

KÜRESEL FİNANSIN YENİ MİMARİSİ

Merkez Bankası Dijital Para Birimleri ve Blok Zinciri Tabanlı
Sınır Ötesi Ödemelerin Derinlemesine Analizi

Hazırlayanlar

Atilla KILINÇ | Yiğit KARAKIŞ | Cüneyt ETİ

ŞUBAT 2026

Küresel Finansın Yeni Mimarisi: Merkez Bankası Dijital Para Birimleri ve Blok Zinciri Tabanlı Sınır Ötesi Ödemelerin Derinlemesine Analizi

KAPSAMLI ANALİZ RAPORU

ŞUBAT 2026

ISBN: 978-625-93177-0-0

© 2026 DGA – Merkeziyetsiz Yönetim Teknolojileri Derneği
Tüm hakları saklıdır.

Raporun Hazırlayıcıları

Atilla KILINÇ
MA, MBA, MSC, MA, PGCert
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0616-0465>

Yiğit KARAKIŞ
MBA
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9041-8016>

Cüneyt ETİ
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6641-7525>

İÇİNDEKİLER

Tablolar

Özet

Giriş

Bölüm I: Temel Teknolojiler ve Kavramlar

- Kesit 1: Dağıtık Defter Teknolojisinin Evrimi
 - Blok Zinciri 1.0: Para Birimi
 - Blok Zinciri 2.0: Akıllı Sözleşmeler
 - Blok Zinciri 3.0: Merkezi Olmayan Uygulamalar ve Birlikte Çalışabilirlik
 - Sözlüğün Açıklanması: Dağıtılmış ve Merkezi Olmayan
- Kesit 2: Blok Zinciri Ağlarında Yönetişim ve Erişim Modelleri
 - Halka Açık (İzinsiz) Ağlar
 - Özel (İzinli) Ağlar
 - Konsorsiyum Ağları
- Kesit 3: Güvenin İşleyişi: Konsensüs Algoritmalarının Gözden Geçirilmesi
 - İş Kanıtı (PoW)
 - Hisse Kanıtı (PoS)
 - Delege Edilmiş Hisse Kanıtı (DPoS)
 - Pratik Bizans Hata Toleransı (PBFT)

Bölüm II: Merkez Bankası Dijital Para Birimleri: Yeni Bir Para Paradigması

- Kesit 4: CBDC'lerin Tanımlanması ve Sınıflandırılması
 - Küresel CBDC Manzarası (2025 1. Çeyrek)
 - Toptan ve Perakende İliği
 - Toptan Satışa Kararlı Dönüş
- Kesit 5: CBDC Sistemlerinin Mimari Tasarım İlkeleri
- Kesit 6: Programlanabilirliğin Gücü: CBDC Ekosistemlerinde Akıllı Sözleşmeler
 - Otomatik ve Koşullu İşlemler
 - Reel Ekonomi ile Entegrasyon

Bölüm III: Küresel Finansın Sınırı: Sınır Ötesi Ticarete wCBDC'ler

- Kesit 7: Uluslararası Ödemeleri Yeniden Düşünmek: wCBDC Değer Önerisi
- Kesit 8: Uygulamada Küresel İş Birliği: Önemli wCBDC Projelerinin Analizi
 - mBridge Projesi
 - Agora Projesi
 - Dunbar Projesi (2022'de tamamlandı)
 - Mariana Projesi (2023'te tamamlandı)
- Kesit 9: Küresel İş Birliği Modelleri

Bölüm IV: Labirentte Yol Bulmak: Zorluklar ve Stratejik Hususlar

- Kesit 10: Düzenleyici ve Yasal Engeller
 - AML/CFT Uyumluluğu ve FATF "Seyahat Kuralı"
 - Sorumluluk ve Uyuşmazlıkların Çözümü
- Kesit 11: Teknik ve Operasyonel Engeller
 - Ölçeklenebilirlik ve Performans
 - Eski Sistemlerle Entegrasyon
 - Siber Güvenlik ve Kuantum Tehditleri
- Kesit 12: Makro Finansal ve Jeopolitik Etkiler
 - Para Politikası ve Finansal İstikrar
 - Gizlilik-Şeffaflık İkilemi: Tourbillon Projesinden Alınacak Dersler
 - Dijital Para Biriminin Jeopolitiği

Bölüm V: İleriye Dönük Yol: Teşvikler ve Türkiye İçin Bir Vaka Çalışması

- Kesit 13: Benimsemeyi Teşvik Etmek ve Sürdürülebilir Ekosistemler Oluşturmak
- Kesit 14: Vaka Çalışması: Dijital Türk Lirası ve Stratejik Önemi

Sonuç

TABLolar

Tablo No.	Başlık
1	Muhabir Bankacılık Modelinin Nicel Olarak Ölçülebilir Eksiklikleri
2	Sınır Ötesi CBDC Düzenlemeleri için Değerlendirme Çerçevesi ve Kıyaslama Kriterleri
3	Blok Zincir Ağ Erişim Modellerinin Karşılaştırması
4	CBDC Mimarisinde Tasarım Ödünleşimleri ve Toptan (Wholesale) Tercihler
5	Akıllı Sözleşme Kullanım Senaryoları
6	wCBDC Değer Önerisinin Karşılaştırması
7	Önemli wCBDC Projelerine İlişkin Karşılaştırmalı Genel Bakış
8	CBDC Sistemleri için Birlikte Çalışabilirlik Modelleri
9	Çok Yargı Alanlı wCBDC Platformları için Asgari Uygulanabilir Yönetişim Taslağı
10	wCBDC Programları için Örnek Risk Kaydı
11	wCBDC’de Mahremiyeti Koruyan Uyum (AML/CFT) için Tasarım Seçenekleri
12	Türkiye – wCBDC Tasarım Karar Matrisi (Üst Düzey)
13	Türkiye için Önerilen wCBDC Benimseme Takvimi
14	Türkiye’nin wCBDC Programı için Uygulamaya Hazır Yol Haritası (Aşamalar, Çıktılar, Bağımlılıklar, Sorumlular, Geçiş Kapıları)

KISALTMALAR

Kısaltma	Açılım
AML	Kara Para Aklamanın Önlenmesi
AMM	Otomatik Piyasa Yapıcıları
API	Uygulama Programlama Ara Yüzü
BFT	Bizans Hata Toleransı
BIS	Uluslararası Ödemeler Bankası
CBDC	Merkez Bankası Dijital Parası
CBRT / TCMB	Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
CFT	Terörizmin Finansmanı ile Mücadele
CNY	Çin Yuanı (Renminbi; para birimi kodu)
dApps	Merkeziyetsiz Uygulamalar
DDoS	Dağıtık Hizmet Engelleme
DeFi	Merkeziyetsiz Finans
DLT	Dağıtık Defter Teknolojisi
DoS	Hizmet Engelleme
DPoS	Delege Edilmiş Hisse İspatı
DR	Felaket Kurtarma
DvP	Teslimat Karşılığı Ödeme
ECB	Avrupa Merkez Bankası
EU	Avrupa Birliği
EUR	Euro (para birimi kodu)
FATF	Mali Eylem Görev Gücü
FMI	Finansal Piyasa Altyapıları
FX	Döviz
G20	Yirmiler Grubu
G7	Yediler Grubu
GDP	Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
HSM	Donanımsal Güvenlik Modülü
IIF	Uluslararası Finans Enstitüsü

IMF	Uluslararası Para Fonu
IoT	Nesnelerin İnterneti
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
KPI	Temel Performans Göstergesi
KYC	Müşterini Tanı
MoU	Mutabakat Zaptı
MVP	Asgari Uygulanabilir Ürün
PBFT	Pratik Bizans Hata Toleransı
PII	Kişisel Olarak Tanımlanabilir Bilgiler
PoC	Kavram Kanıtı
PoS	Hisse İspatı
PoW	İş İspatı
PQC	Kuantum Sonrası Kriptografi
PvP	Ödeme Karşılığı Ödeme
rCBDC	Perakende CBDC
RPO	Kurtarma Noktası Hedefi
RTGS	Gerçek Zamanlı Brüt Mutabakat
RTO	Kurtarma Süresi Hedefi
RTO/RPO	Kurtarma Süresi Hedefi / Kurtarma Noktası Hedefi
SBOM	Yazılım Malzeme Listesi
SLA	Hizmet Düzeyi Anlaşması
SME	KOBİ'ler (Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler)
SWIFT	Dünya Çapında Bankalar Arası Finansal Telekomünikasyon Derneği
TDT	Türk Devletleri Teşkilatı
TPS	Saniye Başına İşlem
UAE	Birleşik Arap Emirlikleri
US	Amerika Birleşik Devletleri
USD	ABD Doları (para birimi kodu)
VASP	Sanal Varlık Hizmet Sağlayıcısı
VRF	Doğrulanabilir Rastgele Fonksiyon
wCBDC	Toptan CBDC

YÖNETİCİ ÖZETİ

Küresel finansal sistemleri, Merkez Bankası Dijital Paraları (CBDC) üzerindeki hızlanan araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin tetiklediği önemli bir paradigma değişimine yaklaşmaktadır. Sınır ötesi ödemelerdeki mevcut muhabir bankacılık modeli; yüksek işlem maliyetleri, yavaş mutabakat süreleri (tip olarak T+2) ve operasyonel şeffaflık eksikliği gibi kalıcı verimsizlikler barındırmaktadır [1], [2]. Dağıtık Defter Teknolojisi (DLT), güvenli, otomatik ve neredeyse anlık değer transferlerini mümkün kılan ortak bir altyapı sağlayarak bu aksaklıklara devrimsel bir çözüm sunar [3]. Bu rapor, küresel para otoritelerinin, uzun süredir devam eden bu tür verimsizlikleri gidermek amacıyla CBDC geliştirmeyi önceliklendirdiğini ortaya koymayı hedeflemektedir. 2025'in birinci çeyreği itibarıyla küresel GSYH'nin %98'ini temsil eden 134 ülke, CBDC girişimlerinde aktif durumdadır. Öne çıkan bir gösterge olarak, tüm G20 üyeleri bu alana dahil olmuş; bunların 13'ü (Brezilya, Japonya, Hindistan ve Türkiye dahil) ileri pilot aşamasına geçmiştir. [4].

Öncü uluslararası iş birlikleri, bu yükselen mimarinin teknik ve operasyonel sınırlarını belirlemektedir. Asgari Uygulanabilir Ürün (MVP) aşamasına ulaşan mBridge projesi; yerel para birimleriyle ödemeleri teşvik etmek üzere Çin, Hong Kong, Tayland, Birleşik Arap Emirlikleri ve Suudi Arabistan merkez bankalarını tek bir platformda bir araya getirmiştir. Buna paralel olarak, aralarında ABD Merkez Bankası (Federal Reserve) ve Avrupa Merkez Bankası'nın (ECB) da bulunduğu yedi büyük merkez bankasını ve kırktan fazla özel finansal kuruluşu buluşturan Agora Projesi; jetonlaştırılmış merkez bankası parası ile ticari banka mevduatlarını entegre eden bir "birleşik defter" (unified ledger) yaklaşımını inceleyerek, programlanabilir bir finansal gelecek için daha bütüncül bir vizyon sunmaktadır. Project Dunbar ve Project Mariana gibi tamamlanmış girişimler ise, birden fazla CBDC platformunun teknik olarak uygulanabilir olduğunu gösterirken; aynı zamanda yönetim, düzenleyici uyumlaştırma ve hukuki birlikte çalışabilirlik alanlarındaki kritik zorlukları da görünür kılmıştır.

Genel yaklaşımın (üst düzey kavramın) basit görünmesine karşın, bu dönüşümün benimsenmesi karmaşıktır. Başlıca zorluklar; heterojen ulusal hukuk çerçevelerinin uyumlaştırılması; kullanıcı mahremiyetinden ödün vermeksizin FATF "Travel Rule" (Seyahat Kuralı) gibi küresel AML/CFT (Kara Para Aklamanın Önlenmesi ve Terörizmin Finansmanı ile Mücadele) standartlarına uyum sağlanması ve kuantum bilişim gibi ortaya çıkan tehditleri de içeren siber güvenlik risklerinin azaltılmasını kapsar. Buna ek olarak, bu platformların geliştirilmesinin derin jeopolitik sonuçları vardır: dijital paralar arasındaki rekabet, yeni uluslararası blokların oluşumunu teşvik edebilir ve küresel ekonomik güç dengesini değiştirebilir. Dijital Türk Lirası projesini pilotlayan ve Project mBridge'e gözlemci olarak katılan Türkiye, bu küresel gelişmeleri somut kazanımlara dönüştürmek açısından iyi bir konumdadır. Dikkatle kapsamlandırılmış bir toptan CBDC stratejisi; (i) Türk ihracatçı ve ithalatçıları için sınır ötesi işlem maliyetlerini düşürebilir, (ii) daha güvenli mutabakat mekanizmaları (ör. PvP—Ödeme Karşılığı Ödeme) üzerinden öncelikli ticaret ortaklarıyla finansal entegrasyonu derinleştirebilir ve (iii) özel stablecoin-tabanlı mutabakat hatlarına karşı güvenilir bir kamusal alternatif sunarak parasal egemenliği güçlendirebilir. Bu faydaların hayata geçirilebilmesi için Türkiye'nin,

teknik denemeleri; açık bir yönetim modeliyle, mutabakatın kesinliği (settlement finality) ve sorumluluk (liability) konularında hukuki belirlilikle ve FATF beklentilerini, sistemik veri kırılganlıkları yaratmadan karşılayabilecek mahremiyeti koruyan bir uyum mimarisıyla birlikte yürütmesi gerekecektir.

Veri notu (kapsam ve kesim tarihi): Bu Yönetici Özetinde verilen küresel sayılar, raporda kullanılan analiz kesim tarihini (2025 1. Çeyrek) yansıtır. CBDC girişimleri hızlı değiştiği için, bu istatistikler gerçek zamanlı sayım değil; yön gösterici ve zaman damgalı bulgular olarak okunmalıdır. Gerektiğinde, en güncel program durumları için resmî merkez bankası duyuruları ve yerleşik kamu takipçileri incelenmelidir. Hâkim eğilim, büyük hacimli sınır ötesi ödemeleri ve bankalar arası mutabakatı optimize etme kapasitesi nedeniyle açık biçimde Toptan CBDC (wCBDC) lehinedir [5].

Küresel Ana Çıkarımlar

- wCBDC mimarileri üç çekirdek tasarım kısıtına doğru yakınsamaktadır: birlikte çalışabilirlik, yönetim ve tasarım-içi uyum (compliance-by-design).
- mBridge, MVP olgunluğu ve koridor-temelli mutabakat yaklaşımıyla yakın vadede gerçekçi bir yol sunduğunu göstermektedir.
- Agora, jetonlaştırılmış merkez bankası parası ile yine jetonlaştırılmış mevduatları bütünleştiren birleşik defter vizyonu ile genişlemektedir.
- Birlikte çalışabilirlik yalnızca teknik (mesajlaşma, API'ler) değil; aynı zamanda hukuki (kesinlik, veri kuralları) ve kurumsal (karar hakları) boyutlarına sahiptir.

Türkiye için Yakın Dönem Politika Seçenekleri

Kontrollü bir pilot için 1-2 yüksek değerli koridoru önceliklendirmek (ticaret hacmi, döviz sürtünmeleri, partnerin hazırlığı) ve ölçülebilir KPI'lar tanımlamak.

Seçilen çok taraflı bir hat üzerinde (ör. mBridge) gözlemci statüsünden daha derin teknik katılıma; net bir yönetim ve sorumluluk modeliyle ilerlemek.

Mahremiyet-koruyucu bir uyum mimarisi benimsemek (katmanlı erişim + limitler + seçici ifşa) ve "PII bal küpü" riskinden kaçınmak.

Hukuki, teknik ve kurumsal bağımlılıkları da içeren; teslimatlar, sahipler ve bağımlılıklarla tanımlı aşamalı bir yol haritası yayımlamak.

Ortak standartlar, birlikte çalışabilirlik ve yönetim hakkında bugün verilecek stratejik kararlar; paranın geleceğinin açık ve entegre mi, yoksa parçalı ve verimsiz mi olacağını belirleyecektir.

GİRİŞ

Küresel finansın mimarisi, sınırlar ötesi sermayenin kesintisiz hareketine dayanmaktadır. Bu hareketi yönlendiren temel mekanizmalar, finans kültürüne derinlemesine yerleşmiştir. İşleyen sistemlere karşı duyulan alışkanlıklar, değişime olan iştahı azaltsa da bu mekanizmalar neden oldukları köklü verimsizlikler ile karakterize edilirler [2], [6], [7]. Büyük ölçüde muhabir bankacılık modeline dayanan mevcut sınır ötesi ödemeler yaklaşımı, yüksek maliyetler, genellikle birkaç gün süren uzun ödeme süreleri, operasyonel karmaşıklıklar ve temel bir şeffaflık eksikliği ile karakterize edilir. Bu aksaklık noktaları, küçük ve orta ölçekli işletmelere (KOBİ'ler) orantısız yükler getirerek ve geliştirmekte olan piyasa ekonomilerinin küresel ticarete tam katılımını engelleyerek kritik bir ekonomik engel teşkil etmektedir [1], [7], [8].

Tablo 1: Muhabir Bankacılık Modelinin Ölçülebilir Eksiklikleri

Yüksek Maliyetler	İşlemler genellikle birden fazla aracı banka üzerinden gerçekleştirilir ve her biri ek ücretler talep eder, bu da küresel ticarete engel teşkil eden birikimli maliyetlere yol açar.
Gecikmeli Takas	Standart ödeme süresi genellikle T+2 (işlem tarihinden iki gün sonra) veya daha uzundur, bu da daha verimli bir şekilde kullanılacak likiditeyi bloke eder ve riski artırır.
Operasyonel Şeffaflık Eksikliği	İşlemin durumuna ilişkin ortak bir görüşün olmaması, karmaşık ve maliyetli mutabakat süreçlerine ve kötü bir kullanıcı deneyimine yol açar.
Karşı Taraf Riski	Bir işlemin aşamaları arasındaki gecikme (örneğin, döviz işlemlerinde), bir tarafın ödeme yapmasına rağmen karşılık gelen fonları almaması durumunda uzlaştırma riski yaratır.

Bu bağlamda, mevcut (yerleşik) sistemleri kökten yeniden yapılandırma potansiyeline sahip teknolojik katalizör ortaya çıkmıştır: Dağıtık Defter Teknolojisi (DLT) [1]. DLT ve en bilinen uygulaması olan blok zincir; geçmişin izole temelli, hiyerarşik veri tabanlarından paylaşımlı ve senkronize defterlere geçişi temsil eder; [9], böylece güvenilir bir üçüncü tarafa ihtiyaç duymadan kriptografik olarak güvenli, doğrulanabilir değer transferini mümkün kılar [10].

