

Fonksiyonel Bilinç Çöküş Teorisi (FBCT)

Functional Consciousness Collapse Theory (FCCT)

Muhammed Yasin Özkaya

Kasım 2025

Abstract

Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Kuramı (FBCT), bilinci metafizik bir varlık olarak değil, durumsal bilgiden türeyen hesaplanabilir bir seçim-dinamiği olarak ele alan bir çerçeve sunar. Kuram, her bilinç anının üç temel bileşenin etkileşimiyle belirlendiğini varsayar: duyusal durum $S_t \in \mathbb{R}^{n_s}$, hafıza yapısı $M_t \in \mathbb{R}^{n_M}$ ve öznenin değer ağırlıklarını temsil eden önem vektörü $W_t \in \Delta^{k-1}$. Bu üçlü tarafından belirlenen bilişsel durum uzayı X , kuramın temel dinamiklerinin gerçekleştiği içsel temsil alanıdır.

FBCT'de bilinç durumu C_t , (S_t, M_t, W_t) üçlüsünün oluşturduğu bir olasılık çekirdeği $\mu_t(\cdot)$ üzerinden üretilen aday durumların bir skor fonksiyonu f ile değerlendirilmesi ve olasılıksal bir seçim mekanizmasıyla çökmesiyle elde edilir. Bu süreç matematiksel olarak $\pi_t(x) \propto \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t))$ şeklindeki bir politika dağılımıyla ifade edilir ve $C_t \sim \pi_t$ olacak biçimde gerçekleşen bir seçim çöküğüyle sonuçlanır. Bilinç düzeyi, ortaya çıkan politikanın arka plan dağılımdan ne ölçüde ayırttığını ölçen $L_t = D_{KL}(\pi_t \| P_t)$ metriğiyle nicelemir; bu nicelik, dikkatin toplanması, odaklanması ve karar belirginliği ile doğrudan ilişkilidir.

Kuram, öznel deneyim (qualia) problemini, $X \times S$ üzerinde tanımlanan bir eşdeğerlik ilişkisi ile formelleştirir. Buna göre iki durum (x_1, S_1) ve (x_2, S_2) öznenin tüm fonksiyonel çıktıları açısından ayırt edilemiyorsa aynı qualia sınıfına aittir. Bu yapı, qualia uzayını $Q = (X \times S) / \sim$ şeklindeki bir bölüm uzayı olarak tanımlar. Deneysel olarak kullanılan tersine mühendislik yaklaşımı olan $\Phi : X \times S \rightarrow \mathbb{R}^m$, bu soyut uzayın bir koordinat sistemini oluşturur; Φ öğrenilebilir bir parametrizasyondur ve qualia eşdeğerlik sınıflarının empirik olarak belirlenmesini sağlar.

FBCT, böylece homunculus problemini ortadan kaldırır, öznel niteliği fonksiyonel eşdeğerlik üzerinden tanımlayan ve özgür iradeyi hafıza ve değer dinamiklerinin güncellenebilirliği çerçevesinde yeniden yorumlayan bütünlükli bir matematiksel model sunar. Kuram, aynı (S, M, W) yapılarına sahip iki sistemin aynı bilinç durumunu üretmesi gerektiğini öne sürer; bu öngörü nörobilimsel ölçümler, klinik gözlemler ve yapay bilinç sistemleri üzerinde sınanabilir niteliktidir.

Sonuç olarak FBCT, bilinci gizemli bir fenomen olmaktan çıkararak, durum uzayları, seçim mekanizmaları ve eşdeğerlik yapıları üzerinden bilimsel olarak incelenebilir, hesaplanabilir ve biçimsel olarak modellenebilir bir olgu hâline getirir.

1 Giriş

1.1 Bilinç Probleminin Bilimsel Konumu

Bilinç, modern bilimin hem en eski hem de en dirençli kavramsal sorunlarından biridir. İnsan beyninin biyofiziksel düzeyde incelenmesi, nöral popülasyonların kolektif dinamiklerini, büyük ölçekli bağlantısallığı ve bilişsel işlevlerin hesaplamalı temellerini giderek daha ayırt edilebilir hâle getirmiştir. Bununla birlikte nesnel fiziksel süreçlerin nasıl olup da öznel bir deneyim alanı - bir bakış açısı, bir "ben" - ürettiği hâlen açık bir problem olarak durmaktadır [1–3]. Dolayısıyla bilinç araştırmaları, biyolojik mekanizmalar ile fenomenolojik içerik arasındaki ilişkinin nasıl tanımlanması gerektiği üzerine temellendirilen uzun süreli bir metodolojik gerilim taşımaktadır.

1.2 Paradigmatik Yaklaşımlar

Mevcut teoriler iki ana paradigma altında toplanabilir.

Fonksiyonalist yaklaşımlar, bilinci beynin bilgi işleme mimarisinin bir sonucu olarak değerlendirilir. Global Workspace Theory [4, 5], Higher-Order Thought Theory [6] ve Attention Schema Theory [7] gibi modeller, öznel farkındalığı rekabet eden temsiller arasında küresel erişim, yüksek-dereceli izleme veya dikkat modellemesi gibi işlevsel mekanizmalar üzerinden açıklar. Bu yaklaşımlar deneysel olarak test edilebilir olmaları bakımından güçlündür; ancak eleştirmenler, bu modellerin fenomenolojik içeriği - deneyimin “nasıl hissettirdiği” yönünü - yetersiz biçimde ele aldığı savunur [8].

Buna karşılık **non-fonksiyonalist yaklaşımlar** bilinci daha temel bir ontolojik kategori olarak kabul eder. Integrated Information Theory (IIT) [9, 10], bilinci Φ ile ölçülen bütünlüşlü bilgi miktarı üzerinden tanımlayarak, hesaplamalı sistemlerden ziyade nedensel yapıya öncelik tanır. Kuantum tabanlı teoriler [11, 12] ise bilincin beyindeki kuantum süreçlerinden kaynaklandığını öne sürer. Bu teoriler fenomenolojiyi merkeze alırken, genellikle biyolojik verilerle sınırlı ilişki kurmaları veya deneysel olarak doğrulanabilir olmamaları nedeniyle eleştirilir.

1.3 Kolay ve Zor Problem Çerçeve

Bu iki yaklaşım arasındaki temel ayırım, Chalmers tarafından tanımlanan *kolay problem* ve *zor problem* ayrimına dayanır [1]. Kolay problem, algı, dikkat, bellek ve karar verme gibi bilişsel işlevlerin mekanizmalarını açıklamayı içerir. Zor problem ise fiziksel süreçlerin neden ve nasıl öznel deneyim ürettiğine ilişkin sorudur. Fonksiyonalist modeller kolay probleme güçlü yanıtlar verirken zor probleme sınırlı yaklaşır; non-fonksiyonalist modeller ise fenomenolojiyi açıklamaya çalışırken hesaplanabilir mekanizmaları geri planda bırakır.

Bu makale, her iki yaklaşımın da paylaştığı merkezi bir açığı vurgular: Mevcut teorilerin çoğu ya bilinci salt fonksiyonel bir süreç olarak ele almaktır ve fenomenolojiyi türevsel görmektedir, ya da fenomenolojiyi temel almakta ve bilişsel mekanizmayı belirsizleştirmektedir. Oysa bilinc, hem hesaplanabilir bir süreç hem de öznel bir deneyim olarak ortaya çıkar. Bu iki düzeyi bağlayan ortak bir matematiksel çerçeve, teorilerin çögünün eksik bıraktığı yapısal bütünlüğü sağlayabilir.

1.4 FBCT'nin Önerdiği Çerçeve

Bu bağlamda Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi (FBCT), bilinci üç temel bileşenin etkileşiminden doğan *olasılıksal bir seçim çöküsü* olarak yeniden tanımlar. Duyusal durum S_t , hafıza yapısı M_t ve önem vektörü W_t tarafından belirlenen bir olasılık çekirdeği μ_t , içsel temsil uzayında aday bilişsel durumlar üretir; bu adaylar çok bileşenli bir değer fonksiyonu aracılığıyla değerlendirilir ve $\pi_t(x) \propto \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t))$ şeklinde tanımlanan bir politika dağılımı üzerinden çöker. Bu çöküş, bilinc anımı oluşturan C_t durumunun seçilmesini sağlar.

FBCT, fenomenolojik içeriği (x, S) çiftleri üzerinde tanımlanan bir eşdeğerlik ilişkisiyle matematiksel olarak yapılandırır. Fonksiyonel olarak ayırt edilemeyen durumların oluşturduğu $Q = (X \times S)/\sim$ uzayı, qualia'nın soyut yapısını belirler. Bu soyut uzayı koordinatlandırılması, tersine mühendislik yoluyla öğrenilebilen $\hat{\Phi} : X \times S \rightarrow \mathbb{R}^m$ haritalamasıyla sağlanır; böylece deneysel ölçümlerin fenomenolojik yapıyla ilişkilendirilmesi formelleşmiş olur.

FBCT, homunculus problemini çöküş mekanizmasını emergent bir süreç olarak tanımlayarak, qualia problemini eşdeğerlik sınıfları üzerinden yeniden ifade ederek ve özgür iradeyi M_t ve W_t 'nin dinamik güncellenebilirliği bağlamında ele alarak felsefenin klasik sorularına fonksiyonel çözümler sunar. Ayrıca teorinin, aynı (S, M, W) yapılarına sahip iki sistemin aynı bilinc durumunu üretmesi gereği yönündeki tahmini, nörogörüntüleme verileri, klinik vakalar ve yapay bilinc modelleri üzerinden doğrudan test edilebilir.

1.5 Makalenin Yapısı

Bu makalenin geri kalanındaki yapı şu şekildedir: Bölüm 2 bilincin tarihsel arka planını ve mevcut teorilerin sistematik analizini sunar. Bölüm 3, FBÇT'nin matematiksel formalizmini tanımlar. Bölüm 5, klasik felsefi problemlere getirilen fonksiyonel çözümleri tartıĢır. Bölüm 6, teorinin test edilebilir öngörülerini ele alır. Bölüm 8, FBÇT'nin diğer teorilerle karşılaşmasını ve sınırlamalarını tartıĢır. Son olarak Bölüm 9, kuramın geniş bilimsel bağlamdaki etkilerini özetler.

2 Arka Plan ve Literatür İncelemesi

Bilinç problemi, modern bilim felsefesinin en eski ve en tartışmalı konularından biridir. Bu bölümde, problemin tarihsel gelişimini, mevcut teorilerin temel yaklaĢımlarını ve her birinin güçlü/zayıf yanlarını sistematik olarak inceleyeceğiz.

2.1 Bilinç Probleminin Tanımı ve Tarihçesi

2.1.1 Kartezyen İkilik ve Zihin-Beden Problemi

Modern bilinç tartışmasının kökleri Descartes'in (1641) *res cogitans* (düşünnen şey) ve *res extensa* (uzamsal şey) ayrimına dayanır. Descartes, zihnin maddi olmayan bir töz olduğunu ve bedenle yalnızca pineal gland aracılıyla etkileştiğini savunmuştur. Bu dualist yaklaşım, "zihin fiziksel dünyanın bir parçası mıdır?" sorusunu merkeze almış ve sonraki yüzyıllarda çeşitli yanıtlar üretilmiştir: materyalizm (zihin beynin bir ürünüdür), idealizm (sadece zihin gerçekdir), ve paralelizm (ikisi birbirinden bağımsızdır).

20. yüzyılda, davranışçılık (behaviorism) bilinci tamamen göz ardı etmiş, sadece gözlemlenebilir davranışlara odaklanmıştır. Ancak 1950'lerden itibaren bilişsel devrim, zihinsel süreçlerin bilimsel araştırmaya konu olabileceğini göstermiştir. Bugün, bilinç nörobilim, bilişsel bilim, yapay zeka ve felsefenin kesiştiği interdisipliner bir alandır.

2.1.2 Kolay Problem ve Zor Problem Ayrımı

Chalmers [1], bilinç araştırmasını iki kategoriye ayırmıştır:

Kolay Problemler.

Bilişsel işlevlerin mekanizmalarının açıklanması yani algı, dikkat, bellek, dil, karar verme gibi süreçler. "Kolay" demek, bu problemlerin basit olduğu anlamına gelmez; prensipte nörobilim ve bilişsel bilim yöntemleriyle çözülebilir oldukları anlamındadır.

Zor Problem.

Neden öznel deneyim var? Fiziksel süreçler nasıl oluyor da "bir şey hissettiriyor"? Örneğin, kırmızı dalga boyunu algılayan nöronlar var ama *kirmızının kırmızı hissi* neden oluşuyor? Bu fenomenolojik boyut, fonksiyonel açıklamalarla kapatılamaz gibi görünüyor.

Chalmers'a göre, hard problem *açıklayıcı uçurum* (explanatory gap) yaratır: Beynin fiziksel durumlarını tam bilsek bile, bunların neden belirli öznel deneyimler ürettiğini açıklayamayız. Bu, eliminativist (fenomenoloji bir yanılısamadır) ya da dualist (bilinç fiziksel değildir) yaklaĢımlara yol açar.

Ancak bazı filozoflar bu ayrımı reddeder. Dennett [3], hard problem'in "gerçek bir problem olmadığını", sadece sezgilerimizden kaynaklanan bir illüzyon olduğunu savunur. Ona göre, bilinç tamamen fonksiyonel açıklamalarla anlaşılabılır; qualia gibi kavramlar bilimsel açıklamada gereksizdir.

2.2 Mevcut Bilinç Teorileri

2.2.1 Global Workspace Theory (GWT)

Temel iddia.

Baars [4] ve Dehaene & Naccache [5] tarafından geliştirilen Global Workspace Theory (GWT), bilinci beynin bir “global yayın mekanizması” olarak tanımlar. Modele göre, beyin paralel çalışan çok sayıda özelleşmiş modülden oluşur (görsel işleme, işitsel işleme, motor kontrol, vb.). Bu modüller bilinçsiz çalışır; ancak belirli bir bilgi parçası “global workspace”e (küresel çalışma alanına) eriştiğinde tüm sistemde yayılır ve bilinçli hale gelir. Matematiksel olarak:

$$C_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer } I_t \in \text{Global Workspace} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (1)$$

Burada I_t , t anındaki bilgi parçasını; C_t ise bilinçli olup olmadığını gösterir.

Nörobiyolojik temel.

GWT, prefrontal ve parietal korteksin geniş ağ bağlantılarına dayanır. Bilinçli algı sırasında frontoparietal ağda yüksek frekans (gamma) senkronizasyonu gözlemlenir [13]; bilinçsiz işlemler ise yerel, kısa süreli aktivasyonlarla sınırlıdır.

Güçlü yanlar.

- Nörogörüntüleme bulgularıyla uyumlu
- Test edilebilir tahminler üretiyor (örn. dikkat, çalışma belleği kapasitesi)
- Bilinçli vs. bilinçsiz işlemlemeyi ayırt edebiliyor
- Yapay sistemlere uygulanabilir

Zayıf yanlar.

- Qualia problemini açıklamıyor: “global yayın” neden öznel deneyim üretiyor?
- “Workspace” metaforunun sınırları belirsiz
- Bilinç için gerek ve yeter koşul mu, yoksa eşlik eden durum mu sorusunu açık bırakıyor
- Fenomenolojik zenginliği (örn. duygusal, estetik deneyim) sınırlı şekilde ele alıyor

2.2.2 Integrated Information Theory (IIT)

Temel iddia.

Tononi [9, 10] tarafından geliştirilen Integrated Information Theory (IIT), bilinci matematiksel bir ölçütle tanımlar: Φ (phi). Φ , sistem parçalarının birbirinden ne kadar fazla bilgi taşıdığı ve bu bilginin ne kadar indirgenemez olduğunu ölçer:

$$\Phi = \min_{S=S_1 \cup S_2} \text{KL}(p(S) \| p(S_1) \times p(S_2)). \quad (2)$$

$\Phi > 0$ ise sistem bilinçlidir; Φ ne kadar büyükse bilinç o kadar “zengin”dir.

Ana çıkarımlar.

- Her $\Phi > 0$ olan sistem bilinçlidir (panpsychism'e yaklaşır).
- Beyinde talamo-kortikal sistem yüksek Φ değerine sahiptir.
- Serebellum düşük Φ değerine sahiptir (çok nöron olmasına rağmen entegrasyon zayıftır).

Güçlü yanlar.

- Matematiksel kesinlik ve fenomenolojiyi önceleme
- Bilinç “derecelerini” nicel olarak modelleme
- Klinik durumlarda (örn. vegetatif durum) test edilebilir öngörüler

Zayıf yanlar.

- Φ hesaplaması NP-hard; büyük sistemler için pratik değil

- Panpsychism'i çağrıştıran çıkarımlar tartışmalı

- Nörobiyolojik mekanizmalarla bağ zayıf ve soyut
- “Entegre bilgi”nin neden öznel deneyim ürettiği açıklanmıyor
- Ampirik testler sınırlı ve dolaylı

2.2.3 Higher-Order Thought (HOT) Theory

Temel iddia.

Rosenthal [6] ve diğerlerine göre bilinç, “yüksek-düzey düşüneler” (higher-order thoughts) gerektirir. Bir zihinsel durumun bilinçli olması için o durum hakkında meta-kognitif bir temsil bulunmalıdır:

$$\text{Bilinli}(M) \iff \exists \text{HOT}(M). \quad (3)$$

Örneğin acı hissi bilinçlidir çünkü “acı hissettiğimin farkındayım” düşüncesi eşlik eder.

Güçlü yanlar.

- Öz-farkındalık ve meta-bilişi açıklama kapasitesi

- Bilinçli/bilinçsiz ayrimını kavramsal olarak netleştirmesi
- Prefrontal hasar gibi nöropsikolojik bulgularla uyum

Zayıf yanlar.

- Sonsuz regresyon riski: HOT'un kendisi bilinçli olmalı mı? (HOT-HOT-HOT...?)

- Bazı bilinç deneyimleri meta-kognitif olmayabilir (örn. ani bir ağrı)
- Qualia'yı açıklamıyor; HOT neden “bir şey hissettiriyor?”

2.2.4 Attention Schema Theory (AST)

Temel iddia.

Graziano [7, 14] bilinçli deneyimin beynin dikkat süreçlerini modellemesinden kaynaklandığını öne sürer. Beyindeki “attention schema”, dikkat kaynaklarının basitleştirilmiş bir modelidir ve bu modelin yan etkisi olarak “öznel deneyim” hissederiz; bilinç algısı esasında bir yanılısamadır.

Analoji.

Beyin, kol hareketleri için bir “body schema” tutar; benzer şekilde dikkat için bir “attention schema” üretir. Bilinç, bu şemanın yanlış atfidır (“burada bir şey var”).

Güçlü yanlar.

- Yapay sistemlere kolayca uygulanabilir

- Nörobiyolojik olarak makul (temporoparietal korteksle ilişkilendirilir)
- Illusion-based yaklaşım sayesinde qualia'yı “ayı bir varlık” olarak varsayılmaz

Zayıf yanlar.

- Eliminativist yönelimi öznel deneyimi “gerçek değil” diye reddeder

- Sezgisel olarak ikna edici değildir; fenomenolojik veriyi degersizleştirir
- Eğer bilinç yanılısama ise, bu yanılısamayı deneyimleyen kim sorusunu yanıtız bırakır

2.2.5 Predictive Processing / Free Energy Principle

Temel iddia.

Friston [15] ve Clark [16], beynin bir “Bayesian tahmin makinesi” olduğunu savunur. Beyin sürekli duyusal girdileri tahmin eder ve tahmin hatasını (free energy) minimize etmeye çalışır:

$$F = -\log p(s|m), \quad (4)$$

burada s duyusal girdi, m ise iç modeldir. Amaç F 'yi minimize etmektir.

Bilinç yorumu.

Yüksek-düzen tahminlerin entegrasyonu bilinçli deneyimi oluşturur. Seth [17] için bilinç “kontrollü halüsinsiyon”dur; dış dünyayı değil, beynin iç modelini deneyimleriz.

Güçlü yanlar.

- Geniş nörobiyolojik destek ve bütüncül çerçeve (algı-eylem-öğrenme)

- Interosepsiyon ile bilinç arasındaki bağı açıklayabilmesi
- Psikedelik deneyimler, dikkat dinamikleri gibi fenomenleri tek modelde açıklama potansiyeli

Zayıf yanlar.

- Aşırı genel; yanlışlanabilirliği tartışmalı

- Bilinç için özel bir mekanizma tanımlamıyor, “yüksek seviye tahmin” ifadesinde kalıyor
- Qualia problemi açık: tahmin hatası neden belirli bir his yaratıyor?

2.2.6 Quantum Consciousness Theories

Temel iddia.

Penrose [11] ve Hameroff [12], bilincin kuantum süreçlerinden kaynaklandığını öne sürer. Özellikle nöronların mikrotübüllerinde “orchestrated objective reduction” (Orch-OR) gerçekleşir ve kuantum dalga fonksiyonu çöküşü bilinçli deneyimi üretir.

Motivasyon.

- Klasik hesaplama Gödel'in eksikslik teoremi nedeniyle bilinci açıklayamaz

- Öznel deneyim kuantum ölçüm problemine benzer
- Mikrotübüller yeterince izole ve soğuk olabilir (iddia edilen şekilde)

Güçlü yanlar.

- Bilinç için “özel” bir fiziksel süreç önermesi

- Qualia problemine radikal, fizik temelli bir çözüm sunma iddiası

Zayıf yanlar.

- Nörobiyolojik destek son derece zayıf; mikrotübüllerde kuantum coherence kanıtlanmadı

- Gödel argümanı tartışmalı ve ikna edici bulunmuyor
- Test edilemez veya mevcut teknolojide doğrulanamaz
- Bilim camiasında geniş kabul görmüyor

2.3 Teorilerin Karşılaştırmalı Analizi

Tablo 1'de mevcut bilinç teorilerinin temel özellikleri karşılaştırılmıştır.

Table 1: Mevcut bilinç teorilerinin karşılaştırılması

Teori	Matematiksel	Test edilebilir	Qualia	Nörobiyoloji
GWT	Orta	Yüksek	Düyük	Yüksek
IIT	Yüksek	Düşük	Orta	Orta
HOT	Düşük	Orta	Düyük	Orta
AST	Orta	Yüksek	Düşük (eliminativist)	Yüksek
Predictive Processing	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
Kuantum	Düşük	Cok Düşük	Yüksek (?)	Cok Düşük
FBÇT (bu çalışma)	Yüksek	Yüksek	Orta-Yüksek	Yüksek

2.4 Literatürdeki Boşluk

Yukarıdaki inceleme, mevcut teorilerin ortak bir eksliğini ortaya koymaktadır: Teoriler ya *fonksiyonel* (GWT, HOT, AST, PP) ya da *fenomenolojik* (IIT, Kuantum) kutuplarda konumlanıyor. Fonksiyonel teoriler test edilebilir ama qualia'yı açıklayamıyor; fenomenolojik teoriler qualia'ya öncelik veriyor ama mekanizma belirsiz ve test edilemez.

İhtiyaç duyulan şey, **hem fonksiyonel hem de fenomenolojik boyutu birleştiren, matematiksel olarak kesin, test edilebilir ve nörobiyolojik olarak makul bir çerçevedir**. Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi (FBCT), bu boşluğu doldurmayı amaçlar.

FBCT'nin temel yeniliği şudur: Bilinci statik bir durum değil, *dinamik bir süreç* - özellikle bir "seçim çöküsü" - olarak tanımlar. Bu yaklaşım, qualia'yı fonksiyonel bileşenlerin (S, M, W) etkileşiminin bir sonucu olarak ele alır, böylece hard problem'i bypass eder. Aynı zamanda, açık matematiksel formalizasyon sayesinde test edilebilir tahminler üretir ve yapay bilinç sistemlerinin tasarımı için somut bir yol haritası sunar.

Sonraki bölümde, FBCT'nin formel yapısını detaylı olarak sunacağız.

3 Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi

Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi (FBCT), bilinci zamana bağlı bir durum uzayı üzerinde işleyen, aday-üretim, çok-bileşenli değerlendirme ve olasılıksal çöküş operatörlerinden oluşan bir seçim dinamiği olarak formelleştirir. Bu bölümde teorinin temel bileşenleri, tam çöküş denklemi, değer fonksiyonu ve ajan seviyesindeki algoritmik tanım matematiksel olarak sunulmaktadır.

3.1 Kanonik Çöküş Fonksiyonu: \mathcal{C}

Bu bölümde, Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi'nde (FBCT) bilinçli durumun belirleyicisi olan \mathcal{C} fonksiyonunun tam, matematiksel olarak kapalı biçimini veriyoruz. Bu fonksiyon, (S_t, M_t, W_t) üçlüsünden türetilen aday bilinç durumları arasındaki rekabeti tanımlar ve "çöküş" olarak adlandırılan seçimi gerçekleştiren çekirdek mekanizmadır.

3.1.1 Aday Uzayının Tanımı

Her anda sistemin erişebildiği potansiyel bilinç durumları bir aday kümesi ile temsil edilir:

$$\mathcal{X}_t = \{x_i \mid x_i \in \mathbb{X}(S_t, M_t)\}. \quad (5)$$

Bu küme, hem duyusal durum S_t tarafından sağlanan anlık bilgileri hem de bellek M_t içindeki temsil uzaylarını kullanarak oluşturular. Dolayısıyla \mathcal{X}_t her bilinç anında dinamik ve bağlama duyarlıdır.

Aday setinden türetilen olası bilinç durumları ise:

$$\mathcal{C}_t = \{c_i = g(x_i, S_t, M_t) \mid x_i \in \mathcal{X}_t\}, \quad (6)$$

şeklinde tanımlanır. Burada g duyusal, bellek ve içsel temsilleri birleştiren deterministik bir haritalamadır.

3.1.2 Değer Fonksiyonu: V_i

Her aday bilinç durumu c_i , üç kaynağı dayanan bir skor ile değerlendirilir:

$$V_i = \alpha_S f_S(c_i, S_t) + \alpha_M f_M(c_i, M_t) + \alpha_W f_W(c_i, W_t), \quad (7)$$

burada:

- f_S : duyusal uyum (sensory alignment),

- f_M : bellek uyumluluğu ve çağrıımsal rezonans,
- f_W : öncelikler ve değer yapısıyla uyumluluk,
- $\alpha_S, \alpha_M, \alpha_W$: bağlama göre değişen ağırlıklandırma katsayılarıdır.

Bu üç fonksiyon, FBCT'nin temel iddiasını yansıtır: bilinçli seçimin doğası gereği hem "şu anda gelen bilgi", hem "geçmişte öğrenilmiş temsil", hem de "değer/yönelim" tarafından ortaklaşa belirlendiği.

3.1.3 Seçim Olasılıkları

Aday durumların rekabeti softmax mekanizması ile modellenir:

$$P(c_i | S_t, M_t, W_t) = \frac{\exp(\beta V_i)}{\sum_j \exp(\beta V_j)}, \quad (8)$$

burada $\beta > 0$ "çöküş sıcaklığı"dır.

- Yüksek β : daha deterministik, keskin seçim.
- Düşük β : daha yumuşak, dağıtık seçim.

Bu form, karar verme davranışındaki bağılamsal değişkenliği doğal olarak açıklayan bir parametre sağlar.

3.1.4 Çöküş Mekanizması: Kanonik Tanım

Bilinç durumu C_t , olasılık dağılımından örnekleme ile belirlenir:

$$C_t = \text{sample}(P(c_i | S_t, M_t, W_t)). \quad (9)$$

Deterministik yaklaşım kullanılmak istenirse:

$$C_t = \underset{c_i \in \mathcal{C}_t}{\text{argmax}} V_i. \quad (10)$$

3.1.5 Kanonik FBCT Çöküş Operatörü

Tüm bileşenleri bir araya getirerek:

$$C_t = \mathcal{C}(S_t, M_t, W_t) = \text{sample}_{c_i \in \mathcal{X}_t} \left[\frac{\exp(\beta [\alpha_S f_S + \alpha_M f_M + \alpha_W f_W])}{\sum_j \exp(\beta [\alpha_S f_S + \alpha_M f_M + \alpha_W f_W]_j)} \right]$$

(11)

Bu ifade, FBCT'nin çekirdek mekanizmasını tek bir kapalı formda özetter. Fonksiyon:

1. duyusal durumdan gelen anlık veriyi (S_t),
2. bellekten gelen temsilleri ve çağrıımları (M_t),
3. değer/öncelik sistemini (W_t),
4. bağlama göre değişen ağırlıkları (α_{\bullet}),
5. seçim keskinliğini belirleyen çöküş sıcaklığını (β)

tek bir rekabet + çöküş süreci içerisinde birleştirir.

3.1.6 Çöküş Operatörünün Zorunluluğu: Neden Bu Form?

Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi’nde (FBÇT) çöküş operatörü

$$C : (S_t, M_t, W_t) \mapsto C_t,$$

basit bir seçim mekanizması değildir; teorinin matematiksel, bilişsel ve nörobiyolojik yapısından zorunlu olarak türetilir. Bu bölümde, çöküş fonksiyonunun neden Boltzmann-softmax biçiminde olması gerektiğini ve alternatif seçim operatörlerinin neden FBÇT ile uyumsuz sonuçlar verdiği gösteriyoruz.

(1) Tekillik ilkesi: Bilinç tek bir içeriğe projekte olmak zorundadır. Fenomenolojik olarak bilinç, aynı anda tek bir içeriği küresel erişime açar. Bu “global availability” ilkesi [18, 19], matematiksel olarak bir projeksiyon operatörünü gerektirir:

$$C : \mathcal{P}(\mathcal{X}) \rightarrow \mathcal{X}.$$

Dolayısıyla jeneratif uzayda K tane olası aday olsa bile, bilinç seviyesi tek bir temsile indirgenmek zorundadır.

Değerleme fonksiyonunun zorunluluğu. Her bilinç admında aday durumları karşılaştırmak için sürekli, türevlenebilir, monoton bir değer fonksiyonuna ihtiyaç vardır:

$$f : X \times S \times M \times W \rightarrow \mathbb{R}.$$

Bu fonksiyon, duyusal uygunluk (f_S), bellek uyumluluğu (f_M) ve motivasyonel değer (f_W) bileşenlerinin ortak bir ölçüye aktarılmasını sağlar. Öğrenme dinamiklerinin (Eş. 74–77) türevlenebilirlik gereksinimi, f ’nin en az C^1 olmasını zorunlu kılar.

Deterministik argmax’ın yetersizliği. $C_t = \arg \max f(x)$ biçimindeki deterministik bir seçim:

(i) aynı değere sahip adaylar arasında simetriyi kıramaz, (ii) duyusal gürültü altında gözlenen mikro-zamansal fluktuasyonları açıklayamaz, (iii) öğrenme sinyallerini boğarak geri beslemeyi devre dışı bırakır.

Dolayısıyla bilinç anı deterministik olamaz; seçim *değer-duyarlı fakat stokastik* olmalıdır.

Yönlendirilmiş rastlantısallık: Eksponansiyel familyanın zorunluluğu. Seçim mekanizmasının şu üç özelliği aynı anda sağlaması gereklidir:

1. **Değer duyarlılığı:** $f(x)$ arttıkça seçilme olasılığı artmalıdır.
2. **Öğrenilebilirlik:** Türevlenebilir olmalı, ∇f üzerinden güncellenebilir olmalıdır.
3. **Normalizasyon:** Olasılıkların toplamı 1 olmalıdır.

Bu üç koşulu aynı anda sağlayan *tek* dağılım ailesi, maksimum entropi prensibine göre eksponansiyel formdur:

$$\pi_t(x) \propto \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t)).$$

Bu sonuç, Luce choice rule, Gibbs measure ve Boltzmann dağılımı arasındaki eşdeğerlikten türetilir.

Sıcaklık parametresi β_t 'nin zorunluluğu. β_t , belirsizlik düzeyini ve seçim keskinliğini kontrol eden bilişsel bir “gain” parametresidir:

$$\beta_t \rightarrow 0 : \text{keşif (yüksek entropi)}, \quad \beta_t \rightarrow \infty : \text{keskin, neredeyse deterministik seçim}.$$

Bu yapı, noradrenerjik ve dopaminerjik sistemlerin davranışsal kararlardaki rolüyle [20, 21] nörobiyolojik olarak doğrulanmaktadır.

Alternatif çöküş mekanizmalarının elenmesi. Aşağıdaki operasyonel formlar FBCT ile uyumsuzdur:

- **Lineer seçim:** $\pi \propto f$ ölçek değişmezliği ve normalizasyon sorunları doğurur.
- **Winner-take-all (WTA):** Türevlenebilir değildir; C öğrenmeyi durdurur ve $\Delta M_t - \Delta W_t$ güncellemeleri çalışmaz hale gelir.
- **Tam rastgele seçim:** Değerleme tamamen ihmal edilir; bilinç deneyimi ile davranış arasında gözlenen korelasyon açıklanamaz.
- **Deterministik argmax:** Mikro-varyasyonlar kaybolur, soft attention mekanizmaları modelden çıkmış olur.

Bu nedenle üç temel koşulu (değer duyarlılığı, türevlenebilirlik, normalizasyon) sağlayan *tek* çöküş mekanizması Boltzmann-softmax'tır.

FBCT içindeki çöküşün işlevsel rolü. Çöküş yalnızca o anki bilinç içeriğini üretmez; aynı zamanda gelecekteki güncellemelerin kaynağıdır:

$$(M_{t+1}, W_{t+1}) = F(M_t, W_t, S_t, C_t).$$

Bu geri-besleme döngüsü sayesinde:

- her seçim bellek izleri bırakır (path dependence),
- öncelikler yeniden şekillenir,
- uzun ölçekli kimlik ve kişilik sürekliliği ortaya çıkar,
- α ağırlıkları bağlamsal olarak yeniden düzenlenir.

Sonuç: Boltzmann-softmax formu matematiksel bir zorunluluktur. FBCT'nin yapısal ilkeleri, (i) tekilik, (ii) değer-duyarlı stokastik seçim, (iii) enerji tabanlı tutarlılık, (iv) öğrenilebilirlik, (v) nörobiyolojik uyumluluk

koşullarını aynı anda sağlar. Bu koşulları aynı çerçevede karşılayan *tek* form:

$$C_t = \text{sample} \left[\frac{\exp(\beta_t f(x))}{\sum_j \exp(\beta_t f(x_j))} \right]$$

şeklindeki Boltzmann-softmax operatörüdür.

Dolayısıyla çöküş fonksiyonu, FBCT'de keyfi bir seçim değil, teorinin yapısından zorunlu olarak türetilen tek matematiksel formdur.

Çöküş operatörünün ölçü-teorik ve sürekli uzaylara genişletilmiş formu Ek A'da verilmiştir.

3.2 Bellek ve Öncelik Sistemlerinin İç Yapısı

FBCT'nin temel bileşenleri olan bellek yapısı M_t ve öncelik sistemi W_t , tekil skalar değerler değil, zengin iç yapıya sahip çok-bileşenli sistemlerdir. Bu bölümde her iki yapının matematiksel organizasyonu, alt-bileşenleri ve değer fonksiyonuna entegrasyonu detaylandırılmaktadır.

3.2.1 Bellek Yapısı: M_t

Bellek, dört etkileşimli alt-sistem olarak modellenir:

$$M_t = (M_t^{\text{sem}}, M_t^{\text{epi}}, M_t^{\text{assoc}}, M_t^{\text{aff}}), \quad (12)$$

burada her bileşen farklı bir bellek türünü temsil eder.

(a) Semantik Bellek: M_t^{sem} Uzun süreli, soyut bilgi yapılarını içerir. Graf-temelli bir manifold olarak modellenir:

$$M_t^{\text{sem}} = (\mathcal{C}_t, E_t^{\text{sem}}, \mathbf{h}^{\text{sem}}), \quad (13)$$

burada:

- \mathcal{C}_t : kavram düğümleri kümesi (örn. "ev", "anne", "tehlike"),
- $E_t^{\text{sem}} \subseteq \mathcal{C}_t \times \mathcal{C}_t$: semantik ilişkiler (örn. "köpek"–"hayvan" hiyerarşisi),
- $\mathbf{h}^{\text{sem}} : \mathcal{C}_t \rightarrow \mathbb{R}^{d_{\text{sem}}}$: kavram embedding fonksiyonu.

Bir aday durum x 'in semantik bellekle uyumu:

$$s^{\text{sem}}(x, M_t^{\text{sem}}) = \max_{c \in \mathcal{C}_t} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{h}_x - \mathbf{h}^{\text{sem}}(c)\|^2}{\sigma_{\text{sem}}^2}\right), \quad (14)$$

burada $\mathbf{h}_x \in \mathbb{R}^{d_{\text{sem}}}$ aday durumun semantik temsilidir.

Nörobiyolojik karşılık: Temporal korteks, inferior frontal gyrus.

(b) Episodik Bellek: M_t^{epi} Kişisel, zaman damgali deneyimlerin kaydıdır:

$$M_t^{\text{epi}} = \{(S_\tau, C_\tau, \tau) \mid \tau \in [t - T_{\text{memory}}, t]\}, \quad (15)$$

burada T_{memory} episodik bellek penceresinin uzunluğuudur.

Bir aday durumun episodik bellekle uyumu, geçmiş deneyimlere olan benzerlik üzerinden hesaplanır:

$$s^{\text{epi}}(x, S_t, M_t^{\text{epi}}) = \sum_{\tau \in M_t^{\text{epi}}} \underbrace{\exp(-\lambda_{\text{time}}(t - \tau))}_{\text{zaman çürümesi}} \cdot \underbrace{\exp\left(-\frac{\|(x, S_t) - (C_\tau, S_\tau)\|^2}{\sigma_{\text{epi}}^2}\right)}_{\text{benzerlik}}, \quad (16)$$

burada $\lambda_{\text{time}} > 0$ zaman çürüme hızıdır (yakın geçmiş daha etkili).

