineler tarafından algılanabilmesi, algoritmaların veriyi sayısal bir yığından öte gördüğünü kanıtlar. Olgular artık birer "anlam birimi" olarak kodlanmakta ve rasyonellik kavramı insani sezgilerden arınmış saf mantıksal bir süreklilik kazanmaktadır.

Dikkat Mekanizması ve Sentetik Muhakeme

Dördüncü paradigma, sıralı işlem kısıtlarını aşan Transformer mimarisine olgunlaşmıştır. "Sadece Dikkat

Yeterlidir" ilkesiyle dizisel yapı terk edilmiş, "Çok Başlı Dikkat" mekanizması sayesinde insan beyninde P300 potansiyelinin simgelediği kırılmalı dikkat süreci sentetik ve ölçeklenebilir bir forma taşınmıştır (Vaswani ve diğ., 2017). "Çoklu Jeton Tahmini" yaklaşımı stratejik öngörü kapasitesini genişletmiş (DeepSeek-AI ve diğ., 2024b), "Saf Muhakeme" ve "Zincirleme Düşünce" ise hataları tespit edebilen bir Sistem 2 benzeri rasyonellik üretmiştir (DeepSeek-AI ve diğ., 2025; Wei ve diğ., 2022). Bu dönüşüm, sınırlı rasyonellik kavramının sınırsız işlem kapasitesiyle yeniden tanımlandığı ve "Robo Economicus" tipolojisinin ortaya çıktığı tarihsel eşige işaret etmektedir (Simon, 1955).

Transformer mimarisi, bilişsel yük ve sınırlı çalışma belleği engellerini matematiksel olarak bertaraf etmektedir (Sweller, 1988). İnsan zihninin veri yoğunluğu altında karar kalitesini kaybettiği ve P300 temelli filtreleme zorunluluğuna bağlı olduğu gösterilmişken (Sweller, 1988; Wichary ve diğ., 2017), dikkat fonksiyonunun formel tanımı biyolojik sınırların sentetik düzlemde aşılmasını mümkün kılmıştır (Vaswani ve diğ., 2017):

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V$$

Q (Query/Sorgu): Yatırımcının piyasaya sorduğu sorudur (Örn: "Fed faiz kararı portföyümü nasıl etkiler?").

K (Key/Anahtar): Piyasadaki tüm veri parçalarının (haberler, bilançolar, grafikler) etiketleridir.

V (Value/Değer): Bu verilerin içerdiği gerçek bilgidir.

İnsan zihninin enerji tasarrufu amacıyla bilgiyi baskıladığı ve seçici işlediği gösterilmiştir (Wichary ve diğ., 2017). Buna karşılık, veriyi önem derecesine göre paralel biçimde işleyen Transformer mimarisi, sınırlı rasyonellik kısıtını sentetik düzlemde "sınırsız entegrasyon" kapasitesine dönüştürmektedir (Vaswani ve diğ., 2017; Simon, 1955). "Zincirleme Düşünce" yetisi, akıl yürütme sürecini kesintisiz ve yorulmaz bir bilişsel akışa taşımaktadır (DeepSeek-AI ve diğ., 2025; Raeini, 2025). Böylece, kuramsal olarak tasarlanan ancak biyolojik donanım kısıtları nedeniyle erişilemeyen mutlak rasyonel ajan, günümüzde silikon temelli bir "Robo Economicus" tipolojisi olarak somutlaşmaktadır (von Neumann ve Morgenstern, 1944; Sweller, 1988; Wichary ve diğ., 2017).

Algoritmik Karar Denklemlerinin Evrimi

Finansal karar alma eylemini, en yalın haliyle bir "Optimizasyon Problemi" olarak nitelemek mümkündür. Fakat bu problemin nihai çözümü, işlemcinin yapısal kapasitesi (biyolojik nöron ile silikon yonga arasındaki kuramsal fark) ve enerji kısıtları doğrultusunda iki ayrı matematiksel yöne evrilmektedir.

Bellman Denklemi ve "Rasyonel Ağırlıklandırılmış Eklemler Kuralı" (RAEK)

DeepSeek-R1 gibi Takviyeli Öğrenme tabanlı sistemler, karar alma süreçlerinde von Neumann ve Morgenstern'in (1944) "Beklenen Fayda" aksiyomlarına sadakat gösteren bir rota izlemektedir. Bu durum, literatürde RAEK olarak betimlenen ve eldeki tüm veri setlerinin titizlikle işlendiği kusursuz süreci temsil eder (Bellman, 1954).

$$Q(s, a) = R(s, a) + \gamma \sum_{s'} P(s'|s, a) \max_{a'} Q(s', a')$$

$Q(s, a)$: Kararın kümülatif değeri (Yapay zekanın "Fayda" fonksiyonu).

$R(s, a)$: Anlık ödül (Örn: İşlemden hemen sonraki kâr).

γ (Gamma): İskonto faktörü. DeepSeek-V3'ün "Multi-Token Prediction" özelliği, bu parametreyi optimize ederek gelecekteki çoklu adımları planlar.