Bu teknolojik evrim, kurumları somut adımlar atmaya yönlendirmiştir [3]. Dünya genelinde merkez bankaları, egemen paranın dijital ekonomide de istikrar sağlayıcı bir unsur olarak kalmasını güvence altına almak amacıyla dijital para birimlerini CBDC'leri etkin bir biçimde araştırmaktadır [3],

[11]. İlk tartışmalar çok geniş bir olasılıklar kümesini kapsarken, bu çalışmalar zaman içinde çerçevesi çizilmiş ve pragmatik bir odağa doğru ilerlemiştir [3]. Merkez bankaları, büyük hacimli sınır ötesi varlık transferi işlemlerini dönüştürme potansiyeli nedeniyle toptan CBDC'lere (wCBDC) giderek daha fazla öncelik vermektedir [12]. Bu eğilim, son zamanlarda küresel CBDC pilot projeleri ve araştırma girişimlerinde görülen artışla doğrulanmaktadır [5].

Bu rapor, CBDC tabanlı sınır ötesi ödeme sistemlerini teknoloji, ekonomi, düzenleme ve jeopolitik eksenlerinde ele alarak kapsamlı ve çok boyutlu bir değerlendirme sunmaktadır. Amacı, bu karmaşık ve hızla gelişen alanda yol alan politika yapıcılar, finans stratejistleri ve teknoloji uzmanları için kesin bir kaynak sağlamaktır. Analiz beş bölümden oluşmaktadır. *Bölüm I*, bu yeni sistemlerin temel teknolojilerini ve kavramlarını ortaya koymaktadır. *Bölüm II*, CBDC paradigmasını ayrıntılı olarak incelemekte ve sınıflandırmalarını ve mimari ilkelerini özetlemektedir. *Bölüm III*, küresel finansın sınırlarını araştırarak, sınır ötesi ticareti aktif olarak yeniden şekillendiren başlıca uluslararası CBDC projelerini analiz etmektedir. *Bölüm IV*, benimsenme yolunda karşılaşılan zorlu yasal, teknik ve jeopolitik zorlukları eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirmektedir. Son olarak, *Bölüm V*, Dijital Türk Lirası projesine odaklanan bir vaka çalışması da dahil olmak üzere, bu dönüşümün stratejik etkilerini ele almaktadır.

Analitik yaklaşım ve kıyaslama ölçütleri: Bu rapor, CBDC tabanlı sınır ötesi mutabakat mimarilerini çok ölçütlü bir mercekten değerlendirir. Amaç, girişimleri görünürlük ya da ölçek açısından sıralamak değil; tasarım tercihlerini ve uygulama olgunluğunu, kamu niteliğinde, dayanıklı ve birlikte çalışabilir bir toptan mutabakat altyapısının asgari gereklilikleri karşısında değerlendirmektir.

Tablo 2: Sınır Ötesi CBDC Düzenekleri için Değerlendirme Çerçevesi ve Kıyaslama Kriterleri

Kriter	"İyi" Görünüm	Tipik Başarısızlık Modu	Aranacak Kanıt
Sınır ötesi işlevsellik (PvP / DvP / FX)	Atomik mutabakat seçenekleri; likidite yönetimi; net koridor tasarımı.	Kısmi mutabakat; operasyonel dolambaçlar; belirsiz FX/PvP mantığı.	PvP/DvP prototipleri; koridor KPI'ları; katılımcı kabul kuralları.
Birlikte çalışabilirlik ve standartlar	ISO 20022 uyumu; API spesifikasyonları; kimlik/uyum birlikte çalışabilirliği; geçiş yolu.	Ad-hoc arayüzler; özgün mesajlaşma; bankalar için yüksek entegrasyon yükü.	Belgelendirilmiş mesaj/API standartları; bağlanma modeli; entegrasyon kılavuzları.
Yönetişim ve karar hakları	Net işletim modeli; paylaşımlı kontrol kuralları; eskalasyon yolları; değişiklik yönetimi.	Muğlak sahiplik; belirsiz sorumluluk; yavaş uyuşmazlık çözümü.	Yönetişim tüzüğü; komite yapıları; oy/uzlaşma kuralları; işletmeciler rolleri.

Hukuki ve düzenleyici kesinlik	Kesinlik; sorumluluk dağılımı; uyumsuzluk çözümü; veri koruma; AML/CFT uyum modeli.	Yargı parçalanması; hukuki boşluklar; çelişen uyum gereklilikleri.	Hukuki görüşler; MoU'lar; kural kitapları; uyum mimarisi açıklaması.
Operasyonel dayanıklılık ve siber güvenlik	Tehdit modeli; kontroller; olay müdahalesi; anahtar yönetimi; kripto-esneklik.	PII bal küpü; zayıf anahtar yönetimi; tekil hata noktaları.	Güvenlik kontrol listesi; denetim yaklaşımı; DR testleri; kripto-esneklik planı.
Benimseme ve ekosistem uygulanabilirliği	Bankalar/FMI'lar/firmalar için teşvikler; net değer önerisi; ölçülebilir KPI'lar; aşamalı ölçekleme.	Pilot-üretim boşluğu; zayıf teşvikler; belirsiz başarı ölçütleri.	KPI panosu; teşvik mekanizmaları; paydaş taahhütleri; sahipli yol haritası.

BÖLÜM I

TEMEL TEKNOLOJİLER VE KAVRAMLAR

CBDC tabanlı sistemlere geçişi kapsamlı bir şekilde anlamak için, bunları mümkün kılan temel teknolojileri iyi kavramak gerekir. Bu bölümde, blok zinciri ve dağıtık defter teknolojisinin temel bileşenleri incelenerek, önemli terimler açıklanmakta ve bu yeni ağları tanımlayan yönetim ve konsensüs mekanizmaları özetlenmektedir.

Kesit 1: Dağıtık Defter Teknolojisinin Evrimi

Blok zincir teknolojisinin gelişimi, her biri yeteneklerini ve olası uygulamalarını dijital para kökeninin çok ötesine taşıyan üç ayrı evrimsel aşama üzerinden anlaşılabilir.

Blok Zinciri 1.0: Para Birimi

Blok zincir teknolojisinin doğuşu, 2008’de takma adlı Satoshi Nakamoto tarafından yayımlanan Bitcoin teknik dokümanına dayanır [13], [14]. Bu ilk iterasyon, eşler arası (peer-to-peer) bir ağ üzerinde çalışan merkeziyetsiz bir dijital parayı dünyaya tanıtmıştır. Temel yenilik, banka gibi güvenilir bir üçüncü taraf aracı olmaksızın güvenli ve şeffaf işlem yapabilmektir. Bu aşamanın belirleyici özellikleri; dağıtık defter, kriptografik güvenlik ve dijital varlıklar için “çift harcama” problemini çözen yeni bir mutabakat mekanizması olan İş Kanıtı (Proof of Work) olmuştur.

Blok zinciri 2.0: Akıllı Sözleşmeler

Ethereum’un ortaya çıkışı, blok zincirin evriminde ikinci dalgayı tetiklemiştir. Ethereum ile blok zincir, salt bir defter olmaktan çıkarak; uygulamaların kurulup çalıştırılabildiği genel amaçlı bir sanal makine üzerinden programlanabilir bir finansal altyapıya dönüşmüştür. Akıllı sözleşmelerin tanıtılması, karmaşık ve çok adımlı anlaşmaların ve koşullu işlemlerin otomasyonunu mümkün kılmış; böylece merkeziyetsiz finans (DeFi), gayrimenkul, tedarik zinciri yönetimi ve sağlık gibi alanlarda blok zincirin kullanım ufkunu genişletmiştir [13], [14].

Blok Zincir 3.0: Merkeziyetsiz Uygulamalar ve Birlikte Çalışabilirlik

Devam eden üçüncü faz, önceki kuşakların temel sınırlamalarına, çoğu zaman “blok zincir üçlemi” (ölçeklenebilirlik, güvenlik, merkeziyetsizlik) olarak anılan probleme odaklanır. Bu dönemin yenilikleri arasında; daha verimli mutabakat algoritmaları (ör. Hisse Kanıtı), Katman-2 ölçekleme çözümleri, yan zincirler ve farklı blok zincir ağlarının sorunsuz biçimde iletişim kurup işlem yapmasını hedefleyen zincirler arası protokoller yer alır. Blok Zincir 3.0’ın amacı; geniş ölçekli, karmaşık ve birlikte çalışabilir merkeziyetsiz uygulamaların (dApps) altyapısını kurarak ana akım benimsemeyi mümkün kılmaktır [13], [15], [16].

Sözlüğü Açıklığa Kavuşturmak: Dağıtılmış ve Merkeziyetsiz

Blok zinciri tartışmalarında “dağıtık” ve “merkeziyetsiz” terimleri sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da farklı yapısal özellikleri ifade eder. Dağıtık sistem, bileşenlerin fiziksel ya da coğrafi olarak nasıl örgütlendiğiyle ilgilidir: veri işleme birden fazla düğüme (bilgisayara) farklı lokasyonlarda dağıtılır; böylece dayanıklılık artar ve tekil hata noktası riski azalır. Bununla birlikte, bu dağıtık bileşenler üzerinde hâlâ merkezi bir otorite kontrol uygulayabilir. Merkeziyetsizlik ise kontrol ve otoritenin nasıl paylaşıldığıyla ilgilidir. Merkeziyetsiz bir sistemde tek bir kontrol noktası yoktur; karar alma, yönetim ve kural uygulama, çoğu zaman otomatik mutabakat mekanizmaları üzerinden, ağ katılımcıları arasında dağılır. Bu ayrım, CBDC sistemlerinin nasıl tasarlandığını anlamak açısından kritiktir. Merkeziyetsizlik bir spektrumdur: bir uçta tek bir kurumun işlettiği tam merkezî sistem; diğer uçta ise otoritenin katılımcılar arasında geniş ve açık biçimde dağıtıldığı izinsiz ağlar bulunur. Bir teknoloji son derece dağıtık olabilir, ancak yönetim bakımından merkezî kalabilir. Nitekim, düzenleyici çerçevelerle uyumu nedeniyle dağıtık defter teknolojisi kullanarak merkezî bir sistem inşa etmek mümkün ve çoğu kez tercih edilir. mBridge ve Agora gibi büyük CBDC projeleri, kimliği doğrulanmış kurumların yer aldığı ve bir merkez bankaları konsorsiyumu tarafından kontrol edilen izinli DLT’ler üzerinde çalışır [5], [17], [18], [19]. Bu tasarım tercihi, kamusal blok zincirlerin sansüre dayanıklılık özelliğinden bilinçli biçimde feragat ederek; finansal piyasa altyapısının gerektirdiği dayanıklılık, performans ve düzenleyici uyumu güvence altına almayı hedefler [18].

Kesit 2: Blok Zinciri Ağlarında Yönetişim ve Erişim Modelleri

Bir blok zinciri ağının yönetim yapısı, kimin katılabileceğini, işlemleri doğrulayabileceğini ve defteri görüntüleyebileceğini belirleyen erişim modeli ile tanımlanır. Üç model, açıklık, kontrol ve verimlilik arasındaki dengeleri göstermektedir [20], [21], [22], [23].

Kamuya Açık (İzinsiz) Ağlar: Bitcoin ve Ethereum gibi kamuya açık ağlarda katılım kısıtı yoktur. Herkes bir düğüm çalıştırarak ağa katılabilir, mutabakat sürecine dahil olabilir ve defterin tüm geçmişini görüntüleyebilir. Bu model; en yüksek merkeziyetsizlik, sansüre dayanıklılık ve şeffaflık düzeylerini sağlar. Ancak bu avantajlar; daha düşük işlem hızları, (İş Kanıtı kullanılan tasarımlarda) daha yüksek enerji tüketimi ve tüm işlem verilerinin kamusal olması nedeniyle veri mahremiyetini korumadaki zorluklar gibi maliyetlerle birlikte gelir [24], [25].

Özel (İzinli) Ağlar: Özel ağlarda katılım kısıtlıdır ve merkezi bir yönetici veya sahip tarafından açık yetkilendirme gerektirir. Genellikle tek bir kuruluş, kimin ağa katılacağını, erişim haklarını ve katılım kurallarını belirler. Bu model; daha yüksek işlem hacmi, güçlü veri mahremiyeti garantileri ve esnek yönetim yapıları sunar. Bununla birlikte, doğası gereği merkezîdir ve kamu ağlarının şeffaflık ile “demokratik yönetim” niteliklerine sahip değildir. Finansal kurumlar, teknolojiyi kontrollü bir ortamda denemek ve içsel kavram kanıtları (PoC/PoC’ler) geliştirmek için sıklıkla özel blok zincirler kullanır [26], [27].

Konsorsiyum Ağları: Konsorsiyum ağları, otoritenin önceden seçilmiş bir kurumlar grubu arasında paylaşıldığı hibrit bir yaklaşımdır. Bu model ne tamamen kamuya açıktır ne de tek bir aktör tarafından kontrol edilir. Kurallar ve işletim parametreleri konsorsiyum tarafından ortaklaşa tanımlanır. Bu mimari, wCBDC projelerinde baskın model hâline gelmiştir. Birden fazla merkez bankası arasında

paylaşılan yönetim; bankalar arası ve sınır ötesi ödeme sistemleri için kontrollü, güvenli ve yüksek performanslı bir ortam sağlar [28], [29].

Tablo 3: Blok Zinciri Ağ Erişim Modellerinin Karşılaştırması

	Halka Açık Ağlar	Özel Ağlar	Konsorsiyum Ağları
Avantaj	Açık ve demokratik yönetim; yüksek merkeziyetsizlik; siber saldırılara karşı güçlü dayanıklılık [24], [25].	Yüksek veri mahremiyeti; esnek mimari; yüksek işlem hızı; daha düşük enerji tüketim [26], [27].	Güvenlik, hız, merkeziyetsizlik ve mahremiyet ihtiyacına göre dengelenebilen geniş çözüm aralığı [28], [29].
Eksiler	Herkes tarafından izlenebilir/de-netlenebilir; (PoW'da) yüksek enerji tüketimi; daha düşük işlem hızı; mahremiyeti sağlama zorluğu [24], [25] .	Merkezî ve kamu denetimine kapalı yönetim; şeffaflık ve hesap verebilirlik sınırlı [26], [27].	İdeal tasarıma ulaşmanın güçlüğü; karmaşıklık kaynaklı performans ve güvenlik zorlukları [28], [29].

Kaynaklar: Uyarlanmıştır [24], [25], [26], [27], [28], [29]

Kesit 3: Güvenin Mekanizması: Konsensüs Algoritmalarının Gözden Geçirilmesi

Mutabakat algoritmaları, dağıtık bir bilgisayar ağının defterin durumuna ilişkin ortak bir görüşe varmasını sağlayan temel protokollerdir. Bu süreç, merkezi bir otorite olmaksızın defterin bütünlüğünü ve tutarlılığını güvence altına alır. Bu algoritmalar, blok zincir sistemlerinin matematiksel “anayasası” olarak düşünülebilir: protokol kurallarını otomatik ve tarafsız biçimde uygular. Uygun mutabakat algoritmasının seçimi; güvenlik, işlem hacmi, gecikme (latency), enerji verimliliği ve istenen merkeziyetsizlik düzeyi gibi öncelikleri yansıtan kritik bir tasarım kararıdır [16], [30].

İş Kanıtı (PoW)

Bitcoin ile tanıtılan *İş Kanıtı (PoW)*, izinsiz bir ortamda Bizans Generalleri Problemini çözebilen ilk mutabakat algoritmasıdır. İş Kanıtı sistemlerinde “madenciler” olarak bilinen ağ katılımcıları, hesaplama açısından zor bulmacaları çözmek için rekabet ederler. Çözümü ilk bulan, zincirine bir sonraki işlem bloğunu ekler ve yeni oluşturulan para birimi ile ödüllendirilir. Ağın güvenliği, ona ayrılan toplam hesaplama gücü (hash oranı) ile orantılıdır. Ağa saldırmak için, kötü niyetli bir aktörün ağa bağlı binlerce aktörün işlem gücünden daha fazla bir işlem gücüne erişmesi gerekir ki bu, saldırının getirisini aşan muazzam bir finansal yatırım gerektirir. İş Kanıtı oldukça güvenli olmakla birlikte, enerji yoğun bir yaklaşımdır ve alternatif tasarımlara kıyasla daha düşük işlem hacmi ve daha yüksek gecikme üretir [31], [32], [33].

Hisse Kanıtı (PoS)

Hisse Kanıtı (PoS), PoW’a kıyasla daha enerji verimli bir alternatif olarak gelişmiştir. Hesaplama gücü yerine, doğrulayıcılar ağın yerel varlığını teminat olarak kilitleyerek (stake) seçilir. Hisse

ağırlıklı ve rastgele seçim (ör. dönem/slot bazında VRF kullanımı) bir sonraki bloğu kimin önereceğini ve onaylayacağını belirler. Etkin hissesi daha yüksek olan doğrulayıcının blok üretme olasılığı artar ve ödül genellikle işlem ücretleri ile protokol ihracından oluşur. Hash yoğun emeğin ortadan kalkması, enerji tüketimini dramatik biçimde azaltır ve daha düşük gecikme ile daha hızlı kesinlik (finality) sağlar. Kötü niyeti ve “nothing-at-stake” gibi saldırıları caydırmak için PoS protokolleri “ceza kesme (slashing)” uygular: kuralları ihlal eden doğrulayıcıların hissesi kısmen veya tamamen kesilebilir ve doğrulayıcı kümesinden çıkarılabilir [34], [35].

Delege Edilmiş Hisse Kanıtı (DPoS)

Delege Hisse Kanıtı (DPoS), işlem hacmi ve ölçeklenebilirliği artırmak için tasarlanmış PoS türevidir. DPoS çerçevesinde jeton sahipleri (staker), sınırlı sayıda “delege” veya “tanık” seçer; bu aktörler çoğu zaman döngüsel bir takvimle blok üretir ve doğrular. Blok üretiminin seçili bir grupta yoğunlaştırılması, verimliliği artırır ve gecikmeyi azaltır. Bunun karşılığında merkeziyetsizlik azalır; çünkü otorite nispeten küçük bir doğrulayıcı kümesinde yoğunlaşır. Seçmen ilgisizliği veya anlaşmalı davranış gibi yönetim risklerini azaltmak için birçok DPoS tasarımı, seçimleri hisse teşvikleri ve kötü davranış için cezalarla (slashing) birlikte kullanır; ancak uygulamalar ağıdan ağa değişir [36], [37].