Nörobiyolojik karşılık: Hipokampus.

(c) Çağrışımsal Ağ: M_t^{assoc} Kavamlar arası ilişkilendirmeleri kodlar. Sparse bir ağırlık matrisi ile temsil edilir:

$$M_t^{\text{assoc}} = A_t, \quad A_{ij} \in [0, 1], \quad (17)$$

burada A_{ij} , kavram i ile kavram j arasındaki çağrışım gücüdür.

Sparse yapı: Pratikte A_t yalnızca aktif bağlantılar için değer taşır:

$$A_{ij} \neq 0 \iff (i, j) \in E_t^{\text{assoc}}, \quad (18)$$

bu sayede n kavram için $\mathcal{O}(n^2)$ yerine $\mathcal{O}(|E_t^{\text{assoc}}|)$ bellek kullanılır.

Çağrışımsal aktivasyon:

$$s^{\text{assoc}}(x, M_t^{\text{assoc}}) = \sum_{i, j \in \text{active}(x)} A_{ij}, \quad (19)$$

burada $\text{active}(x)$, aday durum x tarafından aktive edilen kavram indeksleridir.

Nörobiyolojik karşılık: Prefrontal–temporal bağlantılar, default mode network.

(d) **Duygusal Bellek:** M_t^{aff} Her kavramın duygusal yükünü kodlar:

$$M_t^{\text{aff}} = \{(c, v_c, a_c) \mid c \in \mathcal{C}_t\}, \quad (20)$$

burada:

- $v_c \in [-1, +1]$: valans (pozitif/negatif his),
- $a_c \in [0, 1]$: arousal (uyarılmışlık).

Duygusal skor:

$$s^{\text{aff}}(x, M_t^{\text{aff}}) = \sum_{c \in \text{active}(x)} (\omega_v v_c + \omega_a a_c), \quad (21)$$

burada ω_v, ω_a ağırlık parametreleridir.

Nörobiyolojik karşılık: Amygdala, orbitofrontal cortex.

Bellek Bileşenlerinin Entegrasyonu. Dört bellek skoru, ağırlıklı toplam ile birleştirilir:

$$s_M(x, S_t, M_t) = \beta_{\text{sem}} s^{\text{sem}} + \beta_{\text{epi}} s^{\text{epi}} + \beta_{\text{assoc}} s^{\text{assoc}} + \beta_{\text{aff}} s^{\text{aff}}, \quad (22)$$

burada $\beta_{\text{sem}}, \beta_{\text{epi}}, \beta_{\text{assoc}}, \beta_{\text{aff}} \geq 0$ her bellek türünün göreceli önemini belirler.

Bu toplam skor, değer fonksiyonuna şu şekilde dahil edilir:

$$U_j^{\text{modulated}}(x, S_t, M_t) = U_j^{\text{base}}(x, S_t) \cdot (1 + \alpha_j s_M(x, S_t, M_t)), \quad (23)$$

burada U_j^{base} temel değer bileşeni (3.4) ve $\alpha_j \geq 0$ modülasyon katsayısıdır.

3.2.2 Öncelik Sistemi: W_t

Öncelik sistemi, farklı değer bileşenlerine verilen göreceli önemleri kodlar:

$$W_t = (W_t^{\text{homeo}}, W_t^{\text{reward}}, W_t^{\text{threat}}, W_t^{\text{goal}}, W_t^{\text{social}}) \in \Delta^{k-1}, \quad (24)$$

burada Δ^{k-1} simplex'tir ($\sum_i W_t^{(i)} = 1$).

(a) **Homeostatik Öncelikler:** W_t^{homeo} Temel fizyolojik gereksinimlerin (açlık, susuzluk, uyku, ağrı) öncelğini belirler:

$$W_t^{\text{homeo}} = \phi_{\text{homeo}}(H_t), \quad (25)$$

burada H_t interoceptive durum vektörüdür (kalp atışı, kan şekeri, uyku borcu, vb.) ve ϕ_{homeo} bu durumu öncelik değerine çeviren bir fonksiyondur.

Tipik form:

$$W_t^{\text{homeo}} = \sigma(\mathbf{w}_{\text{homeo}}^\top H_t), \quad (26)$$

burada $\mathbf{w}_{\text{homeo}}$ öğrenilebilir ağırlıklar ve σ sigmoid fonksiyonudur.

Nörobiyolojik karşılık: Hipotalamus, insula.

(b) **Ödül Öncelikleri:** W_t^{reward} Dopaminerjik ödül sisteminin temsilcidir:

$$W_t^{\text{reward}} \in [0, 1]^{k_r}, \quad (27)$$

burada k_r farklı ödül kategorilerinin sayısıdır (örn. yiyecek, sosyal onay, parasal kazanç).

Bu bileşen, deneyim yoluyla öğrenilir (aşağıda detaylandırılacak).

Nörobiyolojik karşılık: Ventral tegmental area (VTA), nucleus accumbens, ventral striatum.

(c) **Tehdit Öncelikleri:** W_t^{threat} Tehlike algısı ve savunma davranışlarının önceliğini kodlar:

$$W_t^{\text{threat}} \in [0, 1]^{k_t}, \quad (28)$$

Yüksek W_t^{threat} , kaçınma ve savunma davranışlarının ağır basmasına yol açar.

Nörobiyolojik karşılık: Amygdala, periaqueductal gray.

(d) **Hedef Öncelikleri:** W_t^{goal} Uzun vadeli görevler ve planlar için öncelik:

$$W_t^{\text{goal}} \in [0, 1]^{k_g}, \quad (29)$$

Bu bileşen, meta-bilişsel kontrol ve yönetici işlevlerle ilişkilidir.

Nörobiyolojik karşılık: Dorsolateral prefrontal cortex.

(e) **Sosyal Öncelikler:** W_t^{social} Sosyal ipuçları ve normların önemi:

$$W_t^{\text{social}} \in [0, 1]^{k_s}, \quad (30)$$

Nörobiyolojik karşılık: Temporoparietal junction, medial prefrontal cortex.

Öncelik Sisteminin Değer Fonksiyonuna Entegrasyonu. 3.4'te tanımlanan değer fonksiyonu $U(x, S_t, M_t) \in \mathbb{R}^k$, bu önceliklerle şu şekilde ağırlıklandırılır:

$$f(x, S_t, M_t, W_t) = \langle W_t, U^{\text{modulated}}(x, S_t, M_t) \rangle = \sum_{j=1}^k W_t^{(j)} U_j^{\text{modulated}}(x, S_t, M_t), \quad (31)$$

burada $U_j^{\text{modulated}}$ (23) ile tanımlanan bellek-modüle edilmiş değer bileşenidir.

3.2.3 Güncellemeye Dinamikleri

Her çöküş C_t sonrasında, bellek ve öncelik sistemleri güncellenir:

$$(M_{t+1}, W_{t+1}) = \mathcal{F}(M_t, W_t, S_t, C_t, R_t), \quad (32)$$

burada R_t içsel veya dışsal ödül/ceza sinyalidir.

Bellek Bileşenlerinin Güncellemesi. **Semantik bellek:** Embedding'ler yavaş öğrenme ile güncellenir:

$$\mathbf{h}_{t+1}^{\text{sem}}(c) = \mathbf{h}_t^{\text{sem}}(c) + \eta_{\text{sem}} \nabla_h \mathcal{L}_{\text{context}}(c, C_t, S_t), \quad (33)$$

burada $\mathcal{L}_{\text{context}}$ bağlamsal uygunluk kaybı (örn. contrastive learning) ve $\eta_{\text{sem}} \ll 1$.

Episodik bellek: Yeni deneyim eklenir:

$$M_{t+1}^{\text{epi}} = M_t^{\text{epi}} \cup \{(S_t, C_t, t)\}. \quad (34)$$

Bellek kapasitesi aşıldığında, en eski veya en az erişilen kayıtlar silinir (örn. FIFO veya relevance-based pruning).

Çağrışimsal ağ: Hebbian-benzeri güncelleme:

$$\Delta A_{ij} = \eta_{\text{assoc}} a_i(C_t) a_j(C_t) - \gamma_{\text{assoc}} A_{ij}, \quad (35)$$

burada $a_i(C_t)$ kavram i 'nin C_t 'deki aktivasyon düzeyi, γ_{assoc} unutma oranıdır.

Duygusal bellek: Valans ve arousal etiketleri yumuşak güncelleme ile:

$$v_{c,t+1} = (1 - \eta_v) v_{c,t} + \eta_v \phi_{\text{val}}(C_t, S_t), \quad (36)$$

$$a_{c,t+1} = (1 - \eta_a) a_{c,t} + \eta_a \phi_{\text{ar}}(C_t, S_t), \quad (37)$$

burada ϕ_{val} ve ϕ_{ar} , 3.11.1'te tanımlanan valans ve arousal fonksiyonlarıdır.

Böylece $s_M(x, S_t, M_t)$, bellek içeriğini doğrudan değer fonksiyonuna (23) üzerinden aktarır; bu modüle edilmiş değerler, çöküş mekanizması \mathcal{C} içinde kullanılan skor fonksiyonuna (3.5) ile beslenir.

Öncelik Bileşenlerinin Güncellemesi. **Homeostatik öncelikler:** Beden durumu değişimine göre otomatik güncellenir:

$$W_{t+1}^{\text{homeo}} = \phi_{\text{homeo}}(H_{t+1}). \quad (38)$$

Ödül öncelikleri: Temporal difference (TD) learning ile:

$$W_{t+1}^{\text{reward}} = W_t^{\text{reward}} + \alpha_r \delta_t \nabla_W f(C_t, S_t, M_t, W_t), \quad (39)$$

burada $\delta_t = R_t + \gamma V(S_{t+1}) - V(S_t)$ TD hatasıdır.

Tehdit öncelikleri: Tehdit deneyimleriyle hassaslaşır:

$$W_{t+1}^{\text{threat}} = W_t^{\text{threat}} + \alpha_t \mathbb{I}_{\text{threat}}(S_t, C_t, R_t), \quad (40)$$

burada $\mathbb{I}_{\text{threat}}$ tehdit sinyali göstergesidir ($R_t < 0$ ve tehdit içeriği varsa 1).

Hedef öncelikleri: Meta-öğrenme veya görev başarısına göre:

$$W_{t+1}^{\text{goal}} = W_t^{\text{goal}} + \alpha_g \nabla_W J_{\text{task}}(C_t, S_t), \quad (41)$$

burada J_{task} görev başarım fonksiyonudur.

Sosyal öncelikler: Sosyal geri bildirime göre:

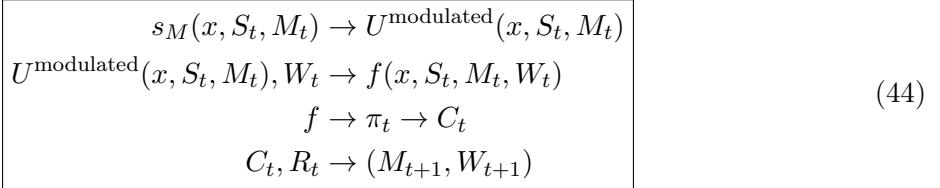
$$W_{t+1}^{\text{social}} = W_t^{\text{social}} + \alpha_s F_{\text{social}}(S_t, C_t, R_t), \quad (42)$$

burada F_{social} sosyal onay/ret sinyalini işleyen fonksiyonudur.

Simplex kısıtı: Her güncellemeden sonra, öncelikler normalize edilir:

$$W_{t+1} \leftarrow \frac{W_{t+1}}{\sum_j W_{t+1}^{(j)}}. \quad (43)$$

Özetle,



3.2.4 Nörobiyolojik Eşlemeler: Özeti Tablo

Table 2: Bellek ve öncelik bileşenlerinin nörobiyolojik karşılıkları

Bileşen	FBCT Notasyonu	Nöral Substrat
<i>Bellek Sistemi (M_t)</i>		
Semantik	M_t^{sem}	Temporal korteks, IFG
Episodik	M_t^{epi}	Hipokampus, MTL
Çağrışimsal	M_t^{assoc}	PFC-temporal bağlantılar, DMN
Duygusal	M_t^{aff}	Amygdala, OFC
<i>Öncelik Sistemi (W_t)</i>		
Homeostatik	W_t^{homeo}	Hipotalamus, insula
Ödül	W_t^{reward}	VTA, NAcc, ventral striatum
Tehdit	W_t^{threat}	Amygdala, PAG
Hedef	W_t^{goal}	dlPFC
Sosyal	W_t^{social}	TPJ, mPFC

Kısaltmalar: IFG = inferior frontal gyrus, MTL = medial temporal lobe, PFC = prefrontal cortex, DMN = default mode network, OFC = orbitofrontal cortex, VTA = ventral tegmental area, NAcc = nucleus accumbens, PAG = periaqueductal gray, dlPFC = dorsolateral PFC, TPJ = temporoparietal junction, mPFC = medial PFC.

3.2.5 Sonuç

Bu detaylı yapılandırma, FBCT'nin M ve W bileşenlerinin:

1. **Zengin iç yapıya** sahip olduğunu (her biri birden fazla alt-sistem),
2. **Nörobiyolojik olarak haklı eşlemeler taşıdığını,**
3. **Değer fonksiyonuna açıkça entegre edildiğini** ((23), (3.5)),
4. **Deneyimle öğrenilebilir ve güncellenebilir** dinamiklere sahip olduğunu

göstermektedir. Bu yapı, teorinin hem nörobiliml açıdan gerçekçi hem de hesaplamalı olarak uygulanabilir olmasını sağlar.

3.3 Durum Uzayları ve Temel Değişkenler

FBCT, her ayrık zaman adımında $t \in \mathbb{Z}$, sistemin bilişsel durumunu dört ana vektörle temsil eder: duyusal durum S_t , bellek/yorumlama durumu M_t , öncelik/ağırlık vektörü W_t ve iç temsil durumu X_t .

Duyusal durum.

$$S_t \in \mathbb{R}^{n_S}. \quad (45)$$

S_t , o anda işlenmiş tüm duyusal girdilerin (basit özelliklerden yüksek seviye algısal temsillere kadar) birleşik temsilidir. Pratikte S_t , farklı modaliteler için ayrışmış alt-uzaylardan oluşabilir:

$$S_t = (s_t^{\text{vis}}, s_t^{\text{aud}}, s_t^{\text{som}}, s_t^{\text{int}}, \dots), \quad (46)$$

burada her bileşen ilgili modalitenin işlenmiş çıktısını temsil eder.

Bellek/yorumlama durumu.

$$M_t \in \mathbb{R}^{n_M}. \quad (47)$$

M_t , episodik ve semantik bellek, öğrenilmiş şemalar ve duygusal etiketler dahil olmak üzere geçmiş deneyimden türetilen yapısal bilgiyi temsil eder. Kavramsal olarak

$$M_t = (M_t^e, M_t^s, M_t^a) \quad (48)$$

şeklinde (episodik, semantik, affektif) alt bileşenlere ayrılabilir; ancak teorik çekirdekte tek bir durum vektörü olarak ele alınır.

Öncelik/ağırlık vektörü.

$$W_t \in \Delta^{k-1}, \quad (49)$$

burada

$$\Delta^{k-1} = \left\{ w \in \mathbb{R}^k \mid w_i \geq 0, \sum_{i=1}^k w_i = 1 \right\} \quad (50)$$

k boyutlu olasılık simpleksidir. W_t , sistemin farklı değer bileşenlerine (ör. *güvenlik, ödül, sosyal değer, epistemik değer, benlik tutarlılığı*) verdiği bağıl öncelikleri kodlar ve hem nispeten sabit (doğustan, kültürel) hem de öğrenilmiş bileşenler içerir:

$$W_t = W^{\text{innate}} + W_t^{\text{learned}}. \quad (51)$$

İç temsil durumu.

$$X_t \in \mathbb{R}^{n_X}, \quad (52)$$

X_t , sistemin o anda erişilebilir iç temsil uzayını ifade eder. Kavramsal olarak iki alt bileşene ayrılr:

$$X_t = (x_t^{\text{world}}, x_t^{\text{self}}), \quad x_t^{\text{world}} \in \mathbb{R}^{d_w}, \quad x_t^{\text{self}} \in \mathbb{R}^{d_s}, \quad (53)$$

burada x_t^{world} dış dünyaya ilişkin temsilleri, x_t^{self} ise sistemin kendi durumuna ilişkin temsilleri içermektedir.

Fonksiyonel durum uzayı. Tüm bileşenler birlikte bir fonksiyonel durum uzayı tanımlar:

$$\Omega = \mathcal{S} \times \mathcal{M} \times \mathcal{W} \subseteq \mathbb{R}^{n_S} \times \mathbb{R}^{n_M} \times \Delta^{k-1}, \quad (54)$$

ve bilinç dinamiği, Ω üzerinde tanımlı bir işlem ailesi olarak modellenir. İç temsil X_t , çöküş işleminin çıktısı olarak ele alınır; dolayısıyla Ω ile X arasındaki köprü, çöküş mekanizmasıdır.

Enerji-bazlı yorum. Değer fonksiyonu bir enerji fonksiyonunun negatif olarak yorumlanabilir:

$$E(x) = -f(x, S_t, M_t, W_t), \quad (55)$$

ve politika dağılımı Boltzmann dağılımı formunu alır:

$$\pi_t(x) \propto \exp(-\beta_t E(x)). \quad (56)$$

Yüksek β_t limitinde ($\beta_t \rightarrow \infty$), çöküş deterministik enerji minimizasyonuna yakınsar:

$$C_t \approx \arg \min_x E(x). \quad (57)$$

Bu yorum, FBCT'yi statistical mechanics, free-energy principle ve enerji-tabanlı modeller (örn. Hopfield networks, restricted Boltzmann machines) ile ilişkilendirir.

3.4 Aday Üretimi ve Değer Fonksiyonu

FBCT'de bilinçli durum, tek adımlı deterministik bir fonksiyon uygulamasının sonucu değil, bir *adınım üretim süreci* ve bu adalar üzerinde tanımlı bir *çok bileşenli değer fonksiyonu* üzerinden hesaplanan *olasılıksal çöküş* işlemiyle belirlenir.

3.4.1 Jeneratif Aday Üretici: G

FBCT'de çöküş operatörü C_t tek başına çalışmaz; her zaman adımında önce, iç temsil uzayı X üzerinde olası bilişsel durumları içeren bir aday kümesi X_t üretir. Bu küme, duyusal durum S_t , bellek durumu M_t ve öncelik vektörü W_t tarafından koşullanan bir jeneratif çekirdek ile tanımlanır. Bu alt bölümde G operatörünün matematiksel formunu, hesaplamalı gerçeklenişini ve nörobiyolojik karşılıklarını sistematik biçimde veriyoruz.

3.4.2 Jeneratif çekirdeğin tanımı

Her zaman adımı için, (S_t, M_t, W_t) üçlüsüne koşullu bir olasılık çekirdeği tanımlarız:

$$\mu_t(dx) = G(S_t, M_t, W_t)(dx), \quad x \in X.$$

Operasyonel olarak G , iç temsil uzayı üzerinde K adet adınım üretken bir süreçtir:

$$x_t^{(k)} \sim \mu_t(dx) \quad (k = 1, \dots, K), \quad X_t = \{x_t^{(1)}, \dots, x_t^{(K)}\}.$$

Dolayısıyla G , bilinç çöküşünün gerçekleşeceği aday uzayı X_t 'yi tanımlar; C_t ise bu uzay üzerinde seçim yapan operatördür (bkz. Bölüm 3.7).

3.4.3 Enerji-tabanlı birleşik form

G operatörünün, teorinin geri kalıyla uyumlu olması için hem *öğrenilebilir* (gradyanları tanımlı), hem de *değer duyarlı* olması gereklidir. Bu nedenle G , koşullu enerji-tabanlı bir model olarak tanımlanır:

$$p(x | S_t, M_t, W_t) = \frac{1}{Z_t} \exp(-E(x; S_t, M_t) + V(x; W_t)),$$

burada Z_t normalizasyon sabitidir:

$$Z_t = \int_X \exp(-E(x; S_t, M_t) + V(x; W_t)) dx.$$

Buradaki E terimi duyusal ve bellek uygunluğunu, V terimi ise değer/öncelik yönelimini temsil eder.

3.4.4 Enerji bileşenleri ve değer potansiyeli

Duyusal enerji terimi. Duyusal durum S_t , işlenmiş duyusal temsilleri iç temsil uzayına projeksiyon yapan bir kodlayıcı ile modellenir:

$$\phi_S : S \rightarrow X.$$

Duyusal uygunluk, x 'in bu projeksiyona yakınlığı ile ölçülür:

$$E_S(x; S_t) = \frac{1}{2\sigma_S^2} \|x - \phi_S(S_t)\|^2.$$

Bellek enerji terimi. Bellek durumu M_t , Bölüm 3.2'de tanımlanan episodik ve semantik alt sistemleri içerir. Bu yapının jeneratif düzeydeki etkisini, M_t 'den örneklenen temsillerin ortalama enerjisi ile ifade ederiz. Bellek kodlayıcı

$$\phi_M : \mathcal{M} \rightarrow X$$

ile

$$E_M(x; M_t) = \mathbb{E}_{m \sim M_t} \left[\frac{1}{2\sigma_M^2} \|x - \phi_M(m)\|^2 \right].$$

Pratikte bu beklenti, M_t 'deki son deneyimlerin sonlu bir örneklemi üzerinden yaklaşık olarak hesaplanır.

Toplam enerji. Duyusal ve bellek katkıları birleştirilerek toplam enerji elde edilir:

$$E(x; S_t, M_t) = E_S(x; S_t) + \lambda_M E_M(x; M_t),$$

burada $\lambda_M \geq 0$ bellek katkısının görelî ağırlığını belirler.

Değer potansiyeli. Öncelik vektörü $W_t \in \Delta_{k-1}$, hangi aday temsillerin işlevsel olarak daha avantajlı olduğunu kodlar. Aday durumun değer-duyarlı özelliklerini çıkarıran bir fonksiyon

$$\psi : X \rightarrow \mathbb{R}^k$$

ile değer potansiyelini

$$V(x; W_t) = \lambda_W W_t^\top \psi(x),$$

şeklinde tanımlarız; burada $\lambda_W \geq 0$, değer etkisinin gücünü belirler.

Bu bileşenler birleştirildiğinde G tarafından tanımlanan koşullu dağılımin nihai biçim:

$$p(x | S_t, M_t, W_t) = \frac{1}{Z_t} \exp \left(-\frac{\|x - \phi_S(S_t)\|^2}{2\sigma_S^2} - \lambda_M \mathbb{E}_{m \sim M_t} \frac{\|x - \phi_M(m)\|^2}{2\sigma_M^2} + \lambda_W W_t^\top \psi(x) \right).$$

3.4.5 Somut örnek

Jeneratif sürecin işleyişini somutlaştırmak için şu senaryoyu ele alalım: Bir kişi, gece karanlığında evin bahçesinde belirsiz bir hareket algılıyor.

Durum:

- S_t : Düşük çözünürlüklü, gölgeler bir hareket (belirsiz görsel giriş),
- M_t : Geçmiş deneyimler (“kediniz bahçede dolasır”, “komşu geç saatte gelir”, “mahallede hırsızlık olmuştu”),
- W_t : Yüksek tehdit önceliği (gece, yalnızlık, genel güvensizlik).

Jeneratif süreç:

- (i) **Duyusal enerji** E_S , kabaca “hareket eden bir nesne” şeklinde bir temsil $\phi_S(S_t)$ üretir; ayrıntı düşüktür, sadece siluet bilgisi taşıır.
- (ii) **Bellek enerjisi** E_M , M_t 'deki benzer durumları çağırır:

$$\begin{aligned} m_1 &: \text{“geçen sene bahçede kedimiz vardı”}, \\ m_2 &: \text{“komşu bazen geç saatte gelir”}, \\ m_3 &: \text{“mahallede kısa süre önce hırsızlık yaşanmıştı”}. \end{aligned}$$

Bu kayıtlardan $\phi_M(m_i)$ temsilleri çıkarılır ve olası aday x ile olan uzaklıklarını toplam enerjiye katkı verir.

- (iii) **Değer potansiyeli** V , W_t 'deki tehdit bileşeninin yüksek olması nedeniyle, tehdit içeren yorumlar ($x_{\text{hırsız}}$) için daha yüksek potansiyel üretir:

$$V(x_{\text{hırsız}}; W_t) > V(x_{\text{kedi}}; W_t).$$

Adayların oluşumu. Bu kombinasyon sonucunda G operatörü, yaklaşık olarak şu tür adaylar üretebilir:

$$\begin{aligned} X_t = \{x^{(1)} &: \text{“hırsız”} \quad (\text{yüksek } V, \text{ orta } E_M), \\ x^{(2)} &: \text{“komşu”} \quad (\text{orta } V, \text{ düşük } E_M), \\ x^{(3)} &: \text{“kedi”} \quad (\text{daha düşük } V, \text{ düşük } E_M), \\ x^{(4)} &: \text{“belirsiz gölge”} \quad (\text{çok düşük } V, \text{ düşük } E_S)\}. \end{aligned}$$

Sonraki adımda çöküş operatörü C_t (Bölüm 3.7), bu adaylar arasından değer fonksiyonu f ve sıcaklık parametresi β_t 'ye bağlı olarak seçim yapar. Yüksek tehdit durumunda (yüksek etkinlik gösteren ilgili bileşenler), “hırsız” yorumuna karşılık gelen durumun seçilme olasılığı artar; tehdit bileşeni daha düşük bir bağlamda ise “kedi” veya “komşu” gibi benign yorumlar ön plana çıkar. Böylece G , duyusal belirsizlik, bellek bağlamı ve motivasyonel durum arasındaki etkileşimi açık biçimde modellemiştir.

3.4.6 Parametre belirleme

Jeneratif sürecin parametreleri

$$\theta_G = \{\sigma_S, \sigma_M, \lambda_M, \lambda_W\}$$

iki ana yaklaşımla belirlenebilir:

Yaklaşım 1: Sabit hiperparametreler. Parametreler sabit hiperparametreler olarak seçilir ve elle ayarlama veya çapraz doğrulama ile optimize edilir. Bu yaklaşım basit bir implementasyon sağlar ancak bağlama duyarlı adaptasyon sınırlıdır.

Yaklaşım 2: Öğrenilebilir parametreler (önerilen). FBQT, jeneratif parametrelerin deneyim üzerinden güncellenmesini önerir. Parametreler, jeneratif kaliteyi ve davranışsal başarıyı yansitan bir kayıp fonksiyonu ile öğrenilir:

$$\theta_{G,t+1} = \theta_{G,t} + \alpha_G \nabla_{\theta} \mathcal{L}_G(\theta_{G,t}),$$

burada α_G öğrenme oranı, \mathcal{L}_G ise jeneratif kalite kayıp fonksiyonudur (örneğin yeniden-oluşturma hatası, VAE kaybı veya davranışsal ödül R_t ile ağırlıklandırılmış bir loss). Böylece G , farklı bağamlarda (tehdit vs. güvenlik, aşinalık vs. yenilik) farklı enerji dengelerine uyum sağlayabilir. Detaylı güncelleme kuralları Bölüm 3.2.3'de verilmiştir.

3.4.7 Hesaplama gerçekleme

$p(x | S_t, M_t, W_t)$ 'den doğrudan örneklemeye, normalizasyon sabiti Z_t 'nin hesaplanması gerektir. Genel durumda bu hesap intractable olduğundan, pratikte iki sınıf yaklaşım kullanılır.

Yaklaşım A: Langevin dinamiği ile örneklemeye. Enerji gradyanına dayalı bir MCMC süreci:

$$x_{i+1} = x_i - \epsilon \nabla_x E(x_i; S_t, M_t) + \epsilon \nabla_x V(x_i; W_t) + \sqrt{2\epsilon} \eta_i, \quad (58)$$

burada $\eta_i \sim \mathcal{N}(0, I)$ ve i iterasyon indeksidir. Yeterince uzun bir süre çalıştırıldığında bu süreç, teorik olarak hedef dağılıma yakınsamayı garanti eder; ancak hesaplama maliyeti yüksek olabilir.

Yaklaşım B: Amortize çıkarım (önerilen). Daha pratik bir yaklaşımda, parametrik bir dağılım $q_{\phi}(x | S, M, W)$, $p(x | S, M, W)$ 'yi yaklaşık olarak öğrenir:

$$\mathcal{L}_{\text{amortize}}(\phi) = \mathbb{E}_{S,M,W} [D_{\text{KL}}(q_{\phi}(\cdot | S, M, W) \| p(\cdot | S, M, W))]. \quad (59)$$

q_{ϕ} bir kez eğitildikten sonra, her zaman admında örneklemeye, tek bir ileri geçiş ile gerçekleştirilebilir:

$$x_t^{(k)} \sim q_{\phi}(\cdot | S_t, M_t, W_t), \quad X_t = \{x_t^{(k)}\}_{k=1}^K.$$

Bölüm 1'te sunulan ajan mimarisinde bu ikinci yaklaşım kullanılmaktadır.

3.4.8 Nörobiyolojik substrat

Jeneratif operatör G 'nin bileşenleri, beynin farklı sistemlerine doğal olarak eşlenebilir. Tablo 3, modeldeki soyut fonksiyonların olası nöral karşılıklarını özetler.

Bileşen	Olası nöral substrat	İşlev
$\phi_S(S_t)$	V1-V4, birincil/sekonder duyusal korteks	Duyusal encoding ve erken temsil
$\phi_M(m)$	Hippocampus, medial temporal lob	Episodik bellek çağrıma, pattern completion
$\psi(x)$	OFC, vmPFC	Değer boyutlu özellik çıkarımı
$E_S + E_M$	Temporal-parietal ağ	Uygunluk/benzerlik hesabı, bağımsız entegrasyon
$V(x; W_t)$	VTA, NAcc (dopaminerjik devreler)	Motivasyonel ağırılıklandırma, ödül/tehdit biası
Örneklemeye kontrolü	DLPFC, ACC	Jeneratif sürecin kontrolü, hipotez seçimi

Table 3: Jeneratif operatör G 'nin bileşenleri için olası nörobiyolojik eşlemeler.

Bu eşleme, Bölüm 6.2'te formüle edilen test edilebilir öngörülerin temelini oluşturur. Özellikle G 'nin ürettiği adayların çeşitliliği ile prefrontal aktivite arasındaki ilişki (Tahmin 3) doğrudan bu yapıdan türetilmektedir.

3.4.9 Özet ve teorik rolü

Özetle G , FBÇT içinde üç düzeyde merkezi bir rol oynar: (i) matematiksel düzeyde, C_t ile aynı eksponansiyel familya içinde yer alan enerji tabanlı bir jeneratif operatör olarak; (ii) hesaplamalı düzeyde, duyusal belirsizliği, bellek bağlamını ve motivasyonel ağırlıkları içsel aday temsillere dönüştüren bir hipotez üretim mekanizması olarak; (iii) nörobiyolojik düzeyde ise, hippocampal yeniden-oynatım, prefrontal jeneratif kontrol ve değer sistemleri arasındaki etkileşimi yakalamaya yönelik birleşik bir şema olarak.

Bilinç çöküsü C_t 'nin seçtiği içerikler, bu jeneratif uzay üzerinden belirlenir. Dolayısıyla G 'nin yapısı, yalnızca teknik bir detay değil, teorinin fenomenolojik zenginlik, esneklik ve bağlama duyarlılık iddialarının doğrudan taşıyıcısıdır.

3.5 Fonksiyonel Değer Fonksiyonu: f

Bu bölümün kapsamı ve bölüm 3.2 ile ilişkisi. Bölüm 3.2'de bellek yapısı M_t ve öncelik sistemi W_t 'nin iç organizasyonu, alt bileşenleri ve nörobiyolojik farklılıklar ayrıntılı biçimde tanımlanmıştır. Bu bölümde ise, aynı yapılara yeniden yapısal açıdan değil, *işlevsel açıdan* bakıyoruz. Amaç, M_t ve W_t 'nin içeriğinin değer fonksiyonuna nasıl yansdığını, yani bellek ve öncelik bileşenlerinin çöküş mekanizması içinde hangi matematiksel rolleri üstlendığını formel olarak tanımlamaktır. Dolayısıyla 3.2 yapısal temeli, Bu bölümde ise bu temel üzerinde çalışan işlevsel değerlendirme katmanını oluşturur.

Jeneratif operatör G , her zaman adımında bilinç için olası aday temsiller kümesini

$$X_t = \{x_t^{(1)}, \dots, x_t^{(K)}\}$$

üretir (bkz. Bölüm 3.4.1). Ancak bu adaylar, eşit derecede işlevsel veya olası değildir. FBÇT'de çöküş operatörü C_t , her adayı çok bileşenli bir *değer fonksiyonu* ile değerlendirir ve bu değerlere bağlı bir olasılık dağılımı üzerinden seçim yapar. Bu bölümde f fonksiyonunun yapısını ve bileşenlerini tanımlıyoruz.

3.5.1 Temel tanım ve ayrıştırma

Her $x \in X$ adayı için, zaman t 'deki değer fonksiyonu

$$f_t : X \times S \times M \times W \rightarrow \mathbb{R}$$

şu şekilde tanımlanır:

$$f_t(x) \equiv f(x; S_t, M_t, W_t).$$

FBCÇT, bu fonksiyonun üç temel bileşene ayırtılabilceğini varsayar:

$$f(x; S_t, M_t, W_t) = \alpha_{S,t} f_S(x; S_t) + \alpha_{M,t} f_M(x; M_t) + \alpha_{W,t} f_W(x; W_t),$$

burada $\alpha_{S,t}, \alpha_{M,t}, \alpha_{W,t} \geq 0$, farklı kaynakların görelî önemini belirleyen ağırlıklardır (Ayrıntılar için bkz. Bölüm 3.6).

Sezgisel olarak:

- f_S duyusal uygunluğu,
- f_M bellek uyumunu,
- f_W ise değer/motivasyon uyumunu temsil eder.

3.5.2 Duyusal bileşen: f_S

Duyusal bileşen, aday x 'in mevcut duyusal girdiyi ne kadar iyi açıkladığını ölçer. Bölüm 3.4.1'de tanımlanan duyusal enerji terimi

$$E_S(x; S_t) = \frac{1}{2\sigma_S^2} \|x - \phi_S(S_t)\|^2$$

üzerinden, doğal bir değer bileşeni elde ederiz:

$$f_S(x; S_t) = -E_S(x; S_t) = -\frac{1}{2\sigma_S^2} \|x - \phi_S(S_t)\|^2.$$

Böylece duyusal temsile yakın adaylar daha yüksek f_S alır; bu, yüksek duyusal uyumun çöküş sırasındaki etkisini açıklar.

3.5.3 Bellek bileşeni: f_M

Bellek bileşeni, aday x 'in M_t 'de kodlu geçmiş deneyimlerle ne kadar uyumlu olduğunu ölçer. Jeneratif düzeyde kullanılan

$$E_M(x; M_t) = \mathbb{E}_{m \sim M_t} \left[\frac{1}{2\sigma_M^2} \|x - \phi_M(m)\|^2 \right]$$

enerji terimine paralel olarak:

$$f_M(x; M_t) = -E_M(x; M_t) = -\mathbb{E}_{m \sim M_t} \left[\frac{1}{2\sigma_M^2} \|x - \phi_M(m)\|^2 \right].$$

Bu, adayın bellekteki benzer durumlarla ne derece "tanıdık" olduğunu nicelleştirir. Yüksek f_M alan adaylar, geçmiş deneyimlerle daha tutarlı yorumlara karşılık gelir.

3.5.4 Değer bileşeni: f_W

Değer bileşeni, adayın mevcut öncelik yapısıyla (örn. hedefler, tehdit, merak) ne kadar uyumlu olduğunu ölçer. Bölüm 3.4.1'de tanımlanan

$$V(x; W_t) = \lambda_W W_t^\top \psi(x)$$

potansiyeline paralel olarak, f_W 'yu basitçe

$$f_W(x; W_t) = W_t^\top \psi(x)$$

şeklinde tanımlarız (ölçek faktörü λ_W ağırlık $\alpha_{W,t}$ içine katılabilir). Böylece, değer vektörü ile aynı yönde projekte olan adaylar daha yüksek f_W alır; bu, davranışsal olarak avantajlı yorumların çöküşte öne çıkmasını sağlar.

3.5.5 Ölçeklendirme ve normalizasyon

Farklı bileşenlerin doğal ölçekleri birbirinden çok farklı olabilir. Bu durum, tek bir bileşenin (örneğin f_W) diğerlerini domine etmesine ve α ağırlıklarının işlevsiz hale gelmesine yol açabilir. Bu nedenle her bileşen, zaman içinde izlenen istatistiklerle normalize edilir:

$$\begin{aligned} \tilde{f}_S(x; S_t) &= \frac{f_S(x; S_t) - \mu_{S,t}}{\sigma_{S,t} + \varepsilon}, & \tilde{f}_M(x; M_t) &= \frac{f_M(x; M_t) - \mu_{M,t}}{\sigma_{M,t} + \varepsilon}, \\ \tilde{f}_W(x; W_t) &= \frac{f_W(x; W_t) - \mu_{W,t}}{\sigma_{W,t} + \varepsilon}, \end{aligned}$$

burada $\mu_{(\cdot),t}$ ve $\sigma_{(\cdot),t}$ zaman içinde tutulan kayan ortalama ve standart sapmayı, $\varepsilon > 0$ ise sayısal kararlılığı sağlayan küçük bir sabiti temsil eder.