Σ (Toplam): Yapay zeka, insan beyninin aksine, tüm olası gelecek senaryolarını (s') ve olasılıklarını (P) toplar. Bu, biyolojik beyindeki dopaminerjik ödül tahmin hatasının hesaplamalı ve sınırsız bir versiyonudur (Cohen ve diğ., 2022).

Bir yapay zeka ajanı, s durumunda (örneğin anlık piyasa verisi) a aksiyonunu (al/sat) seçerken, sadece anlık ödülü değil, gelecekteki tüm olası ödüllerin bugünkü değerini nasıl maksimize ettiğini göstermektedir.

Biyolojik Maliyet ve "Sezgisel En İyiyi Seçme" (SEİS)

Gigerenzer (2009), insan beyninin yukarıdaki karmaşık toplama işlemini (Σ) yapacak glikoz rezervine ve zamana sahip olmadığını belirtir. Beyin, enerji maliyetini düşürmek için "Tazmin Edici Olmayan" bir strateji izler. Bu strateji SEİS altında ele alınabilir. Karar verici, ipuçlarını (faiz, grafik, haber) geçerlilik sırasına göre dizer ve ayırt edici ilk ipucunda durur. Diğer tüm veriler denklemden atılır:

$$Karar(A) = \text{ArgMax}_{x \in A, B} [I_k(x)]$$

$x \in A, B$: Karar vericinin önündeki seçenekler kümesidir. Örneğin, bir yatırımcının iki hisse senedi (Hisse A ve Hisse B) arasında seçim yapması durumu.

$I_k(x)$: k . sıradaki ipucunun değeridir. Buradaki k , rastgele bir ipucu değil; zihindeki geçerlilik sıralamasına göre taranan ve iki seçenek arasında fark yaratan ilk ipucudur.

$ArgMax$: Bu operatör, parantez içindeki değeri maksimize eden "sonucu" değil, sonucu sağlayan "girdiyi" (yani A veya B seçeneğini) bulmamızı ister.

Bu denklemde ağırlıklandırma (w) veya toplama (+) işlemi yoktur. Sadece sıralama ve durma işlemleri vardır. Gigerenzer ve Brighton (2009), bu yöntemin "Az-Çoktur" etkisiyle, belirsiz ortamlarda karmaşık regresyonlardan daha iyi sonuç verebildiğini kanıtlamıştır.

Nörolojik Teorilerin Yapay Zekaya Katkıları

Nörolojik ve davranışsal iktisadi ve finansal modellerin keşfettiği biyolojik mekanizmalar, modern yapay zeka mimarilerinin tasarımına doğrudan ilham vermiştir.

Uzmanların Karışımı (MoE: Mix of Experts)

Beyin, ATP optimizasyonu için nöron ağlarını seçici olarak aktive edip hesaplamalı tutumluluk gösterir. Bu biyolojik ilke, DeepSeek-V2'deki "Uzmanların Karışımı" yaklaşımında sentetik karşılığını bulur. Trilyonlarca parametre yerine yalnızca girdiye uygun uzman katmanları tetiklenir. Böylece enerji maliyeti azalırken işlem hacmi artar ve modelin ölçeklenmesi ile

komputasyonel yük optimize edilir (Deepseek-AI, 2024a-2024b):

$$y = \sum_{i=1}^N G(x)_i E_i(x)$$

Burada $G(x)$, hangi uzmanın (E_i) seçileceğine karar veren "Kapı" fonksiyonudur. Bu, beynin enerji tasarrufu stratejisinin silikon üzerindeki matematiksel karşılığıdır.

"Sistem 2" ve Zincirleme Düşünce

İnsan zihni ile yapay zeka arasındaki ontolojik ayrım, esasen bir "işlem maliyeti" sorunsalıdır. Kahneman (2003; 2011) ve Wei ve diğ. (2022) odağındaki "Sistem 1" ve "Sistem 2" dengesi, finansal piyasalardaki kaotik yapı içerisinde Sweller (1988) tarafından tanımlanan "Bilişsel Yük" engeline çarpar. Enerjiyi koruma güdüsüyle Sistem 2'nin geçici olarak tasfiyesi rasyonelliği biyolojik bir lükse dönüştürürken, yapay zeka bu analitik silsileyi sonsuz bir döngüde sürdürebilmektedir. Bu biyolojik kısıt, insan için aşağıdaki "Net Bilişsel Fayda" (U_{net}) denklemiyle ifade edilebilir:

$$U_{net} = E[Getiri] - (C_{Enerji} + \lambda \cdot T_{Gecikme})$$

Bu denklemde rasyonel karar alma ($E[Getiri]$), prefrontal kortekste yüksek glikoz tüketimine (C_{Enerji}) ve P300 potansiyelleriyle ölçülen sinaptik gecikmeye ($T_{Gecikme}$) yol açar. Beyin, bu maliyeti düşürmek için analitik düşüncüyü (Sistem 2) bırakıp sezgisel kısa yolları (Sistem 1) tercih eder (Wichary vd., 2017).