Pratik Bizans Hata Toleransı (PBFT)

PBFT, kimliği bilinen doğrulayıcıların kimlik doğrulamalı kanallar üzerinden iletişim kurduğu izinli sistemler için tasarlanmış bir mutabakat protokolüdür. Madencilik veya staking içermez. Doğrulayıcılar, çok fazlı bir mesajlaşma süreci (pre-prepare/prepare/commit) ile anlaşmaya varır. [38]. En az üçte iki (2/3) doğrulama sağlandığında karar kesinleşmiş kabul edilir; böylece düğümlerin üçte biri (1/3) hatalı veya kötü niyetli olsa dahi sistem tutarlı kalabilir. PBFT, yüksek işlem hacmi ve düşük gecikmeyle kesinlik sağladığı için finansal piyasa altyapılarının (FMI) performans gereksinimleriyle uyumludur. Bununla birlikte, düğüm sayısı arttıkça iletişim yükü hızla büyür; bu nedenle daha küçük ölçekli konsorsiyum ağlarında daha etkilidir [28], [30]. Mutabakat mekanizmasının seçimi, projenin tasarım önceliklerini doğrudan yansıtır. Mevcut Gerçek Zamanlı Brüt Mutabakat (RTGS) sistemlerine alternatif olarak tasarlanan ödeme altyapıları, yüksek performans ve hızlı kesinlik gerektirir. Bu nedenle Bitcoin’in PoW’u gibi ağır algoritmaların, çok yüksek işlem hacmine (TPS) ulaşmış kart altyapılarıyla rekabet etmesi zordur. Sonuç olarak, finasta kullanılan izinli DLT platformları neredeyse istisnasız biçimde PBFT’nin türevlerini veya madencilik içermeyen, yüksek güven ve düzenleyici ortamda bankalar arası mutabakata uygun protokolleri benimser [38], [39], [40].

BÖLÜM II

MERKEZ BANKASI DİJİTAL PARA BİRİMLERİ: YENİ BİR PARASAL PARADİGMA

DLT'nin teknolojik temelleri üzerine inşa edilen CBDC çalışmaları, paranın geleceğini şekillendirmektedir. Bu bölüm, genel ilkelerden somut uygulamalara ilerleyerek; CBDC'nin resmî tanımını, dünyadaki girişimlerin özetini ve para otoritelerinin karşı karşıya olduğu kritik mimari tasarım tercihlerini ayrıntılı biçimde ele alır.

Kesit 4: CBDC'lerin Tanımlanması ve Sınıflandırılması

Merkez Bankası Dijital Para Birimi, resmi olarak, merkez bankasının bilançosunda doğrudan yükümlülük olarak yer alan, bir ülkenin itibari para biriminin dijital biçimi olarak tanımlanmaktadır. Bu, onu diğer dijital para formlarından temel olarak ayırmaktadır. Ticari banka mevduatları özel finansal kurumların yükümlülüğü iken; CBDC, kullanıcı açısından merkez bankasına doğrudan bir alacak hakkını temsil eder ve elde tutan için mevcut en güvenli dijital varlık olarak konumlanır. CBDC'ler, Bitcoin gibi kripto paralardan da farklıdır; çünkü kripto paralar özel olarak ihraç edilir ve egemen bir otorite tarafından desteklenmez [41], [42], [43].

Küresel CBDC Manzarası (2025 1. Çeyrek)

CBDC araştırmaları, merkez bankalarının başlangıç çalışmalarından aktif geliştirme ve pilotlamaya geçmesiyle küresel bir olgu hâline gelmiştir [3]. 2025 başı itibarıyla görünüm; yaygın katılım ve hızlanan ilerleme ile tanımlanır [4]:

- 134 ülke ve para birliği, küresel GSYH'nin %98'ini temsil edecek biçimde CBDC'leri araştırmaktadır. Bu sayı Mayıs 2020'de 35 idi. Bunların 66'sı geliştirme, pilot veya lansman aşamalarında olduğundan "ileri keşif" fazında kabul edilmektedir. Tüm G20 ülkeleri aktif biçimde CBDC'leri araştırmaktadır; 19'u ileri aşamadadır. Brezilya, Japonya, Hindistan, Rusya ve Türkiye dahil 13 G20 ülkesinin aktif pilot programı vardır [4].
- Bu yaygın faaliyete karşın, bugüne kadar yalnızca üç ülke perakende CBDC'yi tam olarak başlatmıştır: Bahamalar (Sand Dollar), Jamaika (Jam-Dex) ve Nijerya (eNaira). Ayrıca Çin'in e-CNY pilotu, 17 eyalette 26 şehri kapsayacak şekilde genişlemiş ve Eylül 2025 sonu itibarıyla kümülatif 14,2 trilyon yuan (yaklaşık 2 trilyon ABD doları) işlem hacmine ulaşmıştır [44]. Bu projeler, kamu bilgilendirmesi, üye iş yeri katılımı ve aracı kurumlar için net teşviklerin zayıflığı gibi nedenlerle şu ana dek düşük benimseme hızıyla ilerlemiştir [1], [5].

Toptan (Wholesale) ve Perakende (Retail) Ayrımı

CBDC projeleri, hedef kullanıcıları ve amaçları bakımından iki ana türde sınıflandırılabilir [45]:

Toptan CBDC (wCBDC)

Finansal kurumların sınırlı kullanımına yöneliktir ve bankalararası ödemeler, menkul kıymet mutabakatı ve döviz işlemleri gibi finansal piyasalarda yüksek değerli işlemlerin takası ve mutabakatı için tasarlanır [46], [47].

Perakende CBDC (rCBDC):

Fiziksel nakdin dijital eşdeğeri olarak kamuya (bireyler ve işletmeler) sunulan, günlük ödemelerde kullanılabilen dijital paradır; bazı yargı alanlarında mevzuata bağlı olarak yasal ödeme aracı statüsü taşıyabilir [11], [46], [47].

Toptan CBDC'ye Belirleyici Yöneliş

CBDC alanındaki belirleyici eğilim, perakende uygulamalar yerine toptan uygulamalara yönelişin hızlanmasıdır. Bu pragmatik kayma, sorunların en keskin olduğu ve çözümün en uygulanabilir görüldüğü alanlara odaklanmayı yansıtır [5], [43], [48]. Dijital euro gibi yüksek profilli perakende projeleri temkinli ilerlemekte; 2025 sonundan önce bir lansman beklenmemekte ve sonraki kilometre taşları AB mevzuatına bağlı kalmaktadır. Buna karşılık wCBDC çalışmaları, daha yüksek aciliyet ve ivme ile ilerlemektedir [5], [49]. BIS'in 2023 anketi, özellikle gelişmiş ekonomilerde toptan CBDC deneyleri ve pilotlarında belirgin artış raporları ve önümüzdeki altı yıl içinde bir merkez bankasının perakende CBDC yerine toptan CBDC ihraç etmesinin daha olası olduğunu vurgular [5]. Bu kayma sahadaki gerçekliklere rasyonel bir yanıtıdır: Finans topluluğu, sınır ötesi ödemelerdeki yüksek maliyet, yavaşlık ve riskleri CBDC'ler için net ve güçlü bir kullanım senaryosu olarak görür [46], [50], [51]. Buna karşılık, perakende ödeme sistemlerinin zaten etkin olduğu yargı alanlarında rCBDC değer önerisi daha zayıftır; erken lansmanlar, kamu bilgilendirme boşlukları, sınırlı üye iş yeri kabulü ve aracı teşviklerinin yetersizliği nedeniyle benimseme zorluklarıyla karşılaşmıştır [11], [49]. wCBDC uygulaması ise daha küçük, yönetilebilir ve teknik olarak yetkin bir katılımcı grubunu (bankalar ve finansal kurumlar) hedeflediğinden uygulama karmaşıklığı ve risk belirgin biçimde azalır. Dolayısıyla merkez bankaları, ihtiyacın en yüksek ve uygulama yolunun en net olduğu alana, toptan piyasaya, kaynak tahsis etmektedir [10], [42].

Kesit 5: CBDC Sistemlerinin Mimari Tasarım İlkeleri

Bir CBDC geliştirmek, merkez bankalarının sistemin özelliklerini, yeteneklerini ve daha geniş finansal ekosistem üzerindeki etkisini belirleyecek temel tasarım kararlarını almasını gerektirir. Bu kararlar altyapı seçimi, erişim modeli ve dağıtım modeli gibi başlıca bileşenleri kapsar.

Tablo 4: CBDC Mimarisi Uzlaşmaları ve Toptan Tercihler

	Seçenekler	wCBDC Tercih ve Gerekçesi
Altyapı	Merkezi Veri Tabanı ve Dağıtık Defter Teknolojisi (DLT)	DLT: Ortak yönetişimin gerekli olduğu çok taraflı, sınır ötesi sistemler için çok önemli olan doğal esneklik, şeffaflık ve denetlenebilirlik sağlar.
Erişim Modeli	Hesap Tabanlı ve Jeton Tabanlı	Jeton tabanlı: Hamiline senetlere benzer şekilde, daha basit değeri transferine olanak tanır ve çeşitli jetonlaştırılmış varlıkları yönetebilen programlanabilir "birleşik defterler" için temel oluşturur.
Dağıtım	Tek Katmanlı ve İki Katmanlı	İki Katmanlı: Para sisteminin mevcut yapısını korur. Merkez bankası temel defteri tutarken paranın topluma dağıtımında özel sektörün uzmanlığından ve altyapısından yararlanır.

Kesit 6: Programlanabilirliğin Gücü: CBDC Ekosistemlerinde Akıllı Sözleşmeler

Akıllı sözleşmelerin entegrasyonu, CBDC'yi basit bir ödeme aracından programlanabilir bir finansal platforma yükseltir ve geleneksel ödeme sistemlerinin çok ötesinde kabiliyetler açığa çıkarır. Bu programlanabilirlik, jeton temelli DLT sistemlerinin ayırt edici özelliği ve finansal kullanım senaryolarının keşfinde başat itici güç olarak görülür [52].

Otomatik ve Koşullu İşlemler

Akıllı sözleşmeler, karmaşık finansal anlaşmaları otomatikleştirir. İşlemler, önceden tanımlanmış koşullar sağlandığında otomatik olarak yürütülecek şekilde programlanabilir. Bu kabiliyet, yüksek risk ve yoğun manuel müdahale içeren süreçlerde dönüştürücüdür. Örneğin menkul kıymet mutabakatında bir akıllı sözleşme; jetonlaştırılmış menkul kıymetin transferi ile wCBDC ödemesinin tek bir atomik işlem olarak eşzamanlı gerçekleştiği Teslimata Karşı Ödeme (DvP) mantığını zorunlu kılarak mutabakat riskini ortadan kaldırabilir [8], [53], [54]. Benzer biçimde döviz işlemlerinde, atomik Ödemeye Karşı Ödeme (PvP) mutabakatını mümkün kılabilir [55].

Reel Ekonomi ile Entegrasyon

Programlanabilirliğin gerçek gücü, ödemelerin gerçek dünya olayları ve verileriyle bağlanmasıyla ortaya çıkar. Akıllı sözleşmeler, Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörleri dahil dış veri kaynaklarıyla etkileşime girecek biçimde tasarlanarak ticari iş akışlarını otomatikleştirebilir. Böylece ödeme adımı, ticari mantıkla bütünleşir ve bugün izolasyon içinde çalışan sistemlerde mümkün olmayan, "ticari gerçeklikle entegre" bir ödeme yapısı oluşur [52].

Tablo 5: Akıllı Sözleşme Kullanım Senaryoları

Kullanım Örneği	Açıklama
Otomatik DvP Takası	Akıllı sözleşme, jetonlaştırılmış bir menkul kıymetin wCBDC ödemesiyle eşzamanlı ve bölünemez biçimde takasını sağlar; böylece takas riskini tamamen ortadan kaldırır.
Tedarik Zinciri Ödemeleri	Tedarikçiye yapılan ödeme, malların varış noktasına ulaştığının doğrulanabilir şekilde teyit edilmesi (örneğin IoT sensörlerinden gelen verilerle) üzerine otomatik olarak serbest bırakılır.
Parametrik Sigorta	Akıllı sözleşme olarak yazılan bir sigorta poliçesi, hava durumu bilgileri gibi doğrulanabilir harici verilere dayalı şekilde otomatik olarak ödemeyi tetikler ve uzun süren tazminat sürecini ortadan kaldırır.

Geleneksel sistemlerde, işlem bilgisi ile ödeme arasındaki kritik bağ çoğu kez insandır; bu da hata, gecikme ve suistimal riskini artırır. BIS'in geleceğin parasal sistemi için çizdiği çerçeve, açık biçimde "programlanabilir platform" fikrine dayanır. Agora gibi projeler, akıllı sözleşmeler yoluyla yeni mutabakat biçimlerini mümkün kılmayı ve bugün mümkün olmayan işlem türlerinin önünü açmayı hedefler. Bu nedenle wCBDC ekosisteminin ana yeniliği yalnızca daha hızlı ödeme altyapısı değil; aynı zamanda çok taraflı iş akışlarının kriptografik kesinlikle otomatikleştirilebildiği, operasyonel risk ve maliyetleri radikal biçimde düşüren yeni bir finansal piyasa altyapısının inşasıdır [19], [56], [57].

KÜRESEL FİNANSIN UFKU: SINIR ÖTESİ TİCARETTE TOPTAN CBDC'LER (WCBDC'LER)

Bu bölüm, analizin merkezine ilerleyerek, başlıca uluslararası wCBDC projelerinden elde edilen bulguları sentezler ve küresel mutabakatların geleceğine ilişkin kapsamlı bir resim kurar. Bu işbirlikçi girişimlerin incelenmesi, daha verimli ve birbirine bağlı yeni bir finansal dünyanın yükselen mimarisini görünür kılar.

Kesit 7: Uluslararası Ödemeleri Yeniden Düşünmek: wCBDC Değer Önerisi

wCBDC platformları, mevcut muhabir bankacılık sisteminin temel sürtünmelerini doğrudan gidermek üzere tasarlanmaktadır. Değer önerileri; hız, verimlilik ve risk azaltımı ekseninde şekillenmektedir.

Pratik Seçim Kriterleri: Pilot Koridor Önceliklendirmesi

- *Ticari önem:* ikili ticaret hacmi ve stratejik sektörlerde (örn. enerji, makine, tarım-gıda) yoğunlaşma.
- *Döviz (FX) sürtünmeleri:* mevcut mutabakat maliyeti/süresi, aracı muhabir zincirlerine bağımlılık ve KOBİ'ler için belgelenmiş sorun alanları.
- *Ortak hazırbulunuşluğu:* merkez bankası angajman düzeyi (araştırma/pilot), veri paylaşımı düzenlemelerine hukuki açıklık ve yönetim uyumluluğu.
- *Risk profili:* yaptırım maruziyeti, sermaye akımlarına duyarlılık ve stres senaryolarında operasyonel risk toleransı.
- *Likidite ve piyasa yapısı:* döviz likiditesinin mevcudiyeti, PvP (payment-for-payment) mutabakatının uygulanabilirliği ve yerel finansal piyasa altyapılarıyla (FMI) entegrasyon.
- *Asgari uygulanabilir kapsam:* dar bir katılımcı setiyle (seçilmiş bankalar/FMI'lar) başlamak ve yalnızca KPI eşikleri karşılandıkça ölçeği büyütmek.

Maliyet Azaltımı: Ülkeler arasında finansal kurumlar arasında doğrudan ödeme koridorları kurulduğunda, wCBDC platformları birden çok aracı katmanını ortadan kaldırabilir. Mevcut sistemde her aracı kurum bir ücret ekler ve bu ücretler kümülatif olarak sınır ötesi ödemeleri pahalılaştırır. Daha yata ve daha doğrudan bir ağ mimarisi bu maliyetleri belirgin biçimde düşürür [58].

Hız ve Erişilebilirlik: Geleneksel sınır ötesi ödemelerin işlenmesi iki veya daha fazla iş günü sürebilir (T+2). DLT üzerinde çalışan wCBDC platformları 7/24/365 çalışacak şekilde tasarlanır ve paradigmayı T+2 günden T+0 saniyeye taşıyarak neredeyse anlık ödeme işlemeyi mümkün kılar. Bu

iyileşme, aksi halde ödeme sürecinde kilitlenecek likiditenin serbest kalmasına da katkı sağlar [50], [59], [60].

Mutabakat Riskinin Azaltılması: Mevcut sistem, özellikle Herstatt riski gibi ciddi ödeme riskleri barındırır; burada taraflardan biri kendi para biriminde ödeme yapar ancak karşı para birimini alamaz. wCBDC platformları, akıllı sözleşmeler üzerinden Payment-for-Payment (PvP) mutabakatını mümkün kılarak bu kritik riski ortadan kaldırır; iki para biriminin değişimi aynı anda gerçekleşir ya da hiç gerçekleşmez [61], [62], [63].

Şeffaflık ve İzlenebilirlik: Bu platformlar, paylaşılan ve değiştirilemez bir defter sunarak tüm katılımcılar için tek bir doğruluk kaynağı yaratır. Bu yapı şeffaflığı artırır, işlem izleme ve uzlaştırmayı (reconciliation) basitleştirir ve Kara Para Aklama ile Mücadele (AML) ve Terörizmin Finansmanı ile Mücadele (CFT) gibi düzenlemelere uyumu kolaylaştırabilir [17], [50].

Yerel Para ile Ticaretin Kolaylaştırılması: Temel bir stratejik avantajı, ticaretin doğrudan yerel para birimleriyle yapılmasını kolaylaştırmasıdır. Uluslararası ticaretin kayda değer bir kısmı üçüncü bir araç para birimiyle, çoğu zaman ABD dolarıyla faturalandırılıp mutabakata bağlanmaktadır. Bu durum, diğer ülkelerdeki işletmeleri döviz kuru (FX) riskine maruz bırakır. wCBDC platformları, örneğin Türk lirası ile Endonezya rupisinin doğrudan takasını mümkün kılarak dolar bağımlılığını azaltır ve işletmeler için kur oynaklığının etkilerini sınırlayabilir [17], [18].

Tablo 6: wCBDC Değer Önerisinin Karşılaştırması

Boyut	Hedeflenen Sorun	Mekanizma	Beklenen Sonuç
Maliyet Azaltımı	Çok katmanlı muhabir zincirleri	Doğrudan koridorlar	Daha düşük işlem maliyetleri
Hız ve Erişilebilirlik	Gecikmeler (T+2)	Gerçek zamanlı DLT mutabakatı	Anında (T+0) ödemeler
Risk Azaltımı	Herstatt riski	Atomik PvP mutabakatı	Kısmi mutabakat yok
Şeffaflık	Parçalı/dağınık defterler	Paylaşılan, değiştirilemez DLT defteri	Uyum ve denetlenebilirlik
Yerel Para ile Ticaret	Dolar hakimiyeti	Doğrudan FX koridorları	Azalan FX riski ve dolar bağımlılığı

Kesit 8: Küresel İş Birliği Uygulamada: Önemli wCBDC Projelerinin Analizi

wCBDC'lerin kuramsal faydaları, BIS ve dünya çapında merkez bankalarının liderliğinde yürütülen bir dizi iddialı ve işbirlikçi projede test edilmektedir. Bu deneyler, pratik zorlukları belirlemek ve geleceğin finansal piyasa altyapılarının tasarımını rafine etmek açısından kritiktir [3], [56].

mBridge Projesi

Katılımcılar: BIS Innovation Hub ile Çin, Hong Kong, Tayland ve Birleşik Arap Emirlikleri (BAE) merkez bankaları arasındaki bir iş birliğidir [17], [18]. 2024 yılında Suudi Arabistan Merkez Bankası tam katılımcı olarak projeye katılmıştır. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) ise iki düzineden fazla gözlemci üye arasında yer almaktadır [64].