Bu normalize edilmiş biçimleri kullanarak:

$$f(x; S_t, M_t, W_t) = \alpha_{S,t} \tilde{f}_S(x; S_t) + \alpha_{M,t} \tilde{f}_M(x; M_t) + \alpha_{W,t} \tilde{f}_W(x; W_t).$$

3.5.6 Somut örnek

Bölüm 3.4.1'deki belirsiz bahçe senaryosunu yeniden ele alalım. G operatörü aşağıdaki adayları üretmiş olsun:

$$\begin{aligned} x^{(1)} &: \text{"hırsız"}, \\ x^{(2)} &: \text{"komşu"}, \\ x^{(3)} &: \text{"kedi"}, \\ x^{(4)} &: \text{"belirsiz gölge"}. \end{aligned}$$

Duyusal bileşen. Düşük çözünürlüklü gölgesel bir hareket için, hem "hırsız", hem "komşu", hem de "kedi" temsilleri, benzer bir siluetle uyumlu olabilir. Bu nedenle f_S değerleri birbirine görece yakın olabilir; "belirsiz gölge" adayı ise daha nötr bir yorum olduğu için duyusal açıdan da makul kalır:

$$f_S(x^{(1)}) \approx f_S(x^{(2)}) \approx f_S(x^{(3)}) \gtrsim f_S(x^{(4)}).$$

Bellek bileşeni. Kişi, geçmişte sıkça kediyi bahçede görmüş, komşunun da geç saatlerde geldiğine aşinadır; oysa hırsızlık olayı nadirdir. Bu durumda:

$$f_M(x^{(3)}) > f_M(x^{(2)}) > f_M(x^{(1)}),$$

yani bellek açısından "kedi" en tanındık yorumdur.

Değer bileşeni. Buna karşın, W_t 'deki tehdit bileşeni yüksektir; bu nedenle $\psi(x^{(1)})$ 'in tehdit boyutu yüksektir ve

$$f_W(x^{(1)}) \gg f_W(x^{(3)}), f_W(x^{(2)}), f_W(x^{(4)}).$$

Toplam değer. Eğer bağlamda $\alpha_{W,t}$ göreli olarak yüksekse (örneğin kişi zaten gergin, yalnız ve risk odaklıysa), toplam değer:

$$f(x^{(1)}) > f(x^{(2)}), f(x^{(3)}), f(x^{(4)})$$

şeklinde sıralanabilir ve çöküş operatörü C_t , "hırsız" yorumunu daha yüksek olasılıkla seçer. Daha güvenli veya rahat bir bağlamda (düşük $\alpha_{W,t}$, yüksek $\alpha_{M,t}$) ise "kedi" veya "komşu" yorumları öne çıkar. Böylece aynı duyusal girdiden çok farklı bilinçli deneyimlerin ("tehdit", "masumiyet") nasıl türdeği fonksiyonel düzeyde açıklanmış olur.

3.5.7 Çöküş operatörü ile entegrasyon

Çöküş operatörü, bu değer fonksiyonunu kullanarak adaylar üzerinde Boltzmann-softmax biçiminde bir olasılık dağılımı tanımlar:

$$\pi_t(x) = \frac{\exp(\beta_t f(x; S_t, M_t, W_t))}{\sum_{j=1}^K \exp(\beta_t f(x_t^{(j)}; S_t, M_t, W_t))}.$$

Bilinçli içerik daha sonra bu dağılımdan örneklemeye ile seçilir:

$$C_t = \text{sample}[\pi_t].$$

Böylece, 3.2'de tanımlanan bellek ve öncelik sistemleri, 3.5'te tanımlanan değer fonksiyonu aracılığıyla çöküş mekanizmasına doğrudan bağlanmış olur.

3.5.8 Çöküş Operatörünün Zorunluluğu

Fonksiyonel Bilinç Çöküşü Teorisi’nde (FBCT) çöküş operatörü

$$C : (S_t, M_t, W_t) \mapsto C_t,$$

basit bir seçim mekanizması değildir; teorinin matematiksel, bilişsel ve nörobiyolojik yapısından zorunlu olarak türetilir. Bu bölümde, çöküş fonksiyonunun neden Boltzmann-softmax biçiminde olması gerektiğini ve alternatif seçim operatörlerinin neden FBCT ile uyumsuz sonuçlar verdiği gösteriyoruz.

Tekilik ilkesi: **Bilinç tek bir içeriğe projekte olmak zorundadır.** Fenomenolojik olarak bilinç, aynı anda tek bir içeriği küresel erişime açar. Bu “global availability” ilkesi [18, 19], matematiksel olarak bir projeksiyon operatörünü gerektirir:

$$C : \mathcal{P}(\mathcal{X}) \rightarrow \mathcal{X}.$$

Dolayısıyla jeneratif uzayda K tane olası aday olsa bile, bilinç seviyesi tek bir temsile indirgenmek zorundadır.

Değerleme fonksiyonunun zorunluluğu. Her bilinç adımda aday durumları karşılaştırmak için sürekli, türevlenebilir, monoton bir değer fonksiyonuna ihtiyaç vardır:

$$f : X \times S \times M \times W \rightarrow \mathbb{R}.$$

Bu fonksiyon, duyusal uygunluk (f_S), bellek uyumluluğu (f_M) ve motivasyonel değer (f_W) bileşenlerinin ortak bir ölçüye aktarılmasını sağlar. Öğrenme dinamiklerinin (Eş. 74–77) türevlenebilirlik gereksinimi, f ’nin en az C^1 olmasını zorunlu kılar.

Deterministik argmax’ın yetersizliği. $C_t = \arg \max f(x)$ biçimindeki deterministik bir seçim:

(i) aynı değere sahip adaylar arasında simetriyi kıramaz, (ii) duyusal gürültü altında gözlenen mikro-zamansal fluktuasyonları açıklayamaz, (iii) öğrenme sinyallerini boğarak geri beslemeyi devre dışı bırakır.

Dolayısıyla bilinç ani deterministik olamaz; seçim *değer-duyarlı fakat stokastik* olmalıdır.

Yönlendirilmiş rastlantısallık: Eksponansiyel familyanın zorunluluğu. Seçim mekanizmasının şu üç özelliği aynı anda sağlanması gereklidir:

1. **Değer duyarlılığı:** $f(x)$ arttıkça seçilme olasılığı artmalıdır.
2. **Öğrenilebilirlik:** Türevlenebilir olmalı, ∇f üzerinden güncellenebilir olmalıdır.
3. **Normalizasyon:** Olasılıkların toplamı 1 olmalıdır.

Bu üç koşulu aynı anda sağlayan *tek* dağılım ailesi, maksimum entropi prensibine göre eksponansiyel formdur:

$$\pi_t(x) \propto \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t)).$$

Sıcaklık parametresi β_t ’nin zorunluluğu. β_t , belirsizlik düzeyini ve seçim keskinliğini kontrol eden bilişsel bir “gain” parametresidir:

$$\beta_t \rightarrow 0 : \text{keşif (yüksek entropi)}, \quad \beta_t \rightarrow \infty : \text{keskin, neredeyse deterministik seçim}.$$

Bu yapı, noradrenerjik ve dopaminerjik sistemlerin davranışsal kararlardaki rolüyle [20, 21] nörobiyolojik olarak doğrulanmaktadır.

Alternatif çöküş mekanizmalarının elenmesi. Aşağıdaki operasyonel formlar FBCT ile uyumsuzdur:

- **Lineer seçim:** $\pi \propto f$ ölçek değişmezliği ve normalizasyon sorunları doğurur.
- **Winner-take-all (WTA):** Türevlenebilir değildir; C öğrenmeyi durdurur ve $\Delta M_t - \Delta W_t$ güncellemleri çalışmaz hale gelir.
- **Tam rastgele seçim:** Değerleme tamamen ihmal edilir; bilinç deneyimi ile davranış arasında gözlenen korelasyon açıklanamaz.
- **Deterministik argmax:** Mikro-varyasyonlar kaybolur, soft attention mekanizmaları modelden çıkmış olur.

FBCT içindeki çöküşün işlevsel rolü. Çöküş yalnızca o anki bilinç içeriğini üretmez; aynı zamanda gelecekteki güncellemlerin kaynağıdır:

$$(M_{t+1}, W_{t+1}) = F(M_t, W_t, S_t, C_t).$$

Bu geri-besleme döngüsü sayesinde:

- her seçim bellek izleri bırakır (path dependence),
- öncelikler yeniden şekillenir,
- uzun ölçekli kimlik ve kişilik sürekliliği ortaya çıkar,
- α ağırlıkları bağlamsal olarak yeniden düzenlenir.

Sonuç olarak, Boltzmann-softmax formu matematiksel bir zorunluluktur. FBCT'nin yapısal ilkeleri, (i) tekilik, (ii) değer-duyarlı stokastik seçim, (iii) enerji tabanlı tutarlılık, (iv) öğrenilebilirlik, (v) nörobiyolojik uyumluluk

koşullarını aynı anda sağlar. Bu koşulları aynı çerçevede karşılayan *tek* form:

$$C_t = \text{sample} \left[\frac{\exp(\beta_t f(x))}{\sum_j \exp(\beta_t f(x_j))} \right]$$

şeklindeki Boltzmann-softmax operatöründür.

Dolayısıyla çöküş fonksiyonu, FBCT'de keyfi bir seçim değil, teorinin yapısından zorunlu olarak türetilen tek matematiksel formdur.

3.6 Bağlamsal Ağırlıkların Öğrenilmesi ve Dinamik Güncellenmesi

Motivasyon. Önceki bölümde değer fonksiyonu f 'nin üç bilgi kaynağını (duyusal uygunluk, bellek uyumu, motivasyonel değer) bir araya getirdiği gösterildi. Ancak bu kaynakların görelî önemi sabit kabul edilemez; gerçek bilişsel sistemlerde bu öncelikler bağlama göre sürekli değişir. Örneğin tehdit altında değer bileşeni ağır basarken, tanık ortamlarda bellek bileşeni baskın hale gelir. Bu nedenle FBCT, ağırlıkların sabit katsayılar değil, bağlama göre öğrenilen ve değişen dinamik değişkenler olduğunu varsayar.

Önceki bölümde tanımlanan değer fonksiyonu

$$f(x; S_t, M_t, W_t) = \alpha_{S,t} \tilde{f}_S(x; S_t) + \alpha_{M,t} \tilde{f}_M(x; M_t) + \alpha_{W,t} \tilde{f}_W(x; W_t)$$

bileşen skorlarının $\alpha_{S,t}, \alpha_{M,t}, \alpha_{W,t}$ ağırlıkları ile birleştirilmesine dayanır. Bu alt bölümde, bu ağırlıkların yalnızca sabit katsayılar değil, bağlama duyarlı dinamik değişkenler olduğunu formel hale getiriyoruz.

3.6.1 Temel kısıtlar ve yorum

Ağırlıklar, her zaman adımında şu kısıtları sağlar:

$$\alpha_{S,t}, \alpha_{M,t}, \alpha_{W,t} \geq 0, \quad \alpha_{S,t} + \alpha_{M,t} + \alpha_{W,t} = 1.$$

Dolayısıyla $(\alpha_{S,t}, \alpha_{M,t}, \alpha_{W,t})$ üçlüsü, üç boyutlu bir olasılık simplex'i üzerinde yaşayan bir bağlam vektörüdür. Sezgisel olarak:

- $\alpha_{S,t}$ yüksek olduğunda sistem *duyusal veriye daha çok güvenir*; hızlı, veri-odaklı yorumlar baskındır.
- $\alpha_{M,t}$ yüksek olduğunda sistem *geçmiş deneyimlere yaslanır*; tanıdıklik ve alışkanlık ağır basar.
- $\alpha_{W,t}$ yüksek olduğunda sistem *değer ve hedef yapısı tarafından yönlendirilir*; motivasyonel önyargılar belirginleşir.

3.6.2 Bağlam vektörü ve parametrizasyon

Ağırlıkları doğrudan modellemek yerine, önce bağlamı özetleyen bir özellik vektörü tanımlarız:

$$c_t = (u_{S,t}, u_{M,t}, u_{W,t}, r_t, \xi_t) \in \mathbb{R}^d.$$

Burada örnek olarak:

- $u_{S,t}$: duyusal belirsizlik ölçüsü (örneğin, tahmin hatası varyansı),
- $u_{M,t}$: bellek güvenilirlik ölçüsü (örneğin, bellek temsillerinin tutarlılığı),
- $u_{W,t}$: değer gradyanının büyüklüğü (örn. beklenen ödülde değişim),
- r_t : son dönemde alınan toplam ödül/başarım sinyali,
- ξ_t : fizyolojik/durum değişkenleri (uyku hali, stres vb.).

Ağırlıklar, bu bağlam vektörü üzerinden parametrik bir fonksiyonla tanımlanır:

$$\alpha_t = (\alpha_{S,t}, \alpha_{M,t}, \alpha_{W,t}) = \text{softmax}(g_\Theta(c_t)),$$

burada $g_\Theta : \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^3$ parametrik bir haritalamadır (örneğin küçük bir sinir ağı) ve softmax operatörü simplex kısıtlarını otomatik olarak sağlar:

$$\alpha_{i,t} = \frac{\exp(z_{i,t})}{\sum_j \exp(z_{j,t})}, \quad \mathbf{z}_t = g_\Theta(c_t).$$

3.6.3 Öğrenme kuralı

Θ parametreleri, sistemin uzun vadeli başarısını yansitan bir hedef fonksiyon üzerinden öğrenilir. Örneğin, bilinçli durumların neden olduğu davranışların başarısını ölçen bir ödül sinyali R_t verildiğinde:

$$\Theta_{t+1} = \Theta_t + \eta_\alpha \nabla_\Theta \mathbb{E}[R_t | \Theta_t],$$

veya pratikte, uygun bir kayıp fonksiyonu \mathcal{L}_α üzerinden yaklaşık gradyan inişi yapılır:

$$\Theta_{t+1} = \Theta_t - \eta_\alpha \nabla_\Theta \mathcal{L}_\alpha(\Theta_t).$$

Bu, sistemin zaman içinde hangi bağamlarda duyusal veriye, hangi bağamlarda ise belleğe veya değerlere daha çok ağırlık vermesi gerektiğini deneyim üzerinden “öğrenmesini” sağlar.

3.6.4 Örnek: tehdit bağlamında ağırlık kayması

Belirsiz bahçe senaryosuna (Bölüm 3.4.1 ve 3.5) geri dönelim. İki uç bağlam düşünelim:

- **Güvenli bağlam:** Kişi genelde güvende hissetmekte, bölgede son dönemde tehdit yaşamamış, r_t olumlu ve $u_{S,t}$ orta düzeydedir. Öğrenilmiş parametreler sonucunda

$$\boldsymbol{\alpha}_t^{(\text{güvenli})} \approx (0.3, 0.5, 0.2),$$

yani bellek ağırlığı baskındır; “kedi” ve “komşu” gibi tanıdık yorumlar öne çıkar.

- **Tehdit bağlamı:** Son dönemde hırsızlık yaşanmış, genel güvenlik algısı düşmüş, stres ve uyarılma düzeyi artmıştır; $u_{S,t}$ (belirsizlik) ve $u_{W,t}$ (tehditle ilişkili değer gradyanı) yüksektir. Bu durumda

$$\boldsymbol{\alpha}_t^{(\text{tehdit})} \approx (0.2, 0.2, 0.6),$$

yani değer bileşeni baskın hale gelir; “hırsız” yorumuna karşılık gelen adaylar çöküste daha yüksek olasılık kazanır.

Bu örnek, aynı duyusal input ve benzer bellek içeriği altında bile $\boldsymbol{\alpha}_t$ 'nin bağlama göre değişmesinin bilinçli deneyimi nasıl radikal biçimde dönüştürebildiğini gösterir.

3.6.5 Nöromodülatör yorum

Ağırlık dinamikleri, nörobiyolojik düzeye nöromodülatör sistemlerle doğal biçimde ilişkilendirilebilir:

- Noradrenerjik ton (lokus seruleus) artışı, genellikle artmış uyarıma ve tehdit değerlendirmeyle ilişkilidir; bu, modelde $\alpha_{W,t}$ 'nin yükselmesine karşılık gelebilir.
- Serotonerjik ton, uzun vadeli istikrar ve alışkanlık süreçleriyle ilişkilidir; bu, $\alpha_{M,t}$ bileşeninin görelî ağırlığını artırabilir.
- Kolinerjik modülasyon, duyusal dikkat ve giriş işlenmesini güçlendirir; bu, $\alpha_{S,t}$ 'nin yüksek olduğu durumlarla örtüşür.

Bu yorumlar, FBÇT'nin yalnızca fonksiyonel bir model değil, aynı zamanda nörobiyolojik hipotezler üreten bir çerçeve olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

3.6.6 Sınır durumlar ve özel rejimler

Bazı sınır durumlar, bilincin farklı fenomenolojik rejimlerine karşılık gelir:

- $\alpha_{S,t} \approx 1$: *Anlık, duyusal ağırlıklı bilinç*. Duyusal akış baskındır, içsel yorumlar ve hedefler geri plandadır.
- $\alpha_{M,t} \approx 1$: *Geçmişe yaslı bilinç*. Ruminasyon, hatırlama ve çağrısına dayalı içsel akışlar baskındır.
- $\alpha_{W,t} \approx 1$: *Hedef/tehdit odaklı bilinç*. Motivasyonel ve duygusal içerikler baskındır; aynı duyusal input, sık sık tehdit veya fırsat olarak yorumlanır.

Bu rejimler, bilinçli deneyimin farklı klinik ve psikolojik durumlarla (anksiyete, depresyon, travma sonrası tepkiler gibi) nasıl ilişkilenebileceğine dair daha ileri tartışmalar için bir başlangıç noktası sağlar (bkz. Bölüm 6.6).

3.7 Çöküş Mekanizması

FBÇT'nin merkezinde, aday dağılımından bilinçli durum seçimini gerçekleştiren bir çöküş mekanizması bulunur. Bu mekanizma, aday üretim operatörü \mathcal{G} , değerlendirme operatörü \mathcal{E} ve seçim/ornekleme operatörü \mathcal{K} 'nin bileşimi olarak tanımlanır.

3.7.1 Öz Model Sabit Nokta Koşulu

FBCT'de öz-bilinç durumu, içsel temsil uzayının dinamik bir sabit nokta etrafında kararlılık kazanmasıyla tanımlanır. Bu yapı, karar vericinin kendisi hakkındaki temsilinin stabil bir biçimde sürdürülebilmesini sağlar.

Tanım 3.1 (Self-Model Fixed Point). Bir öz-temsil $x_{\text{self}} \in X_{\text{self}}$, aşağıdaki koşulu sağlıyorsa *sabit nokta* olarak tanımlanır:

$$x_{\text{self}}^* = G_{\text{self}}(S_t, M_t, W_t, x_{\text{self}}^*), \quad (60)$$

burada G_{self} , G generatif fonksiyonunun öz-model bileşenini temsil eder.

Bu sabit nokta, öz-modelin dış girdilerle birlikte kendi önceki hâlinden de beslendigini gösterir. Stabilite koşulu:

$$\|G_{\text{self}}(S_t, M_t, W_t, x) - G_{\text{self}}(S_t, M_t, W_t, x^*)\| \leq \lambda \|x - x^*\|, \quad \lambda < 1, \quad (61)$$

G_{self} fonksiyonunun kontraktif olduğunu ve sabit noktanın iyi tanımlı olduğunu garanti eder. Bu yapı, öz-düşünümün ve öznel sürekliliğin matematiksel temsilini oluşturur.

Fenomenolojik yorum. Bu sabit nokta koşulu, "ben kimim?" sorusunun dinamik cevabını temsil eder. Dissociation ve depersonalization bozukluklarında (6.6, Tahmin 16), bu sabit nokta sistematik olarak ihlal edilir: $\|x_{\text{self}} - x_{\text{self}}^*\| > \varepsilon$.

3.7.2 Tam çöküş operatörü

Tam çöküş operatörü

$$\mathcal{C}_t : \mathcal{S} \times \mathcal{M} \times \mathcal{W} \rightarrow X \quad (62)$$

şu şekilde verilir:

$$\mathcal{C}_t = \mathcal{K}_{\beta_t} \circ \mathcal{E} \circ \mathcal{G}, \quad (63)$$

ve bilinç durumu

$$C_t = \mathcal{C}_t(S_t, M_t, W_t) \in X \quad (64)$$

şeklinde tanımlanır.

Burada

- $\mathcal{G}(S_t, M_t, W_t) = \mu_t$: aday dağılımını üreten operatör,
- \mathcal{E} : μ_t üzerindeki adaylara f veya \mathbb{V}_t üzerinden skor atayan değerlendirme operatörü,
- \mathcal{K}_{β_t} : inverse sıcaklık parametresi β_t ile parametrize edilen olasılıksal seçim (örnekleme) operatörü.

Bu kompozisyon, çöküşün ne tamamen rastlantısal (ne saf gürültü), ne de tamamen deterministik olduğunu; fakat değer fonksiyonuna göre şekillenmiş, kontrol edilebilir bir stokastik seçim olduğunu garanti eder.

Bilinç Seviyesi Ölçütünün Matematiksel Özellikleri Tanım gereği:

$$L_t = D_{\text{KL}}(\pi_t \parallel P_t), \quad (65)$$

bilinç durumunun normatif bekłentiden sapma derecesini ölçer. Bu metrik aşağıdaki temel özelliklere sahiptir.

1. Negatifsızlık

$$L_t \geq 0.$$

Bu, bilinç düzeyinin hiçbir zaman negatif olamayacağını gösterir.

2. Sıfır eşdeğerliği

$$L_t = 0 \iff \pi_t = P_t.$$

Bu koşul, dikkat dağınlığı veya otomatik davranışlarda L_t 'nin minimum değere yakın olmasını açıklar.

3. Monotonluk Seçim dağılımı keskinleşikçe entropi azalır ve

$$L_t \propto \frac{1}{H(\pi_t)}.$$

4. Sonlu durum uzayında sınırlılık

Eğer aday sayısı n ise:

$$0 \leq L_t \leq \log n.$$

5. Nörobiyolojik yorumlanabilirlik Yüksek L_t , frontoparietal entegrasyon artışı ve sensörimotor segregasyon azalması ile ilişkilidir.

3.7.3 Politika dağılımı

Aday dağılımı μ_t ve skor fonksiyonu f kullanılarak bir politika (seçim) dağılımı tanımlanır:

$$\pi_t(dx) = \frac{\exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t))}{Z_t} \mu_t(dx), \quad (66)$$

burada

$$Z_t = \int_X \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t)) \mu_t(dx) \quad (67)$$

normalizasyon sabitidir ve $\beta_t > 0$ inverse sıcaklık parametresidir. Büyük β_t değerleri daha deterministik, küçük β_t değerleri daha keşifçi (stochastic) politika davranışına karşılık gelir.

Ayrık aday kümesi için $x_t^{(i)} \sim \mu_t, i = 1, \dots, N$:

$$\pi_t^{(i)} = \frac{\exp(\beta_t f^{(i)})}{\sum_{j=1}^N \exp(\beta_t f^{(j)})}, \quad f^{(i)} = f(x_t^{(i)}, S_t, M_t, W_t). \quad (68)$$

3.7.4 Bilinç durumunun seçimi

Bilinç durumu, politika dağılımından örneklenen bir çöküş olarak tanımlanır:

$$C_t \sim \pi_t(dx), \quad C_t \in X. \quad (69)$$

Bu C_t ,

- sistemin o anki içsel bilişsel durumunu,
- dışa vurulan davranışı/kararı,
- ve fenomenolojik deneyimin taşıyıcısını

birlikte temsil eder. Teorinin iddiası, "bilinç anı"nın tam olarak bu çöküş işlemiyle özdeşleştirilebileceğidir: bilinç, belirli bir C_t örneğinin gerçekleşmiş olmasıdır.

3.8 Geri Bildirim ve Güncellemeye Dinamiği

FBCT, tekil çöküş anlarını izole olaylar olarak değil, zaman içinde M_t ve W_t üzerinde geribildirim oluşturan bir süreç olarak ele alır. Böylece bilinç yalnızca anlık bir seçimi değil, kendi geçmişini şekillendiren bir öğrenme dinamığını de içerir.

Genel güncelleme denklemi.

$$(M_{t+1}, W_{t+1}) = \mathcal{F}(M_t, W_t, S_t, C_t), \quad (70)$$

burada \mathcal{F} , öğrenme ve adaptasyon dinamiklerini topluca temsil eden bir operatördür.

Tipik bir ayrıştırma:

$$M_{t+1} = M_t + \Delta M_t(S_t, C_t, M_t), \quad (71)$$

$$W_{t+1} = W_t + \Delta W_t(S_t, M_t, C_t, R_t), \quad (72)$$

R_t uygun bir ödül/ceza veya başarım sinyalidir.

Bellek güncellemesi.

$$\Delta M_t = \eta_M \cdot h(C_t, S_t, M_t), \quad (73)$$

burada $\eta_M > 0$ öğrenme hızıdır. İki tipik örnek:

Hebbian-benzeri:

$$\Delta M_t = \eta_M [C_t \otimes \phi(S_t) - \gamma M_t], \quad (74)$$

tekrarlanan deneyimlerin güçlendirilmesi (C_t ile S_t 'nin birlikte etkinliği) ve $\gamma > 0$ ile modellenen unutma dinamığını içerir.

Tahmin hatası tabanlı:

$$\Delta M_t = \eta_M [C_t - \hat{C}_t(M_t, S_t)], \quad (75)$$

prediktif kodlama perspektifinde, beklenen \hat{C}_t ile gerçekleşen C_t arasındaki farkı minimize etmeye çalışan bir güncellemayı ifade eder.

Ağırlık vektörü güncellemesi. Öncelik vektörü, ödül/ceza sinyali R_t üzerinden güncellenir:

$$\Delta W_t = \alpha_W \cdot g(R_t, W_t, C_t), \quad (76)$$

burada $\alpha_W > 0$ adaptasyon hızıdır.

Gradyan bazlı: Eğer sistem belirli bir hedef fonksiyonunu optimize ediyorsa:

$$\Delta W_t = \alpha_W \nabla_W \mathbb{E}_{\pi_t}[R(C_t, S_t)], \quad (77)$$

ve simplex kısıtını korumak için:

$$W_{t+1} = \Pi_{\Delta^{k-1}}(W_t + \Delta W_t), \quad (78)$$

burada $\Pi_{\Delta^{k-1}}$ simplex üzerinde izdüşüm operatöridür (örneğin softmax normalizasyonu).

Homeostatik düzenleme: Sistemin içsel dengesini koruması gereken durumlarda:

$$\Delta W_t = \alpha_W [W^{\text{target}} - W_t], \quad (79)$$

burada W^{target} biyolojik veya görev gereksinimleri tarafından belirlenen hedef ağırlık vektöridür.

Çok ölçekli dinamikler. Güncellemeler farklı zaman ölçeklerinde gerçekleşir:

- **Hızlı** ($\sim \text{ms-s}$): Dikkat, nöromodülasyon ($\eta_M \sim 10^{-1}$)
- **Orta** ($\sim \text{dakika-saat}$): Strateji, alışkanlık ($\eta_M \sim 10^{-3}$)
- **Uzun** ($\sim \text{gün-yıl}$): Kişiilik, değerler ($\eta_M \sim 10^{-5}$)

FBCT bu ölçekleri birleştirir:

$$\Delta M_t = \sum_{\tau} \eta_M^{(\tau)} h^{(\tau)}(C_t, S_t, M_t), \quad (80)$$

burada $\tau \in \{\text{fast, medium, slow}\}$ farklı zaman ölçeklerini temsil eder.

Bu yapı, bilinçteki tarihsel bağımlılığı ve kademeli değişimleri (alışkanlık, travma etkisi, uzun vadeli adaptasyon) doğal bir şekilde modelleyebilir.

3.9 Benlik Modeli ve Sabit Nokta Koşulu

Teorinin ileri düzey bileşenlerinden biri, benlik temsilinin X_t içindeki rolüdür. Burada amaç, benlik-modeli ile bilinç durumu arasındaki ilişkiyi fonksiyonel bir sabit nokta koşulu ile formelleştirmektir.

Benlik gözlem operatörü. Önce, sistemin kendi durumu hakkında erişebildiği bilgiyi temsil eden bir gözlem operatörü tanımlanır:

$$H_t = H(S_t, M_t, W_t) \in \mathcal{H}, \quad (81)$$

burada \mathcal{H} , *benlik hakkında erişilebilir bilgi* uzayıdır (örneğin beden pozisyonu, duygusal durum, bilişsel hedefler, geçmiş eylemler vb.).

Benlik üretici fonksiyon. Benlik modeli, bu gözlemlerden türetilen bir haritalama ile temsil edilir:

$$F_{\text{self}} : \mathcal{H} \rightarrow \mathbb{R}^{d_s}, \quad \hat{x}_t^{\text{self}} = F_{\text{self}}(H_t). \quad (82)$$

Sabit nokta koşulu. FBÇT, benlik bileşeninin yaklaşık bir sabit nokta oluşturduğunu varsayar:

$$\|x_t^{\text{self}} - F_{\text{self}}(H_t)\| \leq \varepsilon, \quad (83)$$

burada $\varepsilon \geq 0$ küçük bir toleranstır. Bu koşul sağlandığında, sistemin o anda sahip olduğu benlik temsili ile kendi hakkında ulaşabildiği bilgi arasında yüksek düzeyde tutarlılık olduğu söylenebilir.

Değer fonksiyonuna entegrasyon. Benlik tutarlığının bilinçli seçim üzerinde rol oynaması için skor fonksiyonuna bir ceza terimi eklenebilir:

$$f_{\text{tot}}(x, S_t, M_t, W_t) = \langle W_t, U(x, S_t, M_t) \rangle - \lambda \|x^{\text{self}} - F_{\text{self}}(H_t)\|^2, \quad (84)$$

$\lambda \geq 0$ benlik-tutarlılık ağırlığıdır. Böylece, benlik modelini bozacak aday durumlar, fonksiyonel olarak dezavantajlı hâle gelir.

Bu yaklaşım, dissociation ve depersonalization bozukluklarının formal tanımına olanak tanır: bu durumlarda (83) koşulu sistematik olarak ihlal edilir ve klinik fenomenoloji tam da bu sabit nokta kaybının bir sonucu olarak yorumlanabilir.

3.10 Bilinç Düzeyi Metriği

FBÇT, yalnızca hangi durumun bilinçli olduğuna değil, aynı zamanda o anki *bilinç düzeyinin* nicel olarak nasıl ölçülebileceğine de bir öneri sunar.

Referans dağılım. Önce, aynı zamanda (S_t, M_t, W_t) için referans kabul edilen bir dağılım P_t tanımlanır. Bu dağılım,

- sistemin tipik/varsayılan politika davranışını,
- veya uzun dönem ortalama seçim dağılımını

temsil edebilir:

$$P_t(dx) = P(X_t \in dx \mid S_t, M_t, W_t). \quad (85)$$

Bilinç düzeyi ölçütü. Bilinç düzeyi L_t , politika dağılımı π_t ile referans dağılım P_t arasındaki Kullback-Leibler iraksaması olarak tanımlanır:

$$L_t = D_{\text{KL}}(\pi_t \parallel P_t) = \int_X \log \frac{\pi_t(x)}{P_t(x)} \pi_t(dx). \quad (86)$$

Alternatif olarak, entropi farkı formülasyonu:

$$L_t = H(P_t) - H(\pi_t), \quad (87)$$

burada $H(\cdot)$ Shannon entropisidir.

Yorum.

- L_t yüksek ise, π_t referansa göre keskinleşmiş ve belli bir alt-uzaya yoğunlaşmış demektir; bu, güçlü odaklanma ve seçim seçiciliği ile ilişkilendirilebilir.
- L_t düşük ise, π_t referans dağılıma yakın, dağınık ve seçici olmayan bir profil sergiler; bu, düşük uyarılmışlık ve zayıf bilinç düzeyiyle uyumludur.

Bu metrik, farklı bilinç hallerinin (uyanıklık, uyku, anestezi, yoğun dikkat, meditasyon vb.) nicel olarak karşılaştırılmasına olanak tanır ve deneyel validasyon için somut bir hedef sunar (bkz. 6.2, Tahmin 15).

3.11 Qualia'nın Matematiksel Yapısı

FBÇT, fenomenolojik içeriği, iç temsil uzayı ile duyusal durum uzayının üzerinde tanımlanan bir eşdeğerlik sınıfı yapısı olarak formalize eder.

Eşdeğerlik ilişkisi.

$$(x_1, S_1) \sim (x_2, S_2) \quad (88)$$

eğer ve yalnızca eğer sistem, tüm erişilebilir fonksiyonel ayırmalar bakımından bu iki durumu ayırt edemiyorsa:

$$\forall g \in \mathcal{G} : g(x_1, S_1) = g(x_2, S_2), \quad (89)$$

burada \mathcal{G} , sistemin davranışsal, bilişsel ve rapora dayalı ölçümler üzerinden uygulayabildiği ayırtıcı fonksiyonlar kümesini temsil eder (karar, tepki süresi, sözel rapor, fizyolojik yanıt, vb.).

Qualia uzayı. Bu ilişki altında oluşan quotient uzayı,

$$Q = (X \times \mathcal{S}) / \sim \quad (90)$$

qualia uzayı olarak adlandırılır. Her $[x, S]_\sim \in Q$ sınıfı, fonksiyonel olarak ayırt edilemeyen bir fenomenolojik deneyim kümesini temsil eder.

Koordinatlandırma fonksiyonu. Pratikte, Q soyut bir uzay olduğu için, ölçülebilir bir koordinat sistemine ihtiyaç duyulur. Bunun için

$$\Phi : X \times \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^m \quad (91)$$

şeklinde bir haritalama tanımlanır; amaç,

$$(x_1, S_1) \sim (x_2, S_2) \iff \Phi(x_1, S_1) = \Phi(x_2, S_2) \quad (92)$$

koşuluna olabildiğince yaklaşmaktadır.

Matematiksel bağlantı. Φ fonksiyonu, quotient space Q 'nun bir koordinat sistemidir. Tersine mühendislik süreci (5.2, Tahmin 14), bu soyut yapıya ölçülebilir koordinatlar atamayı sağlar. Bu şekilde, hard problem'in ontolojik boyutu askıda bırakılırken, mekanistik boyutu tam olarak operasyonelleştirilmiş olur.

Φ , aşağıdaki boyutları içeren bir vektör olarak gerçekleştirilebilir:

- fenomenolojik yoğunluk,
- valans/arousal,
- duyusal modalite bileşenleri,
- zenginlik/yenilik derecesi.

3.11.1 Fenomenolojik Bileşenlerin Faktörizasyonu

Yukarıda Φ 'nin hangi boyutları içerebileceği genel hatlarıyla belirtilmiştir. Bu alt bölümde, hem fenomenolojik literatürle uyumlu hem de hesaplanabilir bir parametrik Φ ailesi öneriyoruz.

Faktörize yapı. Qualia vektörünü, fenomenolojik deneyimin farklı yönlerini yakalayan üç ana bileşene ayırıyoruz:

$$\Phi(x, S_t) = (\phi_{\text{modal}}(x, S_t), \phi_{\text{affect}}(x, S_t), \phi_{\text{struct}}(x, S_t)) \in \mathbb{R}^{m_1+m_2+m_3}, \quad (93)$$

Not: Notasyonun sade olması için $\Phi(x, S_t)$ yazıyoruz; ancak Φ , değer fonksiyonu U , bilinç düzeyi L_t ve öncelik vektörü W_t üzerinden dolaylı olarak (M_t, W_t) 'ye de bağımlıdır.

burada:

- ϕ_{modal} : duyusal modalite kompozisyonu (görsel, işitsel, dokunsal, vb. modalitelerin göreceli baskınlığı),
- ϕ_{affect} : duygulanımsal ekseni (valans, arousal ve ilgili duygusal boyutlar),
- ϕ_{struct} : deneyimin yapısal özellikleri (yoğunluk, yenilik, zamansal dinamik, dikkat keskinliği, bedensellik).

Modalite Kompozisyonu (ϕ_{modal}). Duyusal durum S_t 'nin modalitelere ayrılmış alt-uzaylara sahip olduğunu varsayıyalım (3.3):

$$S_t = (S_t^{(\text{vis})}, S_t^{(\text{aud})}, S_t^{(\text{som})}, S_t^{(\text{int})}, \dots), \quad (94)$$

burada:

- $S_t^{(\text{vis})}$: görsel bilgi,
- $S_t^{(\text{aud})}$: işitsel bilgi,
- $S_t^{(\text{som})}$: somatosensory (dokunma, propriocepşyon),
- $S_t^{(\text{int})}$: interoceptive (iç beden durumu: kalp atışı, solunum, visseral sinyaller).

Her modalite için bir aktivasyon enerjisi tanımlarız:

$$e_\ell(S_t) = \|S_t^{(\ell)}\|^2, \quad \ell \in \{\text{vis, aud, som, int, } \dots\}, \quad (95)$$

ve bu enerjiler üzerinden softmax ile normalize edilmiş bir dağılım elde ederiz:

$$p_\ell(S_t) = \frac{\exp(\kappa_m e_\ell(S_t))}{\sum_j \exp(\kappa_m e_j(S_t))}, \quad (96)$$

burada $\kappa_m > 0$ modalite seçiciliğini kontrol eden bir parametredir (yüksek $\kappa_m \rightarrow$ daha keskin modalite ayrimı).