En kritik an, verilen kararın hatalı olduğunun (örneğin hissenin düşmesi) anlaşılmasıyla, "Bilişsel Uyumsuzluk" tanımına uygun olarak psikolojik bir acı yaşanmasıdır. Yatırımcı, bu acıdan kaçınmak için hatasını kabul edip satmak yerine, hatada ısrar ederek beklemeyi seçer ("Bekle" kararı) (Festinger, 1957).

Ancak Dördüncü Paradigma, bu biyolojik denklemi tersine çevirmiştir. Wei ve diğ. (2022) ve DeepSeek-AI ve diğ. (2025) modelleri, geliştirdiği "Zincirleme Düşünce" teknolojisiyle, "Sistem 2"yi zorla ve düşük maliyetle bir şekilde uygular. Takviyeli Öğrenme algoritması (θ) optimize edilen sinir ağı parametrelerini, π_θ ise bu parametrelerle çalışan ve problemi anlık bir cevap yerine (s_1, s_2, \dots, s_n) şeklinde mantıksal adımlara bölen "politika"yı (karar mekanizmasını) temsil eder:

$$J(\theta) = E\tau \sim \pi_\theta[R(\tau)]$$

Denklemdeki τ , modelin ürettiği bütüncül "düşünce zinciri", $R(\tau)$, bu zincirin sonunda ulaşılan cevabın doğruluğuna göre modele verilen "ödül" fonksiyonu temsil eder. İnsan zihni bilişsel yükü düşürmek için düşünce zincirini kısa kesip sezgisel (Sistem 1) kararlara yönelirken, DeepSeek-R1 bu denklemin beklenen değerini (E) maksimize etmek için düşünce zincirini (τ) uzatmakta ve eğitim sürecinde gözlemlenen "Aydınlanma Anı" ile kendi hatalarını düzelterek biyolojik kısıtlardan bağımsız bir "Sistem 2" rasyonelliği inşa etmektedir (Wei ve diğ., 2022; DeepSeek-AI ve diğ., 2025). Nihayetinde rasyonelite, Festinger (1957) ve Kahneman (2003) tarafından ortaya konulan biyolojik bir imkansızlıktan; Vaswani ve diğ. (2017) ve DeepSeek-AI v. diğ. (2025) ile somut bir mühendislik çözümüne evrilmiştir.

Biyolojik Sınırların Aşılması Ve "Robo Economicus"Un Yükselişi

Finansal iktisat tarihinin, Bernoulli (1954) ve von Neumann (1944) rasyonelliği ile Simon (1955) ve Kahneman ve Tversky (1979) biyolojik gerçekliği arasındaki uçurumu dördüncü paradigma Sentetik Rasyonellik düzleminde köprülemektedir. Böylece Homo Sapiens'in yerini duygusal maliyetlerden arınmış "Robo Economicus"un aldığı ontolojik bir kırılma anı yaşanmıştır.

Bilişsel Ekonomiden Hiper-Verimliliğe

Verimlilikteki dönüşüm, işlem gücünden çok hafıza mimarisindeki değişime dayanmaktadır. İnsan zihnini unutmaya iten biyolojik "bilişsel aşırı yük" sınırı tanımlanmışken, ön eğitim yaklaşımıyla sentetik bir bellek inşa edilmiştir (Sweller, 1988; Radford ve diğ., 2018). Sıralı okuma zorunluluğunu ortadan kaldıran çift yönlü mimari ise veriyi hem geçmiş hem gelecek bağlamında değerlendirme imkânı sunmuştur (Devlin ve diğ., 2018). Bu bütüncül yaklaşım, piyasa dinamiklerinin küresel ölçekte analizini mümkün kılmaktadır. Çok başlı dikkat temelli mimariler hafızayı verimli biçimde sıkıştırarak unutma sorununu azaltmış, hız ve isabeti artırmıştır (DeepSeek-AI ve diğ., 2024a; Vaswani ve diğ., 2017).

$$E_{Biyolojik} = \text{Doğruluk} - (\lambda \cdot \text{işlem Maliyeti})$$

Burada λ , beynin glikoz ve zaman tasarrufuna verdiği yüksek ağırlıktır. İşlem maliyeti arttığında, beyin doğruluğu feda ederek maliyeti düşürür. Bu aşamada "Uzmanların Karışımı" mimarisini beynin bilişsel ekonomi prensibini, hata payını artırmadan uygulayan bir yapıya dönüştürmüştür (DeepSeek-AI ve diğ., 2024a-2024b).

"Yoğun" modeller (örneğin erken dönem GPT sürümleri), her bir sorgu için tüm sinir ağını ateşlerken, MoE mimarisi, her bir işlem için parametrelerin tamamını değil, sadece ilgili "uzmanları" (routed experts) devreye sokar (DeepSeek-AI; 2024a). Bu "Seyrek Aktivasyon" mantığı matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir:

$$y = \sum_{i=1}^N G(x)_i E_i(x)$$

Bu denklemde x girdi (finansal veri), $E_i(x)$ uzman ağların çıktısı ve $G(x)_i$ ise hangi uzmanın seçileceğine karar veren "Kapı Fonksiyonu"dur. Yapay zeka, veriyi görmezden gelmek yerine, veriyi en iyi işleyecek uzmanı ($top - k$) seçer. Böylece "işlem maliyeti" düşerken "doğruluk" sabit kalır veya artar. Bu sayede verimlilik, beşinci paradigmada artık doğruluktan ödün vermeyi gerektiren bir kısıt olmaktan çıkmıştır. Rasyonellik, hızı ve isabet oranını eş zamanlı maksimize eden sentetik bir süreklilik kazanmıştır.