Durum: Proje 2024 ortasında Asgari Uygulanabilir Ürün (MVP) aşamasına ulaşmıştır. Bu, platformun kavram kanıtının (proof-of-concept) ötesine geçtiğini ve katılımcı yargı alanlarında ticari bankalar tarafından kullanılacak üretim-kalitesinde bir sisteme dönüştürüldüğünü gösteren önemli bir eşiktir [17].

Teknoloji ve Konsept: mBridge, birden çok CBDC'yi barındırmak üzere özel olarak tasarlanmış "mBridge Ledger" adlı, özel olarak inşa edilmiş bir DLT platformu kullanır. Katılımcı ticari bankaların ortak bir platform üzerinde merkez bankası parasıyla gerçek zamanlı eşler arası (peer-to-peer) ödemeler ve döviz işlemleri gerçekleştirmesine imkân verir [17], [18].

Temel Hedef: Projenin ana hedefleri; yüksek maliyetler, yavaş hızlar ve operasyonel karmaşıklık gibi sınır ötesi ödemelerin temel sorunlarını gidermek ve yerel paraların uluslararası ticarete daha fazla kullanılmasını teşvik etmektir. Bu hedef, çekirdek katılımcılar açısından açık bir stratejik öncelik olarak öne çıkmaktadır [17], [18].

Agora Projesi

Katılımcılar: Olağanüstü iddialı bir kamu-özel ortaklığı olan Project Agora; BIS ile birlikte dünyanın en etkili yedi merkez bankasını bir araya getirir: Banque de France (Eurosystem adına), Japonya Merkez Bankası, Kore Merkez Bankası, Meksika Merkez Bankası, İsviçre Ulusal Bankası, İngiltere Merkez Bankası ve New York Federal Reserve Bank. Ayrıca Uluslararası Finans Enstitüsü (IIF) tarafından bir araya getirilen 40'tan fazla özel sektör kuruluşu (Citi, HSBC, Deutsche Bank gibi küresel bankalar ve SWIFT, Visa, Mastercard gibi finansal piyasa altyapıları) projede yer almaktadır [19], [57].

Kavram: Agora'nın vizyonu, jetonlaştırılmış ticari banka mevduatları ile jetonlaştırılmış wCBDC'yi tek bir programlanabilir finansal platformda sorunsuz biçimde birleştiren bir "unified ledger (birleşik defter)" yaklaşımını keşfetmektir. Bu mimari iki katmanlı parasal sistemi korur; ancak her iki katmanı (merkez bankası parası ve ticari banka parası) ortak bir altyapı üzerinde jetonlaştırır. Bu tasarım, merkez bankası parasının (risksiz) ticari banka parasından (karşı taraf riski taşıyan) ayrımını korurken, her ikisinin de paylaşılan bir altyapıda çalışmasına imkân verir[57].

Kritik Değer: mBridge ile karşılaştırıldığında Agora, yalnızca farklı wCBDC'leri birbirine bağlamakla kalmayıp, kamu ve özel jetonlaştırılmış paranın akıllı sözleşmeler yoluyla birlikte var olabileceği ve etkileşime girebileceği daha bütüncül bir temel katman vizyonu ortaya koyar. [19]. Bu özellik, Agora'yı stablecoin'lere karşı güvenilir ve düzenleyici-uyumlu bir alternatif olarak konumlandırabilir [57].

Dunbar Projesi (2022)

Katılımcılar: BIS Innovation Hub ile Avustralya, Malezya, Singapur ve Güney Afrika merkez bankaları arasındaki bir iş birliğidir [65].

Temel Bulgular: Temel bulgular: Project Dunbar, farklı DLT platformlarında (Corda ve Partior) iki prototip geliştirip test ederek birden çok CBDC için paylaşılan bir platformun teknik olarak uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Proje, özellikle yönetim çerçevelerinin kurulması, erişim kontrollerinin tanımlanması (yani hangi kuruluşların hangi yabancı CBDC'leri tutmasına ve onlarla işlem yapmasına izin verileceğinin belirlenmesi) ve farklı yargı alanları arasında düzenlemelerin uyumlaştırılmasının karmaşıklıklarının yönetilmesi gibi kritik teknik-olmayan zorlukları görünür kılmıştır [65], [66], [67].

Mevcut (Yerleşik): Dunbar'ın yönetim ve ortak kontrol mekanizmalarının rolüne ilişkin içgörüler, mBridge ve Agora gibi daha karmaşık projelerin tasarımına önemli bir temel sağlamıştır [65], [66], [67].

Mariana Projesi (2023)

Katılımcılar: BIS Innovation Hub ile Fransa, Singapur ve İsviçre merkez bankalarının ortak projesidir [68].

İnovasyon: Mariana Projesi, wCBDC'lerin sınır ötesi ticareti ve takası için Merkeziyetsiz Finans (DeFi) kavramlarının, özellikle Otomatik Piyasa Yapıcıların (AMM'ler) kullanımını test eden öncü bir deneydi. Deney, halka açık bir blok zinciri test ağında varsayımsal wCBDC'leri kullanılmıştır [68], [69].

Kritik Değer: Otomatik Piyasa Yapıcıların (AMMs) geleneksel döviz piyasası yapısının aksine (ikili ilişkiler ve emir defterlerine dayalı), likidite havuzları ve algoritmalar üzerinden otomatik ve şeffaf bir fiyat keşfi ve alım-satım süreci sağlar. Mariana, wCBDC'lerle merkeziyetsiz döviz piyasaları yaratmanın teknik olarak mümkün olduğunu göstererek daha verimli, daha şeffaf ve daha erişilebilir piyasalara kapı aralayabilecek bir yaklaşımı ortaya koymuştur. Bu çalışma, DeFi alanındaki gelişmekte olan protokollerin geleceğin finansal piyasa altyapıları için güvenli biçimde nasıl uyarlanabileceğine ilişkin çığır açıcı bir keşif niteliğindedir [68], [69], [70].

Tablo 7: Önemli wCBDC Projelerinin Karşılaştırmalı Genel Bakışı

Proje Adı	Öncü Kurum	Ana Katılımcılar	Durum	Temel Konsept Teknoloji	Ana Hedefler Bulgular	Kaynak
mBridge	BIS İnovasyon Merkezi	BIS Innovation Hub	Çin, Hong Kong, Tayland, BAE, Suudi Arabistan (Merkez bankaları)	MVP Aşaması (2024)	Özel bir DLT üzerinde çoklu wCBDC ortak platformu ("mBridge Ledger")	[17], [18], [64]
Agora	BIS İnovasyon Merkezi, IIF	BIS Innovation Hub, IIF	7 merkez bankası (G7 düzeyi), >40 özel firma (bankalar, FMI'lar)	Tasarım Aşaması (2024-2025)	Jetonlaştırılmış wCBDC ve jetonlaştırılmış ticari banka mevduatlarını entegre eden "Unified Ledger"	[19], [57]
Dunbar	BIS İnovasyon Merkezi	BIS Innovation Hub	Avustralya, Malezya, Singapur, Güney Afrika (Merkez bankaları)	Tamamlandı (2022)	Corda ve Partior DLT'leri üzerinde çoklu wCBDC ortak platformu	[65], [67]
Mariana	BIS İnovasyon Merkezi	BIS Innovation Hub	Fransa, Singapur, İsviçre	Tamamlandı (2023)	Halka açık blok zincir test ağına DeFi esinli Otomatik Piyasa Yapıcılar (AMM'ler)	[68], [69], [70]

Kesit 9: Küresel İş Birliği Modelleri

Bu projelerin birincil amacı, küresel ölçekte birbirine bağlı bir ödeme sistemi oluşturmaktır. BIS, farklı CBDC sistemleri arasında birlikte çalışabilirliği sağlamaya yönelik, her biri farklı bir entegrasyon ve iş birliği düzeyini temsil eden üç temel model tanımlamıştır [51].

Öncü projelerin kolektif çıktılarının kıyaslamalı sentezi:

- Olgunluk patikası: Girişimler, yönetim, sisteme katılım (onboarding) ve kural kitapları (rulebooks) kod kadar önemli hale geldiğinde kavram kanıtından MVP'ye ilerler.
- Mimari yakınsama: Toptan mutabakat için izinli (permissioned) DLT pratik varsayılan haline gelmektedir; API'ler ve standartlaştırılmış mesajlaşma entegrasyon maliyetlerini düşürür.
- Bağlayıcı kısıt yönetimidir: Teknik fizibilite giderek daha fazla kanıtlanmaktadır; ancak yargı alanları arası karar hakları ve sorumluluk (liability) en zor sorunlar olarak kalmaktadır.
- Tasarım-içi uyum (compliance-by-design) pazarlığa açık değildir: AML/CFT beklentileri, en baştan veri mimarisini, kimlik katmanlarını ve operasyonel kontrolleri şekillendirir.
- Jetonlaştırma yönelimi: Sınır, "yalnızca CBDC" yaklaşımından entegre platformlara (CBDC + jetonlaştırılmış mevduatlar + jetonlaştırılmış varlıklar) kaymaktadır; bu da programlanabilir mutabakata imkân verir.

Model 1: Uyumluluk

İlk model, görece düşük düzeyde entegrasyon gerektirir. Her yargı alanı kendi bağımsız CBDC sistemini işletirken, ortak bir teknik standartlar, protokoller ve hukuki çerçeveler seti üzerinde uzlaşır. Buna; aynı mesajlaşma formatının (ör. ISO 20022), veri standartlarının ve API spesifikasyonlarının kullanılması dahil olabilir. Uyumluluk, birden fazla sistemle ara yüz kurmak zorunda olan finansal kurumların operasyonel yükünü azaltır; ancak sistemler arasında doğrudan bir bağlantı tesis etmez [71], [72], [73].

Model 2: İş birliği

Bu model, farklı CBDC sistemleri arasında doğrudan bağlantılar kurar. Bu bağlantılar çeşitli yollarla kurulabilir: İkili bağlantılar (dual connections) ile iki sistem doğrudan bağlanabilir; merkez-çevre (hub-and-spoke) modeliyle birden fazla sistem merkezi bir merkeze bağlanabilir; ya da tek erişim noktası (single access point) yaklaşımıyla sistemler arası ödemeler için standartlaştırılmış bir ara yüz oluşturulabilir. İsraill, Norveç ve İsveç iş birliği olan Project Icebreaker, merkez-çevre modelini incelemiş ve bu yaklaşıma güçlü bir örnek teşkil etmiştir [29] [71], [72], [73], [74].

Model 3: Tek Sistem

En yüksek entegrasyon düzeyini temsil eden bu modelde, birden çok merkez bankası kendi CBDC'lerini tek ve ortak bir teknik platform üzerinde ihraç etmeyi kabul eder. Ortak platform, katılımcı ülkeler için çekirdek altyapı işlevi görür; birden çok para birimini barındırır ve aralarındaki işlemleri kolaylaştırır. Farklı sistemler arasında uzlaştırma ihtiyacını ortadan kaldırdığı için potansiyel olarak en verimli model olabilir. Ancak uygulaması en zordur; teknik tasarım ve operasyonların yanı sıra özellikle yönetim üzerinde derin bir iş birliği ve güven gerektirir. [71], [72], [73], [74]. Dunbar ve mBridge projeleri bu tek sistem modelini incelemektedir [18], [65], [67].

Tablo 8: CBDC Sistemleri için İş Birliği Modelleri

Model	Açıklama	Avantaj	Dezavantajlar	Proje Örnekleri
Uyumluluk	CBDC sistemleri ayrıdır ancak ortak standartlar kullanır.	Uygulaması en kolay ve en düşük maliyetli sistemdir; ulusal özerkliği korur	Sınırlı verimlilik artışı sağlar. Temel uzlaşma sorunlarını çözmez.	Yok (Genel ilke)
Ara bağlantı	Ayrı CBDC sistemler, teknik bağlantılar veya hub'lar aracılığıyla birbirine bağlanır.	Ulusal özerkliği, iyileştirilmiş sınır ötesi işlevsellikle dengeler.	Bağlantılar arttıkça yönetimi karmaşık hale gelebilir.	Icebreaker Projesi
Tek Sistem	Birden fazla CBDC, paylaşılan bir platformda çıkarılır ve işlem görür.	Verimlilik, hız ve maliyet azaltma açısından en yüksek potansiyele sahiptir. Uzlaşma ihtiyaçlarını ortadan kaldırır.	Yönetimi en karmaşık olanıdır. Yüksek uluslararası iş birliği ve güven gerektirir.	Dunbar Projesi, mBridge Projesi

Kaynaklar: Uyarlanmıştır [18], [51], [65], [67], [71], [72], [73], [74], [75]

Yönetişim taslağı (asgari uygulanabilir işletim modeli): Birlikte çalışabilirlik modelleri (bağlantılan-dırma veya tek ortak sistem), karar haklarını, operasyonel sorumluluğu ve uyuşmazlık çözümünü tanımlayan açık bir yönetim katmanı gerektirir. Aşağıdaki tablo, çok yargı alanlı wCBDC düzenle-meleri için kamuya açık bir temel çerçeve olarak uyarlanabilir.

Tablo 9: Çok Yargı Alanlı wCBDC Platformları için Asgari Uygulanabilir Yönetişim Taslağı

Yönetişim katmanı	Temel roller	Temel kararlar / çıktılar
Stratejik Konsey (Katılımcı MB'ler)	Merkez bankaları, (uygun oldukça) finans bakanlıkları, politika gözlemcileri.	Üyelik kriterleri; koridor kapsamı; parasal/hukuki kırmızı çizgiler; eskalasyon (tırmanma) yolları.
Platform Operatörü / Teknik Sekreteryası	Günlük operasyon ekibi, değişiklik yönetimi fonksiyonu, teknik standartlar lideri.	Sürüm yönetimi; erişilebilirlik/SLA; olay müdahalesi; API/mesaj sürümleme.
Uyum ve Veri Yönetişimi Komitesi	MB uyum birimleri, AML otoriteleri, veri koruma sorumluları.	Katmanlı erişim kuralları; veri minimizasyonu/saklama; denetlenebilirlik standartları; sınır ötesi bilgi paylaşımı.
Risk ve Dayanıklılık Fonksiyonu	Güvenlik liderleri, operasyonel risk liderleri, bağımsız güvence.	Tehdit modeli; kontrol taban çizgileri; felaket kurtarma (DR) testleri; kripto-çeviklik yol haritası; üçüncü taraf risk kontrolleri.
Uyuşmazlık Çözümü ve Tahkim Forumu	Nötr bir forum (veya belirlenmiş yargı yeri), katılımcıların hukuki temsilcileri.	Sorumluluk tahsisi; mutabakat kesinliği ihtilafları; akıllı sözleşme olayları; yargı alanı çatışmaları.

BÖLÜM IV

LABİRENTTE YOL BULMAK: ZORLUKLAR VE STRATEJİK HUSUSLAR

wCBDC sistemlerinin muazzam potansiyeline rağmen, yaygın benimsenmeye giden yol; hukuki, teknik, ekonomik ve jeopolitik düzlemlerde ciddi zorluklarla doludur. Bu engellerin aşılması, eş görülmemiş ölçekte uluslararası iş birliği ve ince ayarlı, nüanslı bir politika tasarımı gerektirecektir.

Risk kaydı: Aşağıdaki tablo, wCBDC geliştirmede en yüksek etkiye sahip risk kategorilerini bir araya getirir. Kamu tarafından okunabilir olacak biçimde tasarlanmış olmakla birlikte, operasyonel olarak da anlamlı kalacak şekilde yapılandırılmıştır.

Tablo 10: wCBDC Programları için Örnek Risk Kaydı

Risk	Göründüğü Alanlar	Olasılık	Etki	Azaltım	Sorumlu
Yargı alanı / hukuk parçalanması	Sınır ötesi kesinlik (finality), veri kuralları, sermaye/para kontrolleri	Orta	Yüksek	Mutabakat zabıtları (MoU); uyumlaştırılmış kural kitabı; koridor bazında hukuki mütalaa	MB hukuk + katılımcı FMI'lar
Seyahat Kuralı (Travel Rule) uygulamasından doğan Kişisel Veri (PII) 'bal küpü' (honeypot) riski	Aracı kurumlar arasında kimlik/PII paylaşımı	Orta	Yüksek	Katmanlı KYC; seçici ifşa; minimizasyon/saklama sınırları; güvenlik denetimleri	Uyum + veri yönetişimi
Düğüm/anahtarlar üzerinde siber saldırı	Katılımcı düğümleri, anahtar saklama, operatör yığını (stack)	Yüksek	Yüksek	HSM'ler; anahtar rotasyonu; ağ segmentasyonu; izleme; red-team tatbikatları; felaket kurtarma (DR) testleri	Güvenlik liderleri
Akıllı sözleşme hatası / mantık arızası	Programlanabilir mutabakat iş akışları	Orta	Yüksek	Uygun olduğunda biçimsel doğrulama; aşamalı devreye alma; kill-switch yönetişimi; bağımsız denetim	Operatör + gözetim konseyi
Likidite stresi / FX oynaklığının artması	Stres dönemlerinde 7/24 mutabakat	Orta	Orta-Yüksek	Limitler; devre kesiciler; likidite imkanları; koridor bazlı hız kesiciler (throttling)	MB politika + operatör
Tedarikçi / tedarik zinciri ele geçirilmesi	DLT yığını, bulut/HSM sağlayıcıları, entegratörler	Orta	Yüksek	Üçüncü taraf risk programı; SBOM; sözleşmesel kontroller; sürekli güvence	Operatör + satın alma/güvenlik

Kesit 10: Düzenleyici ve Yasal Zorluklar

Birden çok egemen yargı alanını kapsayan birleşik bir finansal sistem yaratma girişimi, yargı alanı parçalanmasının karmaşık gerçekliğiyle yüzleşir. Her ülkenin hukuki çerçevesi; finansal işlemleri, veri gizliliğini ve para/sermaye kontrollerini düzenler. Bu farklılıklar, sürtünmesiz sınır ötesi işlemler açısından önemli bir engel oluşturur [76].