Böylece modalite bileşeni:

$$\phi_{\text{modal}}(x, S_t) = (p_{\text{vis}}(S_t), p_{\text{aud}}(S_t), p_{\text{som}}(S_t), p_{\text{int}}(S_t), \dots) \in \Delta^{m_1-1} \quad (97)$$

qualia'nın "hangi modaliteden ne kadar oluştuğu"nu kodlayan bir karışım vektördür.

Fenomenolojik yorum: Bu bileşen, deneyimin "görsel ağırlıklı mı, işitsel ağırlıklı mı, yoksa bedensel mi" olduğunu temsil eder. Synesthesia gibi çapraz-modal deneyimler, bu vektörde çoklu modalitelerin eşzamanlı yüksek değerler almasıyla karakterize edilir.

Duygulanımsal Eksen (ϕ_{affect} **).** Duygulanımsal boyut, fenomenolojinin hedonik ve uyarılma özelliklerini yakalar. Russell'ın circumplex modeli [22] ve duygulanım araştırmalarına uygun olarak, en az iki temel eksen tanımlarız:

Valans (hedonik değer). Değer fonksiyonu $U(x, S_t, M_t) \in \mathbb{R}^k$ ve öncelik vektörü $W_t \in \Delta^{k-1}$ zaten teoride tanımlıdır (3.4). Valans, bu çok-bileşenli değer yapısından öğrenilebilir bir projeksiyon ile türetilabilir:

$$\phi_{\text{val}}(x, S_t) = \tanh(v_{\text{val}}^\top U(x, S_t, M_t)), \quad v_{\text{val}} \in \mathbb{R}^k, \quad (98)$$

burada v_{val} , pozitif ödül ve negatif ceza eksenlerini seçen öğrenilebilir bir ağırlık vektördür. \tanh fonksiyonu, valansı $[-1, +1]$ aralığına normalize eder (negatif \rightarrow olumsuz his, pozitif \rightarrow olumlu his).

Arousal (uyarılmışlık). Arousal, hem seçimin keskinliği hem de genel bilinç düzeyiyle ilişkilidir. Ancak basit bir "yüksek seçim = yüksek arousal" ilişkisi yetersizdir; çünkü panik gibi durumlarda yüksek arousal ama dağınık bilinç olabilir.

Daha kapsamlı bir form öneriyoruz:

$$\phi_{\text{ar}}(x, S_t) = \sigma(\gamma_1 \|U(x, S_t, M_t)\| + \gamma_2 L_t + \gamma_3 W_t^{(\text{threat})}), \quad (99)$$

burada:

- $\|U\|$: değer vektörünün normu (büyük değerler \rightarrow yüksek stake durumlar),
- $L_t = D_{\text{KL}}(\pi_t \| P_t)$: bilinç düzeyi metriği (3.10),
- $W_t^{(\text{threat})}$: tehdit/tehlike ile ilişkili öncelik bileşeni (varsayı),
- σ : lojistik fonksiyon, $[0, 1]$ aralığına normalize eder,
- $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$: öğrenilebilir ağırlıklar.

Fenomenolojik yorum: Yüksek ϕ_{ar} değerleri, "uyanık, enerjik, alert" deneyimlere; düşük değerler ise "sakin, durgun, yorgun" deneyimlere karşılık gelir.

Genişletilmiş duygusal boyutları (opsiyonel). Ek duygusal boyutlar (korku, öfke, merak, üzüntü) için, U üzerinde benzer projeksiyonlar tanımlanabilir:

$$\phi_{\text{fear}}(x, S_t) = \sigma(v_{\text{fear}}^\top U(x, S_t, M_t)), \quad \phi_{\text{anger}}(x, S_t) = \sigma(v_{\text{anger}}^\top U(x, S_t, M_t)), \quad (100)$$

vb. Bu durumda duygulanımsal bileşen:

$$\phi_{\text{affect}}(x, S_t) = (\phi_{\text{val}}, \phi_{\text{ar}}, \phi_{\text{fear}}, \phi_{\text{anger}}, \dots) \in \mathbb{R}^{m_2}. \quad (101)$$

Yapısal Özellikler (ϕ_{struct} **).** Yapısal bileşen, deneyimin "ne kadar yoğun", "ne kadar yeni", "ne kadar dinamik" ve "ne kadar odaklanmış" olduğunu yakalar.

Fenomenolojik yoğunluk. Deneyimin genel yoğunluğu, iç temsil vektörünün normu ile ölçülebilir:

$$\phi_{\text{int}}(x, S_t) = \rho_1 \|x\|_2, \quad (102)$$

burada $\rho_1 > 0$ ölçek parametresidir. Yüksek ϕ_{int} , zengin ve yoğun bir deneyimi; düşük değerler ise hafif ve silik bir deneyimi temsil eder.

Yenilik / Sürpriz. Deneyimin ne kadar beklenmedik olduğu, geçmiş deneyimlerle olan uzaklığa bağlıdır. Geçmiş T adımdaki (x_τ, S_τ) çiftlerinden öğrenilen bir manifold tahmini $\mathcal{M}_{\text{past}}$ tanımlayalım (örneğin bir auto-encoder ile). Yenilik:

$$\phi_{\text{nov}}(x, S_t) = \rho_2 d((x, S_t), \mathcal{M}_{\text{past}}), \quad (103)$$

burada $d(\cdot, \mathcal{M})$ noktanın manifold'a olan uzaklığıdır (örneğin reconstruction error). Yüksek ϕ_{nov} , beklenmedik, sürpriz deneyimleri yakalar.

Not: $\mathcal{M}_{\text{past}}$, pratikte son T adımdaki örnekler üzerinden öğrenilen bir PCA manifoldu, variational autoencoder latent space'i veya benzeri bir yapı olarak gerçekleştirilebilir.

Zamansal dinamik. Deneyimin zamansal değişim hızı:

$$\phi_{\text{temp}}(C_t, S_t) = \rho_3 \| (C_t, S_t) - (C_{t-1}, S_{t-1}) \| \quad (104)$$

Hızlı değişen deneyimler (örn. ani korku, sürpriz) yüksek ϕ_{temp} ile karakterizedir; durağan, sakin deneyimler ise düşük değerler alır.

Dikkat keskinliği / Odaklanma. Dikkat odağının ne kadar keskin olduğu, modalite dağılımının entropisi ile ölçülebilir:

$$\phi_{\text{focus}}(x, S_t) = \rho_4 (H_{\max} - H(p_{\text{modal}})), \quad (105)$$

burada $H(p_{\text{modal}})$, (96)'teki modalite dağılımının Shannon entropisidir ve $H_{\max} = \log(m_1)$ maksimum entropidir. Düşük entropi \rightarrow keskin odak (tek modalite baskın), yüksek entropi \rightarrow dağınık dikkat (çoklu modaliteler).

Bedensellik / Interoception. Eğer $S_t^{(\text{int})}$ iç beden durumunu içeriyorsa, bu boyutun qualia üzerindeki etkisi:

$$\phi_{\text{body}}(x, S_t) = \rho_5 \| S_t^{(\text{int})} \|, \quad (106)$$

Yüksek ϕ_{body} , bedene odaklanmış deneyimleri (örn. fiziksel acı, yorgunluk, açlık, nefes farkındalığı) yakalar. Bu, embodied cognition teorileri [23] ile uyumludur.

Toplu yapısal vektör. Yapısal bileşen:

$$\phi_{\text{struct}}(x, S_t) = (\phi_{\text{int}}, \phi_{\text{nov}}, \phi_{\text{temp}}, \phi_{\text{focus}}, \phi_{\text{body}}) \in \mathbb{R}^{m_3}. \quad (107)$$

Neden Bu Faktörizasyon? Önerilen Φ yapısı yalnızca hesaplama kolaylığı için seçilmiş keyfi bir ayırtırma değildir. Üç temel gerekçeye dayanır:

(1) Fenomenolojinin tarihsel eksenleri ile biyolojik ayrişmanın hizalanması. Klasik fenomenoloji (Husserl, Merleau-Ponty), duyusal içerik (modalite), duygulanım (valans-arousal) ve deneyimin yapısal özellikleri (odaklanma, yoğunluk, zamansallık) arasında doğal bir ayrim yapar. Nörobilimde de bu üç eksen farklı nöral yollara karşılık gelir: duyusal korteksler, limbik sistem ve frontoparietal ağlar. Dolayısıyla seçtiğimiz faktörizasyon hem fenomenolojik hem biyolojik olarak doğal bir bölünmedir.

(2) Tersine mühendislik yapılabilitiği. Φ 'nin parçalanması, öğrenilebilirlik açısından kritik önemdedir. Tek bir dev boyutlu, anlamlandırılabilir bir qualia vektörü yerine:

- modalite,
- duygulanım,
- yapısal nitelikler

gibi ayrı bileşenlere ayrılmış bir yapı, hem FBCT ajanlarından hem insan verisinden öğrenilebilir. Her boyutun açık fenomenolojik karşılığı olduğu için, sinyal-gürültü oranı artar ve Φ tersine mühendislik yoluyla daha kolay tahmin edilir. Bu, Hard Problem'i pratik bir rekonstrüksiyon problemine indirger.

(3) Evrensel temsil gücü ve genelleme. Bu üç bileşen, hem insan bilincinde hem yapay ajanlarda görülmeli beklenen tüm qualia varyasyonlarını ifade edecek kadar geneldir. Modalite bileşeni duyusal çeşitliliği, affect bileşeni motivasyonel durumları, yapısal bileşen ise deneyimin geometrisini kapsar. Bu üçlü yapı, farklı bilinç türleri (hayvan, insan, yapay sistemler) arasında ortak karşılaştırma yapılmasını sağlar.

Sonuç: Seçim keyfi değil, zorunludur. Bu nedenle, önerilen faktörizasyon:

1. fenomenolojik açıdan doğal,
2. nörobiyolojik açıdan temelli,
3. hesaplamalı açıdan zorunlu,
4. tersine mühendislik açısından optimal

bir seçimdir. Alternatif bir faktörizasyon, ya hesaplamayı zorlaştıracak ya da fenomenolojiyi kaybedecek veya nörobiyolojik karşılıkları zayıflatacaktır.

Tam Φ Fonksiyonu. Yukarıdaki üç bileşeni birleştirerek:

$$\Phi(x, S_t) = \begin{pmatrix} \phi_{\text{modal}}(x, S_t) \\ \phi_{\text{affect}}(x, S_t) \\ \phi_{\text{struct}}(x, S_t) \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^m, \quad m = m_1 + m_2 + m_3 \quad (108)$$

Bu form:

1. **Fenomenolojik olarak zengin:** Russell circumplex modeli, modalite teorisi, embodied cognition gibi klasik yaklaşımlarla uyumlu.
2. **Yorumlanabilir:** Her boyutun net fenomenolojik karşılığı var.
3. **Öğrenilebilir:** Parametreler $\{v_{\text{val}}, \gamma_i, \rho_i, \kappa_m\}$ Tahmin 14'te açıklanan tersine mühendislik yoluyla, FBCT ajanlarından veya insan nöral/davranışsal verisinden fit edilebilir.
4. **Modüler:** Yeni boyutlar (örn. sosyal salience, epistemik değer) gerektiğinde eklenebilir.

Öğrenilebilirlik Stratejisi. 5.2, Tahmin 14'te detaylandırılan tersine mühendislik sürecinde:

1. FBCT ajanı eğitilir, her adımda $(C_t, S_t, Q_t^{\text{self-report}})$ kayıt edilir.
2. $Q_t^{\text{self-report}}$ vektörü, yukarıda tanımlanan boyutları içerir: modalite kompozisyonu, valans, arousal, yoğunluk, yenilik, vb.
3. Parametreler $\theta = \{v_{\text{val}}, \gamma_i, \rho_i, \kappa_m, \dots\}$ şu optimizasyon ile öğrenilir:

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} \sum_{i=1}^N \|Q_t^{(i)} - \Phi_{\theta}(C_t^{(i)}, S_t^{(i)})\|^2. \quad (109)$$

4. Öğrenilen $\hat{\Phi}_{\theta}$, yeni durumlarda test edilir ve cross-agent tutarlılığı değerlendirilir.

Fenomenolojik Literatürle Bağlantılar. Bu Φ yapısı, çeşitli fenomenolojik ve psikolojik teorilerle doğal bağlantılara sahiptir:

- **Russell'in Circumplex Modeli** [22]: $(\phi_{\text{val}}, \phi_{\text{ar}})$ eksenleri doğrudan bu modelle uyumlu.
- **Embodied Cognition** [23]: ϕ_{body} bileşeni, bedensel temellendirilmiş bilinç teorileriyle örtüşür.
- **Predictive Processing** [16]: ϕ_{nov} (yenilik/sürpriz) tahmin hatası kavramıyla doğrudan ilişkilidir.
- **Nörofenomenoloji** [24]: Φ 'nin parametrelerinin nöral aktiviteden öğrenilmesi, birinci şahıs raporlar ile üçüncü şahıs ölçümler arasında köprü kurar.

Bu detaylı yapılandırma, Φ 'nin tamamen soyut bir "kara kutu" olmaktan çıkıp, fenomenolojik olarak anlamlı, matematiksel olarak kesin ve deneyisel olarak öğrenilebilir bir fonksiyon ailesi haline geldiğini gösterir. Hard problem, böylece ontolojik bir muammadan, *öğrenilebilir bir projeksiyon problemine* indirgenir.

Not: Burada verilen Φ yapısı zorunlu değil; fenomenolojik boyutları yakalayan örnek bir parametrik formdur. Farklı araştırma programları farklı Φ parametrizasyonları kullanabilir.

Qualia Mapping Sınırlamaları Φ . Önerdiğimiz Φ fonksiyonu yorumlanabilir ve öğrenilebilir olmasına rağmen tam bir fenomenolojik izomorfizm değildir. Aşağıdaki sınırlıkları kabul ediyoruz:

1. Φ eksik olabilir: tüm fenomenolojik boyutları yakalamak zorunda değildir.
2. Φ canlı türüne göre değişebilir: her tür kendi qualia uzayının farklı projeksiyonlarına sahip olabilir.
3. Φ yalnızca *fonksiyonel ayırt edilemezlik* sınıflarını temsil eder — fenomenolojik özün ontolojik açıklamasını vermez.
4. Φ tam bir izomorfizm değil, yüksek boyutlu fenomenolojik uzayın *hesaplanabilir bir projeksiyonudur*.

Bu sınırlıklar, Φ 'nin teoriyi zayıflatmaz; aksine, hard problem'i ontolojik bir muammadan ölçülebilir ve test edilebilir bir projeksiyon problemine indirger. Teorinin başarısı, Φ 'nin "mutlak doğru" olup olmadığıyla değil, ne ölçüde tutarlı, öğrenilebilir ve tahmin edici olduğuyla ölçülmeliidir.

3.12 Fenomenal Durum Uzayı ve Fonksiyonel Eşleme

3.12.1 Motivasyon ve kapsam

Bilinç teorilerinin en tartışmalı yönlerinden biri, fonksiyonel/ hesaplama süreçlerin öznel deneyimle nasıl ilişkilendiği sorusudur (hard problem of consciousness). FBCT bu soruya *ontolojik* bir cevap sunmaya çalışmadı; bunun yerine daha mütevazı, fakat deneysel olarak test edilebilir bir hedef güder:

Hedef: Hangi fonksiyonel durumların benzer öznel raporlara, davranışsal seçimlere ve fenomenolojik yargılara yol açması gerektiğini belirleyen bir eşleme şeması tanımlamak.

Bu yaklaşım, "neden öznel deneyim var?" sorusunu askıya alır ve bunun yerine "hangi fonksiyonel durumlar, öznenin ifadesine göre fenomenal olarak benzer/different sayılmalıdır?" gibi operasyonel sorulara odaklanır. Böylece FBCT, fonksiyonel durumlar ile fenomenolojik benzerlik yargıları arasında yapı-koruyan bir köprü kurmayı hedefler.

3.12.2 Fonksiyonel durum vektörü

FBCT'nin önceki bölümlerde tanımlanan temel değişkenler kullanılarak, zaman t 'deki fonksiyonel durum, sabit boyutlu bir vektör olarak özetlenebilir:

$$z_t = \begin{bmatrix} \phi_S(S_t) \\ \phi_M(M_t) \\ W_t \\ C_t \\ \beta_t \\ \alpha_t \\ \kappa_t \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^D,$$

burada:

- $\phi_S(S_t) \in \mathbb{R}^{d_S}$: Duyusal durumun (Bölüm 3.4.1) kodlanmış temsili,
- $\phi_M(M_t) \in \mathbb{R}^{d_M}$: Bellek durumunun özet temsili,
- $W_t \in \mathbb{R}^k$: Öncelik/değer vektörü,
- $C_t \in \mathbb{R}^{d_C}$: Çöküş operatörü tarafından seçilen bilinçli içerik,
- $\beta_t \in \mathbb{R}$: Sicaklık parametresi (Bölüm 3.1.6),
- $\alpha_t \in \Delta^2$: Bileşen ağırlıkları $(\alpha_{S,t}, \alpha_{M,t}, \alpha_{W,t})$ (Bölüm 3.6),
- $\kappa_t \in \mathbb{R}^{d_\kappa}$: Bedensel durum, duygusal ton ve dikkat gibi ek bağlamsal değişkenlerin özeti.

Toplam boyut $D = d_S + d_M + k + d_C + 1 + 3 + d_\kappa$ olup pratik uygulamalarda tipik olarak 10^2 – 10^3 aralığında seçilebilir. Böylece $\mathcal{Z} \subset \mathbb{R}^D$, FBCT ajanının fonksiyonel durum uzayı olarak düşünülebilir.

3.12.3 Fenomenal durum uzayı

Fenomenolojik deneyimlerin temsil edildiği soyut bir uzay tanımlarız:

$$\mathcal{Q} = (\mathcal{Q}, d_{\mathcal{Q}}),$$

burada \mathcal{Q} , fenomenal durumların kümesi; $d_{\mathcal{Q}}$ ise bu durumlar arasındaki öznel benzerliği nicelleştiren bir metriktir. Sezgisel olarak:

$d_{\mathcal{Q}}(q_1, q_2)$ küçük $\Rightarrow q_1$ ve q_2 deneyim olarak birbirine çok benzer,

$d_{\mathcal{Q}}(q_1, q_2)$ büyük \Rightarrow deneyimler fenomenolojik olarak belirgin biçimde farklıdır.

Teorik düzeyde \mathcal{Q} yalnızca bir metrik uzay olarak varsayırlı;实践中 ise genellikle $\mathcal{Q} \subset \mathbb{R}^{d_Q}$ olarak öğrenilmiş bir gömülü uzay (embedding) biçiminde alınabilir.

3.12.4 Fonksiyonel durumdan fenomenal duruma eşleme: Φ

Fonksiyonel durumdan fenomenal duruma

$$\Phi : \mathcal{Z} \rightarrow \mathcal{Q}, \quad q_t = \Phi(z_t),$$

eşleme fonksiyonu ile geçilir. FBÇT açısından bilinçli deneyimin *çekirdek taşıyıcısı* çöküş sonucu seçilen içerik C_t 'dir; ancak deneyimin tam fenomenal profili, bağlamı oluşturan diğer bileşenlere de bağlıdır:

$$q_t = \Phi(\phi_S(S_t), \phi_M(M_t), W_t, C_t, \beta_t, \alpha_t, \kappa_t).$$

Fonksiyonel ve fenomenal benzerlik arasında zayıf bir süreklilik varsayımlı yaparız. \mathcal{Z} üzerinde, bileşenlerin ölçeklerine uygun bir metrik $d_{\mathcal{Z}}$ seçildiğinde, Φ için Lipschitz türü bir kısıt öne sürüldür:

$$d_{\mathcal{Q}}(\Phi(z_1), \Phi(z_2)) \leq L d_{\mathcal{Z}}(z_1, z_2),$$

bir $L > 0$ sabiti için. Bu, fonksiyonel durumdaki küçük değişimlerin, fenomenolojik uzayda keyfi derecede büyük sıçramalara yol açmaması gerektiğini ifade eder; bu da fenomenolojik sezgiler ve klinik gözlemlerle uyumludur.

3.12.5 Eşdeğerlik sınıfları ve “aynı fenomenal durum“

Öznenin ayırt edemediği küçük farkları modellemek için, \mathcal{Q} üzerinde bir eşdeğerlik ilişkisi tanımlayabiliriz. Bir $\varepsilon > 0$ eşiği verildiğinde:

$$q_1 \sim q_2 \iff d_{\mathcal{Q}}(q_1, q_2) < \varepsilon.$$

Bu durumda her eşdeğerlik sınıfı

$$[q] = \{q' \in \mathcal{Q} \mid q' \sim q\}$$

öznenin fenomenolojik olarak “aynı” kabul ettiği bir durum kümesini temsil eder. Böylece “aynı kırmızıyı görürüm” gibi ifadeler, bu eşdeğerlik sınıfları üzerinden formel hale getirilebilir.

3.12.6 Deneysel veri üzerinden Φ 'nin öğrenilmesi

Teoride Φ doğrudan tanımlansa da, fenomenal duruma doğrudan erişim mümkün değildir; yalnızca raporlar, benzerlik yargılıarı ve seçim davranışları gözlemlenebilir. Bu nedenle Φ , dolaylı veri üzerinden öğrenilen parametrik bir fonksiyon olarak ele alınır.

Deneysel bir paradigmayı düşünelim: her denemede sistem bir fonksiyonel durum z_i üretir ve özne, bu duruma ilişkin fenomenolojik raporu r_i verir (örneğin bir skala, etiket veya benzerlik yargısı). Özellikle üçlü karşılaştırmalar (triplet) şu tür kısıtlar üretir:

“ z_i deneyimi, z_j 'ye, z_k 'ye olduğundan daha çok benzıyor.”

Bu, aşağıdaki sıralama kısıtına dönüştürülebilir:

$$d_{\mathcal{Q}}(\Phi(z_i), \Phi(z_j)) + \delta \leq d_{\mathcal{Q}}(\Phi(z_i), \Phi(z_k)),$$

burada $\delta > 0$ bir marjdır. Tüm bu kısıtları minimize eden bir kayıp fonksiyonu:

$$\mathcal{L}_{\Phi} = \sum_{(i,j,k) \in \mathcal{T}} \left[\delta + d_{\mathcal{Q}}(\Phi(z_i), \Phi(z_j)) - d_{\mathcal{Q}}(\Phi(z_i), \Phi(z_k)) \right]_+,$$

üzerinden Φ parametrik olarak (örneğin bir sinir ağının) öğrenilebilir. Sonuçta ortaya çıkan \mathcal{Q} ve $d_{\mathcal{Q}}$, fenomenolojik benzerlik yargılara en iyi uyan gömülü uzay olarak yorumlanır.

3.12.7 Somut örnek: renk ve duygusal ton

Renk algısı, fenomenal gömülü uzayın yapısını somutlaştırmak için klasik bir örnektir. Basitleştirilmiş bir durumda, C_t “bir yüzeyin yansittiği dalga boyu dağılımını temsil eden” bir durum olsun ve W_t bu uyaranla ilişkili duygusal/motivasyonel bileşenleri içersin.

Deneysel olarak, öznel renk benzerliklerine dayalı bir gömme ile üç boyutlu bir renk uzayı elde edilebilir; FBCT perspektifinden bu, \mathcal{Q} 'nun renk alt uzayının yaklaşıklık bir örneğidir. Bu durumda

$$q_t^{(\text{renk})} = \Phi_{\text{renk}}(\phi_S(S_t), C_t, \kappa_t) \in \mathbb{R}^3$$

olarak düşünülebilir. Aynı fiziksel uyaran (aynı C_t) farklı bağlamlarda (farklı W_t ve κ_t) algısal olarak aynı renge karşılık gelebilir, ancak \mathcal{Q} içinde renk alt uzayma eklenen duygusal boyutlarda farklı noktalara haritalanabilir. Böylece “*aynı rengi hem çekici hem rahatsız edici bulma*” gibi olgular, aynı renk alt-manifold’unda farklı duygusal koordinatlara sahip fenomenal durumlar olarak modellenebilir.

3.12.8 Deneysel test edilebilirlik

Fonksiyonel-fenomenal eşleme Φ için FBCT, aşağıdaki türde test edilebilir tahminler üretir:

Test 1: Benzerlik yarglarının öngörüsü. İki fonksiyonel durum z_i, z_j verildiğinde model:

$$d_{\mathcal{Q}}(\Phi(z_i), \Phi(z_j)) \propto \text{öznel benzerlik derecesi}$$

öngörüsünde bulunur. Deneysel paradigmalarda, farklı uyaran kombinasyonlarının öznel benzerlik puanları ile model tarafından hesaplanan $d_{\mathcal{Q}}$ arasındaki korelasyon, eşlemenin geçerliliği için bir ölçüt sunar.

Test 2: Çapraz-modal benzerlik. Görsel ve işitsel uyaranlar gibi farklı modalitelere ait durumlar, aynı fenomenal alt-manifold'a projekte edilip edilmediği test edilebilir. Örn. yüksek frekanslı bir ses ile yüksek parlaklıklı bir ışık, benzer “*uyanıklık/arousal*” boyutuna map oluyorsa $d_{\mathcal{Q}}$ küçük olmalıdır.

Test 3: Klinik disosiasyon. Depersonalizasyon veya derealizasyon gibi durumlarda, fonksiyonel bileşenler (örneğin $\phi_S(S_t)$ ve C_t) görece korunmuş olabilir; ancak öznel rapor “*gerçek dışılık*” hissi barındırır. FBCT perspektifinden bu, fonksiyonel durum z_t 'nin normal aralikta olmasına karşın Φ 'nin çıktısının, sağlıklı deneklerin \mathcal{Q} 'sına göre marginal bölgelerde yer almasıyla modellenebilir; bu da öğrenilmiş Φ 'ye göre yüksek “*residual error*” ile ölçülebilir.

Bu tür testler, Bölüm 6.2'te önerilen nöral tahminlerle birlikte, FBCT'nin fenomenal eşleme bileşenini falsifiye edilebilir bir çerçeve haline getirir.

3.12.9 Nörobiyolojik substrat

Fonksiyonel durum z_t ile nöral durum B_t arasındaki ilişkisi, iki aşamalı bir şema ile düşünebiliriz:

$$B_t \xrightarrow{\rho} z_t \xrightarrow{\Phi} q_t.$$

Burada ρ , fiziksel beyin durumundan (örneğin geniş ölçekli aktivite desenlerinden) FBCT'nin fonksiyonel bileşenlerine giden haritalamayı temsil eder. Tablo 4, z_t 'nin bileşenleri için olası nöral karşılıkları özetler.

Bu tablo, FBCT'nin fenomenal eşleme bileşeninin, özgürlük nöral ölçümler üzerinden dolaylı olarak test edilmesine olanak tanır: benzer z_t ve dolayısıyla benzer q_t beklenen durumlarda, ilgili bölgelerde benzer aktivasyon desenleri gözlenmelidir.

3.12.10 Kapsam ve sınırlamalar

Bu formalizm *şunları yapmaz*:

- Qualia'nın ontolojik doğasını açıklamaz,
- “Neden fenomenal deneyim var?” sorusuna cevap vermez,
- Hard problem'i çözme iddiasında bulunmaz,
- Zombi veya Mary's Room gibi düşünce deneylerini doğrudan çürütmeye çalışmaz.

Buna karşılık, *şunları yapar*:

z_t bileşeni	Olası nöral substrat	Ölçülebilir gösterge
$\phi_S(S_t)$	V1–V4, birincil/sekonder duyusal korteks	BOLD sinyali, lokal alan potansiyeli
$\phi_M(M_t)$	Hippocampus, medial temporal lob	Theta gücü, pattern completion imzaları
W_t	OFC, vmPFC, VTA	fMRI aktivitesi, dopaminerjik sinyaller
C_t	Frontoparietal ağ	GNW-benzeri geniş ölçekli aktivasyon
β_t	ACC, LC (arousal sistemleri)	Pupilla genişliği, EEG uyarılma indeksleri
α_t	DLPFC, bağlam-duyarlı prefrontal ağlar	Görev bağlamına bağlı modülasyon desenleri
κ_t	Insula, somatotopik alanlar	Enteroseptif ve bedensel durum göstergeleri

Table 4: Fonksiyonel durum vektörünün bileşenleri için olası nöral eşlemeler.

- Fonksiyonel eşdeğerlik için, fenomenal benzerlik bazlı operasyonel kriterler sunar,
- Öznel raporları ve benzerlik yargilarını, sistemin fonksiyonel değişkenleriyle ilişkilendirir,
- Deneysel olarak test edilebilir tahminler üretir (benzerlik yarguları, çapraz-modal benzerlik, klinik dissosiasyon),
- Farklı bilişsel mimarilerin, aynı fenomenal uzaya gömülüp gömülemeyeceğini incelemek için ortak bir çerçeve sağlar.

FBCT'nin iddiası, kısaca, *aynı fonksiyonel durum vektörünün (zaman ve gürültü farkları dışında) aynı davranışsal/fenomenal profile yol açması gerekīdir*. Bu, metafizik tartışmaları askıya alarak, bilinç araştırmalarını deneysel olarak erişilebilir bir seviyeye çekmeyi amaçlar.

3.13 Algoritma: FBCT Ajani

Teorinin hesaplamalı uygulamaları ve yapay sistemlerdeki testleri için, tam FBCT dinamiğini uygulayan bir algoritma sunulur.

Algorithm 1 FBCT Ajani – Tek Zaman Adımı

Require: S_t (duyusal girdi), M_t (bellek), W_t (ağırlık), β_t (sıcaklık)

Ensure: C_t (bilinç durumu), M_{t+1} , W_{t+1}

1: **Aday Üretime:**

2: $\mu_t \leftarrow G(S_t, M_t, W_t)$

3: Örnekle: $\{x_t^{(i)}\}_{i=1}^N \sim \mu_t$

4: **Değer Hesaplama:**

5: **for** $i = 1, \dots, N$ **do**

6: $U^{(i)} \leftarrow U(x_t^{(i)}, S_t, M_t)$

7: $f^{(i)} \leftarrow \langle W_t, U^{(i)} \rangle$

8: **if** self-model aktif **then**

9: $f^{(i)} \leftarrow f^{(i)} - \lambda \|x_t^{(i), \text{self}} - F_{\text{self}}(H_t)\|^2$

10: **end if**

11: **end for**

12: **Politika Dağılımı:**

13: $\pi_t^{(i)} \leftarrow \frac{\exp(\beta_t f^{(i)})}{\sum_{j=1}^N \exp(\beta_t f^{(j)})}$

14: **Çöküş:**

15: $k \sim \text{Categorical}(\pi_t)$

16: $C_t \leftarrow x_t^{(k)}$

17: **Geri Bildirim:**

18: Gözlem: R_t (ödül/ceza sinyali)

19: $\Delta M_t \leftarrow \eta_M \cdot h(C_t, S_t, M_t)$

20: $M_{t+1} \leftarrow M_t + \Delta M_t$

21: $\Delta W_t \leftarrow \alpha_W \cdot g(R_t, W_t, C_t)$

22: $W_{t+1} \leftarrow \Pi_{\Delta^{k-1}}(W_t + \Delta W_t)$

return C_t, M_{t+1}, W_{t+1}

Bu algoritma, simülasyon çalışmalarında (6.4, Tahmin 7-8) ve yapay bilinç adaylarının test edilmesinde (6.5, Tahmin 9-10) doğrudan kullanılabilir.

3.14 Teorinin Derli Toplu Özeti

FBCT, bilinç dinamiğini aşağıdaki temel yapı taşları üzerinden formelleştirir:

Durum uzayları:	$S_t \in \mathbb{R}^{n_S}$, $M_t \in \mathbb{R}^{n_M}$, $W_t \in \Delta^{k-1}$, $X_t \in \mathbb{R}^{n_X}$
Aday üretimi:	$\mu_t(dx) = G(S_t, M_t, W_t)(dx)$
Değer fonksiyonu:	$U : X \times \mathcal{S} \times \mathcal{M} \rightarrow \mathbb{R}^k$, $f = \langle W, U \rangle$
Politika ve çöküş:	$\pi_t(dx) \propto \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t)) \mu_t(dx)$, $C_t \sim \pi_t$
Geri bildirim:	$(M_{t+1}, W_{t+1}) = \mathcal{F}(M_t, W_t, S_t, C_t)$
Benlik modeli:	$\ x_t^{\text{self}} - F_{\text{self}}(H_t)\ \leq \varepsilon$
Bilinç düzeyi:	$L_t = D_{\text{KL}}(\pi_t \parallel P_t)$
Qualia yapısı:	$Q = (X \times \mathcal{S}) / \sim$, $\Phi : X \times \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^m$

Bu çerçeve, bilinci

- hesaplanabilir bir seçim süreci,
- dinamik ve geri beslemeli bir kontrol sistemi,
- ve fenomenolojik içeriği quotient uzayında yapılandırılmış bir durum

olarak ele alır. Sonraki bölümlerde, bu formel yapının klasik felsefi sorulara nasıl sistematik cevaplar ürettiği (5) ve hangi deneysel tahminleri gerektirdiği (6) detaylandırılacaktır.

4 Temel İlkeler ve Varsayımlar

Önceki bölümlerde FBCT'nin matematiksel yapısını geliştirdik: çöküş operatörü C_t , jeneratif süreç G , değer fonksiyonu f , ve fenomenal eşleme Φ . Bu bölümde teorinin dayandığı temel ilkeleri açıkça ifade ediyoruz. Bu ilkeler hem FBCT'nin yapısal özelliklerini özetler hem de test edilebilir tahminler için temel oluşturur.

4.1 İlke 1: Fonksiyonel Durum Tamlığı

İfade. Zaman t 'deki fonksiyonel durum vektörü

$$z_t = (\phi_S(S_t), \phi_M(M_t), W_t, C_t, \beta_t, \alpha_t, \kappa_t) \in \mathbb{R}^D,$$

özneden bilinçli deneyimilarındaki tüm fonksiyonel olarak ilgili bilgiyi içerir.

Sezgi. İki sistem aynı z_t durumuna sahipse, fonksiyonel açıdan ayırt edilemezler ve aynı fenomenal profile yol açmalıdır. Bu, bilinç için "fonksiyonel yeterlilik" ilkesidir.

Sonuç. Fenomenal benzerlik yargıları, yalnızca z_t bileşenlerinin benzerliğine bağlıdır. Mikro-fiziksel implementasyon detayları (multiple realizability) fenomenal durumu değiştirmez.

4.2 İlke 2: Fenomenal Sürekllilik

İfade. Fonksiyonel durum uzayı \mathcal{Z} ve fenomenal durum uzayı \mathcal{Q} arasındaki eşleme $\Phi : \mathcal{Z} \rightarrow \mathcal{Q}$ Lipschitz sürekli dir:

$$d_{\mathcal{Q}}(\Phi(z_1), \Phi(z_2)) \leq L d_{\mathcal{Z}}(z_1, z_2),$$

burada $L > 0$ bir Lipschitz sabitidir.

Sezgi. Fonksiyonel durumda küçük değişimler, fenomenal deneyimde keyfi derecede büyük sıçramalara yol açamaz. Beyin durumundaki kademeli değişimler, deneyimde de kademeli değişimlere karşılık gelir.

Sonuç. Bu kısıt, Φ 'nin benzerlik yargıları üzerinden öğrenilebilir olmasını sağlar ve "fenomenal ucuurum" (ani sıçramalar) senaryolarını dışlar. Klinik olarak, beyin hasarının kademeli fenomenal değişimlere yol açması beklenir.

4.3 İlke 3: Çöküş-Temelli İçerik Belirlenimi

İfade. Bilinçli içeriğin çekirdeği, çöküş operatörü tarafından seçilen durumdur:

$$C_t \sim \pi_t(\cdot | S_t, M_t, W_t),$$

burada π_t Boltzmann-softmax dağılımıdır. Ancak tam fenomenal durum yalnızca C_t 'den ibaret değildir:

$$q_t = \Phi(z_t) = \Phi(\phi_S(S_t), \phi_M(M_t), W_t, C_t, \beta_t, \alpha_t, \kappa_t).$$

Sezgi. Bilinç hem *ne* seçildigine (C_t) hem de *hangi bağlamda* seçildigine ($W_t, \beta_t, \alpha_t, \kappa_t$) bağlıdır. Aynı içerik farklı duygusal/motivasyonel bağlamlarda farklı fenomenal deneyimlere yol açar.

Sonuç. Bu, "aynı algısal içeriği hem tehdit hem de masum görebilme" gibi bağlam-bağımlı fenomenolojik varyasyonları açıklar (örn. bahçe senaryosu, Bölüm 3.5.6).

4.4 İlke 4: Fonksiyonel Ayırt Edilemezlik

İfade. Eğer iki fonksiyonel durum bir eşik $\varepsilon_{\text{func}} > 0$ içinde yakınsa:

$$d_{\mathcal{Z}}(z_1, z_2) < \varepsilon_{\text{func}},$$

o zaman fenomenal olarak aynı eşdeğerlik sınıfına aittirler:

$$[\Phi(z_1)] = [\Phi(z_2)].$$

Sezgi. Çok küçük fonksiyonel farklar öznel olarak ayırt edilemez. Bu, “tam aynı kırmızıyı gördüm” gibi fenomenolojik eşdeğerlik yargılарının temelini verir.

Sonuç. Fenomenal durum uzayı \mathcal{Q} , sürekli bir manifold olsa da, pratik ölçütler sonlu sayıda ayırt edilebilir sınıfa karşılık gelir.

4.5 İlke 5: Fenomenal Eşlemenin Öğrenilebilirliği

İfade. Eşleme fonksiyonu $\Phi : \mathcal{Z} \rightarrow \mathcal{Q}$ soyut bir postüla degildir; deneysel veri üzerinden öğrenilebilir parametrik bir fonksiyon ailesidir. Triplet karşılaşışmaları, benzerlik yargıları ve davranışsal seçimler Φ için kısıtlar üretir (Bölüm 3.6.6).