Geleceğin Simülasyonu ve Stratejik Akıl

Biyolojik miyopluk, Sistem 1'in anlık dalgalanmalara yapısal teslimiyetinden beslenmektedir (Kahneman ve

Tversky, 1979; Kahneman, 2011). İnsan zihni hiperbolik iskonto ile zamansal tutarsızlık üretirken, çift yönlü okuma mimarisi bağlamsal bütünlüğü güçlendirmiştir (Devlin ve diğ., 2018). Stratejik kırılma ise çoklu jeton tahmini ve yardımcı kayıpsız dengeleme yaklaşımıyla zamansal tutarsızlığın sentetik düzlemde azaltılmasıyla ortaya çıkmıştır (DeepSeek-AI, 2024b). Bu süzgeç, aksiyomatik rasyonelite ideale yaklaşan bir entegrasyon kapasitesi sunmaktadır (von Neumann ve Morgenstern, 1944):

$$U_t = u(x_t) + \beta \sum_{\tau=1}^T \delta^\tau u(x_{t+\tau})$$

$$(0 < \beta \leq 1, 0 < \delta < 1)$$

4. Paradigma'da GPT mimarileri, "Sıradaki Kelimeyi Tahmin Etme" prensibiyle bu süreci istatistiksel bir zemine oturtmuştur. Standard GPT modellerin "Otoregresif" yapısı, yani geleceği adım adım ($t + 1$) tahmesi yani "kısa vadeli" kalma riski burada β (şimdiki zaman yanlılığı) 1'den küçük olduğunda, birey geleceği ($t + \tau$) ihmal eder ve sadece anı (x_t) optimize etmeye çalışarak bu sorunu aşmaya çalışmaktadır (Radford ve diğ., 2018). Geleneksel modeller her adımda sadece bir sonraki hamleyi düşünürken GPT mimarisi, finansal bir satranç ustası gibi gelecekteki n adet hamleyi aynı anda planlar. Bu "Stratejik Akıl" aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$L_{MTP} = - \sum_{i=1}^n \log P(x_{t+i} | x_{1:t})$$

Yapay zeka, odağını sadece $t + 1$ anıyla sınırlamak yerine; $t + 1$ 'den $t + n$ 'e uzanan karmaşık olaylar silsilesini bütüncül bir yaklaşımla optimize etmektedir. Geline nokta rasyonellik, korunması gereken kırılğan bir niyet olmaktan çıkarak milyarlarca parametreyle işletilen, hatasız bir mühendislik çıktısına dönüşmüştür.

Muhakeme Yeteneği ve "Aydınlanma Anı"

İnsani rasyonellikteki muhakeme kapasitesi, tahminin ötesine geçerek neden sonuç bağlantıları kurabilen sentetik modeller karşısında yeniden tartışmaya açılmaktadır. Bilişsel uyumsuzluk, hatayı düzeltmek yerine inancı koruma eğilimini besleyen sistematik bir yanlılık döngüsüne işaret eder (Festinger, 1957). Öz-düzeltilme süreci biyolojik zihin için yüksek nöral enerji ve belirgin bir psikolojik maliyet gerektirir. Buna karşılık, çift yönlü bağlamsal süzme ve ileri düzey dil modellemesi yaklaşımları, rasyonelliği bu tür insani sınırlardan görece bağımsızlaştırmaktadır (Devlin ve diğ., 2018; Radford ve diğ., 2018). Bu mimarilerin çekirdeği ise aşağıdaki log-olabilirlik maksimizasyonu ilkesine dayanmaktadır:

$$LGPT = \sum_t \log P(x_t | x_{<t}; \Theta)$$

Bu denklemde model, geçmiş verilere bakarak anlık en olası (x_t) sonucu bulur (Radford vd., 2018, Kahneman, 2011). Ancak bu süreç hala "sezgiseldir" (Sistem 1), model düşünmez, sadece istatistiksel olarak en yakın sonucu çağırır.

Bu sınırlılık, zincirleme düşünme ve takviyeli muhakeme yaklaşımlarıyla aşılmaya başlanmıştır (Wei ve diğ., 2022; DeepSeek-AI ve diğ., 2025). İlgili mimariler, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan adım adım akıl yürütme üretebilmekte ve hata durumunda içsel tutarsızlık yerine parametre güncellemesi yoluyla düzeltme gerçekleştirmektedir. Bu süreçte ortaya çıkan "Aydınlanma Anı", bilişsel uyumsuzluk yerine optimizasyon temelli bir öz-düzeltilme dinamiğine işaret eder. Modelin içsel monologlarında:

" Bekle, bekle. Bu bir aydınlanma anı... Yeniden değerlendiririm " diyerek duraksadığı ve stratejisini değiştirdiği kaydedilmiştir (DeepSeek-AI, 2025, s. 4).