AML/CFT Uyum Süreçleri ve FATF “Seyahat Kuralı”

Başlıca zorluklardan biri, küresel Kara Para Aklama ile Mücadele (AML) ve Terörizmin Finansmanı ile Mücadele (CFT) standartlarına uyumu sağlamaktır. Bu standartları Mali Eylem Görev Gücü (FATF) belirler ve sanal varlıkları da kapsayacak biçimde güncellenen Tavsiye 15 bu bağlamda özellikle önemlidir. Tavsiye, bir CBDC sistemindeki araçları da kapsayabilecek “Sanal Varlık Hizmet Sağlayıcılarının (VASP) işlem başlatan ve lehtara ilişkin bilgileri toplamasını, saklamasını ve iletilmesini; yani “Travel Rule” gereğini, zorunlu kılar [77], [78], [79]. Geleneksel bankacılıkta defterler özel olduğu için görece düz bir uygulama olan bu gereklilik, blok zincir tabanlı sistemlere taşındığında derin bir “mahremiyet paradoksu” üretir: blok zincir adresleri takma adlı (pseudonymous) olsa da işlem geçmişi kamusal ve değiştirilemezdir [26], [80]. AML/CFT beklentilerini mahremiyetle uzlaştırmaya dönük pratik tasarım seçenekleri: Amaç, uyum gerekliliklerini karşılarken hassas kişisel verileri merkezileştiren ya da bağlanabilirlik (linkability) yoluyla işlem geçmişlerini ifşa eden mimari seçimlerden kaçınmaktır.

Tablo 11: wCBDC’de Mahremiyet Korumalı Uyum için Tasarım Seçenekleri (AML/CFT)

Seçenek	Temel mekanizma	Artılar	Bedeller / riskler
Katmanlı erişim + limitler	Düşük riskli cüzdan/ katılımcılar için daha zayıf KYC; üst katmanlar için daha güçlü durum tespiti; işlem/değer limitleri ve hız (velocity) kontrolleri.	Meşru düşük riskli kullanım için hızlı benimseme; küçük kullanıcılar/firmalar için uyum yükünü azaltır.	Dikkatli kalibrasyon gerektirir; güçlü katılımcı kontrolleri olmadan bazı sınır ötesi toptan kullanım senaryolarına uymayabilir.
Seçici ifşa (mahremiyet korumalı uyum)	Kimlik ve nitelikler, yalnızca hukuken gerekli olduğunda (ör. eşik aşıldığında, şüphe tetiklendiğinde) kriptografik kanıtlar veya kontrollü açığa çıkarma ile paylaşılır.	PII maruziyetini minimize eder; kimliğin kamusal işlem geçmişiyle geniş ölçekli bağlanmasını engeller.	Karmaşıklık ve performans yükü; tetikleme koşulları ve denetimler için sağlam yönetim gerektirir.
Aracı-kurum temelli uyum (iki katmanlı işletim modeli)	Bankalar/FMI’lar KYC/AML yürütür; CBDC platformu ham PII aktarımı yerine beyan/attestation üzerinden kural uyumunu zorlar.	Mevcut denetim mimarisiyle uyumludur; hassas veriyi düzenlenen kurumlarda tutar; “honeypot” riskini azaltır.	Standart beyan formatları gerektirir; bilgi paylaşımı için yine de yargı alanları arası hukuki anlaşmalar gerekir.

Her bağlamda uygulanabilir asgari veri yönetişimi kontrolleri:

- *Veri minimizasyonu*: Uyum için kesinlikle gerekli olanın paylaşılması (varsayılan olarak tam kimlik + adres yüklerinden kaçınmak).
- *Saklama sınırları*: Hukuki gereklilikler ve denetim ihtiyaçlarıyla uyumlu, zamanla sınırlı saklama ve silme kuralları tanımlamak.
- *Erişim kontrolleri ve kayıt*: Rol tabanlı erişim, değiştirilemez denetim kayıtları ve tüm aracı kurumlar genelinde periyodik erişim gözden geçirmeleri.
- *İhlal sınırlama*: Verinin hareketsiz (at rest) ve iletim halinde (in transit) şifrelenmesi, segmentasyon, olay müdahale oyun kitapları ve zorunlu bildirim usulleri.
- *Sınır ötesi paylaşım anlaşmaları*: Paylaşılan uyum bilgisi için hukuki dayanak, izin verilen kullanım alanları ve ihtilaf mekanizmalarını belirlemek.

Seyahat Kuralı, işlemle birlikte ad-soyad ve fiziksel adres gibi kişisel tanımlayıcı bilgilerin (PII) iletilmesini zorunlu kılarak gerçek dünya kimliğini kamusal defterle fiilen ilişkilendirir. Bu durum, eşî görülmemiş bir güvenlik riski yaratır: ihlal edildiğinde bir kişinin kimliğini, tüm işlem geçmişini ve mevcut varlıklarını kötü niyetli aktörlere açığa çıkaracak bir “veri bal küpü” (honeypot). Bu düzeyde bir veri kırılganlığı, geleneksel finansal sistemdekinden çok daha yüksektir. Dolayısıyla FATF standartlarına tam uyumlu ve aynı zamanda mahremiyeti güçlü biçimde koruyan bir CBDC sistemi tasarlamak, olağanüstü bir teknik ve politik meydan okumadır [78], [79], [80], [81][77].

Sorumluluk (liability) ve Uyuşmazlık Çözümü

Merkeziyetsiz veya çok yargı alanlı bir sistemde sorumluluk hatlarının netleştirilmesi kritiktir. Teknik bir arıza, bir akıllı sözleşmedeki yazılım hatası veya hileli bir eylem nedeniyle bir işlem başarısız olursa hangi kuruluş sorumlu olacaktır? Hangi ülkenin hukuku uygulanacaktır? DLT tabanlı sınır ötesi bir bağlamda uyuşmazlıkların çözümüne ilişkin uluslararası hukuki çerçevelerin eksikliği, hukuki belirsizlik yaratır ve sistemik riski artırabilir [60], [76], [82], [83]. Türkiye gibi farklı ekonomik bloklar arasında köprü işlevi gören ülkeler açısından bu belirsizlik hem risk hem fırsat doğurur: dijital varlık uyuşmazlıklarında güvenilir bir uluslararası tahkim merkezi olarak konumlanan bir ülke, yeni finansal mimaride önemli bir stratejik avantaj elde edebilir [9].

Hukuki kesinlik kontrol listesi (kamuya açık, koridor-uyumlu):

- Mutabakat kesinliği (settlement finality): Platformda bir transferin ne zaman kesin ve geri alınamaz sayılacağını (ve bunun yerel hukuka nasıl haritalandığını) tanımlamak.
- Sorumluluk tahsisi: Düşüm arızası, operatör kusuru, katılımcı hatası ve akıllı sözleşme arızası için sorumluluğu belirlemek.
- Yargı alanı ve uygulanacak hukuk: Koridor bazında uygulanacak hukuku ve kanunlar ihtilafı (conflicts-of-law) yönetimini tanımlamak.
- Uyuşmazlık yolu: Yükseltme adımları, zaman çizelgeleri ve tahkim/tribünal düzenekleri (kayıt standartları dahil) belirlemek.
- Veri koruma uyumu: Veri sorumlusu/veri işleyen rollerini, işleme için hukuki dayanağı ve sınır ötesi aktarım güvencelerini tanımlamak.

- Operasyonel kural kitabı: Katılımcı yükümlülüklerini (onboarding, KYC/AML sorumlulukları, raporlama, yaptırım taraması) yayımlamak.

Kesit 11: Teknik ve Operasyonel Engeller

Hukuki karmaşıklıkların ötesinde, aşılması gereken önemli teknik ve operasyonel bariyerler bulunmaktadır.

Ölçeklenebilirlik ve Performans: Ölçeklenebilirlik ve performans: İzinli (permissioned) DLT'ler, kamuya açık muadillerine kıyasla belirgin biçimde daha hızlıdır; ancak yine de küresel ticaret ve finansın devasa işlem hacimlerini performans kaybı olmadan karşılayabildiklerini kanıtlamak zorundadır. Visa gibi sistemler saniyede 65.000'den fazla işlem (TPS) işleyebilmektedir; birçok DLT platformu bu ölçekte güvenilir performans için halen çaba göstermektedir. Project Helvetia ve Project Jura gibi CBDC pilotları ölçekleme çözümlerini incelemiş olsa da bu teknolojiler hâlâ erken aşamadır ve küresel, üretim-düzeyi ölçekte tam olarak kanıtlanmış değildir [84], [85].

Mevcut (Yerleşik) Sistemlerle Entegrasyon: Küresel finansal sistem, çok geniş ve heterojen bir mevcut altyapı ağı üzerinde çalışır. Yeni DLT tabanlı platformları, dünya çapında binlerce kurumun mevcut çekirdek bankacılık sistemleri, ödeme geçitleri ve FMI yazılımlarıyla entegre etmek çok büyük ve maliyetli bir girişimdir. Türkiye, FAST gibi sistemlerle yurtiçi ödeme altyapısını modernize etme kapasitesini güçlü biçimde göstermiş olsa da tüm bankacılık sektörünü tam CBDC entegrasyonuna hazırlamak teknoloji, uzmanlık ve zaman açısından kayda değer yatırım gerektirir [9].

Siber Güvenlik ve Kuantum Tehditleri: CBDC platformları, ulusal ve uluslararası ölçekte kritik altyapı oldukları için sofistike siber saldırılar açısından yüksek değerli hedeflerdir. IMF'nin 2024 tarihli bir raporu, finans sektörünün zaten en sık hedef alınan sektör olduğunu vurgular; CBDC'ler bu riskleri artırabilir [86]. Yükselen ve özellikle endişe verici bir tehdit de kuantum bilgisayarların gelişimidir. Yeterince güçlü bir kuantum bilgisayar, bugün neredeyse tüm dijital iletişimi ve finansal işlemleri güvenceye alan açık anahtar kriptografisini teorik olarak kırabilir. Bu gelecek tehdidi gözetken BIS, kuantuma dayanıklı kriptografiyi araştırmaya başlamıştır. Örneğin Project Tourbillon, kuantuma dayanıklı imzaları uygulayıp test etmeyi başarmıştır. Ancak proje, mevcut kuantum-güvenli algoritmaların ciddi performans maliyetleri doğurduğunu; prototipte ödeme işleme sürelerini yaklaşık beş katına çıkardığını göstermiştir. Bu bulgu, kritik bir değiş tokuşa işaret eder ve Ar-Ge için hayati bir alanı görünür kılar [87].

Tehdit Modeli ve Asgari Kontrol Seti

Tehdit sınıfları: (1) katılımcı düğümünün ele geçirilmesi, (2) içeriden kötüye kullanım, (3) anahtar hırsızlığı / saklama arızası, (4) hizmet engelleme (DoS), (5) mutabakat/defter bütünlüğü arızası, (6) tedarik zinciri ele geçirilmesi.

Kontroller (Asgari Düzeyde):

- Anahtar yönetimi: HSM destekli anahtarlar, rotasyon politikaları, ayrıcalıklı işlemler için çok taraflı kontroller ve acil durum (break-glass) prosedürleri.

- Ağ güvenliği: Segmentasyon, izinli liste (allow-listing), DDoS koruması ve katılımcı bağlantıları için güvenli API ağ geçitleri.
- İzleme ve müdahale: Merkezi kayıt (logging), anomali tespiti, olay müdahale oyun kitapları ve periyodik red-team tatbikatları.
- Dayanıklılık: Test edilmiş yedekleme/geri yükleme, felaket kurtarma hedefleri (RTO/RPO) ve katılımcılarla düzenli süreklilik tatbikatları.
- Değişiklik yönetimi: Kontrollü sürümler, yapılandırma taban çizgileri ve kritik yükseltmeler için bağımsız güvenlik güvencesi.
- Kripto-çeviklik (kuantum hazırlığı): Platformu yeniden tasarlamadan algoritma değişimini mümkün kılan açık bir geçiş planı benimsemek; kriptografik bağımlılık envanterini tutmak ve üretime almadan önce PQC-uyumlu alternatifleri kontrollü ortamlarda test etmek.

Kesit 12: Makro-Finansal ve Jeopolitik Sonuçlar

CBDC'lerin devreye girmesi, ödeme sistemlerini ve daha geniş parasal ve jeopolitik manzarayı yeniden şekillendirme potansiyeline sahiptir [86].

Para Politikası ve Finansal İstikrar

Toptan modelde dahi CBDC'lerin yaygın benimsenmesi bankacılık sistemini anlamlı biçimde etkileyebilir. Merkez bankası parasını tutmanın cazibesi, mevduatların ticari bankalardan çekilmesine yol açabilecek "aracısızlaşma" (disintermediation) riskini doğurur. Bu, bankaların bilançolarını küçültebilir ve kredi yaratma kapasitelerini azaltarak ekonomik büyümeyi olumsuz etkileyebilir [86], [88], [89]. Ayrıca büyük tutarların sınır ötesi neredeyse anlık ve kesintisiz (7/24) hareket ettirilebilmesi, özellikle finansal stres dönemlerinde sermaye akımlarının oynaklığını artırabilir ve merkez bankalarının ekonomiyi yönetmesini zorlaştırabilir [86].

Türkiye'nin bu süreçte tasarım tercihlerini stres-test etmek için iki operasyonel senaryosu vardır:

Senaryo 1- Ticaret Mutabakat Verimliliği: Bir pilot koridor, mutabakat süresini günlerden neredeyse gerçek zamana indirirse, ihracatçıların işletme sermayesi ihtiyacı düşer ve ödeme riski maruziyeti azalır. Bu faydayı yakalamak için pilot; (i) ortalama mutabakat süresi, (ii) muhabir bankacılık baz çizgisine göre ücret azalımı ve (iii) mutabakat sırasında kilitlenen likiditeyi izlemelidir.

Azaltım/etkinleştiriciler: net PvP mantığı, koridor düzeyinde likidite araçları ve yerel FMI'lar ile bankaların hazine iş akışlarıyla entegrasyon.

Senaryo 2- Stres Döneminde Dalgalanmalar: 7/24 sınır ötesi transfer edilebilirlik, piyasa stresinde çıkışları büyütebilir. Bu nedenle platform, politika tarafından kontrol edilebilir koruma önlemleri içermelidir.

Azaltım araçları: koridor bazlı hız kesiciler (throttles); katmanlı işlem limitleri; zamanla sınırlı devre kesiciler; gelişmiş izleme; kritik katılımcılar için önceden mutabık kalınmış likidite destekleri.

Mahremiyet-Şeffaflık İkilemi: Project Tourbillon'dan Dersler

Düzenleyici şeffaflık ihtiyacı ile kamunun mahremiyet talebi arasındaki gerilim, CBDC tartışmasının en çekişmeli başlıklarından biridir. BIS Innovation Hub'ın İsviçre Merkezi tarafından yürütülen Project Tourbillon, bu değiş tokuşu doğrudan incelemek üzere tasarlanmış dönüm noktası niteliğinde bir deneydir. Proje, "ödeyenin anonimliğine" ilişkin farklı mimari yaklaşımları değerlendirmek için iki ayrı CBDC prototipi geliştirmiş ve test etmiştir. Kör imzalar (blind signatures) gibi kriptografik teknikler kullanılarak, tüketicinin kimliğinin; işyeri, bankalar ve merkez bankası dahil olmak üzere tüm taraflara karşı anonim kalabileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte AML/CFT uyumu için işyerinin kimliği kendi bankası tarafından bilinir. Merkez bankası, işlem tutarlarını toplulaştırılmış düzeyde görebilir; fakat kişisel verilere erişemez [87], [88], [90], [91], [92].

Project Tourbillon, yüksek bir mahremiyet düzeyinin teknolojik olarak mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Ancak aynı zamanda bunun; sistem karmaşıklığı, performans ve güvenlik açısından bedelleri bulunduğunu da göstermiştir. Projenin temel katkısı, tartışmayı "mahremiyet mümkün mü?" sorusundan "toplum ve düzenleyiciler ne kadar mahremiyeti kabul etmeye hazır?" sorusuna kaydırması ve bu dengeyi kurmak için hangi teknik ve kurumsal güvencelerin gerekli olduğunu görünür kılmasıdır [87].

Dijital Paranın Jeopolitiği

wCBDC platformlarının geliştirilmesi, 21. yüzyılın jeopolitik rekabetinden ayrı düşünülemez. mBridge gibi projelere katılan birçok ülke açısından temel stratejik itki; ABD dolarına ve SWIFT gibi Batı kontrolündeki finansal altyapılara bağımlılığı azaltacak alternatif ödeme koridorları yaratmaktır [64], [94]. Bu yaklaşım, parasal egemenliği güçlendirme ve ekonomik yaptırımların potansiyel kullanımına karşı dayanıklılık inşa etme yolu olarak görülmektedir [93], [94]. Bu dinamik, örneğin Çin liderliğindeki bir mBridge platformunun Batı liderliğindeki bir Agora platformuna paralel çalıştığı rekabetçi dijital para bloklarına yol açabilir. Böyle bir gelişme küresel finansal sistemi daha da parçalayabilir, yeni ekonomik nüfuz alanları üretebilir ve gelecekteki ticaret örüntülerini, sermaye akımlarını ve uluslararası güç dengelerini şekillendirebilir [93]. Bu platformları kurma yarışı yalnızca teknik bir rekabet değildir; modern ekonomik devlet zanaatının (economic statecraft) çekirdek unsurlarından biridir.

BÖLÜM V

İLERİYE GİDEN YOL: BENİMSENME, TEŞVİKLER VE TÜRKİYE İÇİN BİR VAKA ÇALIŞMASI

Deneyisel aşamadaki pilot projelerden canlı ve işlevsel wCBDC ekosistemlerine başarılı bir geçiş; stratejik teşviklere, güçlü kamu-özel ortaklıklarına ve ulusal ekonomik hedeflerle tam uyuma bağlı olacaktır [95].

Bölüm 13: Benimsemeyi Teşvik Etmek ve Uygulanabilir Ekosistemler Oluşturmak

Kavram kanıtı (PoC) aşamasının ötesine geçmek, tüm paydaşlar için ikna edici bir değer önerisi oluşturmayı gerektirir. Bu da çok ayaklı bir teşvik stratejisini içerir [96], [97].

Ekonomik Teşvikler

En doğrudan teşvik, işlem maliyetlerinde ve mutabakat sürelerinde ölçülebilir bir düşüş sağlanmasıdır. Sınır ötesi ticareti daha ucuz ve daha hızlı hale getirerek wCBDC platformları, katılımcı işletmelere ve finansal kuruluşlara rekabet avantajı kazandırabilir [98], [99].

Teknik Teşvikler

Açık ve standartlaştırılmış Uygulama Programlama Arayüzleri (API'ler) sunmak, canlı bir inovasyon ekosistemini besleyebilir. Bu, özel sektör FinTech firmalarının ve geliştiricilerin çekirdek wCBDC altyapısının üzerine yeni, katma değerli hizmetler inşa etmesini sağlar; sonuç olarak yenilikçi ürünler ve iş modelleri ortaya çıkar [100], [101].

Düzenleyici Teşvikler

Uyum süreçlerinin sadeleştirilmesi, benimsenmenin güçlü bir itici gücü olabilir. Akıllı sözleşmeler belirli düzenleyici kontrolleri (örn. KYC/AML doğrulaması) otomatikleştirebilirse, bu durum finansal kuruluşların uyum yükünü önemli ölçüde azaltarak platformu daha cazip kılabilir [97], [102], [103].