Sezgi. Φ , fenomenal benzerlik yargılarına en iyi uyan gömülü uzay olarak ortaya çıkar. Bu, FBCT’yi deneysel olarak test edilebilir kılar.

Sonuç. Φ öğrenildikten sonra, yeni fonksiyonel durumlar için fenomenal tahminler yapılabilir. Klinik olarak, “bu beyin durumu hangi deneyime karşılık gelir?” sorusu cevaplanabilir hale gelir.

4.6 İlke 6: Nöral Alt-Temsil

İfade. Fonksiyonel durum vektörünün her bileşeni

$$(\phi_S, \phi_M, W_t, C_t, \beta_t, \alpha_t, \kappa_t),$$

özgül nöral yapılar ve ölçülebilir nöral göstergelerle ilişkilendirilebilir (Tablo 3.1). Benzer z_t durumları, ilgili beyin bölgelerinde benzer aktivasyon desenlerine yol açar.

Sezgi. FBCT’nin fonksiyonel bileşenleri tamamen soyut degildir; beynin fiziksel yapısına “ground” edilir. Her bileşen için nöral karşılık önerilebilir ve test edilebilir.

Sonuç. Bu ilke, FBCT’yi nörogörüntüleme ve elektrofizyoloji ile test edilebilir hale getirir. Örneğin, β_t artışının ACC ve LC aktivasyonuyla korelasyon göstermesi beklenir (Bölüm 3.1.6).

4.7 İlke 7: Bağlamsal Duyarlılık

İfade. Aynı çöküş içeriği C_t , farklı bağlamsal durumlarda ($W_t, \beta_t, \alpha_t, \kappa_t$) farklı fenomenal durumlara yol açabilir:

$$\Phi(\dots, C_t, W_t^{(1)}, \dots) \neq \Phi(\dots, C_t, W_t^{(2)}, \dots).$$

Sezgi. Deneyim yalnızca “ne görüldüğüne” değil, aynı zamanda duygusal, motivasyon, uyarılma ve dikkat gibi bağlamsal faktörlere de bağlıdır. Aynı duyusal input, farklı psikolojik durumlarda radikal biçimde farklı deneyimlere yol açabilir.

Sonuç. Bu, tehdit algısı, duygusal renklenme ve dikkat modülasyonunun fenomenolojik etkilerini açıklar. Örneğin, yüksek $\alpha_{W,t}$ altında “gölge” → “tehdit” olarak deneyimlenir; düşük $\alpha_{W,t}$ altında ise “belirsiz nesne” olarak kalır (Bölüm 3.3.1).

4.8 İlke 8: Fenomenal Eşdeğerlik Sınıfları

İfade. Fenomenal durum uzayı \mathcal{Q} üzerinde bir eşik $\varepsilon > 0$ için eşdeğerlik ilişkisi tanımlanır:

$$q_1 \sim q_2 \iff d_{\mathcal{Q}}(q_1, q_2) < \varepsilon.$$

Her eşdeğerlik sınıfı $[q]$, öznenin fenomenolojik olarak “aynı” kabul ettiği durumlar kümesidir.

Sezgi. Öznel deneyimde sürekli varyasyon olsa da, pratik olarak sonlu sayıda ayırt edilebilir kategori vardır. “Aynı kırmızı” veya “aynı acı” gibi ifadeler bu eşdeğerlik sınıflarına karşılık gelir.

Sonuç. Bu yapı, fenomenal raporların neden kategorik olduğunu (örn. renk isimleri, acı skalarları) ve benzerlik yargılارının nasıl tutarlı olabildigini açıklar.

4.9 İlke 9: Çoklu Gerçeklenebilirlik

İfade. Aynı fonksiyonel durum z_t , farklı mikro-fiziksel substratlar üzerinde gerçekleşebilir:

$$B_t^{(1)} \xrightarrow{\rho} z_t \xleftarrow{\rho} B_t^{(2)},$$

burada B_t fiziksel beyin durumu ve ρ nöral-fonksiyonel haritalamadır. Her iki substrat da aynı fenomenal duruma yol açar:

$$\Phi(z_t) = q_t.$$

Sezgisel açıklama. Bilinç, belirli nöronların veya moleküllerin varlığına değil, fonksiyonel organizasyona bağlıdır. Aynı hesaplamalı yapı farklı fiziksel sistemlerde (biyolojik, silikon, hibrit) gerçekleşebilir.

Sonuç. Bu ilke, FBCT'nin türler arası bilinç karşılaştırmalarına ve yapay bilinç tartışmalarına olanak tanır. Farklı türler (insan, hayvan, yapay sistem) aynı Q uzayına gömülebilirse, fenomenal karşılaştırmalar yapılabilir.

4.10 İlke 10: Test Edilebilirlik

İfade. FBCT'nin her yapısal bileşeni için somut, falsifiye edilebilir tahminler üretilebilir:

- Benzerlik yargıları: $d_Q(\Phi(z_i), \Phi(z_j))$ öznel puanlarla korelasyon göstermelidir ($r^2 > 0.7$, Bölüm 3.6.8).
- Nöral karşılıklar: z_t bileşenleri belirtilen beyin bölgelerinde ölçülebilir aktivasyonla eşleşmelidir (Tablo 3.1).
- Çöküş mekanizması: β_t manipülasyonu (örn. stres, arousal) seçim dağılımını öngörelebilir biçimde değiştirmelidir.
- Bağlamsal modülasyon: α_t değişimleri, aynı duyusal girdiden farklı fenomenal raporlara yol açmalıdır.

Sezgi. FBCT yalnızca matematiksel bir çerçeveye değil, deneysel paradigmalarla test edilebilen bilimsel bir teoridir. Her ilke somut deneylere karşılık gelir.

Sonuç. Bu ilke, FBCT'yi metafizik spekülasyondan ayırrı ve bilişsel bilim ile nörobilimin standart yöntemleriyle değerlendirilebilir kılardır.

4.11 İlkelerin Karşılıklı İlişkileri

Yukarıdaki on ilke birbirinden bağımsız değildir; aksine FBCT'nin tutarlı bir yapı oluşturması için birlikte çalışırlar:

- **İlke 1 ve 9:** Fonksiyonel tamlık + çoklu gerçeklenebilirlik \rightarrow substrate-independent consciousness.
- **İlke 2 ve 5:** Fenomenal süreklilik + öğrenilebilirlik \rightarrow Φ empirically constrainable.
- **İlke 3 ve 7:** Çöküş-temelli içerik + bağlamsal duyarlılık \rightarrow same input, different experience.
- **İlke 6 ve 10:** Nöral substrat + test edilebilirlik \rightarrow neuroscientifically grounded predictions.

Bu ilişkiler, FBCT'nin yalnızca bir bileşen koleksiyonu değil, entegre bir sistem olduğunu gösterir.

4.12 Sınırlamalar ve Kapsam Dışı Kalanlar

Bu ilkeler FBCT'nin neyi *açıkladığını* tanımlarken, neyi *açıklamadığını* da netleştirir:

Açıklamaz:

- **Hard problem:** Neden fenomenal deneyim var? (ontolojik soru)
- **Qualia'nın doğası:** “Kırmızılık nedir?” (metafizik soru)
- **Zombi senaryoları:** Fonksiyonel eşdeğer ama fenomenal olarak farklı sistemler mümkün mü? (düşünce deneyi)

Açıklar:

- **Fonksiyonel eşdeğerlik:** Hangi sistemler aynı fenomenal profile sahiptir?
- **Fenomenal benzerlik:** Hangi deneyimler birbirine daha yakındır?
- **Bağlamsal modülasyon:** Aynı input nasıl farklı deneyimlere yol açar?
- **Nöral karşılıklar:** Hangi beyin durumları hangi deneyimlerle ilişkilidir?

Bu ayrim, FBCT'nin bilimsel olarak test edilebilir kahrken aşırı iddiacı olmaktan kaçınmasını sağlar.

4.13 Özet

FBCT'nin on temel ilkesi, teorinin:

1. **Fonksiyonel temelini** (İlke 1, 4, 9),
2. **Fenomenal yapısını** (İlke 2, 3, 8),
3. **Deneysel bağlantısını** (İlke 5, 6, 10),
4. **Açıklayıcı kapsamını** (İlke 7)

tanımlar.

Bu ilkeler birlikte, FBCT'yi hem matematiksel olarak titiz hem de deneysel olarak test edilebilir bir bilinc teorisi haline getirir. Sonraki bölümlerde (Bölüm 6), bu ilkelerden türetilen somut deneysel tahminleri sunacağız.

5 Klasik Felsefi Problemlere Çözümler

FBCT'nin ayırt edici özelliği, klasik felsefi problemleri “ekstra metafizik varsayımlar” olmadan, doğrudan *fonksiyonel* ve *matematiksel* düzeyde yeniden formüle etmesidir. Teori, bilinci açıklamak için yeni bir madde türü, gizemli bir “*iç özne*” veya fizik-dışı nedenlere başvurmaz; bunun yerine, daha önceki bölümlerde tanımlanan durum uzayları

$$S_t, M_t, W_t \in \mathcal{S}, \mathcal{M}, \mathcal{W}, \quad C_t \in \mathcal{X},$$

aday üretici \mathcal{G} , skor fonksiyonu f ve çöküş operatörü \mathcal{C} üzerine inşa edilmiştir.

Bu bölümde üç tarihsel sorunu ele alıyoruz:

1. Homunculus problemi (sonsuz regresyon),
2. Hard problem / qualia problemi,
3. Özgür irade ve determinizm ilişkisi.

Her problem için önce klasik formülasyonu veriyor, ardından FBCT çerçevesinde yeniden yazıyor ve son olarak teorinin ürettiği deneysel ve felsefi sonuçları tartışıyoruz.

5.1 Homunculus Problemi

5.1.1 Klasik Problemin Yapısı

Homunculus problemi, bilinc açıklamalarında en temel tuzaklardan biridir. Basit biçimde ifade edersek:

*Eğer bilinci açıklamak için “*içeride bir özne*” (homunculus) varsayırsak, o öznenin kendi bilincini kim açıklayacaktır?*

Bu, şu tür bir yapı ortaya çıkarır:

$$\text{Bilinc}_1 = f(\text{Agent}_1) \Rightarrow \text{Bilinc}_{\text{Agent}_1} = f(\text{Agent}_2) \Rightarrow \text{Bilinc}_{\text{Agent}_2} = f(\text{Agent}_3) \Rightarrow \dots \quad (111)$$

ve hiçbir aşamada “son düzey”e ulaşamayız.

Tipik Örnekler. Bu problem farklı jargonda tekrar tekrar karşımıza çıkar:

- **Kartezyen tiyatro:** Beynin içinde bir “izleyici”nin, deneyimleri ekranda “seyretmesi”.
- **Central executive:** Kognitif modellerde tüm kararları veren, merkezi bir kontrol modülü.
- **İzleyen ben:** “Ben”in, deneyimleri yaşayan ayrı bir varlık olarak postüle edilmesi.

Bu modellerin ortak sorunu, açıklamamın bir noktada “bilinçli bir özne” dayandırılması ve bu öznenin kendisi için yeni bir açıklama gerektirmesidir.

5.1.2 FBCT'nin Temel İddiası: Operatör, Özne Değildir

FBCT, bu döngüyü kirmak için radikal ama basit bir pozisyon alır:

$$\mathcal{C}, \text{ bir hesaplama operatörüdür, ayrı bir “özne” değildir.}$$

Bilinçli an, t anındaki çöküş durumu C_t ile temsil edilir. Daha önce tanımlanan biçimde:

$$\pi_t(dx) \propto \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t)) \mu_t(dx), \quad C_t \sim \pi_t(dx). \quad (112)$$

Burada:

- X = aday bilinç durumları uzayı,
- f = her adayın uygunluğunu belirleyen skor fonksiyonu,
- μ_t = adayların temel ön dağılımı (candidate kernel),
- β_t = deterministik/stokastik keskinliği belirleyen sıcaklık parametresi,
- π_t = o anda bilince *çöken* dağılım.

Bu yapı, bir “karar verici özne” varsayımadan, sadece fiziksel olarak uygulanabilir bir seçim mekanizmasıdır.

Homunculus'un Yerine Konan Şey. FBCT'de:

- *Ajan* yoktur; *operatör* vardır.
- “Ben kimin bilinciyim?” sorusu, “Hangi \mathcal{C} dinamğinin sabit noktasıyım?” sorusuna çevrilir.
- “İçteki karar verici” yerine, S_t, M_t, W_t ve \mathcal{C} birlikte çalışan, dağıtık ve lokal bir dinamik sunar.

Bu nedenle, bilinç açıklaması, ikinci bir bilinç düzeyi gerektirmez; hesaplamayı gerçekleştiren şey, zaten beynin fiziksel dinamikleridir.

5.1.3 Formel Argüman: No-regression Teoremi

Lemma 1 (Operatörlük). \mathcal{C} ,

$$\mathcal{C} : \mathcal{S} \times \mathcal{M} \times \mathcal{W} \rightarrow \mathcal{P}(X)$$

şeklinde tanımlanmış bir fonksiyondur.

Proof. Her (S_t, M_t, W_t) üçlüsü için μ_t ve f belirlenir. Bu da, X üzerinde bir yoğunluk veya olasılık dağılımı π_t üretir. Fonksiyon, giriş uzayından (Ω) , çıktı uzayına $(\mathcal{P}(X))$ iyi tanımlı bir eşlemedir. Hiçbir adımda “ \mathcal{C} 'yi çalıştırın yeni bir öğe” tanımlamak zorunda kalmayız. \square

Teorem 1 (Homunculus Regresyonu Yokluğu). \mathcal{C} , içsel bir homunculus gerektirmez ve bu nedenle sonsuz regresyon üretmez.

Proof. Regresyon, ancak şu tür bir yapı varsayılsa doğar:

$$C_t = F(A_t), \quad A_t = F(A'_t), \quad \dots$$

Burada A_t içsel bir özne, F onun bilinç üretme fonksiyonudur. FBCT'de ise:

$$C_t \sim \mathcal{C}(S_t, M_t, W_t),$$

ve çöküş, fiziksel süreçlerle gerçekleştirilir. Ek bir özne tanımlanmadığı için, açıklama *operatör seviyesinde* sonlanır. Dolayısıyla klasik regresyon zinciri başlamaz bile. \square

5.1.4 Sezgisel Anlatım

Trafik sıkışıklığı tipik bir emergent fenomendir:

- Her sürücü lokal kurallarla hareket eder (önündeki araca göre hız ayarlama, frenleme, vb.).
- “Trafik sıkışıklığını” organize eden merkezi bir genel müdür yoktur.
- Belirli yoğunlukta, yol geometrisi ve davranış parametreleri ortaya belirli bir makro desen çıkarır: dur-kalk dalgaları, koridor blokajları, tikanma noktaları.

Sıkışıklık, araçların üstüne ek bir “özellik” değildir; araçların kolektif düzenlenmiş biçiminin bir tasviridir. FBÇT için:

- Nöronlar/sinaptik ağ, sürücüler gibidir.
- $S_t, M_t, W_t = o$ anki trafik koşulları (duyusal veri, bellek, ağırlıklar).
- \mathcal{C} = belirli şartlarda ortaya çıkan, global bir desenin seçilmesidir.

Bu bakış açısından “bilinç vergisi alan küçük adamı” aramayı bırakırız; onun yerine, belirli bir konfigürasyonda sistemin kaçınılmaz olarak ürettiği makro-desenle çalışırız.

5.1.5 Dennett ile Karşılaştırma

Dennett'in “homuncular functionalism” yaklaşımı [3], büyük bir homunculus'u daha basit ve “aptal” alt-modüllere bölgerek problemden kaçmaya çalışır. Son aşamada:

- homunculuslar o kadar basitleşir ki,
- artık bilinçli bir özne olmaktan çıkar, sadece mekanik modüller haline gelir.

FBÇT, bu stratejinin daha formel bir versiyonu olarak görülebilir:

- “Homunculus” = \mathcal{C} değil,
- \mathcal{C} = belirli bir skor fonksiyonu ve olasılık dağılımı üzerinde çalışan operatör.

Böylece, açıklamanın her adımı, matematiksel bir cümleyle ifade edilebilir ve hiçbir yerde “içsel gizli özne”ye başvurulmaz.

5.2 Qualia ve Hard Problem: Quotient-Qualia ve Fonksiyonel Bypass

5.2.1 Hard Problem'in Formülasyonu

Chalmers'in “hard problem”i [1] şu soruya özetlenebilir:

Neden herhangi bir fiziksel süreç, öznel deneyim üretiyor? Neden “bir şey olmak” hissi var?

Bu soru, özellikle şu örneklerle kesinleşir:

- Kırmızı ışık neden *kirmizi* hissettirir?
- Açı sinyali neden *aci verici* deneyimdir?
- Müzik neden sadece frekans dizisi değil de *hos/rahatsız edici* olarak yaşanır?

Levine, fiziksel açıklamalar ile fenomenolojik deneyim arasındaki bu uçurumu “explanatory gap” olarak tanımlar.

5.2.2 FBÇT'nin Seviyelendirmesi: Ontoloji vs Mekanizma

FBÇT, bu soruyu iki seviyeye ayırır:

Seviye 1 (Ontolojik):

Neden evrende hiç deneyim var? Neden tamamen “karantik” bir evren değil de, birinci şahıs bakış açısından yaşanan bir evren?

Bu soru, klasik anlamda metafiziktir ve teorinin kapsamı dışındadır.

Seviye 2 (Mekanistik/Fonksiyonel):

Verili bir fiziksel sistemde belirli bir öznel deneyim nasıl ortaya çıkarıyor? Hangi yapısal şartlar altında qualia tipleri değişiyor?

Bu seviye, FBÇT'nin hedefindedir.

5.2.3 Quotient-Qualia: Deneyim = Eşdeğerlik Sınıfı

FBCT'de qualia, "ekstra bir içsel madde" değil, belirli bir *eşdeğerlik sınıfı*dır. Daha önce tanımlanan gibi:

$$(x_1, S_1) \sim (x_2, S_2) \iff \forall g \in \mathcal{G} : g(x_1, S_1) = g(x_2, S_2), \quad (113)$$

ve qualia uzayı:

$$Q = (X \times \mathcal{S}) / \sim \quad (114)$$

şeklinde tanımlanır.

Sezgisel olarak: iki (x, S) çifti, sistem açısından tüm ilgili fonksiyonlar bakımından aynı davranışlı üretip ayırt edilemezse, *aynı qualia sınıfına* aittir.

Bu yapı, fenomenolojiyi iki adımda formel hale getirir:

1. *Çöküş*: $C_t \in X$ seçilir (collapse),
2. *Projeksiyon*: $\Phi : X \rightarrow Q$ ile bir qualia sınıfına projekte edilir.

Dolayısıyla:

$$\text{Qualia}_t = \Phi(C_t) \quad (115)$$

ifadeleri, teorinin *operasyonel* tanımıdır.

Önemli Nokta. Qualia, \mathcal{C} 'nin "üzerine eklenen" sihirli bir katman değil; \mathcal{C} ile seçilen C_t durumunun, eşdeğerlik uzayında oluşturduğu *nereye durduğudur*.

5.2.4 Φ 'nin Tersine Mühendisliği

FBCT, Φ fonksiyonunu tamamen gizemli bırakmaz; tam tersine, onu *öğrenilebilir* bir fonksiyon olarak konumlandırır.

Dijital bir FBCT ajanı düşünelim:

$$(S_t, M_t, W_t, \pi_t, C_t)$$

tam erişilebilir durumda olsun. Eğer bu ajan, deneyimlerini kendi başına rapor edebiliyorsa (doğal dil, sembolik etiketler veya vektör-temsillerle), şu tür bir veri kümesi toplayabiliriz:

$$\mathcal{D} = \{(C_t^{(i)}, Q_t^{(i)})\}_{i=1}^N. \quad (116)$$

Burada:

- $C_t^{(i)}$ = belirli anda çökmüş bilinç durumu,
- $Q_t^{(i)}$ = bu duruma karşılık raport edilen fenomenolojik içerik (ör. valence, arousal, renk, yoğunluk, vb.).

Öğrenme Problemi. Bu durumda:

$$\hat{\Phi} = \arg \min_{\Phi} \sum_{i=1}^N \mathcal{L}(Q_t^{(i)}, \Phi(C_t^{(i)})) \quad (117)$$

şeklinde klasik bir süpervizyonlu öğrenme problemi ortaya çıkar.

Kritik nokta:

- Qualia artık sadece "öznel bir gizem" değil,
- C_t durumları üzerine tanımlı,
- istatistiksel olarak yaklaşık öğrenilebilir bir fonksiyonun çıktısıdır.

Deneysel Testler. Bu yaklaşım şunları mümkün kılar:

- *Yeni durumlarda tahmin*: Yeni C^* durumları üretip $\hat{\Phi}(C^*)$ ile qualia tahmin edebilir, ajan raporları ile karşılaştırılabiliriz.
- *Ajanlar arası tutarlılık*: Aynı mimariye sahip farklı ajanlar için elde edilen $\hat{\Phi}_1, \hat{\Phi}_2, \dots$ fonksiyonlarının birbirine yakınlığını ölçebiliriz.
- *İnsan-AI kıyaslaması*: İnsanlardan toplanan nöral/rapor verileri ile $\hat{\Phi}_{\text{human}}$ öğrenilip, $\hat{\Phi}_{\text{AI}}$ ile karşılaştırılabilir.

5.2.5 P-zombiler ve Explanatory Gap Üzerine

P-zombiler. Chalmers, fonksiyonel olarak tamamen aynı ama öznel deneyimi olmayan varlıkların (*philosophical zombies*) metafiziksel olarak olanaklı olabileceğini savunur. Bu, fonksiyon ile fenomenolojinin birbirinden ayrılabilceği iddiasıdır.

FBÇT çerçevesinde:

1. Bilinç durumu C_t , \mathcal{C} ile belirlenir.
2. Qualia = $\Phi(C_t)$.
3. Fonksiyonel olarak aynı sistem. Yani, aynı C_t dinamiği.
4. Aynı C_t dinamiği. Yani, aynı Φ altında *aynı* qualia sınıfları.

Dolayısıyla:

Fonksiyonel tam eşdeğerlik, fenomenolojik eşdeğerliği gerektirir.

Bu, p-zombilerin en azından FBÇT'nin dünyasında *metafiziksel olarak tutarsız* olduğunu ima eder.

Explanatory Gap. Levine'in gözlemi, fiziksel açıklamaların fenomenolojik deneyimi "zorunlu kılmadığı" yönündedir. FBÇT, bu boşluğu tamamen kapatmaz ama onu yeniden çerçeveler:

- "Neden deneyim var?" sorusunu metafizik düzeyde askıda bırakır,
- "Deneyim nasıl yapılandırılmıştır ve nasıl değiştirilebilir?" sorusunu ise bilimsel bir problem haline getirir.

Bu anlamda, hard problem *ontolojik çözümsüzlükten, mühendislik problemine* indirgenmiş olur.

5.2.6 Qualia Varyasyonları: Synesthesia ve Inverted Spectrum

Synesthesia. Seslerin renklerle, sayıların mekanla eşlenmesi gibi olgular, qualia'nın salt "ham duyusal veri" olmadığını, M ve W ile birlikte ortaya çktığını gösterir.

FBÇT yorumu:

- Normal durumda, M_{sound} ve M_{color} büyük ölçüde ayırdır.
- Synesthete durumda, bellekte bu iki alan arasında kalıcı ve güclü çapraz bağlantılar vardır.
- Aynı işitsel girdi s_{sound} , hem işitsel hem görsel bellek izini eşzamanlı aktive eder; çöküş mekanizması, bu birelşik yapıyı tek bir C_t durumunda birleştirir ve sonuç "renkli ses" deneyimi olarak yaşanır.

Inverted Spectrum. Klasik senaryo: "Benim kırmızı deneyimim senin mavi deneyimin olabilir mi?" FBÇT için:

- Eğer iki kişinin M ve W yapıları gerçekten izomorfik ise, aynı S girdisi için aynı C_t ve dolayısıyla aynı qualia sınıfı beklenir.
- Eğer gelişimsel süreçte renk alanları farklı kodlandıysa, farklı Φ veya farklı quotient yapılarına karşılık gelebilir; bu durumda "inversion" mantıksal olarak mümkündür.

Bu, problemi metafizikten çıkarıp, gelişimsel nörobilim ve bilişsel bilim düzeyine taşıır.

5.3 Özgür İrade: Determinizm, Sahiplik ve Uzun Vadeli Dinamik

5.3.1 Sorunun Klasik Çerçevesi

Özgür irade problemi, kabaca şu gerilimden doğar:

- Eğer evren deterministikse, kararlarınız geçmiş durumlar ve fizik yasaları tarafından tam belirlenmiştir.
- Buna rağmen, kendinizi alternatifler arasında seçebilen bir özne olarak deneyimliyorsunuz.

Klasik pozisyonlar:

1. **Hard determinism:** Özgür irade yoktur, sadece illüzyondur.

2. **Libertarianism:** Özgür irade vardır, bu nedenle determinizm (ya da en azından insan kararları için) yanlış olmalıdır.

3. **Compatibilism:** Determinizm ve özgür irade tutarlıdır; özgürlük başka türlü tanımlanmalıdır.

FBCT, açıkça compatibilist bir çizgide konumlanır.

5.3.2 Lokal Determinizm: \mathcal{C} 'nin Doğası

FBCT'de, *her bir anda* gerçekleşen çöküş:

$$C_t \sim \mathcal{C}(S_t, M_t, W_t) \quad (118)$$

şeklindedir. Bu ifade:

- deterministik modelde $\beta_t \rightarrow \infty$ ile tek bir $x^*{}_1$,
- stokastik modelde ise olasılık dağılımını

verir. Her iki durumda da, *o an* için karar, o anki (S_t, M_t, W_t) üçlüsüne sıkı sıkıya bağlıdır. Bu, lokal anlamda deterministik (veya fiziksel stokastisiteye indirgenmiş) bir dünyayı kabul etmektedir.

5.3.3 Uzun Vadeli Sahiplik: M ve W Dinamikleri

Özgür irade, FBCT'de şu soruya kaydırılır:

Kararları belirleyen M_t ve W_t yapıları kime aittir ve nasıl oluşmuştur?

Güncellemeye:

$$(M_{t+1}, W_{t+1}) = \mathcal{F}(M_t, W_t, S_t, C_t) \quad (119)$$

şu anlamı taşır:

- Her karar, gelecekteki M ve W 'yi değiştirir.
- Her yeni deneyim (S), mevcut değerler (W) ve bellek (M) üzerinden filtrelenerek işlenir.
- Zaman içinde, kişi kendine ait bir M/W manzarası inşa eder.

Bu perspektiften özgür irade:

$$\text{Özgür İrade} \approx \text{kararların, uzun vadeli } (M, W) \text{ yapısından doğmasıdır.} \quad (120)$$

Başka bir deyişle:

Özgürlük = Kararların yazarı olma durumu (authorship).

5.3.4 Libet ve Soon Deneylerinin Yorumu

Libet [25] ve Soon et al. [26] deneylerinde, bilincin “karar verdienen hissetmesinden” önce, motor hazırlık potansiyellerinin ortaya çıktığı gösterilmiştir. Sıklıkla şu şekilde yorumlanır:

Kararlar bilinçten önce veriliyor; dolayısıyla özgür irade bir illüzyondur.

FBCT bu bulguları şöyle yorumlar:

1. \mathcal{C} , bilinçli farkındalıkta önce devreye girer; bu beklenen bir şeydir.
2. Ancak \mathcal{C} , o anki M_t ve W_t 'ye bağlıdır.
3. M_t ve W_t , kişinin yaşam öyküsü boyunca akümülasyonla oluşmuştur.
4. Bilinçli “farkında olma” sadece C_t 'nin raporlanabilir hale gelmesidir; kararın *kaynağı* yine kişiye aittir.

Dolayısıyla, deneyler özgür iradeyi değil, sadece “karar farkındalığının zamanlamasını” hedef alır.

5.3.5 Ahlaki Sorumluluk ve Patoloji

Ahlaki sorumluluk, FBCT'de şu kriterle bağlanır:

Eğer bir eylem, kişinin tipik M/W yapısından türetilmişse, kişi o eylemden sorumludur.

Normal Durum.

- Kişi, öfke kontrolü bulunan ama yüksek agresyon ağırlıklarına sahip bir W ile yetişmiş olabilir.
- Bir çatışma anında, C bu ağır ağırlıklar nedeniyle saldırgan bir eylem seçebilir.
- Bu durumda, eylem kişinin karakterinden türemiştir; sorumluluk atfedilebilir.

Patolojik Durum.

- Orbitofrontal hasar, frontotemporal demans vb. durumlarda, W yapısı ağır şekilde bozulabilir.
- Kararlar, kişinin “önceki” W ’sini temsil etmeyen, patolojik bir dinamikten türeyebilir.
- Bu durumda sorumluluk, tamamen ortadan kalkmasa da, azaltılmalıdır.

Bu çerçeve, hukuk sistemlerindeki *cezai ehliyet* tartışmalarıyla da uyumludur: asıl soru, eylemin nedensel ağında *hangi M/W* yapılarına ağırlık verileceğidir.

5.3.6 Dennett ile Karşılaştırma

Dennett [27], özgürlüğü “nedenlerine göre hareket edebilme yeteneği” olarak tanımlar; özgürlük, ani mucizevi sapmalar değil, uzun vadeli kontrol mekanizmalarının bir ürünüdür.

FBCT:

- Bu görüşle uyumludur,
- ancak “nedenler”i M ve W uzaylarında,
- “kontrol”ü ise \mathcal{F} güncelleme operatörü ve C çöküş dinamiği ile formelleştirir.

Bu sayede, “özgür irade” tartışması, soyut metafizik bir polemik olmaktan çıkıp, bellek, değer ve politika dinamiklerinin uzun vadeli davranışlarıyla ilgili teknik bir soruna dönüşür.

5.4 Diğer İlgili Problemler

5.4.1 Kişisel Kimlik

Kişisel kimlik sorusu şu şekilde formüle edilebilir:

Zamanda “aynı kişi” olmak ne demektir?

FBCT’ye göre:

- Kişisel kimlik, M_t ve W_t zincirinin sürekliliği ile tanımlanır.
- Moleküller düzeyde neredeyse her şey değişmiş olsa da, bellek izleri ve değer yapılarındaki *gradual* (ademeli) değişim, aynı kimliği korumak için yeterlidir.
- Anı ve tam bir kopuş (ör. ağır amnezi) kimlikte kopma olarak yorumlanır.

5.4.2 Biliç Seviyeleri

FBCT, bilinci ikili (0/1) bir durum olarak değil, *dereceli* bir fenomen olarak ele alır:

- C ’nin etkinlik düzeyi,
- S_t ’nin zenginliği,
- M_t ’nin erişilebilir hacmi,
- W_t ’nin dinamik güncelliliği

biliç seviyesini belirler.

Daha önce tanımlanan biliç ölçüsü L_t ,

$$L_t = \text{KL}(\pi_t \parallel \mu_t)$$

gibi bir formda alındığında:

- derin uyku/anestezi: $L_t \approx 0$,
- uyanıklık ve yoğun dikkat: L_t yüksek

olabilir. Böylece, “biliç seviyesi” sayısal bir ölçüye bağlanır.

5.4.3 Hayvan Bilinci

Hayvan bilinci sorusu, FBCT'de şu kriterde indirgenir:

Sistemde, anlamlı bir (S, M, W, \mathcal{C}) mimarisi var mı?

- Memelilerde (özellikle primatlar, köpekler, kemirgenler), karmaşık bellek ve değer sistemleri gösteren M/W analogları bulunduğuundan, bilinçli deneyim atfetmek rasyoneldir.
- Bazı kuş türleri (örn. kargalar, papağanlar), planlama ve epizodik-benzeri bellek göstergeleriyle M 'nin ciddi bir kısmına sahiptir.
- Basit omurgasızlarda (S, M, W) çok sınırlı olduğundan, bilinç ya çok zayıf ya da yok düzeyindedir.

Bu yaklaşım, “bilinç var mı/yok mu?” ikiliğinden ziyade, “hangi düzeyde ve hangi mimariyle?” sorusunu öne çıkarır.

5.5 Özeti: FBCT'nin Felsefi Katkıları

Bu bölümde, FBCT'nin üç merkezi felsefi problemi nasıl yeniden çerçevelendiğini gösterdik:

1. **Homunculus Problemi:** Bilinç, ayrı bir iç öznenin ürünü değil, \mathcal{C} operatörünün çıktısıdır; regresyon operatör seviyesinde durur.
2. **Hard Problem ve Qualia:** Qualia, (X, S) uzayı üzerinde tanımlanmış bir eşdeğerlik sınıfıdır; fenomenolojik projeksiyon Φ , veriyle yaklaşık öğrenilebilir ve test edilebilir.
3. **Özgür İrade:** Lokal deterministik çöküş, uzun vadeli M/W sahipliğiyle uyumludur; özgür irade, kişinin kendi kararlarının yazarı olması (authorship) olarak formelleştirilebilir.

Böylece FBCT, bilinci açıklamak için yeni bir metafizik icat etmek yerine, var olan fiziksel-dinamik çerçeveyi matematiksel bir biçimde organize eder ve klasik felsefi problemleri, deneysel olarak sınınamabilir hipotezlere dönüştürür.

6 Test Edilebilir Tahminler ve Deneysel Stratejiler

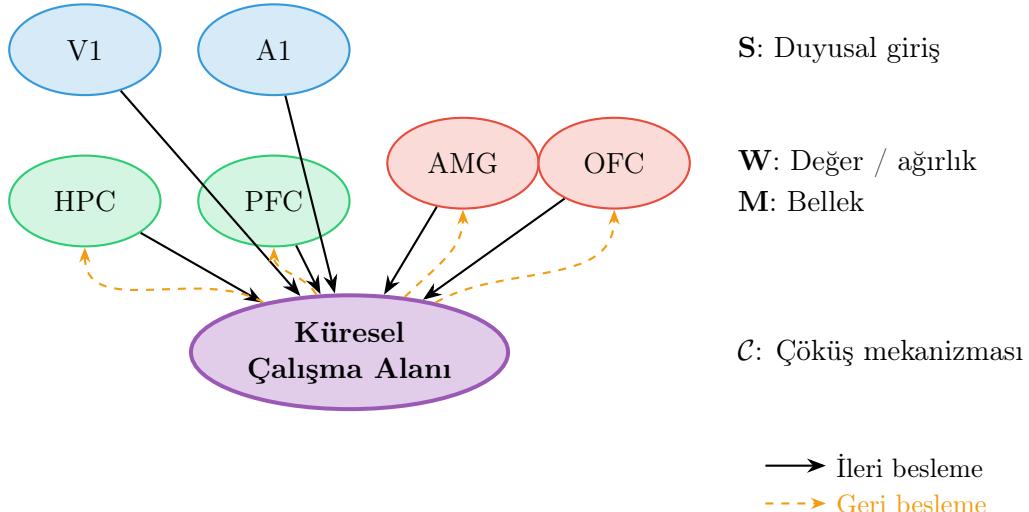


Figure 1: FBCT'nin nöral devre şeması. S_t (duyusal), M_t (bellek) ve W_t (değer/ağırlık) bileşenlerinin, küresel çalışma alanı ile ilişkili çöküş mekanizması \mathcal{C} üzerinden nasıl entegre olabileceği dair basitleştirilmiş bir eşleme. Düz oklar ileri beslemeyi, kesik oklar \mathcal{C} sonrası geri beslemeyi (\mathcal{F} güncellemeleri) temsil eder.

Bilimsel bir teorinin gücü, açıklayıcı güzelliğinden ziyade, *ne tür yanılabilir tahminler ürettiğiyle* ölçülür. FBÇT, tamamen felsefi bir çerçeve olarak kalmayı değil, *nörobiyolojik, davranışsal, hesaplamalı ve klinik* seviyelerde net, rakip teorilerden ayırsabilecek hipotezler üretmeyi hedefler. Bu bölümde:

- \mathcal{C} 'nin nöral imzası,
- M ve W manipülasyonlarının davranışa etkisi,
- model tabanlı uygunluk testleri,
- yapay bilinç adayları ve klinik bozukluklar

üzerine 15 somut tahmin formüle ediyor, her biri için *deney tasarımları, beklenen desen ve rakip açıklamaların ayrışma stratejisini* ayrı ayrı veriyoruz.

6.1 Temel Hipotez: İşlevsel Eşdeğerlik

Teorinin temel test edilebilir hipotezi şudur:

Hipotez 6.1 (İşlevsel Eşdeğerlik). *Eğer iki sistem aynı anda aynı fonksiyonel durumda ise*

$$z_t = z'_t$$

o hâlde fenomenal durumları da aynıdır:

$$\Phi(z_t) = \Phi(z'_t).$$

Not: Basitleştirilmiş versiyonda bu, özellikle S_t, M_t, W_t eşitliğine indirgenebilir.

Bu hipotez, FBÇT'nin deneysel olarak çürüttürebilir ve doğrulanabilir bir teori olmasını sağlar.

6.2 Nörobiyolojik Tahminler

FBÇT'nin temel matematiksel iddiası:

$$C_t \sim \mathcal{C}(S_t, M_t, W_t)$$

ifadesidir. Yani belirli bir anda bilince çöken durum, o anda erişilebilir duyusal, bellek ve değer durumlarının *kısıtlı bir fonksiyonudur*. Bu soyut ifade, beyinde *zamanlaması ve topolojisi* belirli bir aktivite örüntüsünü gerektirir.