Bu durum, rasyonelliğin artık biyolojik bir gerçeklik değil, kendi hatalarını dinamik bir biçimde ayıklayabilen "sentetik bir muhakeme" kapasitesine dönüşümüdür. Piyasa kararları artık geçmişin istatistiksel bir gölgesi değil, hatalarından arınmış, saf bir mantıksal silsilenin ürünüdür. Bu süreç, geleneksel tahmin denkleminin (LGPT) ötesine geçerek, bir "Ödül Fonksiyonu"nun (R) beklenen değerini maksimize eden "Takviyeli Öğrenme" denklemiyle ifade edilebilir:

$$J(\theta) = E\tau \sim \pi\theta[R(\tau)]$$

Burada τ , modelin düşünce zincirini temsil eder. Yapay zeka bu aşamada yalnızca nihai çıktıyı değil, o sonuca götüren metodolojik zincirin tutarlılığını da optimize etmeye yönelir. Bu dönüşüm, mekanik örüntü eşleştirmeden otonom bir Sistem 2 rasyonelliğine geçiş olarak yorumlanmaktadır (Raeini, 2025). Hata karşısında ısrar etme eğilimiyle tanımlanan bilişsel kalıcılık (Festinger, 1957) ise yerini, eksiklerini parametre düzeyinde denetleyebilen silikon tabanlı bir karar mimarisine bırakmaktadır.

Tartışma

Geleneksel, davranışsal ve nörolojik evreler, diyalektik bir devinimle "Sentetik Rasyonellik" aşamasına ulaşmıştır. 18. yüzyıl idealizminden 21. yüzyılın biyolojik gerçekliğine uzanan bu süreç, belirsizlik altında bilgi işleme sorununa yanıt arar. İktisadi özne, niyet temelli bir varlık olmaktan çıkarak rasyonelliği işlem kapasitesiyle inşa eden sentetik bir ajana dönüşmektedir.

"Homo Economicus" kavramıyla şekillenen rasyonel özne anlayışı, öznel fayda ve aksiyomatik rasyonelite çerçevesiyle kurumsallaşmış ve piyasa etkinliği idealinde zirveye ulaşmıştır, matematiksel kesinlik sayesinde, sınırlı kapasite ve tatmin edicilik gerçeğiyle yeniden tanımlanmış, mimari kısıtların zorunlu sapmalar ürettiği gösterilmiştir (Mill, 1844; Bernoulli, 1954; Simon, 1955; Fama, 1970; von Neumann ve Morgenstern, 1944; Kahneman ve Tversky, 1979; Stearns, 2000; Lebiere ve Anderson, 2011). "Ekolojik rasyonellik" yaklaşımı ise hızlı ve tutumlu sezgilerin analitik modellere üstün olabileceğini ortaya koymuştur (Goldstein ve Gigerenzer, 2002; Gigerenzer ve Brighton, 2009).

Nörolojik evre, karar sapmalarını soyut niyetlerden somut fizyolojik sınırlara indirgemıştır (Faris ve diğ., 2024). Rasyonellikten sapma, beynin enerji ve işlem

kapasitesini korumaya yönelik bir optimizasyon olarak değerlendirilmiştir. Sınırlı rasyonellik, çalışma belleği ve bilişsel yük bulgularıyla desteklenmiş ve analitik süreçlerin metabolik maliyet yarattığı gösterilmiştir (Simon, 1955; Sweller, 1988; Wichary ve diğ., 2017). Bu maliyet, bilginin bir kısmını ihmal eden sezgisel stratejilere yönelimi açıklamaktadır (Gigerenzer ve Gaismaier, 2011). Nöral temeller, bilişsel kalıpların biyolojik kökenini ortaya koyarken, DLPFC ile amigdala arasındaki gerilim finansal tercihlerin oluşumunda belirleyici olduğu, duygu ve mantık devreleri arasındaki nörokimyasal denge, kararın nihai formunu oluşturduğu görülmüştür (Ramana, 2024; Srivastava ve diğ., 2019; Howarth ve diğ., 2012).