Pilot Tasarımı Başarı Ölçütleri ve Çıkış Kriterleri:

- Verimlilik KPI'ları: Mutabakat süresi (p50/p95), işlem başına maliyet (baz senaryoya göre), uzlaştırma/rekonsiliasyon iş yükü ve hata/istisna oranı.
- Risk KPI'ları: Başarısız/geri alınmış mutabakat oranı, likiditenin kilitli kalma süresi, PvP/DvP başarı oranı ve olay sıklığı.

- Benimsenme KPI'ları: Katılımcı banka/FMI sayısı, aktif kurumsal kullanıcılar, işlem hacmi büyümesi ve elde tutma (retention).
- Uyum KPI'ları: Gerekli kontrollerin tamamlanma süresi, tarama süreçlerinde yanlış-pozitif oranı ve denetim kaydı bütünlüğü.
- Pilottan ölçekli yaygınlaştırmaya geçiş için çıkış kriterleri: Belirli bir süre boyunca (örn. 3–6 ay) önceden tanımlanmış eşiklerin karşılanması; buna ek olarak başarılı bir felaket kurtarma (DR) tatbikatı ve bağımsız bir güvenlik incelemesi.

Kritik olarak, bu ekosistemlerin inşası yalnızca merkez bankalarının yetki alanında olamaz. Derin ve işlevsel kamu–özel ortaklıkları esastır. Başlangıçtan itibaren 40'tan fazla özel sektör firmasını sürece dahil eden Agora gibi projeler, bu işbirlikçi yaklaşımı örneklemektedir. Tasarım aşamasına ticari bankaların, finansal piyasa altyapılarının (FMI'lar) ve teknoloji sağlayıcıların dahil edilmesi; ortaya çıkacak platformun gelecekteki kullanıcılarının gerçek dünya ihtiyaçlarını karşılamasını ve başarılı entegrasyon ile benimsenme için uygun şekilde kurgulanmasını sağlayabilir [19], [57].

Operasyonel Perspektife Göre Paydaş Katılım Planı:

- Çekirdek katılımcılar: Küçük bir ticari banka grubu, (ilgili ise) bir FMI ve her koridor için öncelikli kurumsal kullanıcılar seçilmelidir.
- Yönetişim ritmi: Haftalık bir teknik çalışma grubu, aylık bir risk/uyum komitesi ve üç ayda bir toplanan bir yönlendirme konseyi oluşturulmalıdır.
- Entegrasyon oyun kitabı: Katılımcılar için onboarding (dahil olma) gereksinimleri, API/mesajlaşma spesifikasyonları, test ortamları ve sertifikasyon adımları yayımlanmalıdır.
- Şeffaflık: Kamuya açık olarak raporlanacak unsurlar (KPI'lar, çalışma süresi/uptime, olay özetleri) ile gizli kalacak operasyonel ayrıntılar net biçimde tanımlanmalıdır.
- Geri bildirim döngüsü: Bankalardan/kurumlardan kullanılabilirlik ve hazine/treasury entegrasyonu üzerine yapılandırılmış geri bildirim alınmalı; bulgular sürüm yol haritasına entegre edilmelidir.

Kesit 14: Vaka Çalışması: Dijital Türk Lirası ve Stratejik İtibar

Türkiye'nin Merkez Bankası Dijital Parası (CBDC) arayışı, yalnızca yeni bir finansal teknoloji yatırımı olarak değil; küresel parasal mimarinin yeniden yapılandırıldığı bir dönemde stratejik konumlanma çabası olarak yorumlanmalıdır. Dijital Türk Lirası Projesi bu çabanın kurumsal omurgasını oluştururken, bu rapor Türkiye'nin kendi CBDC platformunu; artan rekabetçilik, daha derin finansal entegrasyon, güçlenen parasal egemenlik, Türk lirasının teşviki ve jeostratejik konumlanma boyutlarını kapsayan çok katmanlı bir dönüm noktası olarak ele almaktadır. Bu çerçevede, "Teknolojik İnovasyon" vurgusunun ötesine geçerek, ekonomik refahı ve stratejik dayanıklılığı önceleyen daha geniş bir devlet kapasitesi seçeneğine dayanır [104], [105].

Türkiye – tasarım karar matrisi (üst düzey). Aşağıdaki matris, temel mimari tercihleri tek bir görünümde birleştirerek, kapsamın ve ödünleşimlerin (trade-off) kamuoyu açısından açık biçimde iletişimini mümkün kılar.

Tablo 12: Türkiye – wCBDC Tasarım Karar Matrisi (Üst Düzey)

Karar alanı	Önerilen temel yaklaşım (kamu raporu)	Gerekçe	Faz-2 için açık sorular
Birincil kullanım alanı (wCBDC odağı)	Dış ticaret finansmanı koridorları için sınır ötesi toptan mutabakat; mümkün olduğunda PvP.	En yüksek sürtünmeleri ve en küçük katılımcı kümesini hedefler; toptan eğilime uyum sağlar.	İlk 1–2 koridor hangisi; sektör karması; hangi FMI'lar dahil olacak?
Birlikte çalışabilirlik modeli	Başlangıçta bağlantılama (interlinking) / hub yaklaşımı; uzun vadede tek-sistem seçeneğini açık tut.	Başlangıçta yönetim yükünü sınırlar; derin entegrasyon öncesi aşamalı öğrenmeyi mümkün kılar.	Hub operatörünün rolü; bağlantılama için hukuki dayanak; mesaj/API sürümleri.
Uyum mimarisi	İki katmanlı uyum: düzenlenmiş aracı kurumlar KYC/AML yürütür; platform kuralları attestasyonlar + limitler üzerinden uygular.	Kişisel verinin (PII) merkezileşmesini azaltır; mevcut denetim çevresini kullanır.	Seçici ifşa tetikler; denetim modeli; sınır ötesi bilgi-paylaşım anlaşmaları.
Veri yönetişimi	Paylaşılan PII'yi asgariye indir; sıkı saklama süreleri; değiştirilemez denetim kayıtları; periyodik gözden geçirmeli erişim kontrolü.	Honeypot riskini azaltır; kamuya açıklama için hesap verebilirliği destekler.	Veri sorumlusu/işleyen rolleri; veri aktarım güvenceleri; ihlal bildirimleri.
Operasyonel dayanıklılık	Tehdit modeline dayalı kontroller; DR tatbikatları; ölçekleme öncesi bağımsız güvenlik güvencesi.	Kritik altyapı, kanıtlanabilir hazırlık gerektirir.	RTO/RPO hedefleri; test sıklığı; üçüncü taraf güvence kapsamı.
Katılım stratejisi	Ön koşullar sağlanınca, birçok taraflı hatta (örn. mBridge) gözlemciden daha derin teknik katılıma geçiş.	Risk yönetimiyle birlikte öğrenmeyi ve birlikte çalışabilirliği hızlandırır.	Üyelik kriterleri; yerli sistem entegrasyonu zaman çizelgesi; hukuki taahhütler.

Kavramsal olarak CBDC, bir ülkenin kendi dijital parasını merkez bankası üzerinden ihraç etme sorumluluğuna işaret eder. Mevcut tasarımlar, perakende (rCBDC) ve toptan (wCBDC) erişim modellerini ayırt eder; wCBDC yalnızca finansal kuruluşlara açıktır ve bankalar arası mutabakat, menkul kıymet takası (clearing) ve sınır ötesi ödemeler için kullanılan altyapı katmanına karşılık gelir. Türkiye'nin mevcut hedefleri dikkate alındığında, dış ticaret finansmanını ve uluslararası ödeme koridorlarını etkileyebilecek bu "toptan" tasarımın, özellikle vergi algoritmalarının yeniden kurulmasında kritik bir rol oynadığı değerlendirilmektedir [104], [106].

Türkiye, CBDC Ar-Ge'sinde aktif biçimde yer alarak yeni dijital finansal peyzajda önemli bir rol üstlenmeye hazırlanmaktadır. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) 2022'de Dijital Türk Lirası Projesi'ni başlatmış ve aynı yılın sonunda ilk pilot ödeme işlemlerini başarıyla gerçekleştirmiştir. Projenin birinci fazı 2023'ün sonlarına doğru tamamlanmış; Faz 2'de ise olası yaygınlaştırmanın

hukuki, iktisadi ve güvenlik boyutlarına odaklanan çalışmalar sürmektedir. Türkiye'nin Project mBridge'de gözlemci statüsünde bulunması da dünyanın en gelişmiş çoklu-wCBDC platformlarından birinin geliştirilmesini yakından izleme imkânı sağlayarak bu stratejik konumlanmayı güçlendirmektedir [9]. Türkiye'nin Project mBridge'de gözlemci statüsünde bulunması da dünyanın en gelişmiş çoklu-wCBDC platformlarından birinin geliştirilmesini yakından izleme imkânı sağlayarak bu stratejik konumlanmayı güçlendirmektedir [64], [94].

Bu stratejik tercih, mevcut sınır ötesi ödeme sisteminin yapısal sorunlarıyla doğrudan ilişkilendirilmelidir. Muhabir bankacılık ağının çok katmanlı yapısı; yüksek işlem maliyetleri, düşük hız, şeffaflık eksikliği ve karşı taraf riski üretmektedir. Buna karşılık, küresel ortalama havale maliyetinin yaklaşık %6,35 düzeyinde olması, özellikle gelişmekte olan piyasalar için ciddi bir refah kaybına işaret eder. Bu rapor, bankaları yabancı para cinsinden nostro hesaplarında atıl likidite tutmaya zorlayan "ön fonlama (pre-funding)" gereksiniminin sermaye verimsizliği yarattığını; Türkiye gibi dış ticaret hacmi yüksek ülkeler için bunun milyarlarca dolarlık fırsat maliyetlerine yol açtığını savunmaktadır [2], [60], [107].

Bu noktada, wCBDC'nin rekabetçilik potansiyelini güçlendiren iki teknik mekanizma öne çıkmaktadır. Birincisi, temelde mesajlaşma altyapısına dayanan ve mutabakatı/mutabakatı muhabir bankalar zinciri üzerinden gerçekleştiren geleneksel SWIFT-tabanlı modelin yarattığı gecikme ve maliyet yüküdür. İkincisi ise "atomik takas (atomic swap)" ve ödeme-karşılığı-ödeme (PvP) yaklaşımıdır. Eş-zamanlı ödeme ve teslim mantığı, akreditif gibi pahalı ve yavaş ticaret finansmanı araçlarına bağımlılığı azaltarak Türk ihracatçılarına doğrudan hız ve maliyet avantajı sağlar. Bu tür bir verimlilik artışı, KOBİ'lerin mikro-ihracat kapasitesini güçlendirerek ihracat tabanının genişlemesine dolaylı katkı da sunabilir [3], [56], [103], [104], [108].

Türkiye'nin jeopolitik ve dijital altyapı hedefleri, finansal entegrasyonla yakından bağlantılıdır. Bu rapor, Orta Koridor'un artan stratejik önemini dikkate alırken; finansal uzlaştırmının yavaş temposunun lojistik akışların hızını sınırlayabileceğini de vurgular. Bu nedenle Türk Devletleri Teşkilatı bünyesindeki Merkez Bankaları Konseyi ve 2024 Bişkek Mutabakatı, üye ülkeler arasında ödeme sistemleri ve finansal teknolojiler alanında daha yakın iş birliği için kurumsal bir zemin sağlayacaktır. Bu bağlamda, wCBDC'nin TDT içinde yerel para birimleriyle ticareti ve dijital gümrük süreçlerini destekleyen bir "ödeme katmanına dönüştürülmesi, bölgesel bir ekonomik blok vizyonunu güçlendirebilir [109], [110], [111].

Türkiye'nin AB ile Asya'ya eşzamanlı entegrasyon hedefi de bu çerçevenin bir parçası olmalıdır. AB bağlamında, Dijital Euro'nun toptan versiyonu ile uyumluluk ve birlikte çalışabilirlik ihtiyacı önceliklidir; ISO 20022 standardının benimsenmesi ise kritik bir teknik eşik olarak görülmektedir. Asya'da ise Project mBridge'in, muhabir bankalara ihtiyaç olmaksızın merkez bankaları üzerinden sınır ötesi ödemelerin yapılabileceğini göstermesi; Türkiye'nin benzer çoklu-CBDC mimarileriyle uyumlanma çabaları için güçlü bir referans noktasıdır [17], [18], [112].

Parasal egemenlik perspektifinden bakıldığında, merkezi küresel ödeme ağlarının dış politika araçlarına dönüştürülebilmesi riski belirleyicidir. Bu rapor, "bağımlılığın silahlandırılması (weaponization of interdependence)" tartışmasını hatırlatarak; yerli bir wCBDC altyapısının, alternatif ve sansüre

dayanıklı koridor kapasitesi sayesinde Türkiye için stratejik bir “sigorta” işlevi görebileceğini öngörmektedir. Bu çerçevede veri egemenliği ve siber dayanıklılık da dikkate alındığında, yerli bir CBDC’nin daha sistematik bir vergi adaleti için elverişli temel koşulları oluşturacağı ve bunun sosyal refahı artırıcı etkilere dönüşebileceği ileri sürülmektedir [113], [114], [115], [116].

Türk lirasının teşviki açısından, teknik olarak yerel para cinsinden mutabakatı mümkün kılan wCBDC’nin PvP mekanizması, Merkez Bankası’nın parasal piyasalarda daha etkili bir aktör olmasına imkân tanır. USD ve EUR ağırlıklarının şirketleri kur riski ve konvertibilite maliyetlerine maruz bıraktığı bir yapıda, Dijital TRY ile diğer dijital paralar arasında eşzamanlı takaslar hem maliyetleri azaltabilir hem de dolarizasyon baskılarını sınırlayabilir. Bu nedenle, stablecoin’lerin yaygınlaşmasının “dijital dolarizasyon” riskini artırdığı; güvenli ve programlanabilir bir Dijital Türk Lirası’nın kamuya ait bir alternatif olarak para politikasının etkinliğini korumaya katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir [17], [18], [94], [116], [117].

Bu vizyonun hayata geçirilmesi, TCMB’nin iki fazlı Dijital Türk Lirası yol haritasında şimdiden görünür hale gelmektedir. Faz 1’de temel ödemeler ve kimlik doğrulama test edilirken; Faz 2’de akıllı ödemeler, çevrimdışı (offline) senaryolar ve Aselsan, Havelsan ve TÜBİTAK gibi paydaşlarla birlikte çalışabilirlik girişimleri genişletilmiştir. Burada ele aldığımız altı stratejik hedef, dört ana sütun altında toplanmaktadır: ekonomik verimlilik, bölgesel liderlik, ulusal güvenlik ve finansal inovasyon. Dolarıyla Türkiye’nin wCBDC projesi, yeni parasal düzende çok kutuplu ve bölgesel CBDC bloklarına evrilen dinamikler içinde hem ekonomik hem de jeopolitik manevra kabiliyetini genişletebilecek bir kapasite inşa girişimi olarak değerlendirilebilir [9], [104], [106], [110], [118], [119], [120].

Sonuç olarak, Türkiye açısından bir wCBDC platformu yalnızca teknolojik bir yükseltme değildir; çeşitli ulusal hedeflerin gerçekleştirilmesine katkı sağlayabilecek stratejik bir devlet aygıtıdır.

- **Rekabetçiliğin Artırılması:** Sınır ötesi ödemelerin süresini ve maliyetini radikal biçimde düşürerek, wCBDC sistemi Türkiye’nin kritik ihracat ve ithalat sektörlerine doğrudan rekabet avantajı sağlayabilir [64], [94], [121].
- **Finansal Entegrasyonun Derinleştirilmesi:** Platform; Avrupa, Asya ve Orta Doğu’daki temel ticaret ortaklarıyla ve Türk Devletleri ile daha güçlü ve verimli finansal bağlantılar kurmak için kullanılabilir; böylece daha entegre bir ekonomik blok oluşumu desteklenebilir [28], [110].
- **Parasal Egemenliğin Artırılması:** SWIFT ağına alternatif güvenli ve etkin bir ödeme kanalının geliştirilmesi, Türkiye’ye alternatif ödeme kanalları sağlayarak ekonomik dayanıklılığı güçlendirebilir ve tek bir altyapı sağlayıcısına bağımlılığı azaltabilir.[114], [115], [116].
- **Türk Lirasının Teşviki:** wCBDC platformu, partner ülkelerle doğrudan Türk lirası üzerinden mutabakata bağlanan ticareti kolaylaştırarak ekonominin yabancı paralara bağımlılığını azaltabilir ve Türk işletmeleri için kur risklerini hafifletebilir [9], [18], [117].
- **Jeostratejik Konumlanma:** Kıtalar arasında köprü niteliğindeki özgün coğrafi konumundan yararlanarak Türkiye, yükselen dijital ticaret koridorları ağında merkezi bir düğüm olmayı hedefleyebilir; böylece bölgesel ve küresel ticarete kilit aktör rolünü pekiştirebilir [9], [12], [48], [109], [115].

Tablo 13: Türkiye için Önerilen wCBDC Benimsenme Zaman Çizelgesi

Faz	Ana Faaliyetler	2026 Q3	2026 Q4	2027 Q1	2027 Q2	2027 Q3	2027 Q4	2028 Q1
Teknik Değerlendirme	DLT platformlarını değerlendirme, ticari bankalarla yerli pilotlar yürütme ve API standartları geliştirme.	■	■	■				
Düzenleyici Uyum	Dijital Lira için birincil ve ikincil mevzuat taslakları, FATF standartlarıyla uyum ve akıllı sözleşmeler için hukuki çerçeve oluşturma.			■	■	■		
mBridge Üyeliği	Project mBridge’de gözlemci-den tam katılımcıya geçiş ve yerli sistemleri mBridge defteriyle entegre etme.						■	■

Yol haritası güçlendirmesi (uygulamaya hazır): Tablo 13 üst düzey zaman çizelgesini sunmaktadır. Aşağıdaki Tablo 14 ise planı uygulanabilir ve izlenebilir kılmak için somut çıktıları, bağımlılıkları ve hesap verebilir sorumluları eklemektedir.