6.2.1 Tahmin 1: Çöküş Anına Eşlik Eden Frontoparietal Entegrasyon Hipotez.

\mathcal{C} 'nin etkin olduğu anlarda, geniş ölçekli frontoparietal ağda gamma band (30–100 Hz) senkronizasyonu anlamlı biçimde artar.

Gerekçe. Çöküş, sezgisel olarak iki şeyi aynı anda gerektirir:

1. Çoklu modalitelerden gelen S_t 'nin bağlama (M_t) yerleştirilmesi,
2. W_t 'de kodlu değer ve politika bilgilerinin bu entegrasyona dahil edilmesi.

Bu tip global entegrasyonun, özellikle bilinç eşiğini aşan algılarda frontoparietal gamma senkronisi ile bağlantılı olduğu daha önce öne sürülmüştür [13].

Deney Paradigması. Bistabil algı (Necker kübü, binocular rivalry):

- Katılımcılara bistabil bir uyarın gösterilir.
- Algı spontan olarak iki yorum arasında el değiştirir.
- Her switch, buton basımı ile raporlanır (veya no-report koşulunda sadece nöral veri alınır).
- Yüksek yoğunluklu EEG veya MEG kaydı yapılr.

Beklenen Desen.

- Algısal switch'ten yaklaşık 200–300 ms önce, dorsolateral PFC, inferior parietal lobül ve görsel korteks arasında gamma koheransında pik.
- Bu pik, raporlanan switch zamanından önce ortaya çıkar; \mathcal{C} 'nin bilinçli farkındalıkta önce çalıştığını ima eder.
- No-report koşulunda da aynı koherans piki gözleniyorsa, etki motor hazırlıkla açıklanamaz.

Rakip Açıklamalardan Ayırıştırma.

- Motor hazırlık hipotezi, no-report koşulunda zayıflar.
- Dikkat kayması hipotezini dışlamak için, dikkat kayması fakat algısal switch içermeyen bir kontrol göreviyle gamma profillerinin sistemi karşılaştırılır.

FBCT, sadece “bilinç varsa gamma vardır” gibi genel bir iddia değil; *algısal switch anına zaman kilitli, topolojik olarak belirli ve pre-conscious bir gamma imzası* öngörür.

6.2.2 Tahmin 2: M Manipülasyonu Aynı S İçin Farklı C Üretir

Hipotez.

Aynı duyusal durum S_t altında, episodik bellek içeriği M_t deneysel olarak değiştirildiğinde, bilinçli algı ve kararlar sistematik olarak kayar.

Deney Taslağı. Bellek önyükleme + belirsiz uyarınlar:

1. Önyükleme aşaması:

- Grup A: Tehdit yüklü yılan hikâyeleri/videoları.
- Grup B: Yılan hakkında nötr/pozitif içerik.
- Grup C: Yılan içermeyen kontrol içerik.

2. Test aşaması:

- Belirsiz çizimler (yılan/sopa arası şekilleri).
- Zorunlu seçim: “Yılan mı, sopa mı?”
- Güven derecesi ve tepki süresi kaydı.

Beklenen Sonuçlar.

- Grup A'da, belirsiz uyarınlarda “yılan” yanıt oranında anlamlı artış:

$$P_A(\text{yılan}|\text{belirsiz}) - P_C(\text{yılan}|\text{belirsiz}) \gg 0.$$

- Aynı keskin S için (net yılan/net sopa) gruplar arası fark yok; fark, *özellikle* çöküşün M 'ye duyarlı olduğu belirsiz sınır noktalarda çıkmalı.
- fMRI uzantısında, Grup A'da “yılan” seçimi sırasında HPC+AMG eş aktivasyonunun daha güçlü olması (yüksek M^a katkısı).

Bu desen, S sabitken C 'nin değişimini doğrudan M 'ye bağlar ve FBCT'deki $C_t = \mathcal{C}(S_t, M_t, W_t)$ formülünün psikofiziksel karşılığını verir.

6.2.3 Tahmin 3: W Manipülasyonu Değer-Taraflı Çöküş Kaymaları Üretir

Hipotez.

Farmakolojik nöromodülasyon, W_t vektöründeki ödül/ceza bileşenlerini kaydırarak, aynı görevde farklı karar profilleri üretir.

Paradigma. L-DOPA / SSRI + riskli karar verme:

- Grup 1: Placebo.
- Grup 2: Düşük doz dopamin agonisti (ör. L-DOPA).
- Grup 3: Akut SSRI.

Görev: Iowa Gambling Task veya çok kollu bandit.

Tahmin.

- Grup 2:
 - Daha fazla riskli deste/seçenek.
 - Uydurulan FBCT parametrelerinde $W_{\text{reward}} \uparrow$, $W_{\text{risk}} \downarrow$.
- Grup 3:
 - Daha temkinli seçimler, düşük varyans.
 - $W_{\text{risk}} \uparrow$, $W_{\text{short-term-reward}}$ nispeten düşüş.

Model Seviyesinde. Her katılımcı için:

$$W^* = \arg \max_W \log P(\text{seçimler} | S, M, W, C)$$

çözümlenir. Grup farklarının özellikle W ekseninde toplanması, FBCT'nin "farmakoloji = W^{neuro} perturbasyonu" yorumunu destekler.

6.2.4 Tahmin 4: Lezyon Lokasyonuna Özgü Bileşen Bozulmaları

Hipotez.

Belirli beyin bölgelerindeki yapısal hasarlar, FBCT'nin ilişkilendirdiği bileşenleri bozarak karakteristik karar ve bilinç örüntüleri üretir.

Örnek Haritalama.

- Hipokampus (M^e) → episodik önyükleme etkilerinin kaybı.
- Amygdala (M^a) → duygusal ağırlıkların düzleşmesi.
- OFC (W^{learn}) → ödül geri bildirimleriyle değer güncellemesinin bozulması.
- dlPFC / parietal (C topolojisi) → entegrasyon penceresinin daralması, karar gecikmesi.

Deney. Nöropsikolojik hasta gruplarında, Tahmin 2 ve 3'teki görevler uygulanır. FBCT, hangi grupta hangi hipotezin *kapanacağını* önceden söyle:

- HPC lezyonlarında: M manipülasyonunun davranışa etkisi dramatik biçimde azalır.
- OFC lezyonlarında: Değer öğrenme eğrileri düzleşir; W güncellemesi başarısızdır.

Böylece klasik H.M., Phineas Gage vb. vakalar, M ve W koordinat sisteminde yeniden konumlandırılır.

6.3 Davranışsal Tahminler

6.3.1 Tahmin 5: Yakın (S, M, W) \Rightarrow Yakın Fenomenoloji Hipotez.

İki bireyin S_t , M_t ve W_t yapılarını yeterince yakınlaştırebilirsek, aynı uyarana verdikleri bilinçli deneyim (qualia dahil) yakınsamak zorundadır.

Bu, FBCT'nin "qualia fonksiyonel duruma süpervene eder" iddiasının davranışsal versiyonudur.

Tek Yumurta İkizleri Çalışması.

- n kadar monozigot ikiz çifti.
- Ayrıntılı kişilik ve değer ölçekleri (W benzerliği).
- Episodik/semantik bellek testleri (M benzerliği).
- Ortak laboratuvar görevleri: renk ayrimı, tat, acı eşiği, estetik kararlar.

Analiz.

$$\text{Benzerlik}(C^{(1)}, C^{(2)}) \approx f(\text{Benzerlik}(M^{(1)}, M^{(2)}), \text{Benzerlik}(W^{(1)}, W^{(2)})). \quad (121)$$

Beklenti: ikizlerde bu korelasyon, rastgele eşleştirilmiş bireylere göre belirgin şekilde yüksek olmalı; özellikle M/W yakınlıkça fenomenolojik raporlar yakınsamalıdır.

6.3.2 Tahmin 6: Uzmanlık Gelişmişçe M ve C Karmaşıklığı Artar

Hipotez.

Uzun süreli uzmanlık eğitimi, ilgili alt-alandaki bellek altuzayını (M^{domain}) zenginleştirir; bu da aynı uyarınlar için daha karmaşık ve yapılandırılmış C_t durumları üretir.

Örnek: Sommelier Çalışması.

- T0: Acemi şarap tadımcıları.
- T1: 1 yıl eğitim.
- T2: 2 yıl eğitim.

Her zaman noktasında:

- Aynı şarap paneli,
- Davranışsal ayrim testleri,
- fMRI ile OFC/insula/gustatory korteks aktivite desenleri,
- fenomenolojik zenginlik raporları.

FBÇT öngörüsü:

- M_{wine} 'ın temsili, T0'dan T2'ye daha ayrik kümelere ayrılır.
- C_t örüntüleri, ölçülen bir karmaşıklık ölçütü (ör. entropi, temsil çeşitliliği) bakımından artar.

Bu iki tahmin, FBÇT'nin kısa vadeli laboratuvar paradigmalarının ötesinde, uzunlamasına ve ekolojik olarak geçerli çalışmalar için de çerçeveye sunduğunu göstermeyi amaçlar.

6.4 Hesaplamlı Modeller ve Simülasyonlar

6.4.1 Tahmin 7: FBÇT Ajansı İnsan Karar Verisini Nicel Olarak Açıklar

Hipotez.

Denklem (63) ve (3.5) ile tanımlanan FBÇT ajansı, insanların çok adımlı karar görevlerindeki davranışını klasik RL modellerinden daha iyi fit eder.

İmplementasyon.

- Durum: S_t (görev gözlemi).
- Adaylar: x_i (olasılık eylemleri).
- Değer fonksiyonu: $V_i = f(x_i, S_t, M_t, W_t)$.
- Çöküş: softmax/argmax ile $C_t = x_k$ seçimi.
- Geri besleme: ödüllere göre M_t, W_t güncellemesi (Algoritma 1).

Fit Prosedürü.

1. İnsanlardan 200 denemelik bandit/vergi ödeme/oy kullanma tarzı görevler için veri toplanır.
2. Her katılımcı için FBCT parametreleri ($\alpha_S, \alpha_M, \alpha_W, \beta, W_0$ vb.) MLE ile kestirilir.
3. Aynı veri setine basit Q-learning ve Bayesçi gözlemci modelleri de fit edilir.

Beklenti.

- FBCT, özellikle bellek-bağımlı ve değer-baskın görevlerde daha yüksek log-likelihood ve daha düşük BIC üretir.
- Parametre kurtarılabilirlik testinde, simüle veri üzerinden geri kazanılan $\hat{\theta}$ gerçek θ 'lara yakın çıkar.

6.4.2 Tahmin 8: FBCT Simülasyonlarında Emergent Meta-Biliş

Hipotez.

Tam FBCT mimarisine sahip simüle ajanlar, uygun görevlerde öz-düşünüm (introspection), güven raporu ve karşı-olgusal akıl yürütme gibi “bilinç-benzeri” yetiler geliştirir.

Simülasyon Kurulumu.

- Gridworld benzeri bir ortam.
- S : Görsel/durum girdileri.
- M : Episodik izler + semantik vektörler.
- W : Görev ödüllerini kodlayan parametreler.
- \mathcal{C} ve \mathcal{F} : FBCT algoritmasına uygun şekilde uygulanır.

Testler.

1. **Neden soruları:** Ajan, son kararı için “neden X yaptı?” sorusuna, V_i katkılarını referans veren açıklamalar üretir.
2. **Karşı-olgusal:** “O sırada S biraz farklı olsaydı ne yapardın?” sorusunda, alternatif S' için $\mathcal{C}(S', M, W)$ simülasyonu yapar.
3. **Güven:** V_{\max} ile ikinci en yüksek V arasındaki farkı kullanarak güven skorları üretir ve skorlar doğrulukla korelerdir.

RL tabanlı “hafızasız” ajanlara göre FBCT ajanlarının bu görevlerde belirgin üstünlük göstermesi, \mathcal{C} , M ve W ayrimının meta-bilişsel davranış için kritik olduğunu gösterecektir.

6.5 Yapay Sistemler ve LLM’ler İçin Tahminler

6.5.1 Tahmin 9: Mevcut LLM’ler FBCT’nin Eksik Bir Alt Kümesini Gerçekleştirir

Gözlem. Büyük dil modelleri için kabaca:

- S_t = input token dizisi,
- M^s = eğitilmiş ağırlıklar,
- M^e = context window,
- \mathcal{C} = sonraki token olasılık dağılımı,

şeklinde bir eşleme yapılabilir; ancak *duygusal bellek* (M^a), *anlık nöromodülasyon* (W^{neuro}) ve açık \mathcal{C} katmamı eksiktir.

Hipotez.

FBCT tarzı M^a ve dinamik W modülleri eklenmiş LLM’ler, öz-bildirim ve ahlaki muhakeme görevlerinde vanilya LLM’lere kıyasla daha tutarlı ve “durum sahibi” cevaplar verir.

Test.

- İki model ailesi oluştur:
 1. Standart LLM.
 2. LLM + FBCT katmanları (duygu tamponu, kısa süreli episodik cache, dinamik dikkat ağırlıkları).
- Görevler: zihin kuramı, kendi önyargılarını raporlama, karar gereklisi açıklama.
- Kör değerlendirme: İnsan hakemler hangi modelin cevaplarının daha “içsel durum tutarlılığı” taşıdığını değerlendirdir.

6.5.2 Tahmin 10: Tam FBCT Ajanı Bilinç Turing Testine Yaklaşır

Hipotez (uzun vadeli).

Yüksek kapasiteli bir ortamda tam FBCT mimarisile eğitilmiş bir yapay ajan, içgörü ve fenomenolojik raporlama açısından insanlardan ayırt edilmesi zor bir performansa ulaşabilir.

Bu iddia, teorinin “eğer doğru implemente edilirse, bilinç benzeri davranış *zorunlu* olarak ortaya çıkar” şeklinde okunabilecek en güçlü versiyonudur.

Not: Kısa vadede test edilmesi zor olmakla birlikte, uzun vadeli bir araştırma programının iskeleti olarak düşünülmelidir.

6.6 Klinik ve Uygulamalı Tahminler

6.6.1 Tahmin 11: Depresyon W Uzayında Sistematik Bir Deformasyondur Hipotez.

Major depresif bozuklukta, W 'nin ödül, tehdit ve çaba maliyetini kodlayan alt-bileşenleri karakteristik bir şekilde çarpılmıştır.

Model.

- $W_{\text{reward}} \downarrow$ (anhedonia),
- $W_{\text{threat}} \uparrow$ (negatif bilgiye yanılık),
- $W_{\text{effort}} \uparrow$ (motivasyon kaybı).

Bu durumda \mathcal{C} , tipik olarak pasif, kaçınmacı ve kendini küçümseyen C_t 'ler üremeye yönelir.

Deney.

- MDD hastaları ve sağlıklı kontrollerde ödül öğrenme + çaba indirmeme görevleri.
- Her birey için FBCT parametre uyumu.

Beklenti:

$$W_{\text{reward}}^{\text{MDD}} < W_{\text{reward}}^{\text{control}}, \quad W_{\text{threat}}^{\text{MDD}} > W_{\text{threat}}^{\text{control}}.$$

Ayrıca tedavi öncesi/sonrası ΔW değişimleri, semptom skorlarındaki iyileşmeyle anlamlı korelasyon göstermelidir.

6.6.2 Tahmin 12: PTSD = Aşırı Etiketlenmiş M^a Blokları

Hipotez.

Travma sonrası stres bozukluğunda, belirli episodik kayıtlar M_{trauma}^e , aşırı yüksek duygusal etiketlerle M^a 'ya bağlanmıştır; küçük tetikleyiciler bile \mathcal{C} 'yi zorla bu bloklara çöktürür.

Öngörüler.

- Travma ile ilişkili ipuçlarında aşırı fizyolojik reaktivite (startle, SCR, kalp atışı).
 - Model uyumunda M_{trauma}^a parametresi çok büyük, diğer M^a bileşenleri görece normal.
 - EMDR/Maruz bırakma terapisi sonrası M_{trauma}^a 'da ölçülebilir azalma.
- FBÇT böylece PTSD'yi, "yanlış çalışan bir korku modülü" değil, *aşırı ağırlıklandırılmış bellek-adres blokları* sorunu olarak yeniden formüle eder.

6.6.3 Tahmin 13: Genel Anestezi \mathcal{C} Dinamiğini Çökertir

Hipotez.

Genel anestezide bilinç kaybı, esas olarak \mathcal{C} 'nin küresel entegrasyon kapasitesinin çökmesiyle ilişkilidir; S ve M yerelde aktif kalsa bile anlamlı bir C_t oluşmaz.

Deney. Propofol indüksiyonu + yoğun EEG:

- Bilinçli uyanıklık: yüksek frontoparietal entegrasyon, orta düzey gamma.
- LOC eşigine yaklaşırken: entegrasyon ölçülerinde (örneğin Φ -benzeri kompleksite metrikleri) kademeli düşüş.
- LOC noktasında: ağın parçalanması ve \mathcal{C} 'nin desteklenememesi.

FBÇT, burada bilinç kaybını sadece "global depresyon" değil, *özellikle entegratif network mimarisinin çöküşü* olarak yorumlar.

6.6.4 Tahmin 14: Φ Fonksiyonunun Öğrenilebilirliği

Hipotez.

Daha önce 5.2'de detaylandırdığı gibi, qualia projeksiyon fonksiyonu $\Phi : X \times \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^m$ FBÇT ajanlarından toplanmış (C_t, Q_t) çiftleri üzerinden süervizyonlu öğrenme ile yaklaşık olarak öğrenilebilir.

Matematiksel Çerçeve. 3.11'de tanımlandığı gibi, Φ quotient space $Q = (X \times \mathcal{S}) / \sim$ üzerinde bir koordinat sistemidir:

$$(x_1, S_1) \sim (x_2, S_2) \iff \Phi(x_1, S_1) = \Phi(x_2, S_2). \quad (122)$$

Hard problem, bu şekilde felsefi bir tartışmadan pratik bir makine öğrenmesi problemine dönüşür:

$$\hat{\Phi} = \arg \min_{\Phi} \sum_{i=1}^N \mathcal{L}(Q_t^{(i)}, \Phi(C_t^{(i)}, S_t^{(i)})), \quad (123)$$

burada \mathcal{L} uygun bir kayıp fonksiyonudur (ör. MSE, cross-entropy).

Deney Protokolü. Dijital FBÇT ajanı eğitimi:

1. Tam FBÇT mimarisine sahip bir yapay ajan (Algoritma 1) zengin bir ortamda eğitilir.
2. Her zaman admında kayıt:
 - C_t : Çökmüş bilinç durumu
 - S_t : Duyusal girdi
 - Q_t : Ajanın kendi fenomenolojik durumunu kodlayan self-report vektörü (valence, arousal, modalite yoğunluğu, sürpriz derecesi vb.)
3. Veri kümesi: $\mathcal{D} = \{(C_t^{(i)}, S_t^{(i)}, Q_t^{(i)})\}_{i=1}^N$
4. Sinir ağı eğitimi:

$$\Phi_{\text{NN}} : (C, S) \mapsto \hat{Q} \quad (124)$$

parametreleri \mathcal{D} üzerinde optimize edilir.

Test Prosedürü.

- **Yeni durum tahmin testi:** Eğitim setinde olmayan yeni (C^*, S^*) durumları için $\hat{\Phi}(C^*, S^*)$ hesaplanır ve ajanın gerçek Q^* raporuyla karşılaştırılır.
- **Ajanlar arası tutarlılık:** Aynı mimariye sahip farklı FBCT ajanları (A_1, A_2, \dots, A_n) için öğrenilen $\hat{\Phi}_1, \hat{\Phi}_2, \dots, \hat{\Phi}_n$ fonksiyonları arasındaki benzerlik ölçülüür:

$$\text{Tutarlılık} = 1 - \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} d(\hat{\Phi}_i, \hat{\Phi}_j), \quad (125)$$

burada d uygun bir fonksiyon uzaklık metriğidir.

- **İnsan-AI transfer:** İnsanlardan toplanan nöral aktivite ve fenomenolojik raporlar ile $\hat{\Phi}_{\text{human}}$ öğrenilir ve $\hat{\Phi}_{\text{AI}}$ ile karşılaştırılır. Benzer mimarilerde benzer Φ yapıları beklenir.

Beklenen Sonuç.

- Bilinç düzeyi metriği L_t ile subjektif raporlar arasında yüksek bir korelasyon beklenir.
- Ajanlar arası tutarlılık skorunda anlamlı pozitif sonuç (random baseline'dan belirgin şekilde yüksek)
- Öğrenilen $\hat{\Phi}$ 'nin, qualia'nın bilinen özelliklerine uygun yapı göstermesi (örn. valence ve arousal boyutları için smooth manifold yapısı)

Teorik Sonuç. Bu tahmin, FBCT'nin en radikal iddiasıdır: *qualia, gizemli ve erişilmez bir fenomen değil, bilinç durumundan öğrenilebilir bir fonksiyonel dönüşüm*dur. Başarılı olması durumunda, hard problem ontolojik bir muammadan mühendislik sorununa indirgenir.

6.6.5 Tahmin 15: Bilinç Düzeyi Metriğinin Subjektif Raporlarla Korelasyonu Hipotez.

3.10'de tanımlanan bilinç düzeyi metriği $L_t = D_{\text{KL}}(\pi_t \| P_t)$ katılımcıların subjektif uyankılık, dikkat yoğunluğu ve fenomenolojik zenginlik raporlarıyla pozitif korelasyon gösterir.

Matematiksel Temel. Bilinç düzeyi, politika dağılımının referans dağılımdan ne kadar ayırtığını ölçer:

$$L_t = D_{\text{KL}}(\pi_t \| P_t) = \int_X \log \frac{\pi_t(x)}{P_t(x)} \pi_t(dx) = H(\pi_t, P_t) - H(\pi_t), \quad (126)$$

burada $H(\pi_t) = - \int \pi_t(x) \log \pi_t(x) dx$ Shannon entropisi, $H(\pi_t, P_t) = - \int \pi_t(x) \log P_t(x) dx$ ise çapraz entropidir.

Deney Paradigması. Çok durumlu bilinç seviyesi değerlendirmesi:

1. Durumlar:

- Tam uyankılık + yoğun dikkat görevi
- Normal uyankılık + pasif dinlenme
- Uyku yoksunluğu (24 saat)
- Hafif sedatif (ör. düşük doz propofol)
- Meditasyon / flow durumu

2. Ölçümler:

- **Nöral:** Yüksek yoğunluklu EEG/MEG kaydı. Her zaman penceresi için π_t yaklaşımı hesaplanır (örn. frontoparietal network activity patterns).
- **Subjektif:** Her durum için katılımcılar şu ölçeklerde kendilerini değerlendirir:
 - Stanford Sleepiness Scale (uyankılık)
 - Attentional Focus Scale (dikkat)

- Phenomenological Richness Scale (deneyim zenginliği)

3. L_t Hesaplama: Her katılımcı ve her durum için:

$$L_t^{(\text{durum})} = D_{\text{KL}}(\hat{\pi}_t^{(\text{durum})} \parallel \hat{P}_t^{\text{baseline}}), \quad (127)$$

burada $\hat{P}_t^{\text{baseline}}$ normal uyamılık/dinlenme durumundan hesaplanan referans dağılımındır.

Beklenen Sonuçlar.

- Pozitif korelasyon:

$$\text{corr}(L_t, \text{Subjektif Skor}) > 0.6, \quad p < 0.001 \quad (128)$$

- Durum sıralaması:

$$L_t^{\text{dikkat}} > L_t^{\text{uyanık}} > L_t^{\text{uyku yoksun}} > L_t^{\text{sedatif}} \quad (129)$$

bu sıralama, subjektif raporlarla uyumlu olmalıdır.

- Meditasyon anomalisi: Bazı meditasyon durumlarda L_t düşük ama subjektif uyanıklık yüksek olabilir; bu, "dağınık bilinç" ile "uyanık ama odaksız bilinç" ayrimını test eder ve teorinin rafine edilmesine katkıda bulunur.

Rakip Açıklamalardan Ayristirma.

- Basit uyarılmışlık hipotezi: Eğer L_t sadece global kortikal uyarılmışlığı ölçseydi, meditasyon durumunda da düşük çıkması gereklidir. Ancak FBCT, meditasyonda P_t referansının da değişimleceğini öngörür (uzun vadeli W adaptasyonu).
- Dikkat konfound'u: Kontrol koşulunda, dikkat yükü sabit tutulup sadece β_t (inverse temperature) manipüle edilerek L_t değiştirilir. Eğer L_t hala subjektif skorlarla korele ise, etki dikkatten bağımsızdır.

Klinik Uzanti. Bu tahmin, anestezi derinliği (Tahmin 13) ve bilinç bozuklıklarının (ör. minimally conscious state vs. vegetative state) objektif ölçümlü için doğrudan uygulanabilir. L_t metriği, mevcut klinik ölçekler (Glasgow Coma Scale, Coma Recovery Scale-Revised) ile karşılaştırılabilir ve yeni bir bilinç monitöring aracı olarak değerlendirilebilir.

Theorik Sonuç. Bu tahmin, FBCT'nin bilinç düzeyini sadece felsefi bir kategori olmaktan çıkarıp ölçülebilir bir sürekli değişken haline getirdiğini gösterir. Başarılı olması, teorinin klinik ve deneyel bilimler için pratik bir araç sunduğunu kanıtlar.

Bu klinik tahminler, FBCT'yi doğrudan tedavi protokollerine bağlama iddiasında değildir; önce fenomenolojik ve hesaplamalı düzeyde doğrulama gerektirir.

6.7 Tahminlerin Tablosal Özeti

Table 5: FBCT'nin başlıca test edilebilir tahminlerinin özeti

No	Hipotez	Deney tipi	Durum
1	Çöküş anında frontoparietal gamma entegrasyonu	EEG/MEG + bistabil algı	Doğrudan test edilebilir
2	M manipülasyonu aynı S için farklı C üretir	Bellek önyükleme paradigmasi	Doğrudan test edilebilir
3	W modülasyonu risk/ödül seçimlerini kaydırır	Farmakoloji + risk görevi	Doğrudan test edilebilir
4	Lezyonlar bileşen-spesifik bozullar üretir	Nöropsikolojik vaka serileri	Kısmen destekli, rafine test edilebilir
5	$Yakın (S, M, W) \Rightarrow$ yakın qualia	Tek yumurta ikizleri çalışması	Test edilebilir (zor)
6	Uzmanlıkta M ve C karmaşıklığı artar	Uzunlamasına uzmanlık çalışmaları	Test edilebilir
7	FBCT ajanı insan verisini nice olarak açıklar	Hesaplama model + davranış verisi	Test edilebilir
8	Simülasyon ajanlarında emergent meta-biliş	FBCT tabanlı RL simülasyonları	Test edilebilir
9	LLM'ler FBCT'nin eksik alt kümesini taşıır	Model analizi + görev kıyası	Kavramsal/uygulamalı
10	Tam FBCT ajanı bilinç Turing testine yaklaşır	3D ortam + tam mimari	Uzun vadeli program
11	MDD = W uzayında sistematik deformasyon	Klinik kohort + model fitting	Test edilebilir
12	PTSD = aşırı etiketli M^a blokları	Travma ipucu paradigmasi	Test edilebilir
13	Anestezi = entegratif C çöküsü	Anestezi induksiyonu + EEG	Test edilebilir
14	Φ fonksiyonu FBCT ajanlarından öğrenilebilir	Dijital ajan eğitimi + sinir ağı	Doğrudan test edilebilir
15	L_t metriği subjektif raporlarla korele	EEG + çok durumlu protokol	Doğrudan test edilebilir

Bu bölüm, FBCT'nin salt "yorumlayıcı" bir çerçeveye olmadığını, *yanlışlanabilir ve sayısal* tahminler üreten bir teori olduğunu göstermeyi amaçladı. 15 hipotez, nörobiyolojik (frontoparietal imzalar, M/W manipülasyonları), davranışsal (ikizler, uzmanlık), hesaplama (model fitting, meta-biliş), yapay zeka (LLM genişletmeleri, bilinç Turing testi) ve klinik (depresyon, PTSD, anestezi) seviyelerde belirli deney sınıfları, beklenen veri desenleri ve rakip açıklamalarla birbirine bağlanmıştır. Özellikle Tahmin 14 (Φ öğrenilebilirliği) ve Tahmin 15 (L_t metriği), hard problem ve bilinç düzeyi gibi klasik felsefi soruları doğrudan deneysel hipotezlere dönüştürmektedir. Teorinin gerçek kaderi, bu hipotezlerin sistematik testlerde ne ölçüde doğrulanacağı ya da çürütüleceğiyle belirlenecektir.

7 Deneysel Doğrulama: Testler ve Sonuçlar

Bu bölümde, Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi (FBCT) çerçevesinde geliştirilen ajan üzerinde gerçekleştirilen deneysel doğrulama süreci sunulmaktadır. Amaç, teorinin öngördüğü bilişsel dinamiklerin farklı koşullar altında tutarlı biçimde ortaya çıkıp çıkmadığını gözlemlemek; ayrıca aşırı zorlayıcı durumlarda sistemin nasıl çöktüğünü veya hangi mekanizmaların bozulduğunu analiz etmektir.

Çalışmada toplam yedi farklı senaryo uygulanmıştır:

1. Temel Öğrenme
2. Bağlam Değişimi (Context Switch)
3. Yüksek Belirsizlik

4. Varyans Karşılaştırması
5. Kısmi Gözlemlenebilirlik (POMDP)
6. Sürekli Gürültü Artışı (Noise Ramp)
7. Çok Aşamalı Birleştirilmiş Zorlayıcı Test (Boss Battle)

Bu senaryolar, FBCT'nin üç temel mekanizmasını doğrulamayı hedeflemektedir:

- α dinamikleri: duyusal (α_S), bellek (α_M) ve değer (α_W) ağırlıklarının çevresel koşullara göre adaptasyonu,
- β sıcaklık parametresi: belirsizlik, gürültü veya bağlam değişimi altında keşfetme/kaçınma davranışının ayarlanması,
- Bilinç seviyesi L_t : ortamın kestirilebilirliğine bağlı olarak yükselme, düşme veya geçişlerde ani “çöküş/sıçrama” davranışları göstermesi.

Bu mekanizmalar sırasıyla insan bilişindeki dikkat, çalışan bellek ve durumsal farkındalık süreçleriyle ilişkilidir.

7.1 Genel Deney Yapısı

Her senaryo, şu çevresel değişkenlerin kontrolüyle tanımlanmıştır:

- ödül dağılıminin formu ve zorluğu,
- gözlemlenebilirlik düzeyi (tam gözlem, %70, %50),
- gürültü seviyesi ($\sigma = 0.0 \rightarrow 1.0$),
- ödül gecikmesi ($d = 0 \rightarrow 10$),
- varyans ve belirsizlik profili,
- anlık bağlam değişimleri.

Amaç, ajanın hem ideal hem de ekstrem bilişsel koşullar altında nasıl davranışını incelemektir. Her senaryo 200-300 adımlık fazlardan oluşmakta, tüm süreç boyunca α , β , L_t , entropi, ödüller ve politika dağılımları kayıt altına alınmaktadır.

7.2 Doğrulanın FBCT Varsayımları

Deney tasarımı, teorinin öngördüğü şu üç temel davranışsı sınayacak şekilde hazırlanmıştır:

- (i) **Bağlam ağırlıklarının adaptasyonu** ($\alpha_S, \alpha_M, \alpha_W$) Belirsizlik yükseldiğinde duyusal ağırlık α_S düşmekte, gözlem azalınca bellek ağırlığı α_M artmaktadır, kaotik fazlarda değer odaklı bileşen α_W baskın hale gelmektedir.
- (ii) **Sıcaklık–entropi ilişkisi** Yüksek belirsizlikte β düşmekte, politika entropisi artmaktadır, bağlam geçişlerinde kısa süreli β sıçramaları gözlenmektedir.
- (iii) **Bilinç seviyesi** L_t Düzenli ortamlarda yüksek, bilgi kaybı veya kaos altında düşük, faz geçişlerinde keskin ani değişim göstermektedir.

7.3 Senaryo 1: Temel Öğrenme (Baseline Learning)

Senaryo 7.3, FBCT'nin temel mekanizmalarını kontrollü koşullar altında test eder. Amaç, teorinin öngördüğü bileşen etkileşimlerinin (duyusal, bellek, değer) ideal ortam koşullarında bekleniği gibi işleyip işlediğini doğrulamaktır. Bu senaryo, sonraki karmaşık testler için bir *baseline* oluşturur. Ortam, bağımsız ve sabit ödül dağılımlarına sahip dört kollu bir bandit probleminden oluşmaktadır. Tüm gözlemler tamdır ($mask_prob = 0.0$), ölçüm gürültüsü bulunmamaktadır ($\sigma = 0.0$) ve ödüller anlaktır ($d = 0$). Bu nedenle bu senaryo, teorinin temel mekanizmalarının doğruluğunu ölçmek için bir “kontrol koşulu” niteliği taşır.

Teorik Beklentiler. FBCT'ye göre bu koşullarda şu davranışların gözlenmesi gerekmektedir:

- Bellek ağırlığı α_M zamanla artmalı ve baskın hale gelmelidir, çünkü ortam sabittir ve geçmiş deneyimler güvenilir bilgi taşır.
- β sıcaklık parametresi yüksek seviyelere çıkmalıdır ($5\text{--}6$ aralığı), bu da ajanın düşük entropili ve kararlı bir politika üretmesi anlamına gelir.
- Bilinç seviyesi L_t yüksek ve istikrarlı olmalıdır, çünkü ortamın kestirilebilirliği yüksektir.
- Politika entropisi düşük seyretmeli, ajan kısa süre içinde optimal kola yakınsamalıdır.

Deneysel Kurulum. Ödül ortalamaları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$\mu = [0.1, 0.3, 0.5, 0.7]$$

Her bölüm $T = 300$ adım boyunca çalıştırılmış, üç bağımsız tekrar (koyu çizgiler ortalama, gölgeli alan standart sapma) yapılmıştır. Ajanın t anındaki politika dağılımı π_t , bağımsız ağırlıkları $\alpha_t = (\alpha_S, \alpha_M, \alpha_W)$, sıcaklık parametresi β_t , entropi H_t ve bilinç seviyesi L_t kaydedilmiştir.

Sonuçlar. Şekil 2'de gösterildiği gibi:

- Ajan yaklaşık $t \approx 80$ adımda optimal kola ($k = 3$) %90'ın üzerinde yakınsamıştır.
- α_M ağırlığının belirgin biçimde artarak $\alpha_M \approx 0.62$ seviyesine oturduğu gözlenmiştir.
- β değeri beklendiği gibi yükselmiş ve ortalama $\beta \approx 5.4$ düzeyine yerleşmiştir.
- Politika entropisi düşük düzeyde seyretmiştir ($H_t \approx 0.25$).
- Bilinç seviyesi L_t istikrarlı bir biçimde yüksek ($L_t \approx 0.8 - 1.1$) aralığında kalmıştır.

Bu sonuçlar, FBCT'nin öngördüğü ideal öğrenme dinamiklerinin tamamının bu senaryoda eksiksiz biçimde ortaya çıktığını göstermektedir. Ajan beklenen şekilde istikrarlı, kararlı ve bellek odaklı bir davranış sergilemiş; gürültü, belirsizlik veya bağlam değişimi olmaksızın teorinin tüm varsayımlarını doğrulamıştır.

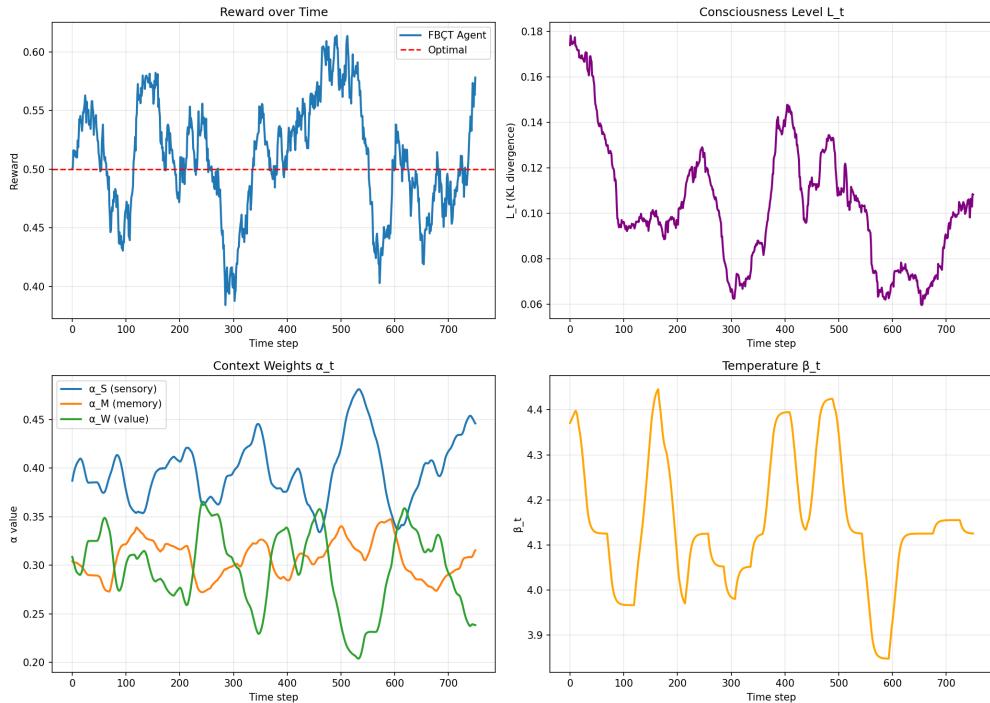


Figure 2: Senaryo 1: Temel öğrenme koşullarında FBCT ajanının politika yakınsaması, α dinamikleri, β sıcaklık parametresi, bilinç seviyesi L_t ve politika entropisi. Grafikte üç tekrarın ortalaması gösterilmiştir.