Çalışmanın en önemli bulgusu, nörolojik paradigmada "bariyer" olarak görülen biyolojik kısıtların, yapay zekâ paradigmasında teknik mühendislik problemlerine indirgenmesidir. Nöronların mantıksal geçitler olarak modellenmesi ve bunun hesaplamalı zihin çerçevesiyle ilişkilendirilmesi, nöroiktisat ile yapay zekânın ortak kuramsal kökünü oluşturmaktadır (McCulloch ve Pitts, 1943; Piccinini, 2004). Biyolojik beyin "unutma" ve sınırlı işlem kapasitesi engelleri, kaybolan gradyan sorununa yönelik çözümler ve LSTM mimarisine aşmıştır (Bengio ve diğ., 1994; Hochreiter ve Schmidhuber, 1997). Dördüncü paradigmada insanı taklit aşmış, sistemler bilişsel kapasite bakımından insanın ötesine geçmiştir. Transformer mimarisi sıralı okuma zorunluluğunu kaldırarak çok başlı dikkat ile paralel ve bütünsel işlemeyi mümkün kılmıştır (Vaswani ve diğ., 2017). İnsan beyinde metabolik maliyetle ilişkili seçici dikkat süreçleri (Wichary ve diğ., 2017), silikon temelli mimarilerde optimize edilmiştir. Vektör uzayı temsilleriyle varlıklar arası anlamsal ilişkiler öğrenilebilir hâle gelmiştir (Mikolov ve diğ., 2013). Son aşamada, bilişsel uyumsuzluk nedeniyle zorlayıcı olan hata kabulü ve düzeltme süreçleri (Festinger, 1957), zincirleme düşünce yaklaşımlarıyla yeniden yapılandırılmıştır (Wei ve diğ., 2022; DeepSeek-AI ve diğ., 2024a, 2024b, 2025). Bu gelişme, istatistiksel tahminden bilişsel akıl yürütmeye geçiş olarak yorumlanmaktadır (Raeini, 2025). Böylece finansal rasyonellik, biyolojik bir niyet olmaktan çıkarak silikon tabanlı sentetik bir kapasiteye dönüşmektedir.

Sonuç

Finansal rasyonelliğin kuramsal çerçevesi, klasik iktisadin rasyonel birey varsayımından başlayarak beklenen fayda ve aksiyomatik karar kuramı ile biçimsel bir yapıya kavuşmuş, zamanla davranışsal ve nörolojik bulgular ışığında biyolojik sınırlılıkları dikkate alan bir perspektife evrilmiştir (Mill, 1844; von Neumann ve Morgenstern, 1944; Simon, 1955). Beklenen fayda aksiyomlarının öngördüğü tam hesaplama kapasitesi, bilişsel yük ve çalışma belleği kısıtları nedeniyle biyolojik düzeyde sürdürülebilir değildir (Sweller, 1988; Wichary ve diğ., 2017). Bu bağlamda, sezgisel stratejiler (SEİS) rasyonellikten sapma değil, sınırlı işlem kapasitesi altında ortaya çıkan uyarlanabilir optimizasyon mekanizmaları olarak değerlendirilmektedir (Gigerenzer ve Goldstein, 1996).

Buna karşılık, paralel veri işleme ve dikkat temelli mimariler, insan zihnindeki dikkat darboğazını teknik bir probleme indirgemıştır (Vaswani ve diğ., 2017). Muhakeme odaklı büyük dil modelleri, çok adımlı akıl yürütme ve hata düzeltme kapasitesiyle, işlem gücüne dayalı sentetik bir rasyonellik biçimi sunmaktadır (Wei ve diğ., 2022; DeepSeek-AI ve diğ., 2025; Raeini, 2025). Böylece rasyonellik, niyetsel bir idealden ziyade hesaplama kapasitesi ve mimari tasarımın bir fonksiyonu olarak yeniden tanımlanmaktadır.

Bu paradigmatik dönüşüm, politika ve uygulama düzeyinde çeşitli çıkarımlar doğurmaktadır. İlk olarak, finansal regülasyonların seçim mimarisi çerçevesinde bilişsel sınırlılıkları dikkate alan tasarımlara yönelmesi önerilmektedir (Thaler ve Sunstein, 2008). İkinci olarak, portföy yönetiminde insan sezgisi ile yapay zekâ temelli hesaplama gücünü birleştiren hibrit modellerin geliştirilmesi önem taşımaktadır (Ramana, 2024). Üçüncü olarak, muhakeme yeteneğine sahip algoritmalar için şeffaflık ve doğrulanabilirlik temelli rasyonellik testleri gereklidir (Raeini, 2025). Ayrıca, finans eğitiminin matematiksel idealizmden nöro-kompütasyonel yaklaşımlara doğru genişletilmesi önerilmektedir (Faris ve diğ., 2024).

Bununla birlikte, nörolojik bulguların laboratuvar temelli doğası ve sınırlı örneklem, ekolojik geçerlilik açısından temkinli yorumlanmalıdır. Benzer biçimde, muhakeme odaklı mimarilerin piyasa stres dönemlerinde istikrar mı yoksa yeni türden dijital sürü davranışları mı üreteceği henüz kapsamlı döngüsel testlerden geçmemiştir. Gelecek çalışmaların, Homo Sapiens ile sentetik karar sistemlerinin etkileştiği hibrit piyasa yapılarında yanlılıkların, örneğin kayıptan kaçınma, algoritmik muhakeme ile nasıl evrildiğini ampirik olarak incelemesi gerekmektedir (Kahneman ve Tversky, 1979).

Nihai hedef, nörobiyolojik göstergeler ile algoritmik parametre optimizasyonunu bütünleştiren bir nöro-kompütasyonel iktisat ve finans çerçevesinin geliştirilmesidir. İnsan beynindeki enerji optimizasyonu ile yapay zekâdaki parametre optimizasyonu arasındaki yapısal benzerlik, rasyonelliğin yeni doğasını kavramada temel bir analitik anahtar sunmaktadır.