Tablo 14: Türkiye'nin wCBDC Programı için Uygulamaya Hazır Yol Haritası (Fazlar, Çıktılar, Bağımlılıklar, Sorumlular, Kapılar)

Faz	Çıktılar (üretilenler)	Temel Bağımlılıklar	Sorumlu(lar)	Sonraki Faza Geçiş Kapısı
Teknik değerlendirme	DLT platform kısa listesi; testnet ortamı; API/mesaj spesifikasyonu v1; katılımcı onboarding kiti.	ISO 20022 eşlemesi; katılımcı bankaların hazırlığı; güvenli anahtar saklama tasarımı.	TCMB + seçili bankalar + operatör ekibi	Uçtan uca testnet mutabakatının başarıyla tamamlanması + temel DR tatbikatı
Düzenleyici uyum	Taslak kural kitabı; mutabakat kesinliği tanımı; sorumluluk tahsisi; veri yönetişimi politikası; uyum işletim modeli.	AML otoritesi ve veri koruma gereklilikleriyle koordinasyon; koridor MoU taslağı.	TCMB + düzenleyiciler + hukuk görev gücü	Pilot koridor için hukuki onay + denetlenebilirlik gerekliliklerinin karşılanması
mBridge katılımı (örnek)	Teknik entegrasyon planı; düğüm (node) gereksinimleri; koridor kapsam önerisi; yönetişime katılım planı.	Üyelik kriterleri; ikili/çok taraflı anlaşmalar; operasyonel hazırlık.	TCMB + katılımcı bankalar	Koridor kapsamının onaylanması + başarılı birlikte çalışabilirlik testi

SONUÇ DEĞERLENDİRMESİ

Merkez Bankası Dijital Paraları (CBDC'ler), yalnızca teorik kavramlar olmaktan çıkarak aktif deney ve pilotlama alanlarına dönüşmüştür. Bu raporda incelenen bulgular, toptan CBDC (wCBDC) platformlarının sınır ötesi mutabakat süreçlerini modernize etmek için son derece inandırıcı seçenekler olduğunu göstermektedir. Dağıtık defter teknolojisi (DLT) üzerine inşa edilen; dikkatle tasarlanmış erişim protokolleri ve yönetim çerçeveleriyle desteklenen bu platformlar, muhabir bankacılık sistemlerinde kökleşmiş sürtünmeleri azaltma potansiyeline sahiptir. Bu sürtünmeler; mutabakat gecikmeleri, uzlaştırma karmaşıklıkları, opak ücret yapıları ve ön fonlanmış nostro/vostro hesaplarında likiditenin kilitlenmesi gibi unsurları içerir. Ayrıca akıllı sözleşmelerin mümkün kıldığı programlanabilirlik özellikleri, atomik teslim-karşılığı-ödeme (DvP) ve ödeme-karşılığı-ödeme (PvP) mekanizmalarını destekleyerek faydayı önemli ölçüde artırır. Bu özellikler, otomatik uyum prosedürlerini kolaylaştırır ve finansal piyasa altyapıları içinde uçtan uca yenilikçi işlem iş akışlarının önünü açar.

Bununla birlikte rapor, teknik olarak mümkün olmanın yalnızca başlangıç olduğunu hatırlatır; gerçek başarı vizyon, kararlılık ve olasılığın ötesine geçme iradesi gerektirir. Birlikte çalışabilirlik (interoperability), pilotların ötesinde ölçekleme girişimleri için temel kısıt olmaya devam etmektedir. İlerleme; mesajlaşma ve veri değişimi için standart protokollerin (uygun olduğunda ISO 20022'nin pratik benimsenmesi dahil) tesis edilmesine, güçlü kimlik ve erişim yönetimi (IAM) sistemlerinin uygulanmasına ve farklı yargı alanları arasında kural koyma, sistem yükseltmeleri ve uyumsuzluk çözümünü koordine edebilecek yönetim çerçevelerine bağlıdır. Operasyonel açıdan birlikte çalışabilirlik, tek bir ara yüz etrafında değil; raporda tartışılan uyumlu DLT platformları, birbirine bağlı defterler (interconnected ledgers) ve paylaşılan mutabakat katmanları gibi bir model spektrumu boyunca şekillenir. Bu modeller, ulusal egemenliği korurken sınır ötesi koordinasyonu kolaylaştırmayı hedefler. Bu arayüzler için inandırıcı yönetim mekanizmaları olmadan, yaygın wCBDC mimarilerinin avantajları kapalı ağlarla sınırlı kalır.

Operasyonel risk yüzeyi de paralel biçimde genişlemektedir. Kavram kanıtlarından üretim-düzeyi sistemlere geçiş; kanıtlanabilir ölçeklenebilirlik, mevcut RTGS ve ödeme raylarıyla (payment rails) dayanıklı entegrasyon ve savunma-derinlikli (defense-in-depth) siber güvenlik gerektirir. Platform tasarımı; hizmet engelleme ve DDoS dahil gelişmiş erişilebilirlik saldırılarını öngörmeli, kriptografik anahtar yönetimini ve donanım güvenlik modülü (HSM) uygulamalarını güçlendirmeli ve test edilmiş felaket kurtarma (DR) prosedürleri ile hizmet seviyesi anlaşmaları (SLA'lar) tarafından desteklenen net kurtarma hedeflerini (RTO/RPO) içermelidir. Ayrıca kuantum riski olgunlaştıkça, kuantuma dayanıklı kriptografi (PQC) planlaması ve kripto-çeviklik (crypto-agility) ihtiyari iyileştirmeler olmaktan çıkarak ihtiyati gerekliliklere dönüşmektedir. Yazılım malzeme listesi (SBOM) uygulamaları ve üçüncü taraf risk kontrolleri gibi tedarik zinciri güvencesi de güvenin sürdürülmesi için aynı ölçüde merkezidir.

Makro-finance ve jeopolitik dinamikler tüm tasarım kararlarını temel düzeyde etkiler. Verimlilik, parasal egemenlik, yaptırım maruziyeti, veri yerelleştirme ve ağ liderliği gibi rekabet eden stratejik

hedeflerin peşinden gitmek; birlikte çalışamaz sistemlerden oluşan parçalı bir ekosistem riskini artırır. En olası başarısızlık modu teknolojik bir arıza değil; koordinasyonun çökmesidir. Bu durum, mevcut sürtünmeleri yeni teknik biçimler altında yeniden üreten ve bölgesel blokları potansiyel olarak güçlendiren bir “dijital adalar” manzarası yaratabilir. Bu senaryonun önlenmesi; standartlar, yönetim ve hukuki birlikte çalışabilirlik üzerinde emsalsiz bir uluslararası iş birliğini ve tek bir otoritede siyasi kontrolün yoğunlaşmasını engellerken modüler katılımı mümkün kılan bilinçli mimari stratejileri gerektirir.

Küresel yeniden-mimari kurma çabası içinde Dijital Türk Lirası, yalnızca teknolojik bir yükseltme değil; devlet kapasitesine yapılan bir yatırım olarak görülmelidir. Türkiye için stratejik önem, ödeme sürekliliğini güvence altına alma, programlanabilir kontrol imkânı sağlama ve ticaret mutabakatını ve ticaret koridoru çeşitlendirmesini kolaylaştıracak dış bağlantıya sahip güvenilir bir altyapı kurma gibi iç dayanıklılık unsurlarının bütünleştirilmesinden kaynaklanır. Pratik bir yaklaşım; büyük ölçekli yaygınlaştırmadan önce, bankalar arası ve ticaret ilişkili mutabakat gibi net kamu faydası üreten wCBDC kullanım alanlarını, döviz (FX) mutabakat riskini azaltan eşler arası (PvP) mekanizmaları ve seçilmiş ortaklarla hedefli koridor pilotlarını önceliklendirmeyi içerir. Uygun olduğunda ISO 20022 uyumluluğu dahil uluslararası teknik standartlara bağlı kalmak ve mBridge benzeri çoklu-CBDC mimarilerini araştırmak; esnekliği artırabilir, tekil koridorlara bağımlılığı azaltabilir ve Türk Devletleri Teşkilatı içinde platform geliştirme potansiyeli de dahil olmak üzere raporda vurgulanan bölgesel liderlik hedeflerini destekleyebilir.

Sonuç olarak wCBDC’ler, özellikle teknolojik ilerlemelerin mümkün kıldığı kurumsal inovasyonlar olarak değerlendirilmelidir. Avantajları yalnızca defterin tasarımına değil; aynı zamanda yönetim çerçevelerine, standardizasyon süreçlerine ve uygulama stratejilerinin inandırıcılığına güçlü biçimde bağlıdır. Önümüzdeki dönem kritik olacaktır: denemeleri disiplinli biçimde yürüten, birlikte çalışabilir mimarileri tasarımın içine yerleştiren, açık API’ler ve paydaş teşvikleriyle ekosistem gelişimini destekleyen ve stratejik koalisyonlar kuran merkez bankaları; verimlilik kazanımlarını elde ederken parasal egemenliği koruma, finansal istikrarı güvence altına alma ve kamu güvenini sürdürme bakımından en iyi konumda olacaktır.

KAPSAM NOTU

Bu rapor, mevcut literatüre ve kamuya açık birincil kaynaklara dayanarak Merkez Bankası Dijital Paraları (CBDC'ler) ve toptan CBDC'lere (wCBDC'ler) ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Analizin stratejik niteliğini korumak amacıyla, seçili alanlar sonraki revizyonlarda daha da derinleştirilmeye açık bırakılmıştır; bunlar arasında Project mBridge'in köprüleme/bağlantılama (bridging/interlinking) yaklaşımı ile Project Agora'nın birleşik-defter (unified-ledger) yaklaşımı arasındaki kavramsal ayrımın keskinleştirilmesi; mahremiyet, uyum ve performans ödünleşimlerine ilişkin nicel kanıtın özellikle kuantuma dayanıklı kriptografik tasarım tercihlerinin (throughput) ve gecikme (latency) üzerindeki etkileri bakımından daha görünür ve ölçülebilir şekilde sunulması; Türkiye odaklı değerlendirmede Türk Devletleri Teşkilatı Merkez Bankaları Konseyi gibi güncel jeostratejik vektörlerin stratejik öneminin daha net bir politika çerçevesiyle gerekçelendirilmesi; ve Dijital Türk Lirası Faz 2'de yer alan çevrimdışı ödemeler ve programlanabilirlik temalarının, uygulamaya hazırlığı güçlendirecek teknik ve yönetim ayrıntılarıyla genişletilmesi yer alır. Bu rapor, herhangi bir kurumun resmî görüşünü temsil etmez. Proje durumları ve düzenleyici çerçeveler zaman içinde evrilebileceğinden, okuyucuların bu analizle birlikte ilgili birincil kaynakları da incelemesi önerilir. Bu doküman analitik ve politika-tasarımı amaçlıdır ve resmî proje ve düzenleyici güncellemelerle birlikte okunmalıdır.

REFERANSLAR

- [1] "World Bank, Global Economic Prospects," Jan. 2024. Accessed: Nov. 25, 2025. [Online]. Available: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/0245342f-38cd-4a7a-9936-35368744555d/content>
- [2] FSB, "Enhancing Cross-border Payments: Stage 1 report to the G20," 2020, Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: www.fsb.org/emailalert
- [3] "BIS Innovation Hub work on central bank digital currency," Feb. 2021, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.bis.org/about/bisih/topics/cbdc.htm>
- [4] "Central Bank Digital Currency Tracker - Atlantic Council." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.atlanticcouncil.org/cbdctracker/>
- [5] A. Di Iorio, A. Kosse, and I. Mattei, "BIS Papers No 147 Embracing diversity, advancing together- results of the 2023 BIS survey on central bank digital currencies and crypto," 2024, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: www.bis.org
- [6] "Chapter III. Blueprint for the Future Monetary System: Improving the Old, Enabling the New." Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2023e3.pdf>
- [7] D. Duffie *et al.*, "Digital Currencies and Fast Payment Systems: Disruption is Coming," 2019.
- [8] C. da S. Robusti, A. B. A. Avelar, M. C. Farina, and C. A. Gananca, "Blockchain and smart contracts: transforming digital entrepreneurial finance and venture funding," *Journal of Small Business and Enterprise Development*, vol. 32, no. 3, pp. 739–761, Aug. 2025, doi: 10.1108/JSBED-12-2023-0584.
- [9] M. M. Aşkaroğlu, E. Karayel, B. K. Öz, and A. S. Tunalı, "Digital Turkish Lira: Benefits and Opportunities," Central Bank of the Republic of Türkiye. Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://tcmbblog.org/wps/wcm/connect/blog/en/main+menu/analyses/digital+turkish+lira+bene-fits+and+opportunities>
- [10] G. Hartsink, "The evolution of money and payments: From commodity to digital," *Journal of Payments Strategy & Systems*, vol. 19, no. 3, p. 319, Sep. 2025, doi: 10.69554/RKRX8696.
- [11] International Monetary Found, "Central Bank Digital Currency-Progress and Further Considerations," Washington, D.C., Nov. 2024. Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.imf.org/en/publications/policy-papers/issues/2024/11/08/central-bank-digital-currency-progress-and-further-considerations-557194>
- [12] "Digital currencies, differing motives – Deutsche Bank." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://flow.db.com/cash-management/digital-currencies-differing-motives>
- [13] M. Swan, "Blockchain: Blueprint for a New Economy, Sebastopol, Calif.:O'Reilly Media.," 2015, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <http://book.itep.ru/depository/blockchain/blockchain-by-melanie-swan.pdf>
- [14] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," *SSRN Electronic Journal*, Aug. 2008, doi: 10.2139/SSRN.3440802.
- [15] S. Reno and M. M. Haque, "Solving blockchain trilemma using off-chain storage protocol," *IET Inf Secur*, vol. 17, no. 4, pp. 681–702, Jul. 2023, doi: 10.1049/ISE2.12124;JOURNAL:JOURNAL:17518717;CTYPE:STRING:JOURNAL.
- [16] K. Md Shafin and S. Reno, "Breaking the Blockchain Trilemma: A Comprehensive Consensus Mechanism for Ensuring Security, Scalability, and Decentralization," *IET Software*, vol. 2024, no. 1, p. 6874055, Jan. 2024, doi: 10.1049/2024/6874055.
- [17] "Project mBridge reached minimum viable product stage," Nov. 2024. Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: https://www.bis.org/about/bisih/topics/cbdc/mcbdc_bridge.htm
- [18] I. Hub - Hong Kong, "Connecting economies through CBDC Project mBridge," 2022.
- [19] "Project Agora: exploring tokenisation of cross-border payments," Sep. 2024, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.bis.org/about/bisih/topics/fmis/agora.htm>

- [20] Z. Wang, L. Yu, and L. Zhou, "Navigating the Blockchain-Driven Transformation in Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Economic and Management Innovations," *Journal of the Knowledge Economy*, vol. 16, no. 1, pp. 3507–3549, Jun. 2024, doi: 10.1007/S13132-024-02007-7/TABLES/4.
- [21] S. Mssassi and A. Abou El Kalam, "The Blockchain Trilemma: A Formal Proof of the Inherent Trade-Offs Among Decentralization, Security, and Scalability," *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, Page 19, vol. 15, no. 1, p. 19, Dec. 2024, doi: 10.3390/APP15010019.
- [22] Y. Liu, Q. Lu, G. Yu, H. Y. Paik, and L. Zhu, "Defining blockchain governance principles: A comprehensive framework," *Inf Syst*, vol. 109, p. 102090, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.IS.2022.102090.
- [23] K. Hsien *et al.*, "A Comparative Study of Blockchain Consensus Algorithms," *J Phys Conf Ser*, vol. 1437, no. 1, p. 012007, Jan. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1437/1/012007.
- [24] M. Esmaili and K. Christensen, "Performance Modeling of Public Permissionless Blockchains: A Survey," *ACM Comput Surv*, vol. 57, no. 7, Feb. 2025, doi: 10.1145/3715094;CSUBTYPE:STRING:JOURNAL;SERIALTOPIC:TOPIC:ACM-PUBTYPE.
- [25] J. Y. Lee, "A decentralized token economy: How blockchain and cryptocurrency can revolutionize business," *Bus Horiz*, vol. 62, no. 6, pp. 773–784, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.BUSHOR.2019.08.003.
- [26] Z. Wang, Q. Chen, and L. Liu, "Permissioned Blockchain-Based Secure and Privacy-Preserving Data Sharing Protocol," *IEEE Internet Things J*, vol. 10, no. 12, pp. 10698–10707, Jun. 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3242959.
- [27] Y. Bakos and H. Halaburda, "Permissioned vs Permissionless Blockchain Platforms: Tradeoffs in Trust and Performance," *SSRN Electronic Journal*, Feb. 2021, doi: 10.2139/SSRN.3789425.
- [28] B. C. Ghosh, T. Bhartia, S. K. Addya, and S. Chakraborty, "Leveraging public-private blockchain interoperability for closed consortium interfacing," *Proceedings - IEEE INFOCOM*, vol. 2021-May, May 2021, doi: 10.1109/INFOCOM42981.2021.9488683.
- [29] X. Chen, S. He, L. Sun, Y. Zheng, and C. Q. Wu, "A Survey of Consortium Blockchain and Its Applications," *Cryptography* 2024, Vol. 8, Page 12, vol. 8, no. 2, p. 12, Mar. 2024, doi: 10.3390/CRYPTOGRAPHY8020012.
- [30] F. Xiang, W. Huaimin, S. Peichang, O. Xue, and Z. Xunhui, "Jointgraph: A DAG-based efficient consensus algorithm for consortium blockchains," *Softw Pract Exp*, vol. 51, no. 10, pp. 1987–1999, Oct. 2021, doi: 10.1002/SPE.2748;CTYPE:STRING:JOURNAL.
- [31] R. Pass and E. Shi, "Hybrid Consensus: Efficient Consensus in the Permissionless Model," *Cryptology ePrint Archive*, 2016, Accessed: Nov. 25, 2025. [Online]. Available: <https://eprint.iacr.org/2016/917>
- [32] N. Stifter, A. Judmayer, P. Schindler, A. Zamyatin, and E. Weippl, "Agreement with Satoshi – On the Formalization of Nakamoto Consensus," *Cryptology ePrint Archive*, 2018, Accessed: Nov. 25, 2025. [Online]. Available: <https://eprint.iacr.org/2018/400>
- [33] R. Pass and E. Shi, "Rethinking Large-Scale Consensus," *Proceedings - IEEE Computer Security Foundations Symposium*, pp. 115–129, Sep. 2017, doi: 10.1109/CSF.2017.37.
- [34] W. Li, S. Andreina, J. M. Bohli, and G. Karame, "Securing proof-of-stake blockchain protocols," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 10436 LNCS, pp. 297–315, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-67816-0_17/FIGURES/2.
- [35] C. T. Nguyen, D. T. Hoang, D. N. Nguyen, D. Niyato, H. T. Nguyen, and E. Dutkiewicz, "Proof-of-Stake Consensus Mechanisms for Future Blockchain Networks: Fundamentals, Applications and Opportunities," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 85727–85745, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2925010.
- [36] V. Bachani and A. Bhattacharjya, "Preferential Delegated Proof of Stake (PDPoS)—Modified DPoS with Two Layers towards Scalability and Higher TPS," *Symmetry* 2023, Vol. 15, Page 4, vol. 15, no. 1, p. 4, Dec. 2022, doi: 10.3390/SYM15010004.
- [37] S. M. S. Saad, R. Z. R. M. Radzi, and S. H. Othman, "Comparative Analysis of the Blockchain Consensus Algorithm between Proof of Stake and Delegated Proof of Stake," *2021 International Conference on Data Science and Its Applications, ICoDSA 2021*, pp. 175–180, 2021, doi: 10.1109/ICODSA53588.2021.9617549.
- [38] Y. Jiang and Z. Lian, "High performance and scalable byzantine fault tolerance," *Proceedings of 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, ITNEC 2019*, pp. 1195–1202, Mar. 2019, doi: 10.1109/ITNEC.2019.8728972.