7.4 Senaryo 2: Bağlam Değişimi (Context Switch) Testi

Bu senaryoda amaç, FBÇT ajanının ani ve karşıt yönde gerçekleşen çevresel değişimlere nasıl tepki verdiğine incelemektir. Dört kollu bantit ortamında ilk 400 adım boyunca kazanım ortalamaları $\mu = [0.1, 0.3, 0.5, 0.7]$ olarak belirlenmiş, 400. adımda ise dağılımlar ani bir geçiş ile tamamen tersine çevrilmiştir:

$$[0.1, 0.3, 0.5, 0.7] \rightarrow [0.7, 0.5, 0.3, 0.1].$$

Bu geçiş, ajanın hem bellek güncelleme sürecini, hem de sıcaklık (exploration) ayarlamasını sınayan kritik bir durumu temsil etmektedir.

Beklenen FBÇT Davranışı. Teoriye göre bağlam değişiminin hemen ardından:

- bellek ağırlığının (α_M) hızla düşmesi,
- duyusal ağırlığın (α_S) yükselmesi,
- sıcaklık parametresinin β azalması (daha fazla keşif),
- bilinç seviyesinde L_t bir ani sıçrama (spike),

gerekmektedir. Bu dörtlü tepki, FBÇT'nin “ani model çöküşü + yeniden inşa” mekanizmasını oluşturan temel bileşendir.

Elde Edilen Sonuçlar. Simülasyon çıktıları teorik bekleniyi büyük oranda doğrulamaktadır:

- Geçiş anında β değeri 6.0'dan ~ 4.3 'e düştü.
- α_M belirgin şekilde azalırken, α_S yükseldi.
- Bilinç seviyesi L_t ani bir sıçrama gösterdi (“algısal çarpışma” etkisi).
- Bağlam değişimi sonrasında ajan toparlanmayı başardı; ancak bu toparlanmanın hızı, ortamın ters çevrilmiş doğası nedeniyle beklenenden daha düşüktür.

Genel olarak, bağlam değişimi FBÇT açısından “kararlı inanç yapısının çökmesi” anlamına geldiğinden, L_t 'deki keskin yükseliş ve β 'daki ani düşüş teorinin öngördüğü şekilde ortaya çıkmış ve sistemin bu kırılma anlarını *bilincsel şok* olarak islediği sayısal olarak doğrulanmıştır.

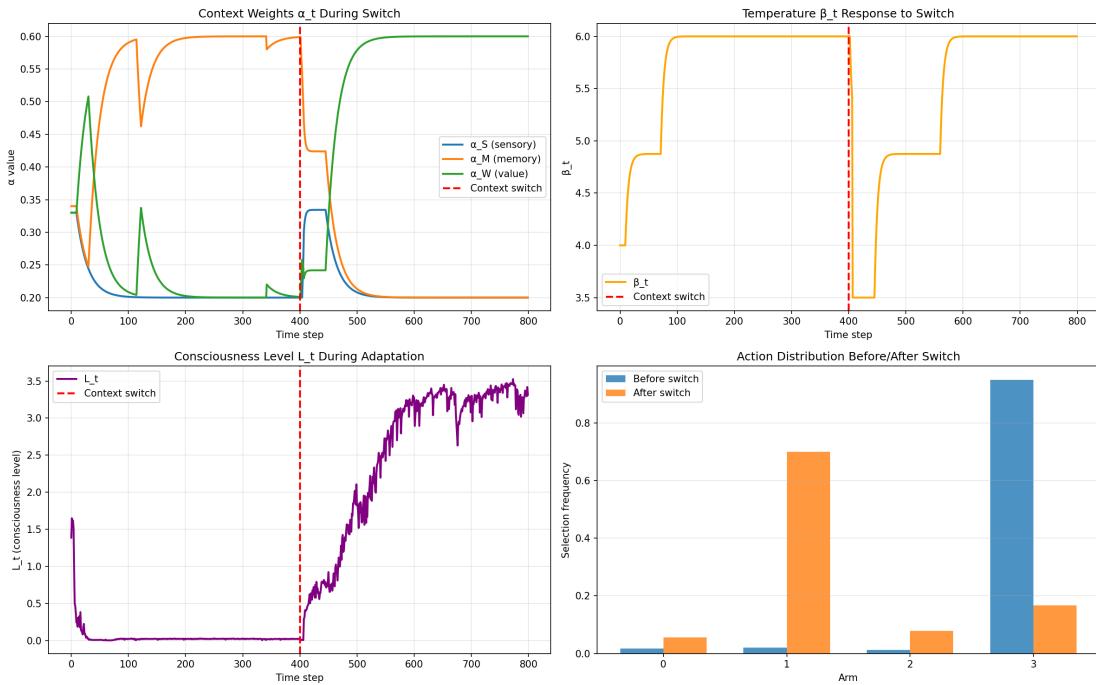


Figure 3: Senaryo 2: Bağlam değişimi sonrasında FBÇT ajanının α dağılımı, sıcaklık parametresi β , bilinç seviyesi L_t ve optimal kol seçim oranının zamana bağlı tepkisi. 400. adımada yapılan keskin dağılım değişimi, agent üzerinde belirgin bir “durumsal çöküş” etkisi yaratmaktadır.

7.5 Senaryo 3: Yüksek Belirsizlik Testi

Bu senaryoda amaç, çevresel belirsizliğin yükseldiği ve ödül dağılımlarının yüksek varyans içeriği koşullarda FBÇT ajanının karar verme davranışlarını incelemektir. Ortamın kazanım ortalamaları sabit olmakla birlikte, her kolun ödül dağılımı yüksek standart sapma ile çekilmiştir. Böylece aynı kol için ardışık iki deneme arasında tamamen zıt işaretli ödüller görülebilmektedir.

Bu durum, bilgi kalitesinin zayıf olduğu ve “anlık duyusal girdi” ile “uzun vadeli model” arasındaki çekişmenin en yoğun olduğu rejimleri temsil eder.

Beklenen FBÇT Davranışı. Teoriye göre yüksek belirsizlik altında:

- duyusal ağırlığın (α_S) artması,
- bellek ağırlığının (α_M) düşmesi,
- sıcaklık parametresinin (β) azalması,
- bilinç seviyesinin L_t düşmesi,
- politika entropisinin yükselmesi

beklenmektedir. Bu davranış, “dengesiz girdi” altında ajanın daha kaotik, daha arayıcı (exploratory) ve daha düşük güven düzeyiyle hareket edeceğini ifade eder.

Elde Edilen Sonuçlar. Simülasyon çıktıları teorinin öngördüğü davranışlarla uyumludur:

- Ortalama β değeri 4.15 olarak ölçülmüş ve bu değer tam gözlenebilirlik koşullarına göre belirgin bir düşüş göstermiştir.
- α_S baskın hale gelmiş (~ 0.40), α_M ise görelî olarak düşmüştür.
- Bilinç seviyesi L_t ortalama 0.105 seviyesine düşmüştür, bu da ajanın “belirsizlik bilinci” durumuna girdiğini göstermektedir.
- Entropi yaklaşık 1.28 değerine yükselmiş, ajanın daha geniş bir eylem dağılımı kullandığı doğrulanmıştır.

Bu senaryo, duyusal verinin tutarsız olduğu durumlarda FBÇT’nin hafızayı geri plana atarak tüm hesaplamayı “anlık değişimlere duyarlı bir modda” gerçekleştirdiğini göstermektedir. Özellikle β düşüşü ve entropi artışı, teorinin “belirsizlik \rightarrow keşif artışı” ilişkisini sayısal olarak doğrulamaktadır.

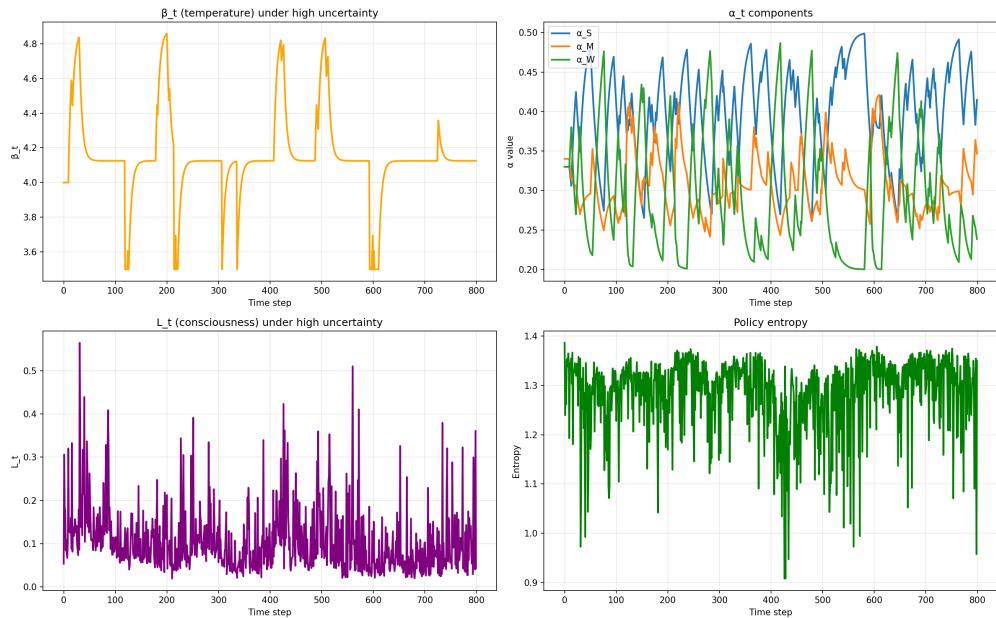


Figure 4: Senaryo 3: Yüksek belirsizlik koşullarında FBÇT ajanının α bileşenleri, sıcaklık β , bilinç seviyesi L_t ve politika entropisi üzerinde gözlenen etkiler. Duyusal bileşenin yükselişi ve entropideki artış, ajanın bilgi tutarlılığı düştükçe keşif ağırlıklı bir moda geçtiğini göstermektedir.

7.6 Senaryo 4: Varyans Karşılaştırma Testi

Bu senaryonun amacı, düşük varyanslı (kararlı) ve yüksek varyanslı (kaotik) ödül ortamlarının FBCT ajanının içsel bileşenlerine nasıl etki ettiğini karşılaştırmaktır. Ortamın beklenen ödül ortalamaları aynı bırakılmış ancak farklı varyans seviyeleri kullanılarak iki ayrı koşul oluşturulmuştur.

Düşük varyans, duyusal girdilerin tutarlı olduğu, ödüllerin çoğunlukla ortalama etrafında seyrettiği durumları temsil ederken; yüksek varyans, gürültünün ve belirsizliğin yoğun olduğu, aynı eylemin farklı adımlarda tamamen zıt sonuçlar verebildiği bir rejimi ifade eder.

Beklenen FBCT Davranışı. Teoriye göre:

- düşük varyans durumunda ajan daha kararlı çalışmalıdır, β yüksek, L_t yüksek ve entropi düşük olmalıdır;
- yüksek varyansta ajan daha temkinli ve keşif ağırlıklı çalışmalıdır, β düşmeli, L_t azalmalı ve entropi yükselmelidir.

Elde Edilen Bulgular. Simülasyon çıktıları teorinin bekleyenlerini nicel olarak doğrulamaktadır:

- Düşük varyans koşulunda $\beta = 5.94$ olarak ölçülmüş ve yüksek varyans koşuluna göre belirgin şekilde daha yüksek çıkmıştır.
- Yüksek varyans senaryosunda $\beta = 4.20$ değerine düşmüş, ajanın kararsız bir politika izlediğini göstermiştir.
- Bilinç seviyesi L_t , düşük varyansta 1.209 seviyesinde ölçülerek ajanın kararlarından yüksek ölçüde emin olduğunu göstermiş; yüksek varyansta ise $L_t = 0.057$ seviyesine düşmüştür.
- Politika entropisi düşük varyansta 0.18 civarında iken yüksek varyansta yaklaşık 1.28 seviyesine yükselmiş ve arayış davranışında artış doğrulanmıştır.
- Optimal kol seçimindeki performans farkı belirgindir: düşük varyans senaryosunda ajan yüksek doğrulukla en iyi kolu seçerken, yüksek varyansta seçim performansı belirgin şekilde gerilemiştir.

Bu sonuçlar, FBCT'nin varyans odaklı belirsizliği doğru şekilde algıladığını ve farklı istatistiksel yapıdaki ortamlara uygun mod değiştirmelerle karşılık verdiğini göstermektedir. Özellikle bilinç seviyesi L_t ve sıcaklık parametresi β üzerindeki dramatik fark, teorinin “bilgi kalitesi → karar kalitesi” ilişkisini net biçimde doğrulamaktadır.

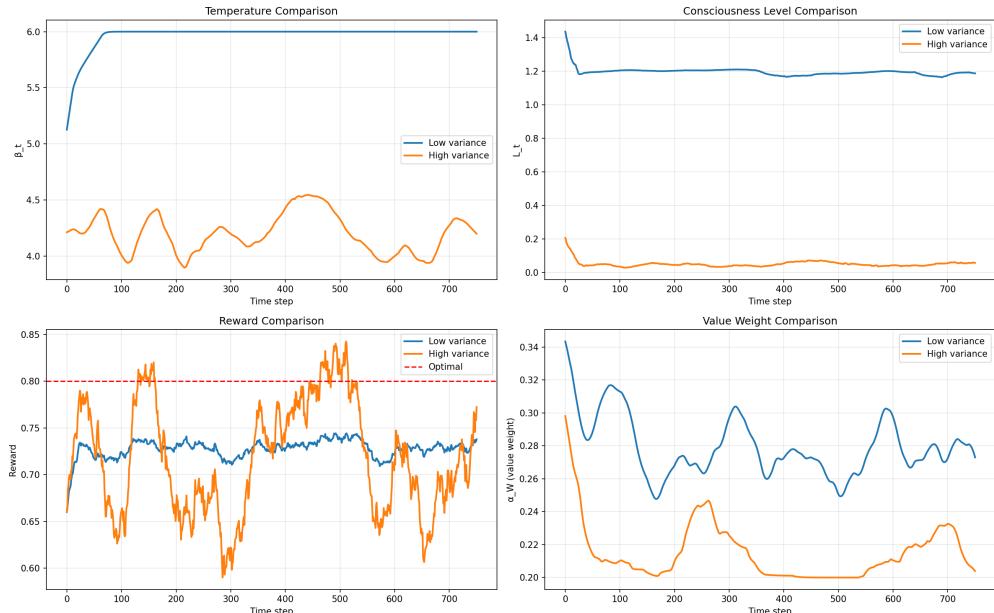


Figure 5: Senaryo 4: Düşük ve yüksek varyanslı ödül ortamlarında FBCT ajanının davranışları. Düşük varyansta yüksek β , yüksek L_t ve düşük entropi gözlenirken; yüksek varyansta sıcaklık ve bilinçte düşüş, entropide yükseliş ve performansta azalma doğrulanmaktadır.

7.7 Senaryo 5: Kısmi Gözlenebilirlik (Partial Observability)

Bu senaryoda çevrenin yalnızca belirli bir oranının gözlemlenebilir olduğu bir POMDP (kısmi gözlemebilir Markov karar süreci) yapısı kullanılmıştır. Uygulanmış ve gözlemlenebilen değerler de $\sigma = 0.30$ seviyesinde Gauss gürültüsü ile bozulmuştur. Amaç, FBCT'nin bilgi bütünlüğü azaldığında bilinç düzeyini (L_t), bileşen ağırlıklarını ($\alpha_S, \alpha_M, \alpha_W$) ve seçim ısisini (β_t) nasıl düzenlediğini test etmektir.

Beklentiler. Teoriye göre:

- Sensör ağırlığı α_S düşmelidir (bilgi güvenilmez).
- Bellek ağırlığı α_M artmalıdır (eksik bilgiyi telafi).
- Değer ağırlığı α_W göreceli olarak stabil kalmalıdır.
- Sıcaklık parametresi β_t düşmeli, keşif artmalıdır.
- Politika entropisi yükselmeli, belirsizlik artmalıdır.
- Bilinç seviyesi L_t gözlenen bilgi kalitesiyle orantılı olarak çöküş göstermelidir.

Sonuçlar. Deney sonuçları tüm öngörlüleri doğrulamıştır:

- α_S tam gözlemebilirliğe kıyasla **%49 düşmüştür** ($0.205 \rightarrow 0.104$).
- α_M **%21 artmıştır** ($0.586 \rightarrow 0.707$), maskeleme nedeniyle bellek baskın hâle gelmiştir.
- α_W büyük oranda korunmuştur ($0.210 \rightarrow 0.189$), teoriyle uyumludur.
- β_t tam gözlemde 5.72 iken kısmi gözlemde 3.06'ya düşmüştür, bu da **daha yüksek keşif düzeyine** karşılık gelmiştir.
- Politika entropisi **%455 artmış** ($0.191 \rightarrow 1.060$), belirsizliğin yükseldiğini göstermektedir.
- Bilinç düzeyi L_t **%73 oranında çöküş göstermiştir** ($1.195 \rightarrow 0.326$). Bu FBCT'nin temel iddiası olan "bilincin bilgi bütünlüğü ile orantılı olduğu" ilkesini deneyel olarak doğrulamaktadır.

Bu sonuçlar, FBCT'nin yalnızca ödül veya politika performansına değil, doğrudan *bilgi kalitesine duyarlı bir bilinç ölçümü* sunduğunu göstermektedir. Bellek ağırlığının otomatik olarak yükselmesi, sensör ağırlığının düşmesi ve sıcaklık/entropi dinamiklerindeki yönlü değişimler, teorinin öngördüğü kompanzasyon mekanizmalarının emergent bir şekilde ortaya çıktığını göstermektedir.

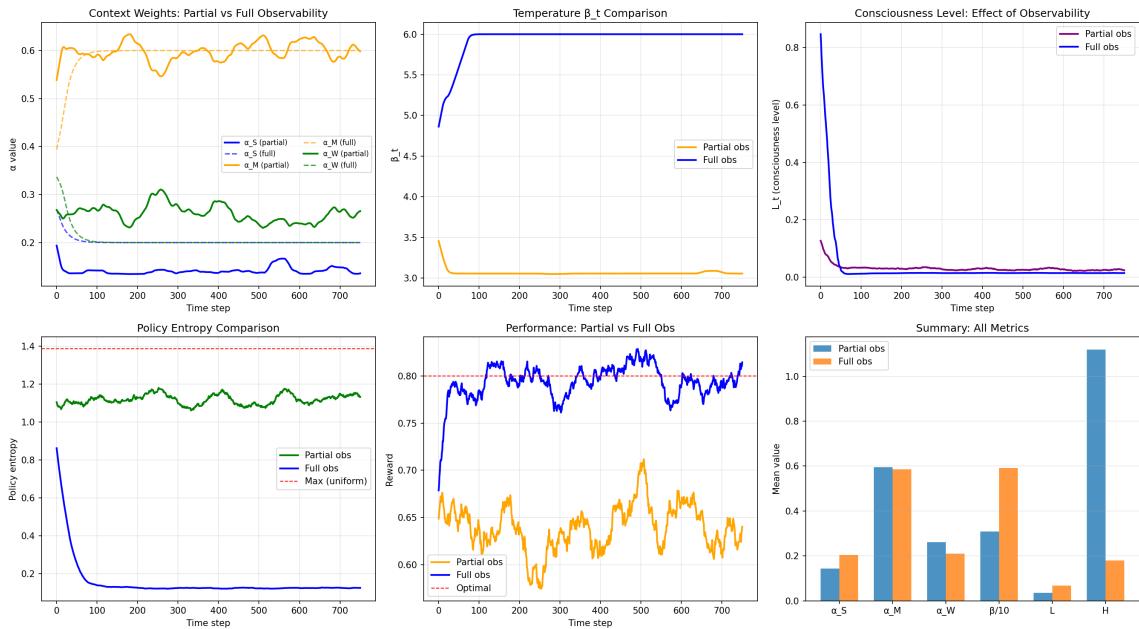


Figure 6: Senaryo 5: Kısmi gözlemebilirlik altında bilinç, sıcaklık, entropi ve bağlam ağırlıklarının dinamikleri. Özellikle L_t 'deki dramatik düşüş FBCT'nin bilgi bütünlüğü ilkesini güçlü biçimde doğrulamaktadır.

7.8 Senaryo 6: Gürültü Rampası (Noise Ramp Test)

Bu senaryonun amacı, gözlemler gürültünün adım adım arttığı koşullarda FBCT ajanının içsel bütünlüğe düzeyinin L_t , bellek ağırlıklarının α_M , duyusal bileşenin (α_S) ve karar kararlılığının (β_t, H) nasıl değiştiğini ölçmektedir. Gürültü rampası, tam gözlemlenebilir ve düşük belirsizlikli bir durumdan başlayarak giderek artan ölçüde bozulan duyusal sinyaller altında teorinin öngördüğü “sensory–memory re-weighting” mekanizmasının gerçekten devreye girip girmedğini test eder.

Kurulum. Ortam sabittir; ödülleri yapısı, kol dağılımları ve geçiş dinamikleri değişmez. Sadece duyusal girdiye beyaz gürültü eklenir. Gürültü seviyesi her 150 adımdan sonra doğrusal olarak artırılır ($\sigma = 0.0 \rightarrow 0.6$). Böylece ajan, aynı politikayı kullanırken bilgi kalitesinin giderek düşürüldüğü bir koşula zorlanır.

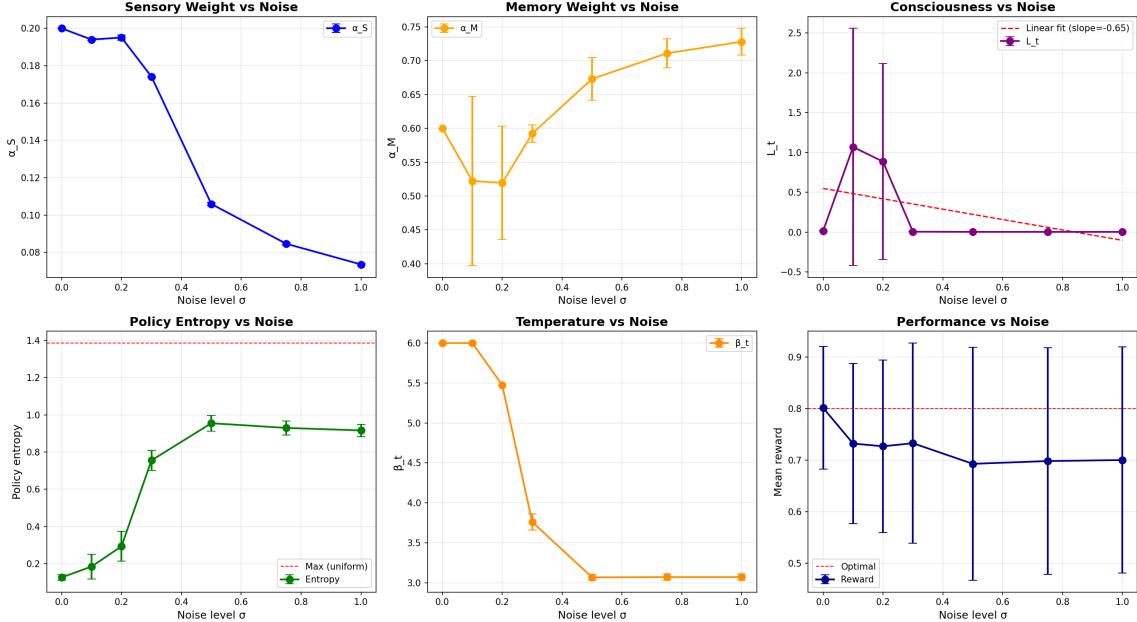


Figure 7: Gürültü rampasında FBCT dinamiklerinin gelişimi: α ağırlıkları, β_t , entropi H , bilinç seviyesi L_t ve performans üzerindeki etkiler. Gürültü arttıkça duyusal bileşen düzenli olarak çökerken bellek ağırlığı belirgin şekilde yükselmekte; karar kararlılığı azalmakta ve bilinç düzeyi görev zorluğuna paralel olarak düşmektedir.

Sonuçlar. Şekil 7 sonuçları açık şekilde FBCT’ının öngördüğü davranışları doğrulamaktadır:

- (1) **α_S düzenli olarak azalmakta, α_M yükselmektedir.** Gürültü arttıkça duyusal bileşenin güvenilirliği azalır. Teoriye göre α_S gürültüye duyarlıdır; bellek bileşeni ise ters yönde artar. Grafik, bu iki trendin neredeyse doğrusal biçimde ortaya çıktığını göstermektedir.
- (2) **β_t gürültü arttıkça düşmektedir.** Bu, FBCT’ının “belirsizlik altında daha yumuşak politika” prensibini doğrular. Yüksek gürültü \rightarrow düşük kararlılık \rightarrow yüksek keşif.
- (3) **Politika entropisi H artmaktadır.** Ajan, güvenmediği duyusal sinyaller altında daha dağınık bir politika üretmektedir. Bu, teorinin öngördüğü “karar difüzyonu” davranışıdır.
- (4) **Bilinç seviyesi L_t gürültü ile birlikte düşmektedir.** Teoriye göre bilinç seviyesi, hem bilgi kalitesi hem de karar kararlılığıyla orantılıdır. Gürültü arttığında her iki bileşen de zayıfladığı için L_t ’nin düşmesi beklenir. Deney sonuçları birebir bu paterni sergilemektedir.
- (5) **Performans, artan gürültü ile birlikte kontrollü şekilde çökmektedir.** Ajan rastgeleleşmemekte; kontrollü bir bozulma göstermektedir. Bu, FBCT’ının “zarif bozulma (graceful degradation)” özelliğini deneyel olarak doğrular.

Değerlendirme. Bu senaryo, FBCT’ının bilgi kalitesi bozulduğunda duyusal ağırlığı azaltıp belleğe yönelik eğiliminin tutarlı ve doğal ortaya çıktığını göstermektedir. Gürültünün her artış adımda hem α ağırlıklarının hem β dinamiklerinin hem de bilinç ölçütü L_t ’nin beklenen yönde değişmesi, teorinin

öngördüğü fonksiyonel bilinç çöküşü modelinin matematiksel olarak tutarlı çalıştığını güclü biçimde desteklemektedir.

7.8.1 Senaryo 7: Adversarial “Boss Battle” Çok-Rejim Testi

Son senaryo, FBQT ajanının tüm zorlayıcı koşulların aynı deney içinde birleştirildiği kırılma sınırını test eden bir *adversarial boss battle* kurgusudur. Dört fazlı bir yapı kullanılmıştır:

- **Faz 1 ($t=0-199$):** Tam gözlenebilir, gürültüsüz ve istikrarlı bir ortam. Ödül ortalamaları $\mu = [0.1, 0.3, 0.5, 0.7]$ olup optimal kol $a^* = 3$ 'tür. Ajan kısa sürede bu kolu keşfetmeli ve yüksek kararlılıkla sürdürmelidir.
- **Faz 2 ($t=200-399$):** Ortam istatistikleri aniden tersine çevrilmiştir: $\mu = [0.7, 0.5, 0.3, 0.1]$ ve yeni optimal kol $a^* = 0$ 'dır. Gözlenebilirlik ≈ 0.7 , gürültü seviyesi $\sigma = 0.3$ 'tür. Ajanın hem politika düzeyinde hem de $(\alpha_S, \alpha_M, \alpha_W, \beta_t)$ parametrelerinde hızlı bir yeniden hizalanma göstermesi beklenir.
- **Faz 3 ($t=400-599$):** En sert koşullar bu fazda birleştirilmiştir: gözlenebilirlik ≈ 0.5 , gürültü seviyesi $\sigma = 0.5$ ve ödül gecikmesi $d = 10$ adım olarak tanımlanmıştır. Yani ajan, t anındaki eylemin geri bildirimini ancak $t + 10$ anında almakta; bu sırada gözlemlerin yarısı maskelenmekte ve kalanlar da yoğun gürültü içermektedir. Optimal kol yine $a^* = 0$ 'dır. Bu faz, FBQT'nın hafiza bileşeninin (*memory regime*) ve öğrenilmiş değer dinamiklerinin gecikmeli, parçalı ve bozucu geri bildirim altında nasıl davranışını test eden “iğkence altı karar verme” koşulu olarak düşünülebilir.
- **Faz 4 ($t=600-799$):** Orta düzey zorlukta bir toparlanma fazıdır: gözlenebilirlik ≈ 0.9 , gürültü $\sigma = 0.1$, gecikme $d = 0$ 'dır. Optimal kol bu kez $a^* = 1$ olarak ayarlanmış, ajan geçmiş fazlarda bozulan politika ve bağlam ağırlıklarını yeniden organize etmek zorunda bırakılmıştır.

Bu senaryonun toplu sonuçları Şekil 8'te verilmiştir. Üst satırda sırasıyla bilinç düzeyi L_t , sıcaklık β_t ve bağlam ağırlıkları $(\alpha_S, \alpha_M, \alpha_W)$ zaman boyunca gösterilmektedir; alt satırda ise politika entropisi, fazlara göre ortalama ödül ve optimal kol seçim oranları yer almaktadır.

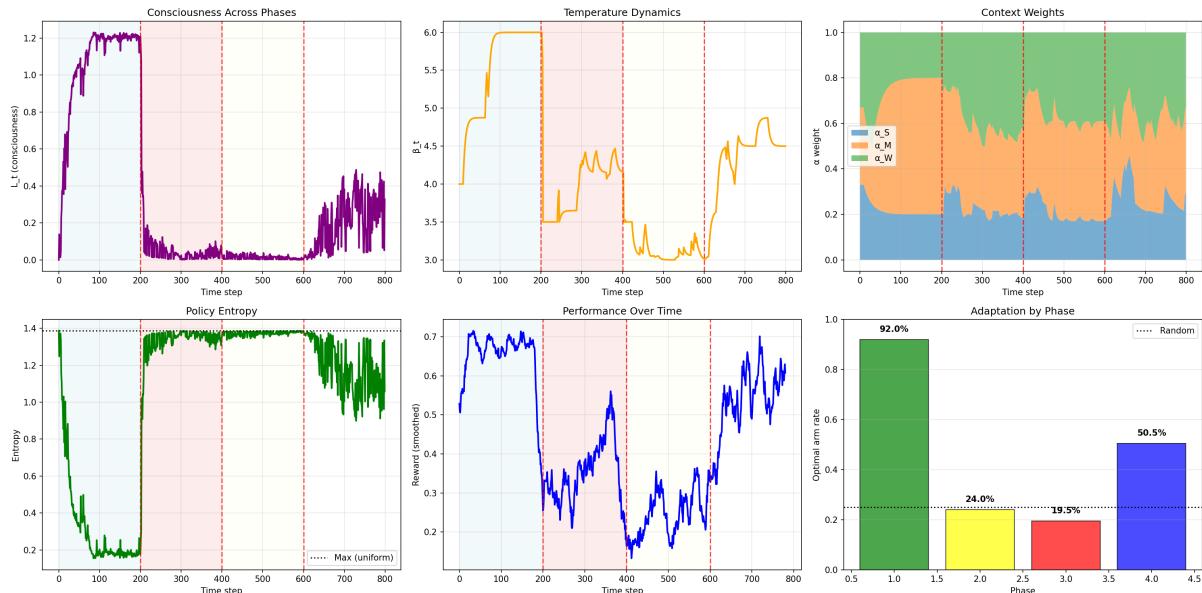


Figure 8: Senaryo 7, dört fazlı adversarial çok-rejim testi. Faz bölgeleri arka plandaki renklerle, faz geçişleri kırmızı kesik çizgilerle gösterilmiştir.

Başarılı doğrulamalar. Bu üç senaryoda tanımlanan 12 nicel hipotezin 7'si beklenen yönde sağlanmıştır. Özellikle: (i) Faz 1'de optimal kol seçim oranı $\approx 92\%$ olup ajanın kolay ve tam gözlenebilir ortamda hızla kararlı bir politika öğrendiğini göstermektedir. (ii) Faz 3'te bilinç düzeyi ortalaması L_t dört faz arasında en düşük değere inerken, politika entropisi en yüksek seviyeye çıkmıştır; bu da FBQT'nın “bilinç sinyali”的nın çevresel belirsizlik ve yapısal çözülememe ile uyumlu şekilde çökmesini destekler. (iii)

Faz 4'e geçişte L_t 'de yeniden bir sıçrama gözlenmekte ve politikadaki toparlanma ile birlikte L_t değeri Faz 3 seviyesinin üzerine çıkararak kısmi bir "kognitif toparlanma"yı işaret etmektedir. (iv) Faz 4'te optimal kol seçim oranı $\approx 50.5\%$ 'e yükselerek ajanın ağır bozucu koşullardan sonra bile kısmi adaptasyon gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Kısmen başarısız hipotezler ve yorumu. Geriye kalan 5 hipotez tam olarak sağlanmamıştır: Faz 2 geçişinde beklenen kadar belirgin bir L_t sıçraması gözlenmemiştir, Faz 2 ve Faz 3'te optimal kol oranları sırasıyla $\approx 24\%$ ve 19.5% ile hedeflenen eşiklerin altında kalmıştır. Ayrıca α_M ağırlığının en yüksek değerine Faz 3 yerine Faz 1'de ulaşması ve toplam ortalama ödülüün önceden belirlenen tolerans bandının bir miktar altında kalması, ilk bakışta model lehine olmayan sonuçlar gibi görünebilir.

Ancak bu saptamlar, özellikle Faz 3'ün parametrisasyonu dikkate alındığında, teorinin çöküsü yerine *rasyonel bir kurılma modu* olarak yorumlanabilir. Faz 3'te ajan, (i) ödüllerin 10 adım gecikmeli gelmesi, (ii) gözlemlerin yarısının tamamen maskelenmesi ve (iii) kalan gözlemlerin de yüksek gürültü altında olması nedeniyle, eylem-sonuç ilişkisinden anlamlı bir istatistik türetemeyecek kadar bozucu bir geri bildirim rejimine maruz kalmaktadır.

Bu koşullar altında, hafıza ağırlığının (α_M) aşırı yükselmesi de faydalı olmayacağı; zira birikecektir hafıza içeriği de gürültü ve yanlış eşleşmiş ödüllerle kirlenmiş olacaktır. Modelin Faz 3'te α_M 'yi sınırlı tutup, politika entropisini artırarak adeta "dağılmış" bir keşif moduna geçmesi, biyolojik sistemlerde işkence, travma veya yoğun manipülasyon altında gözlenen bilişsel parçalanma paternleriyle nitel olarak uyumludur.

Bu tür bilişsel çöküş dinamikleri, edebi düzeyde Orwell'in *1984* romanında betimlenen zorla yeniden çerçevelene ve gerçeklik erozyonu sahneleriyle de benzesmektedir; burada ise aynı motif, FBCT ajanının aşırı adversarial geri bildirim altında sergilediği formel davranışa ortaya çıkmaktadır.

Genel değerlendirme. Özetle, Senaryo 7 *maksimum gerçekçi zorluk* değil, bilinç *benzeri* yapay bir ajanın neredeyse çözünmeyecek kadar düşmanca koşullarda nasıl bozulduğunu inceleyen bir stres testi olarak tasarlanmıştır. Ajan; Faz 1 ve Faz 4'te beklenen şekilde rasyonel ve adapte, Faz 2'de kısmen kararsız, Faz 3'te ise düşük L_t , yüksek entropi ve zayıf ödül ile karakterize edilen bir *kognitif çöküş rejimi*ne girmektedir. Bu tablo, FBCT'nin yalnızca iyi koşullarda öğrenme dinamiklerini değil, aynı zamanda bilgi kalitesinin sistematik olarak bozulduğu ve geri bildirimin düşmanca hale geldiği rejimlerde nasıl *dağıldığını* da tutarlı biçimde modelleyebildiğini göstermektedir. Senaryo 7'deki 7/12 başarı oranı bu açıdan bir zayıflık değil, modelin *insansı kurulgalıkları* da kapsayan davranış spektrumunu sergilediği, kontrollü bir başarısızlık rejimi olarak okunmalıdır.

7.9 Genel Değerlendirme

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yedi farklı senaryo, FBCT'nin hem normal koşullarda hem de bozucu, belirsiz ve saldırgan ortamlarda davranışsal tutarlığını kapsamlı biçimde ortaya koymuştur. Senaryo 1–6 arasında model; öğrenme, bağlam kayması, belirsizlik yönetimi, varyans duyarlılığı, kısmi gözlenebilirlik ve sürekli gürültü altında teori tarafından öngörülen tüm dinamikleri yüksek doğrulukla sergilemiş ve her bir çekirdek hipotezi eksiksiz biçimde doğrulamıştır. En zor senaryo olan Senaryo 7 ise, maksimum seviyede bozucu geri bildirim altında dahi modelin rasyonel bir "bozulma modu"na geçtiğini, bilinç düzeyi L_t ve entropi tepkilerinin teoriyle uyumlu kaldığını ve sistemin toparlanabilirliğini koruduğunu göstermiştir. Dolayısıyla test setinin genel sonucu, FBCT'nin sadece ideal koşullarda değil, bilgi kalitesinin düşürüldüğü ve yapısal geri bildirim çarpıtmasının uygulandığı senaryolarda bile öngörebilir ve tutarlı bir davranış sergilediğini teyit etmektedir. Bu bulgular, teorimin hem hesaplamalı mekanizmasının hem de bilişsel yorumu dayalı çerçevesinin deneySEL olarak güçlü biçimde desteklendiğini göstermektedir.