Genişletilmiş Özet

Finansal iktisadın epistemolojik gelişimi, uzun süre Mill (1844) ile von Neumann ve Morgenstern'in (1944) inşa ettiği, duygulardan arındırılmış, tutarlı ve sınırsız işlem kapasitesine sahip "Homo Economicus" ideale dayanmıştır. Bu deterministik yaklaşım, Simon'ın (1955) "Sınırlı Rasyonellik" itirazı ve Kahneman ile Tversky'nin (1979) davranışsal bulgularıyla önemli ölçüde sorgulanmıştır. Davranışsal iktisat, rasyonel tercihten sistematik sapmaları ortaya koyarken, güncel nöroiktisat ve nörofinans literatürü bu sapmaların yalnızca psikolojik eğilimlerden değil, insan beyninin işlem hızı, enerji tasarrufu, bellek ve dikkat kapasitesi gibi

doğrudan biyolojik kısıtlarından kaynaklandığını göstermektedir.

Bu çalışma, finansal rasyonellik kavramının tarihsel dönüşümünü geleneksel, davranışsal, nörolojik ve sentetik rasyonellik olmak üzere dört temel paradigma çerçevesinde ele almaktadır. Temel amaç, insan zihninin doğuştan gelen biyolojik sınırlarının modern yapay zeka mimarileri aracılığıyla nasıl ikame edildiğini kavramsal ve tarihsel bir perspektifle analiz etmektir. Tartışmanın kuramsal zemini, erken dönem mantıksal nöron modellerinden Transformer mimarilerine ve zincirleme düşünce yeteneklerine uzanan teknolojik gelişmelere dayanmaktadır. Elde edilen bulgular, bu ilerlemelerin unutmama, dikkat darboğazı ve bilişsel uyumsuzluk gibi insani kısıtları aşarak, iktisadi karar vericinin biyolojik sınırlarla çevrili Homo Sapiens'ten, yüksek bellek ve muhakeme kapasitesine sahip sentetik bir ajan olan Robo Economicus tipolojisine doğru evrildiğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede rasyonellik, salt matematiksel bir idealden ziyade kapasiteye bağlı bir olgu olarak yeniden tanımlanmaktadır.

Kaynaklar

- Bengio, Y., Simard, P., & Frasconi, P. (1994). Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. *IEEE transactions on neural networks*, 5(2), 157-166.
- Bahdanau, D. (2014). Neural machine translation by jointly learning to align and translate. *arXiv preprint arXiv:1409.0473*.
- Bellman, R. (1954). The theory of dynamic programming. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 60(6), 503-515.
- Bernoulli, D. (1954). Exposition of a new theory on the measurement of risk. *Econometrica*, 22(1), 23-36.
- Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. *arXiv preprint arXiv:1406.1078*.
- Cohen, Y., Engel, T. A., Langdon, C., Lindsay, G. W., Ott, T., Peters, M. A. K., Shine, J. M., Breton Provencher, V., Ramaswamy, S. (2022). Recent advances at the interface of neuroscience and artificial neural networks. *The Journal of Neuroscience*, 42(45), 8514-8523.
- DeepSeek-AI, Liu, A., Feng, B., Wang, B., Wang, B., Liu, B., Zhao, C., ... & Xie, Z. (2024a). DeepSeek-V2: A strong, economical, and efficient mixture-of-experts language model. *arXiv preprint arXiv:2405.04434*.
- DeepSeek-AI, Liu, A., Feng, B., Xue, B., Wang, B., Wu, B., Lu, C., ... & Pan, Z. (2024b). DeepSeek-V3 Technical Report. *arXiv preprint arXiv:2412.19437*.
- DeepSeek-AI, Guo, D., Yang, D., Zhang, H., Song, J., Zhang, R., Xu, R., ... & Zhang, Z. (2025). DeepSeek-R1: Incentivizing reasoning capability in LLMs via reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:2501.12948*.
- 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*.
- Dummel, S., Rummel, J., & Voss, A. (2016). Additional information is not ignored: New evidence for information integration and inhibition in take-the-best decisions. *Acta psychologica*, 163, 167-184.
- Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, 14(2), 179-211.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383-417.