- [39] W. Li, C. Feng, L. Zhang, H. Xu, B. Cao, and M. A. Imran, "A Scalable Multi-Layer PBFT Consensus for Blockchain," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 32, no. 5, pp. 1146–1160, May 2021, doi: 10.1109/TPDS.2020.3042392.
- [40] O. Onireti, L. Zhang, and M. A. Imran, "On the viable area of wireless practical byzantine fault tolerance (PBFT) blockchain networks," *Proceedings - IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM*, 2019, doi: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013778.
- [41] E. Carvalho Silva and M. Mira da Silva, "Central Bank Digital Currency: A Multivocal Literature Review," *Journal of Internet and Digital Economics*, vol. 5, no. 1, pp. 51–69, Aug. 2025, doi: 10.1108/JIDE-03-2024-0013.
- [42] S. Allen *et al.*, "Design Choices for Central Bank Digital Currency: Policy and Technical Considerations," Aug. 2020, doi: 10.3386/W27634.
- [43] Q. Yao, "A systematic framework to understand central bank digital currency," *Science China Information Sciences*, vol. 61, no. 3, pp. 033101–, Mar. 2018, doi: 10.1007/S11432-017-9294-5/METRICS.
- [44] "China's digital RMB transactions top 14.2 trillion yuan." Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: https://english.www.gov.cn/archive/statistics/202510/29/content_WS6901a9c9c6d00ca5f9a0726a.html
- [45] R. Auer and R. Böhme, "The Technology of Retail Central Bank Digital Currency," Mar. 01, 2020. Accessed: Nov. 25, 2025. [Online]. Available: <https://papers.ssrn.com/abstract=3561198>
- [46] K. Bear, P. Vertex, B. Zhang, H. Hussain, and H. Coelho, "Wholesale central bank digital currencies: approaches, implementation strategies and use cases," Dec. 2024.
- [47] E. Central Bank, "ESCB Legal Conference 2020", doi: 10.2866/37958.
- [48] S. Shirai, "Money and central bank digital currency," 2019, Accessed: Nov. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.econstor.eu/handle/10419/222689>
- [49] "CBDCs: where do we stand in Europe? – Deutsche Bank." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://flow.db.com/cash-management/cbdc-where-do-we-stand-in-europe>
- [50] L. V. Schumacher, "Architecting a Wholesale CBDC," *Decoding Digital Assets*, pp. 313–334, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-54601-3_16.
- [51] R. Auer, P. Haene, and H. Holden, "Multi-CBDC arrangements and the future of cross-border payments," 2021, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: www.bis.org
- [52] "Asset Tokenization in Financial Markets | World Economic Forum." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.weforum.org/publications/asset-tokenization-in-financial-markets-the-next-generation-of-value-exchange/>
- [53] B. Egelund-Müller, M. Elsmann, F. Henglein, and O. Ross, "Automated Execution of Financial Contracts on Blockchains," *Business & Information Systems Engineering* 2017 59:6, vol. 59, no. 6, pp. 457–467, Nov. 2017, doi: 10.1007/S12599-017-0507-Z.
- [54] M. Hamilton, "Blockchain distributed ledger technology: An introduction and focus on smart contracts," *Journal of Corporate Accounting and Finance*, vol. 31, no. 2, pp. 7–12, Apr. 2020, doi: 10.1002/JCAF.22421;ISSUE:ISSUE:DOI.
- [55] A. C. Serban and M. D. Lytras, "Artificial intelligence for smart renewable energy sector in europe - Smart energy infrastructures for next generation smart cities," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 77364–77377, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2990123.
- [56] "Bank for International Settlements, BIS Annual Economic Report 2024," Jun. 2024. Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2024e.pdf>
- [57] "Project Agora Counters Stablecoins With Programmable Fiat." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.pymnts.com/cryptocurrency/2025/project-agora-bank-consortium-could-rewire-cross-border-payments-sideline-stablecoins/>
- [58] H. Leinonen, "Wholesale central bank digital currency vs traditional real-time gross settlement: Benefits beyond a new acronym?"
- [59] M. Bech, C. Boar, D. Eidan, P. Haene, H. Holden, and W. K. Toh, "Using central bank digital currencies across borders: Lessons from practical experiments".
- [60] D. A. Zetsche, L. Anker-Sørensen, M. L. Passador, and A. Wehrli, "DLT-based enhancement of cross-border payment efficiency—a legal and regulatory perspective," *Law and Financial Markets Review*,

vol. 15, no. 1–2, pp. 70–115, Apr. 2021, doi: 10.1080/17521440.2022.2065809;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER.

[61] T. Moenjak, "Central Bank Digital Currency (CBDC): Concepts, Wholesale and Cross-Border CBDC," *Central Banking at the Frontier*, pp. 241–267, Sep. 2024, doi: 10.1108/978-1-83797-130-520241014.

[62] R. Townsend, T. Mancini Griffoli, T. Adrian, F. Grinberg, and N. Zhang, "A Multi-Currency Exchange and Contracting Platform," *IMF Working Papers*, vol. 2022, no. 217, p. 1, Nov. 2022, doi: 10.5089/9798400224188.001.

[63] G. Shabsigh, T. Khiaonarong, and H. Leinonen, "Distributed Ledger Technology Experiments in Payments and Settlements," *FinTech Notes*, vol. 20, no. 01, Jun. 2020, doi: 10.5089/9781513536330.063.

[64] "Future of payments 2024 - OMFIF." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.omfif.org/fop2024/>

[65] P. Dunbar, "Project Dunbar - International settlements using multi-CBDCs," 2022.

[66] N. S. Awang Abu Bakar *et al.*, "The Central Bank Digital Currency in Malaysia: A Literature Review," *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 488, pp. 307–317, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-08090-6_18/FIGURES/1.

[67] A. Annathurai, N. Binti, A. Wahab, and N. Syafidah Binti Jamil, "A review on governance principles of cross-border Central Bank digital currency interoperability: A case study of Project Dunbar," *Journal of Governance and Integrity*, vol. 7, no. 2, pp. 813–819, Dec. 2024, doi: 10.15282/JGI.7.2.2024.11509.

[68] B. Innovation Hub, "Project Mariana: Cross-border exchange of wholesale CBDCs using automated market-makers," 2023.

[69] "Project Mariana: BIS and central banks of France, Singapore and Switzerland successfully test cross-border wholesale CBDCs," Sep. 2023, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.bis.org/about/bisih/topics/cbdc/mariana.htm>

[70] K. Gogol, J. Messias, M. Schlosser, B. Kraner, and C. Tessone, "Cross-border Exchange of CBDCs using Layer-2 Blockchain," Dec. 2023, Accessed: Nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2312.16193>

[71] M. Themistocleous, P. Rupino da Cunha, E. Tabakis, and M. Papadaki, "Towards cross-border CBDC interoperability: insights from a multivocal literature review," *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 36, no. 5, pp. 1296–1318, Aug. 2023, doi: 10.1108/JEIM-11-2022-0411.

[72] C. He, A. Milne, and M. Zachariadis, "Central Bank Digital Currencies and International Payments," May 17, 2022. Accessed: Nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://papers.ssrn.com/abstract=4112382>

[73] Y. Chu and N. S. Rathbun, "Monetary Sovereignty and Central Bank Digital Currencies: Competing Models for Future Cross-Border Payment Platforms," *Glob Policy*, vol. 16, no. 2, pp. 329–340, May 2025, doi: 10.1111/1758-5899.13495;JOURNAL:JOURNAL:17585899;ISSUE:ISSUE:DOI.

[74] B. of Israel, N. Bank, S. Riksbank, and the BIS Innovation Hub Nordic Centre, "Bank of Israel Sveriges Riksbank Breaking new paths in cross-border retail CBDC payments Project Icebreaker-Breaking new paths in cross border retail CBDC payments 2 Content," 2023.

[75] "Swift GPI | Swift." Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.swift.com/products/swift-gpi>

[76] D. Bundesbank, "Cross-border interoperability of central bank digital currency," 2022.

[77] Skorzewiak, "Targeted Update on Implementation of the FATF Standards on Virtual Assets and Virtual Asset Service Providers," 2007, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: www.fatf-gafi.org

[78] W. Gaviyau, A. B. Sibindi, W. Gaviyau, and A. B. Sibindi, "Global Anti-Money Laundering and Combating Terrorism Financing Regulatory Framework: A Critique," *Journal of Risk and Financial Management* 2023, Vol. 16, vol. 16, no. 7, Jun. 2023, doi: 10.3390/JRFM16070313.

[79] U. Anichebe, "Combating Money Laundering in an Age of Technology and Innovation," *SSRN Electronic Journal*, Jul. 2020, doi: 10.2139/SSRN.3627681.

[80] A. A. Khan *et al.*, "BAML: a decentralized approach to secure, privacy-preserving financial compliance for enhancing anti-money laundering with blockchain hyperledger and federated learning," *Peer-to-Peer Networking and Applications 2025 18:5*, vol. 18, no. 5, pp. 270–, Aug. 2025, doi: 10.1007/S12083-025-02086-6.

- [81] R. Autade, "AI Models for Real Time Risk Assessment in Decentralized Finance | Annals of Applied Sciences," *Annals of Applied Sciences*, vol. 2, Jun. 2021, Accessed: Dec. 05, 2025. [Online]. Available: <https://annalsofappliedsciences.com/index.php/aas/article/view/30>
- [82] V. Villanueva Collao, "Decentralized(?), But Far From Disorganized: A Comparative Analysis of Legal Wrappers and the Evolving Structure of DAOs," Feb. 2025, doi: 10.2139/SSRN.5143035.
- [83] G. A. Atiyah, A. I. Ibrahim, and A. A. Jasim, "Enforcement of smart contracts in cross-jurisdictional transactions," *International Journal of Law and Management*, 2024, doi: 10.1108/IJLMA-06-2024-0220/1250487.
- [84] B. Cœuré, "Project Helvetia Settling Tokenised Assets in Central Bank Money," Dec. 2020. Accessed: Dec. 05, 2025. [Online]. Available: https://www.snb.ch/dam/jcr:3b8ba5ae-7da8-4188-8607-c65faf3b0e85/project_helvetia_report.en.pdf
- [85] B. Innovation Hub, the Banque de France, and the Swiss National Bank, "Project Jura - Cross-Border Settlement Using Wholesale CBDC," Dec. 2021.
- [86] I. M. Fund. M. and C. M. Department, "Central Bank Digital Currency: Progress And Further Considerations," *Policy Papers*, vol. 2024, no. 052, Nov. 2024, doi: 10.5089/9798400293252.007.A001.
- [87] B. Innovation Hub, "Project Tourbillon: exploring privacy, security and scalability for CBDCs," 2023.
- [88] C. Vinuela and J. Sapena, "The Impact of Central Bank Digital Currency: How to Prevent Banking Disintermediation," *Transformations in Business & Economics*, vol. 23, no. 2, p. 36, 2024, doi: 10.13039/501100011033.
- [89] H. Yamaoka, "The Future of Central Banking," *Accounting, Economics and Law: A Convivium*, vol. 13, no. 2, pp. 103–132, May 2023, doi: 10.1515/AEL-2019-0003/XML.
- [90] A. Carstens and N. Nilekani, "Finternet: The Financial System for the Future," Apr. 2024. Accessed: Dec. 05, 2025. [Online]. Available: https://content.mlex.com/Attachments/2024-04-12_USMW6579QQK16C35%2Fwork1178_emb.pdf
- [91] G. Soderberg, "How Should Central Banks Explore Central Bank Digital Currency?," *Fintech Notes*, vol. 2023, no. 008, p. 1, Sep. 2023, doi: 10.5089/9798400253768.063.
- [92] C. Viñuela, J. Sapena, G. Wandosell, C. Viñuela, J. Sapena, and G. Wandosell, "The Future of Money and the Central Bank Digital Currency Dilemma," *Sustainability 2020, Vol. 12*, vol. 12, no. 22, pp. 1–21, Nov. 2020, doi: 10.3390/SU12229697.
- [93] E. Hentov and S. Mola, "The Geopolitics of Cross-Border CBDCs," 2024. Accessed: Dec. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.statestreet.com/web/insights/articles/documents/the-geopolitics-of-cross-border-cbdcs-whitepaper.pdf>
- [94] "Central banks' role in ring-fencing mBridge - OMFIF." Accessed: Dec. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.omfif.org/2024/12/central-banks-role-in-ring-fencing-mbridge/>
- [95] N. Sanghani and M. MacDonald, "The Future of Public Money: From Fiscal Fantasy to Reality," *Public Finance and Management*, vol. 23, no. 4, pp. 183–200, Dec. 2024, doi: 10.1177/15239721241300572.
- [96] P. K. Ozili, "Using Central Bank Digital Currency to Achieve the Sustainable Development Goals," pp. 143–153, Sep. 2023, doi: 10.1108/S1569-37592023000111C008.
- [97] T. Tunyathon Koonprasert, S. Kanada, N. Tsuda, and E. Reshidi, *Central Bank Digital Currency Adoption: Inclusive Strategies for Intermediaries and Users*. Washington, D.C.: International Monetary Fund, 2024. Accessed: Dec. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.bookstore.imf.org/books/central-bank-digital-currency-adoption-inclusive-strategies-for-intermediaries-and-users>
- [98] C. Catalini, W. Dai Li, A. de Gortari, and A. Lilley, "From Stablecoins to CBDCs: The Public Benefits of a Public-Private Partnership," *SSRN Electronic Journal*, Dec. 2021, doi: 10.2139/SSRN.3986192.
- [99] M. Ojo, "Balancing public-private partnerships in a digital age: CBDCs, central banks and technology firms," pp. 1–13, May 2021, Accessed: Dec. 05, 2025. [Online]. Available: https://mpa.ub.uni-muenchen.de/107868/1/MPRA_paper_107868.pdf
- [100] P. K. Ozili, "CBDC, Fintech and cryptocurrency for financial Inclusion and financial stability CBDC, Fintech and cryptocurrency for financial Inclusion and financial stability," *Digital Policy, Regulation and Governance Journal*, vol. 115768, Dec. 2023, Accessed: Dec. 05, 2025. [Online]. Available: <https://mpa.ub.uni-muenchen.de/115768/>

- [101] T. Tunzina *et al.*, "Blockchain-Based Central Bank Digital Currency: Empowering Centralized Oversight With Decentralized Transactions," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 192689–192709, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3517147.
- [102] D. K. C. Lee, L. Yan, and Y. Wang, "A global perspective on central bank digital currency," *China Economic J*, vol. 14, no. 1, pp. 52–66, Jan. 2021, doi: 10.1080/17538963.2020.1870279;JOURNAL:JOURNAL:RCEJ20;WGROU:STRING:PUBLICATION.
- [103] T. Mancini Griffoli and T. Adrian, "The Rise of Digital Money," *FinTech Notes*, vol. 2019, no. 001, p. 1, Jul. 2019, doi: 10.5089/9781498324908.063.
- [104] "Modernizing Financial Markets with Wholesale Central Bank Digital Currency," Apr. 2024. Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Modernizing_Financial_Markets_with_Wholesale_Central_Bank_Digital_Currency_2024.pdf
- [105] Q. Tang and Y.-W. Si, "Central Bank Digital Currencies: A Survey," Jul. 2025, Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2507.08880v1>
- [106] "Central Bank Digital Currencies for Cross-Border Payments," Washington DC, 2021. Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/369001638871862939/pdf/Central-Bank-Digital-Currencies-for-Cross-border-Payments-A-Review-of-Current-Experiments-and-Ideas.pdf>
- [107] J. Ekberg *et al.*, "Unlocking \$120 Billion Value In Cross-Border Payments," 2021. Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2021/nov/unlocking-120-billion-value-in-cross-border-payments.pdf>
- [108] "Project Rosalind Building API Prototypes for Retail CBDC Ecosystem Innovation," Jun. 2023. Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.bis.org/publ/othp69.pdf>
- [109] M. Amstad, B. Huang, P. J. Morgan, and S. Shirai, *Central Bank Digital Currency and Fintech in Asia*, First. Asidan Development Bank Institute, 2019. Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: www.adbi.org
- [110] "The Council of Central Banks of the member states of the Organization of Turkic States is established - The Central Bank of the Republic of Uzbekistan." Accessed: Dec. 06, 2025. [Online]. Available: https://cbu.uz/en/press_center/news/1941996/
- [111] D. Asfuroğlu, "Central Bank Digital Currency in an Emerging Market Economy: Case of the Central Bank of the Republic of Türkiye," *Current Research Social Sciences*, vol. 10, no. 1, pp. 62–74, 2024, doi: 10.30613/curesosc.1386985.
- [112] L. Dionysopoulos, M. Marra, and A. Urquhart, "Central bank digital currencies: A critical review," *International Review of Financial Analysis*, vol. 91, p. 103031, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.IRFA.2023.103031.
- [113] H. Farrell and A. L. Newman, "Weaponized Interdependence How Global Economic Networks Shape State Coercion," *Int Secur*, vol. 44, no. 1, pp. 42–79, Jul. 2019, doi: 10.1162/ISEC_A_00351.
- [114] M. Arewa, C. Scarpini, K. Megersa, B. Cooper, and A. Esser, "How Will Central Bank Digital Currencies (CBDCs) Influence Tax Administration in Developing Countries?," May 2024, doi: 10.19088/ICTD.2024.026.
- [115] D. W. Arner, K. Holdings, and R. P. Buckley, "Ukraine, Sanctions and Central Bank Digital Currencies: The Weaponization of Digital Finance and the End of Global Monetary Hegemony?,"
- [116] K. Murphy *et al.*, "Central Bank Digital Currency Data Use and Privacy Protection", doi: 10.5089/9798400287275.063.
- [117] M. Durdu, "Central Bank Digital Currencies: Implications for the Turkish Lira," *Ege Academic Review*, vol. 25, no. 4, pp. 641–656, Nov. 2025, doi: 10.21121/EAB.20250402.
- [118] "Dijital Türk Lirası Birinci Faz Değerlendirme Raporu," 2023.
- [119] "Dijital Türk Lirası İkinci Faz İlerleme Raporu," Nov. 2025.
- [120] N. Maryaningsih, S. Nazara, F. N. Kacaribu, S. M. Juhro, and B. Indonesia, "Central Bank Digital Currency: What Factors Determine its Adoption?," *Bulletin of Monetary Economics and Banking*, vol. 25, no. 1, p. 2022, 2022, doi: 10.21098/bemp.v25i1.1979.
- [121] U. Bindseil and G. Pantelopoulos, "Working Paper Series Towards the holy grail of cross-border payments", doi: 10.2866/333725.