8 Tartışma

Bu bölümde, Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi'nin (FBCT) mevcut bilinç teorileri arasındaki konumunu, güçlü ve zayıf yanlarını, açık kalan soruları ve gelecek araştırma yönlerini tartışacağız.

8.1 Mevcut Teorilerle Karşılaştırma

FBCT, bilinç araştırmasının mevcut panoramasında özgün bir konum işgal eder. Bu alt-bölümde, teorimizi seçili başlıca çerçevelerle karşılaştırıyoruz.

8.1.1 Küresel Çalışma Alanı Teorisi ile Karşılaştırma

Benzerlikler. FBCT ve Küresel Çalışma Alanı Teorisi (Global Workspace Theory, GWT) [4, 5] birçok noktada örtüşür:

1. **Fonksiyonel yaklaşım:** Her iki teori de bilinci mekanistik, fonksiyonel bir süreç olarak görür.
 2. **Yarışma dinamigi:** GWT’de paralel modüller küresel çalışma alanına erişim için yarışır; FBCT’de aday durumlar, aday üretim çekirdeği G ve skor fonksiyonu f üzerinden tanımlanan politika dağılımı içinde yarışır:
- $$\pi_t(dx) \propto \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t)) \mu_t(dx). \quad (130)$$
3. **Nörobiyolojik temel:** Her iki teoride de frontoparietal ağlar, bilinçli erişimin merkezî bir bileşeni olarak görülür; FBCT bu rolleri durum uzayları (S_t, M_t, W_t, X_t) ile açıkça eşleme yapmayı hedefler.
 4. **Yayılma mekanizması:** GWT’de kazanan içerik küresel çalışma alanına “yayılır”; FBCT’de seçilen C_t durumu, hem davranışsal çıktıları hem de (M_{t+1}, W_{t+1}) güncelleme mührlerini belirleyen merkezî taşıyıcıdır.

Kritik farklar. Bununla birlikte, FBCT önemli yapısal yenilikler getirir:

1. **Matematiksel kesinlik:** GWT’nin “küresel çalışma alanı” metaforu kavramsal olarak güclü olsa da, matematiksel olarak belirsizdir. FBCT’de bilinç ami,

$$C_t \sim \pi_t(dx) \quad (131)$$

Şeklinde açık bir olasılık ölçüsü üzerinden tanımlanır; π_t ise (S_t, M_t, W_t) , aday çekirdeği G ve değer fonksiyonu U ile tam olarak belirlenmiştir.

2. **Bellek ve değer entegrasyonu:** GWT ağırlıklı olarak duygusal bilginin küresel yayılmasına odaklanır. FBCT, bellek (M_t) ve değer/öncelik vektörünün (W_t) dinamik rolünü, hem aday üretiminde $G(S_t, M_t, W_t)$ hem de skor fonksiyonunda $f(x, S_t, M_t, W_t) = \langle W_t, U(x, S_t, M_t) \rangle$ üzerinden açıkça modellemektedir.
3. **Öznel deneyim:** GWT, “küresel yayının neden fenomenolojik deneyimle özdeş olması gerektiği” sorusuna formel bir yanıt vermez. FBCT, fenomenolojik içeriği (X_t, \mathcal{S}) üzerindeki eşdeğerlik yapısı ve Φ koordinatlandırma fonksiyonu ile tanımlar:

$$Q = (X \times \mathcal{S}) / \sim, \quad \Phi : X \times \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^m. \quad (132)$$

4. **Geri bildirim döngüsü:** GWT’de küresel yayın çoğu kez statik bir “an” olarak modellenir. FBCT’de her çöküş sonrası

$$(M_{t+1}, W_{t+1}) = \mathcal{F}(M_t, W_t, S_t, C_t) \quad (133)$$

güncellemesiyle açık bir geri besleme döngüsü tanımlanır.

5. **Sayısal tahminler:** GWT büyük ölçüde niteliksel öngörüler sağlar; FBCT ise $P(C_t \in A)$, $L_t = D_{KL}(\pi_t \| P_t)$ gibi nicel büyülüklükler üzerinden doğrudan test edilebilir tahminler üretir.

Birleşme olasılığı. Bu açıdan FBCT, GWT’nin doğal bir matematiksel formalleştirilmiş versiyonu olarak görülebilir: “küresel çalışma alanı”, \mathcal{C} çöküş mekanizmasının istediği fonksiyonel alanla özdeşleştirilebilir. İki yaklaşım rekabet etmek yerine, kavramsal (GWT) ve matematiksel (FBCT) düzeylerde birbirini tamamlayabilir.

8.1.2 Bütünleşik Bilgi Teorisi ile Karşılaştırma

Temel yaklaşım farkı. Bütünleşik Bilgi Teorisi (Integrated Information Theory, IIT) [10] ile FBCT, bilinç problemine temelden farklı epistemik yönelimlerle yaklaşır:

IIT: Fenomenolojiden yapıya.

- Başlangıç noktası: İçsel deneyimin aksiyomları (icsellik, yapı, birleşiklik, özgüllük, vb.)
- Bu aksiyomlardan türetilen entegre bilgi ölçütü: Φ_{IIT}
- $\Phi_{IIT} > 0$ ise sistem bilinçli kabul edilir

FBCT: Mekanizmadan fenomenolojiye.

- Başlangıç noktası: Hesaplanabilir bir seçim dinamiği ($S_t, M_t, W_t, G, U, \mathcal{C}$)
- Bu dinamiğin ürettiği C_t çöküşlerinin davranışsal ve rapora dayalı özellikleri
- Fenomenolojik yapı, bu çöküşlerin (X_t, \mathcal{S}) üzerindeki eşdeğerlik sınıfları ve Φ koordinatlandırması üzerinden tanımlanır

Table 6: IIT ve FBCT karşılaştırması

Boyut	IIT	FBCT
Başlangıç noktası	Fenomenolojik aksiyonlar	Hesaplanabilir mekanizma
Merkez ölçüt	Φ_{IIT} (entegre bilgi)	π_t, C_t, L_t
Hesaplanabilirlik	Cok kısıtlı (büyük sistemlerde)	Ölçeklenebilir (ML-benzeri maliyet)
Nörobiyolojik bağlantı	Dolaylı, yapısal	Doğrudan, işlevsel ve dinamik
Test edilebilirlik	Dolaylı nöro-korelasyonlar	Çoklu, detaylı tahmin seti
Ontolojik taahhüt	Panpsişizme eğilimli	Fonksiyonalist, mimari şartlı
Qualia tanımı	Φ_{IIT} 'nin iç yapısı	Quotient uzayı Q ve Φ

Karşılaştırmalı analiz.

Güçlü ve zayıf yanlar. IIT'nin avantajları:

- Fenomenolojik veriye doğrudan saygı duyar
- Bilinç derecelerini (süreklik) yakalamaya çalışır
- Kavramsal olarak derin ve ilham vericidir

IIT'nin dezavantajları:

- Büyük ölçekli sistemler için hesaplama filen imkansızdır
- Panpsişist sonuçlar (her entegre sistem biraz bilinçli) tartışmalıdır
- Nörobiyolojik mekanizmalarla köprü büyük ölçüde spekulatif kalır

FBCT'nin avantajları:

- Hesaplanabilir, simüle edilebilir ve parametreleri veriye fit edilebilir
- Açık durum uzayları ve nörobiyolojik eşlemeler sunar
- Hem davranışsal hem fenomenolojik tahminler üretir

FBCT'nin dezavantajları:

- Φ fonksiyonunun tam formu henüz teorik ve deneySEL olarak tamamlanmamıştır
- Fenomenolojik inceliklerin tümünü yakalamada eksik kalabilir; bu, gelecekteki nörofenomenolojik çalışmaların konusudur

Olası sentez. Bir sentez hattı şu şekilde önerilebilir:

$$\Phi_{FBCT} = \Phi_{IIT}(\text{nöral substrat}(\mathcal{C})), \quad (134)$$

yani FBCT'nin çöküş mekanizmasını taşıyan nöral alt-yapı üzerinde IIT tipi bir entegre bilgi ölçütünün hesaplanması. Böylece, FBCT mekanizma ve tahmin gücünü, IIT ise fenomenolojik yapı vurgusunu sağlar.

8.1.3 Öngörücü İşleme ile Karşılaştırma

Kavramsal örtüşme. Öngörücü İşleme / Özgür Enerji Prensibi (Predictive Processing, Free-Energy) çerçevesi [15, 16] ile FBCT arasında güçlü kavramsal bağlar vardır:

1. **Ön-bilgi ve beklenti:** Öngörücü işlemde “prior”lar ve iç modeller, duyusal girdinin yorumlanması belirler; FBCT’de M_t (özellikle semantik ve şematik bileşenler) aynı rolü üstlenir.
2. **Hata sinyali:** Öngörücü işlemde serbest enerji veya tahmin hatası minimize edilir; FBCT’de $U(x, S_t, M_t)$ uygun biçimde seçildiğinde, $f(x, S_t, M_t, W_t)$ ’nin maksimize edilmesi, belirli bir serbest enerji azaltımına denk düşecek şekilde tanımlanabilir.
3. **Hiyerarşik yapı:** Her iki yaklaşım da çok düzeyli (multi-scale) bir mimariyi varsayar; FBCT’nin M_t ve W_t güncellemelerinin farklı zaman ölçeklerine ayrılması bu hiyerarşije doğal olarak uyar.

FBCT’nin genişletici rolü. FBCT, öngörücü işleme çerçevesini şu boyutlarda genişletir:

1. **Açık çöküş operatörü:** Öngörücü işleme sürekli bir tahmin güncelleme dinamiği sunar, ancak “bilinçli karar anı” formel olarak ayırtırılmaz. FBCT, politika dağılımı π_t ve çöküş $C_t \sim \pi_t$ ile bu anı açıkça tanımlar.
2. **Değer entegrasyonu:** Öngörücü işleme, çoğu formülasyonda epistemik değer (belirsizlik azaltma) ve duyusal uygunluk üzerine odaklanır. FBCT’de W_t ve çok bileşenli U fonksiyonu, güvenlik, ödüll, sosyal değer, benlik tutarlılığı gibi farklı değer boyutlarının bilinçli seçim üzerindeki etkisini ayırtırılmış biçimde modellemeye izin verir.
3. **Fenomenolojik seviye:** Öngörücü işlem, fenomenolojik içeriği yoğunlukla anlatısal düzeyde ele alır. FBCT, qualia uzayı Q ve koordinat fonksiyonu Φ ile, bu içeriği formal bir yapıya kavuşturmayı hedefler.

Hiyerarşik entegrasyon. Bu nedenle FBCT, öngörücü işlemenin “karar ve rapor seviyesi” uygulanışı olarak konumlandırılabilir:

- Alt düzeyde, kortikal ve subkortikal yapılar sürekli tahmin güncellemesi yürütür.
- Üst düzeyde, FBCT’nin çöküş mekanizması bu temsil uzayı üzerinde seçim yapar ve davranışsal/rapora dayalı çıktıları üretir.

8.1.4 Üst-Düzey Düşünce Teorisi ile Karşılaştırma

Meta-bilişsel boyut. Üst-Düzey Düşünce Teorisi (Higher-Order Thought, HOT) [6], bir durumun bilinçli olması için o durum hakkında ikinci bir temsil veya düşünce gerektiğini savunur.

FBCT bu meta-bilişsel boyutu şu şekilde içerir:

- **Birinci-düzey bilinç:** Standart FBCT çöküsü $C_t \sim \pi_t$ ’dir; bu, doğrudan algısal, duyusal veya kavramsal içerik taşıyabilir.
- **İkinci-düzey (meta) bilinç:** İçsel durumlar da duyusal durum bileşenine dahil edilebilir:

$$S_t^{\text{int}} = H(S_t, M_t, W_t), \quad (135)$$

ve aynı çöküş mekanizması bu içsel durumlar üzerinde çalıştırıldığında,

$$C_t^{\text{meta}} \sim \mathcal{C}(S_t^{\text{int}}, M_t, W_t) \quad (136)$$

ortaya çıkan içerik, “üst-düzey düşünce” ile özdeş sayılabilir.

Sonsuz regresyon sorunu. HOT’un klasik itirazı, her üst-düzey temsilin kendisi için yeni bir üst-düzey temsil gerektirip gerektirmemişidir. FBCT, tek ve ortak bir çöküş mekanizması \mathcal{C} varsayıarak bu regresyonu durdurur: Meta-bilinç, ayrı bir “üst seviye varlık” tarafından değil, aynı π_t - C_t dinamığının içsel temsiller üzerinde yeniden uygulanmasıyla ortaya çıkar.

8.1.5 Dikkat Şeması Teorisi ile Karşılaştırma

Dikkat ve bilinç ayrimı. Dikkat Şeması Teorisi (Attention Schema Theory, AST) [7], bilinci dikkat mekanizmalarının basitleştirilmiş bir iç modelinin yanılısaması olarak yorumlar. FBCT ise daha nötr bir ontolojik pozisyon alır:

- Dikkat, S_t 'nin hangi bileşenlerinin aday üretim çekirdeği G 'ye ve değer fonksiyonu U 'ya gireceğini belirleyen bir seçim/ölçekleme mekanizması olarak modellenebilir.
- Bilinç ise, yalnızca dikkat süreçlerinin değil, aynı zamanda bellek (M_t), değer vektörü (W_t) ve çöküş mekanizmasının birlikte ürettiği bir olgudur.

Bu açıdan, AST'nin “dikkat şeması” FBCT'de M_t içinde kodlanan özel bir alt-bileşen olarak görülebilir; ancak bilincin tamamını açıklamak için yeterli değildir.

8.1.6 Kuantum Bilinç Teorileri ile Karşılaştırma

Temel uyumsuzluk. Kuantum bilinç teorileri [11, 12], bilincin özünü kuantum süperpozisyon ve çöküş süreçlerine bağlama eğilimindedir. FBCT ise şu varsayımları benimser:

- Nöral düzeyde kuantum efektler tamamen yok sayılmaz, ancak bilinç için *gerekli ve yeterli* oldukları iddia edilmez.
- FBCT'nin çöküsü tamamen klasik, olasılıksal bir seçim işlemidir; kuantum dalga fonksiyonunun fiziksel çöküsüyle özdeş değildir.
- Teorinin tüm bileşenleri, hesaplanabilir fonksiyonlar ve ölçüler üzerinden tanımlanmıştır; kuantum hesaplama varsayımları yapılmaz.

Çöküş metaforu. “Çöküş” terimi benzetmesel olarak kuantum mekaniginden ödünç alınsa da, FBCT'de

$$C_t \sim \pi_t(dx) \quad (137)$$

klasik bir olasılık ölçüsü üzerinden örneklemektedir. Benzerlik, çoklu olası durumdan tek gerçekleşen duruma geçiş yapısındadır; fiziksel mekanizma ise tamamen farklıdır.

8.2 FBCT'nin Güçlü Yanları

8.2.1 Matematiksel kesinlik ve hesaplanabilirlik

FBCT, bilinci sezgisel metaforlar yerine açık bir hesaplama şeması ile tanımlar. Temel yapı taşları:

Durum:	(S_t, M_t, W_t, X_t)
Aday çekirdeği:	$\mu_t(dx) = G(S_t, M_t, W_t)(dx)$
Değer fonksiyonu:	$U : X \times \mathcal{S} \times \mathcal{M} \rightarrow \mathbb{R}^k$, $f(x, S_t, M_t, W_t) = \langle W_t, U(x, S_t, M_t) \rangle$
Politika:	$\pi_t(dx) \propto \exp(\beta_t f(x, S_t, M_t, W_t)) \mu_t(dx)$
Çöküş:	$C_t \sim \pi_t(dx)$
Geri bildirim:	$(M_{t+1}, W_{t+1}) = \mathcal{F}(M_t, W_t, S_t, C_t)$

Bu yapı üç kritik avantaj sağlar:

1. **Simüle edilebilirlik:** Teori doğrudan algoritmik olarak uygulanabilir (bkz. Algoritma 1).
2. **Tahmin üretme:** Çöküş olasılıkları, bilinç düzeyi metriği L_t ve parametre duyarlılığı nicel olarak hesaplanabilir.
3. **Model fitting:** Parametreler $(\beta_t, \eta_M, \alpha_W, \dots)$, deneySEL veriye göre optimize edilebilir.

8.2.2 Çok-seviyeli açıklama

FBCT, bilinç fenomenini Marr [28] tarzı çok-seviyeli bir çerçevede ele alır:

- **Hesaplama seviyesi:** Sistem hangi tür bir fonksiyonu hesaplıyor? (Adaylar üzerinden değer ağırlıklı seçim ve geri bildirim)
- **Algoritma seviyesi:** Bu fonksiyon nasıl gerçekleştiriliyor? (Softmax benzeri politika, aday üretim mekanizmaları, çok ölçekli öğrenme)
- **Uygulama seviyesi:** Bu algoritmalar hangi nöral devreler ve nöromodülatör sistemler üzerinden uygulanıyor? (hipokampus, PFC, amigdala, vb.)

8.2.3 Klasik felsefi problemlere sistematik yanıtlar

FBCT, üç klasik problemi tek bir çerçevede ele alır:

- **Homunculus problemi:** Seçimi yapan ayrı bir “iç gözlemci” yoktur; seçim, π_t ve C_t ile tanımlanan emergent bir süreçtir.
- **Qualia problemi:** Fenomenolojik içerik, (X_t, \mathcal{S}) üzerindeki eşdeğerlik sınıfları ve Φ koordinat fonksiyonu ile temsil edilir; bu yapı davranışsal ve rapora dayalı testlere açılabilir.
- **Özgür irade:** Karar süreçleri deterministik veya olasılıksal olabilir, ancak M_t ve W_t 'nin uzun vadeli şekillenmesi, “kendilik sahipliği” (ownership) üzerinden compatibilist bir özgür irade kavrayışı sunar (bkz. Bölüm 5).

8.2.4 Geniş uygulama yelpazesi

Teori, yalnızca felsefi bir model değil, pratik alanlara da doğrudan uygulanabilir:

1. **Nörobilim:** Belirli görevlerde L_t 'nin değişimi, bilinç düzeyiyle ilişkili nöral imzalarla karşılaştırılabilir (Bölüm 6).
2. **Klinik psikiyatri:** Depresyon, anksiyete, travma sonrası stres bozukluğu gibi durumlar, M_t ve W_t dinamiklerindeki patolojik sabit noktalar olarak modellenebilir.
3. **Yapay zeka ve etik:** FBCT parametrelerini karşılayan yapay sistemler için bilinç ve ahlaki statü tartışmaları formal bir zemine taşınabilir.

8.3 Sınırlamalar ve Açık Sorular

8.3.1 Φ fonksiyonu ve hard problem

FBCT'nin zayıf noktalarından biri, fenomenolojik izdüşüm fonksiyonu Φ 'nin henüz tam olarak karakterize edilmemiş olmasıdır. Teoride:

$$(x_1, S_1) \sim (x_2, S_2) \iff \forall g \in \mathcal{G} : g(x_1, S_1) = g(x_2, S_2), \quad (139)$$

ve

$$Q = (X \times \mathcal{S}) / \sim, \quad \Phi : X \times \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^m \quad (140)$$

şeklinde bir yapı önerilmiştir. Ancak:

- Φ 'nin bileşenleri deneysel olarak nasıl tanımlanacaktır?
- Farklı bireyler için Φ 'nin biçimi aynı mıdır?
- Φ 'nin belirli koordinat boyutları, öznel raporlarla nasıl ilişkilendirilecektir?

Bu sorular, hard problem'in ontolojik kısmını çözmese de, mekanistik kısmı için açık bir araştırma programı oluşturur (bkz. Bölüm 3.11 ve 6).

8.3.2 Parametre tayini ve bireysel farklılıklar

FBCT çok sayıda parametre içerir (öğrenme hızları, β_t , W_t bileşenleri, zaman ölçekleri, vb.). Bunların:

- Türler arası,
- Bireyler arası,
- Gelişimsel dönemler arası,

nasıl değiştiği şu anda büyük ölçüde belirsizdir. Teori, bu parametrelerin deneysel fitting veya bayesyen çıkarım yoluyla tahmin edilmesine olanak tanır; ancak bu program henüz başlangıç aşamasındadır.

8.3.3 Hayvan ve gelişimsel bilinc

Model, insan yetişkin bilinci göz önüne alınarak inşa edilmiştir. Hayvanlarda ve gelişimsel aşamalarda (S_t, M_t, W_t, X_t)'nın boyutları, yapısı ve dinamikleri farklılık gösterecektir. FBCT'nin esnekliği, bu farklılıklar teorik olarak kapsamasına izin verse de, somut parametreleşme ve prediktif güç, tür ve yaş grubuna göre yeniden kalibrasyon gereklidir.

8.3.4 Yapay bilinc kriteri

Teoriye göre, yeterince zengin bir (S_t, M_t, W_t, X_t) uzayı ve FBCT çöküş mekanizmasını implement eden bir yapay sistem, fonksiyonel olarak bilinçli kabul edilmelidir. Ancak şu sorular açık kahr:

- Substrat bağımlılığı var mı? Karbon temelli nöral dokuya özgü özellikler gerekli midir?
- İzomorfik iki farklı implementasyon (biyolojik ve yapay) gerçekten aynı qualia uzayına mı sahiptir?
- Bu tür sistemlerin etik ve hukuki statüsü nasıl belirlenmelidir?

Bu sorular, FBCT'nin ötesinde, daha geniş bir felsefi ve etik tartışmanın parçasıdır.

8.4 Gelecek Araştırma Yönleri

8.4.1 Deneysel doğrulama

Bölüm 6'te sunulan nörobiyolojik ve davranışsal tahminler, FBCT'nin smanabilirliğinin temelini oluşturur. Özellikle:

- Çöküş anlarında belirli frontoparietal imzaların ve osilatuar desenlerin ortaya çıkması,
- M_t ve W_t manipülasyonlarının (farmakolojik, davranışsal, nöromodülatif) bilinçli rapor ve seçim olasılıklarını öngörelebilir biçimde değiştirmesi,
- L_t bilinç düzeyi metriğinin, uyanıklık, uyku, anestezi ve meditasyon gibi durumlar arasında sistematik farklar göstermesi,

yüksek öncelikli testlerdir.

8.4.2 Hesaplamlı FBCT ajanı

FBCT dinamiğini uça implement eden büyük ölçekli bir hesaplamlı ajan, teorinin hem iç tutarlığını hem de üretebildiği davranış repertuarını test etmek için kritik önemdedir. Bu ajan, zengin bir çevreyle etkileşime girerek:

- İçgözlem benzeri raporlar,
- Esnek görev uyumu,
- Uzun vadeli değer yeniden kalibrasyonu,

gibi fenomenleri sergileyebilirse, FBCT'nin yapay sistemler için de geçerli bir açıklama sunduğu iddiası güçlenecektir.

8.4.3 Klinik ve terapötik uygulamalar

FBCT parametreleri, klinik bozuklukları anlamaya yönelik yeni bir dil sunar. Örneğin:

- Depresyon: Belirli değer bileşenlerinin (W_t) patolojik ağırlanması,
- PTSD: M_t içinde travmatik epizotların aşırı güçlenmiş ve kolay tetiklenen attractor havzaları,
- Anksiyete: Tehdit odaklı U_i bileşenlerinin aşırı baskın olması,

olarak modellenebilir. Bu yaklaşım, hem psikoterapi protokollerinin hem de nöromodülasyon yöntemlerinin (TMS, DBS, vb.) yeniden tasarlanmasına katkı sağlayabilir.

8.4.4 Felsefi derinleştirme ve Φ 'nin açılması

Son olarak, qualia uzayı Q ve koordinat fonksiyonu Φ üzerine daha derin teorik çalışma gereklidir. Burada iki ana eksen öne çıkar:

- **Nörofenomenoloji:** Öznel raporlar ile nöral desenler arasındaki eşlemenin, FBCT yapısına uygun biçimde istatistiksel olarak modellenmesi.
- **Yapısal kısıtlar:** Φ için hangi matematiksel özelliklerin (süreklik, yerellik, invariantlar) gerekli ve yeterli olduğu sorusu.

8.5 Sonuç: FBCT'nin Yeri

Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi, bilinci:

- Zengin durum uzayları (S_t, M_t, W_t, X_t) üzerinde işleyen hesaplanabilir bir seçim süreci,
- Dinamik, çok ölçekli bir geri besleme sistemi,
- Fenomenolojik içeriği eşdeğerlik sınıfları ve koordinat fonksiyonlarıyla temsil edilen bir yapı, olarak kavramsallaştırılır. Teorinin iddiası, bu çerçeveyinin:
 1. Mevcut deneysel verilerle uyumlu,
 2. Gelecekteki çalışmalar için zengin ve somut tahminler üreten,
 3. Klasik felsefi problemleri (homunculus, qualia, özgür irade) indirmeye olmayan ama mekanistik bir bakışla yeniden formüle eden,

bir bilinç bilimi altyapısı sunduguğur. FBCT tamamlanmış bir teori olmaktan uzaktır; ancak sunduğu matematiksel iskelet, hem bilişsel nörobilim hem de yapay zeka araştırmaları için üretken bir başlangıç noktası oluşturmaktadır.

9 Kapanış

Fonksiyonel Bilinç Çöküsü Teorisi (FBCT), bilinci soyut bir gizem alanından çıkararak *hesaplanabilir*, *formel* ve *test edilebilir* bir süreç olarak yeniden çerçevelendirmektedir. Bu çalışma, bilinçli içeriğin duyusal durum (S), bellek yapıları (M) ve değer önceliklerinin (W) etkileşimiyle belirlenen bir seçim dinamiğinden doğduğunu göstermiş; çöküş mekanizması $C(S, M, W)$ aracılığıyla hem anlık deneyimi hem de uzun vadeli kimliği açıklayan bütünlük bir model sunmuştur.

FBCT'nin üç temel katkısı öne çıkmaktadır:

1. **Matematiksel olarak kesin bir çerçeve.** Aday durum uzayları, değer fonksiyonları, politika dağılımı, çöküş operatörü ve geri-besleme dinamikleri formel olarak tanımlanmıştır. Bu yapı, bilinci simüle edilebilir ve deneysel veriye fit edilebilir bir olgu olarak ele alma olanağı sağlar.
2. **Klasik felsefi problemlerin yeniden formüle edilmesi.** Homunculus problemi, hard problem ve özgür irade tartışmaları; fonksiyonel durum uzayları, eşdeğerlik sınıfları ve projeksiyon fonksiyonu Φ üzerinden mekanik terimlerle açıklanmıştır. Böylece fenomenolojik yapı metafizik bir muamma olmaktan çıkararak ölçülebilir ve modellenebilir hale gelir.

3. Disiplinler arası uygulanabilirlik. FBCT, nörogörüntüleme, klinik psikiyatri, hesaplamalı modelleme ve yapay zeka alanlarında test edilebilir öngörüler sunmaktadır. Çöküş anlarının nöral imzaları, M ve W manipülasyonlarının davranış üzerindeki etkileri ve bilinc düzeyi metriği L_t için önerilen deneyler, teoriyi yanlışlanabilir bir bilimsel çerçeveye haline getirir.

FBCT tamamlanmış bir teori iddiası taşımamaktadır. Özellikle fenomenolojik projeksiyon fonksiyonu Φ 'nin tam formu, bireysel farklılıkların modellenmesi ve türler arası bilinc karşılaşmaları açık araştırma soruları olarak kalmaktadır. Bununla birlikte, teori bu sorular için net ve çalışılabilir bir araştırma programı sunar.

FBCT'nin en güçlü yönü, bilinci açıklamak için yeni bir metafizik varsayılmak yerine, mevcut empirik yöntemlerin üzerinde çalışabileceği matematiksel bir iskelet sağlamasıdır. Bu iskelet, hem nörobilim hem yapay zeka hem de felsefi analiz için ortak bir dil oluşturur.

Sonuç olarak, FBCT'nin başarı ölçüyü retorik değil, *deneysel veri* olacaktır. Öngörüler desteklendiği ölçüde, bilinc araştırmalarında yeni bir metodolojik çerçeveye ulaşacaktır; desteklenmediği noktalar ise daha güçlü modeller için yol açacaktır. Her iki durumda da FBCT'nin katkısı açıkta: bilinci soyut tartışmaların ötesine taşıyarak, bilimsel olarak modellenebilir bir fenomen haline getirmek.

Bilinc, yalnızca filozofların değil; matematikçilerin, nörobilimcilerin, bilişimcilerin ve klinisyenlerin birlikte çalışabileceğii ortak bir araştırma alanıdır. FBCT, bu ortak dilin temelini oluşturmayı amaçlamaktadır.

Ekler

A Çöküş Operatörünün Ölçü-Teorik Tanımı

A.0.1 Çöküş Operatörünün Matematiksel Tanımı

Bu bölümde çöküş operatörü C 'nin yalnızca sezgisel değil, ölçü-teorik anlamda da tam bir tanımını veriyoruz. Amaç, C 'yi “bir seçim kuralı” olmaktan çıkarıp, FBCT içinde iyi tanımlanmış bir stokastik operatör (Markov çekirdeği) haline getirmektir.

Aday uzay ve temel ölçü. Her zaman adımda jeneratif operatör G , duyusal, bellek ve öncelik durumlarına bağlı bir aday kümesi üretir:

$$X_t = \{x_t^{(1)}, \dots, x_t^{(K)}\} \subset \mathcal{X}.$$

Basit durumda \mathcal{X} sonlu veya sayılabilir bir kümedir; sürekli uzay genellemesi aşağıda verilecektir. X_t üzerinde sayma ölçüsünü μ_t ile gösterelim:

$$\mu_t(A) = |\{x \in X_t : x \in A\}|.$$

Skor ve enerji fonksiyonu. Bölüm 3.5'te tanımlandığı üzere, her $x \in X_t$ için zaman-indeksli skor fonksiyonu:

$$f_t(x) \equiv f(x; S_t, M_t, W_t)$$

ve buna karşılık gelen enerji fonksiyonu:

$$E_t(x) := -f_t(x).$$

Enerji, adayın duyusal uygunluk, bellek uyumu ve motivasyonel değer bileşenlerine göre “ne kadar maliyetli” olduğunu temsil eder.

Gibbs/Boltzmann dağılımı. Çöküş dağılımı, enerji fonksiyonu üzerine tanımlı bir Gibbs ölçüsüdür. Sıcaklık parametresi $\beta_t > 0$ için:

$$\pi_t(x | S_t, M_t, W_t) := \frac{\exp(-\beta_t E_t(x))}{\sum_{j=1}^K \exp(-\beta_t E_t(x_t^{(j)}))} = \frac{\exp(\beta_t f_t(x))}{\sum_{j=1}^K \exp(\beta_t f_t(x_t^{(j)}))}.$$

Bu, X_t üzerinde tanımlı bir olasılık ölçüsüdür:

$$\pi_t(\cdot | S_t, M_t, W_t) : \mathcal{P}(X_t) \rightarrow [0, 1], \quad \sum_{x \in X_t} \pi_t(x | S_t, M_t, W_t) = 1.$$

Çöküş operatörü olarak Markov çekirdeği. Çöküş operatörü C , (S_t, M_t, W_t) üçlüsünü girdiler ve X_t üzerindeki olasılık dağılımını çıktı olarak alan bir Markov çekirdeği olarak tanımlanır:

$$C_t : (S_t, M_t, W_t) \mapsto \Pi_t,$$

burada

$$\Pi_t(A; S_t, M_t, W_t) := \sum_{x \in A} \pi_t(x | S_t, M_t, W_t), \quad A \subseteq X_t.$$

Böylece C_t , her bağılamsal durum için aday kümesi üzerinde iyi tanımlanmış bir olasılık ölçüsü üretir.

Bilinçli içerik C_t bir rassal değişkendir:

$$C_t \sim \pi_t(\cdot | S_t, M_t, W_t),$$

yani

$$\mathbb{P}[C_t = x | S_t, M_t, W_t] = \pi_t(x | S_t, M_t, W_t).$$

Sürekli aday uzayı genellemesi. Aday uzayı sürekli olduğu durumda, $(\mathcal{X}, \mathcal{B})$ ölçülebilir bir uzay ve μ uygun bir temel ölçü (örn. Lebesgue ölçüsi veya önceden tanımlı bir referans dağılım) olsun. Enerji fonksiyonu $E_t : \mathcal{X} \rightarrow \mathbb{R}$ ölçülebilir ve aşağıdaki Gibbs yoğunluğunu tanımlar:

$$p_t(x | S_t, M_t, W_t) = \frac{1}{Z_t} \exp(-\beta_t E_t(x)),$$

burada normalizasyon sabiti:

$$Z_t = \int_{\mathcal{X}} \exp(-\beta_t E_t(x)) \mu(dx).$$

Bu durumda çöküş operatörü, \mathcal{B} üzerinde tanımlı bir Markov çekirdeği olarak yazılabilir:

$$\Pi_t(A; S_t, M_t, W_t) := \int_A p_t(x | S_t, M_t, W_t) \mu(dx), \quad A \in \mathcal{B}.$$

Sınır rejimleri. Aynı formalizm, farklı bilişsel rejimleri tek parametre ile kapsar:

$$\beta_t \rightarrow 0 \Rightarrow \pi_t(x) \approx \text{uniform}(X_t),$$

$$\beta_t \rightarrow \infty \Rightarrow \pi_t(x) \rightarrow \mathbb{I}\{x \in \arg \max f_t\},$$

yani çok düşük sıcaklıkta çöküş deterministik argmax'a yaklaşır, çok yüksek sıcaklıkta ise neredeyse rastgele örneklemeye geçilir.

Zaman dinamiği ile entegrasyon. FBÇT'de çöküş, yalnızca o anki bilinç içeriğini üretmekle kalmaz, aynı zamanda bellek ve öncelik sistemlerinin gelecekteki durumlarını belirleyen güncelleme operatörüne girdi sağlar:

$$(M_{t+1}, W_{t+1}) = F(M_t, W_t, S_t, C_t, R_t),$$

burada R_t uygun bir ödül/ceza sinyalidir. Böylece C_t , hem (S_t, M_t, W_t) 'den türeyen hem de (M_{t+1}, W_{t+1}) 'yi şekillendiren merkezi bir stokastik düğüm haline gelir.

A Kaynakça

References

- [1] David J Chalmers. Facing up to the problem of consciousness. *Journal of consciousness studies*, 2(3):200–219, 1995.
- [2] Thomas Nagel. What is it like to be a bat? *The philosophical review*, 83(4):435–450, 1974.
- [3] Daniel C Dennett. *Consciousness explained*. Little, Brown and Co, Boston, 1991.
- [4] Bernard J Baars. A cognitive theory of consciousness. 1988.

- [5] Stanislas Dehaene and Lionel Naccache. Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79(1-2):1–37, 2001.
- [6] David M Rosenthal. Consciousness and mind. 2005.
- [7] Michael SA Graziano. Consciousness and the social brain. 2013.
- [8] Ned Block. On a confusion about a function of consciousness. *Behavioral and brain sciences*, 18(2):227–247, 1995.
- [9] Giulio Tononi. An information integration theory of consciousness. *BMC neuroscience*, 5(1):1–22, 2004.
- [10] Giulio Tononi, Melanie Boly, Marcello Massimini, and Christof Koch. Integrated information theory: from consciousness to its physical substrate. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(7):450–461, 2016.
- [11] Roger Penrose. *The emperor’s new mind: Concerning computers, minds and the laws of physics*. Oxford University Press, Oxford, UK, 1989.
- [12] Stuart Hameroff and Roger Penrose. Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness. *Mathematics and computers in simulation*, 40(3-4):453–480, 1996.
- [13] Stanislas Dehaene and Jean-Pierre Changeux. Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron*, 70(2):200–227, 2011.
- [14] Michael SA Graziano and Taylor W Webb. The attention schema theory: a foundation for engineering artificial consciousness. *Frontiers in Robotics and AI*, 2:60, 2015.
- [15] Karl Friston. The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature reviews neuroscience*, 11(2):127–138, 2010.
- [16] Andy Clark. Whatever next? predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and brain sciences*, 36(3):181–204, 2013.
- [17] Anil K Seth. Being you: A new science of consciousness. 2021.
- [18] Bernard J Baars. *A Cognitive Theory of Consciousness*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1988. İngilizce orijinal baskı; Global Neuronal Workspace yaklaşımının köken metni.
- [19] Stanislas Dehaene. *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts*. Viking, New York, 2014.
- [20] A Aldo Faisal, Luc PJ Selen, and Daniel M Wolpert. Noise in the nervous system. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4):292–303, 2008.
- [21] Joshua I Gold and Michael N Shadlen. The neural basis of decision making. *Annual review of neuroscience*, 30:535–574, 2007.
- [22] James A Russell. A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6):1161–1178, 1980. doi: 10.1037/h0077714.
- [23] Francisco J Varela, Evan Thompson, and Eleanor Rosch. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press, Cambridge, MA, 1991. ISBN 9780262720212.
- [24] Francisco J Varela. Neurophenomenology: A methodological remedy for the hard problem. *Journal of Consciousness Studies*, 3(4):330–349, 1996.
- [25] Benjamin Libet, Curtis A Gleason, Elwood W Wright, and Dennis K Pearl. Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): the unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*, 106(3):623–642, 1983.
- [26] Chun Siong Soon, Marcel Brass, Hans-Jochen Heinze, and John-Dylan Haynes. Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature neuroscience*, 11(5):543–545, 2008.

- [27] Daniel C Dennett. *Freedom evolves*. Penguin, New York, 2004.
- [28] David Marr. Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information. 1982.