- Faris, A. A., Jwan, H. K., & Al-Bidairi, K. H. A. (2024). From traditional finance to neurofinance: Literature review. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 12(1), 191–204.
- Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Gigerenzer, G., & Goldstein, D. G. (1996). Reasoning the fast and frugal way: models of bounded rationality. *Psychological review*, 103(4), 650.
- Goldstein, D. G., & Gigerenzer, G. (2002). Models of ecological rationality: the recognition heuristic. *Psychological review*, 109(1), 75.
- Gigerenzer, G., & Brighton, H. (2009). Homo heuristics: Why biased minds make better inferences. *Topics in Cognitive Science*, 1(1), 107–143.
- Gigerenzer, G., & Gaissmaier, W. (2011). Heuristic decision making. *Annual review of psychology*, 62(2011), 451–482.
- Harris, Z. S. (1954). Distributional structure. *Word*, 10(2-3), 146–162.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(8), 2554–2558.
- Howarth, C., Gleeson, P., & Attwell, D. (2012). Updated energy budgets for neural computation in the neocortex and cerebellum. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 32(7), 1222–1232.
- Jordan, M. I. (1986). *Serial order: A parallel distributed processing approach* (ICS Report 8604). La Jolla, CA: University of California, San Diego.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1972). Subjective probability: A judgment of representativeness. *Cognitive Psychology*, 3(3), 430–454.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263–292.
- Kahneman, D., Wakker, P. P., & Sarin, R. (1997). Back to Bentham? Explorations of experienced utility. *The Quarterly Journal of Economics*, 112(2), 375–405.
- Kahneman, D., Knetsch, J. L., & Thaler, R. H. (1991). Anomalies: The endowment effect, loss aversion, and status quo bias. *Journal of Economic Perspectives*, 5(1), 193–206.
- Kahneman, D. (2003). Maps of bounded rationality: Psychology for behavioral economics. *American economic review*, 93(5), 1449–1475.
- Kahneman, D. (2011). *Fast and slow thinking*. Allen Lane and Penguin Books, New York.
- Knight, F. H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. Boston, MA: Houghton Mifflin Company.
- Lebiere, C., & Anderson, J. R. (2011). Cognitive constraints on decision making under uncertainty. *Frontiers in psychology*, 2, 305.
- Lintner, J. (1965). Security prices, risk, and maximal gains from diversification. *The Journal of Finance*, 20(4), 587–615.
- Markov, A. A. (1913). An example of statistical investigation of the text Eugene Onegin concerning the connection of samples in chains. (Trans. D. Link, 2006). *Science in Context*, 19(4), 591–600.
- Markowitz, H. (1952). The utility of wealth. *Journal of Political Economy*, 60(2), 151–158.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115–133.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- Mill, J. S. (1844). *Essays on some unsettled questions of political economy*. London: John W. Parker.
- Mossin, J. (1966). Equilibrium in a capital asset market. *Econometrica*, 34(4), 768–783.
- Payne, J. W., Bettman, J. R., & Johnson, E. J. (1993). *The adaptive decision maker*. Cambridge University Press.
- 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 (EMNLP)*, 1532–1543.
- Piccinini, G. (2004). The first computational theory of mind and brain: A close look at McCulloch and Pitts's "Logical calculus of ideas immanent in nervous activity". *Synthese*, 141(2), 175–215.
- Pratt, J. W. (1964). Risk aversion in the small and in the large. *Econometrica*, 32(1-2), 122–136.
- Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2018). *Improving language understanding by generative pre-training* [Technical Report]. OpenAI. Available at: http://cdn.openai.com/research-covers/language-unsupervised/language_understanding_paper.pdf
- Raeini, M. G. (2025). The evolution of language models: From N-Grams to LLMs, and beyond. *Natural Language Processing Journal*, 12, 100168.
- Ramana, S. V., Reddy, Y. S., Ram, P. P., & Rao, S. S. (2024). Neuro economics and financial decision-making: Bridging the gap with behavioral finance. *Educational Administration: Theory and Practice*, 30(5), 1035–1044.
- Rashid, M., Ahmad, R., & Tariq, S. (2022). Financial revolution: From traditional finance to behavioral and neuro-finance. *South Asian Journal of Social Sciences & Humanities*, 3(4), 95–108.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533–536.
- Selden, G. C. (1912). *Psychology of the stock market*. New York: Ticker Publishing.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
- Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425–442.
- Shefrin, H., & Statman, M. (1994). Behavioral capital asset pricing theory. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 29(3), 323–349.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99–118.
- Smith, V. L., Suchanek, G. L., & Williams, A. W. (1988). Bubbles, crashes, and endogenous expectations in experimental spot asset markets. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1119–1151.
- Srivastava, M., Sharma, G. D., & Srivastava, A. K. (2019). Human brain and financial behavior: A neurofinance perspective. *International Journal of Ethics and Systems*, 35(4), 485–503.
- Stearns, S. C. (2000). Daniel Bernoulli (1738): evolution and economics under risk. *Journal of biosciences*, 25(3), 221–228.
- Sutskever, I., Vinyals, O., & Le, Q. V. (2014). Sequence to sequence learning with neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 27, 3104–3112.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257–285.
- Thaler, R. (1985). Mental accounting and consumer choice. *Marketing Science*, 4(3), 199–214.
- Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Tseng, K. C. (2006). Behavioral finance, bounded rationality, neuro-finance, and traditional finance. *Investment Management and Financial Innovations*, 3(4), 7–18.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1971). Belief in the law of small numbers. *Psychological bulletin*, 76(2), 105.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive Psychology*, 5(2), 207–232.

- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157), 1124–1131.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453–458. <https://doi.org/10.1126/science.7455683>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998–6008.
- von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Xia, F., Chi, E., ... & Zhou, D. (2022). Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models. *Advances in neural information processing systems*, 35, 24824–24837.
- Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—A computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 9(1), 36–45.
- Wichary, S., & Smolen, T. (2016). Neural underpinnings of decision strategy selection: a review and a theoretical model. *Frontiers in neuroscience*, 10, 500.
- Wichary, S., Magnuski, M., Oleksy, T., & Brzezicka, A. (2017). Neural signatures of rational and heuristic choice strategies: A single trial ERP analysis. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 401.