ARAŞTIRMA NOTU · KAMUYA AÇIK SÜRÜM

2026 · 11



YARARLI İŞ KANITI · KRİPTO × SİLİKON

Uzlaşı Olarak Hesaplama

Pearl'ün yararlı iş kanıtından başlayarak 2026'da yapay zekâ × kripto × çipler

Pearl · Yararlı iş · DePIN ve ajanlar · ASIC ekonomisi · Üretim düğümleri · Aşamalı bütçeler

HÜKÜM

Pearl, matris çarpımının bir blokzinciri güvence altına alabileceğini kanıtlıyor, ama işin yararlı olduğunu henüz kanıtlamıyor. Yapay zekâ × kripto genelinde ücretli talep çıkarımda, veride ve gizlilikte; bir ASIC ise yalnızca pastanın büyük, kuralların istikrarlı olduğu ve çipin ikinci bir pazarı bulunduğu yerde kazandırır.

Tan Shuai

Teknolog ve kurucu · Yapay zekâ araştırmacısı ve geliştiricisi

tanshuai.com · i@tanshuai.com

Veriler 13 Kasım 2026 itibarıyladır

Tutarlar ABD doları cinsindendir

İÇİNDEKİLER

İçindekiler



◆ **Yönetici özeti** — Teorem geçerli, teşvik değil — 04

01 **Kapsam ve yöntem** — Kapsam, yöntem ve dört test — 07

02 **Pearl · mekanizma** — Pearl: uzlaşı olarak matris çarpımı — 08

03 **Pearl · ekonomi** — Pearl: ölçek, emisyon ve yararlılık açığı — 10

04 **Pearl · kurallar** — Pearl: kural riski, sayısal ayrıntılar ve yönetişim — 12

05 **Yararlı iş zincirleri** — Yararlı iş zincirleri: ne matrisler ne de sıfır bilgi ASIC'leri durduruyor — 13

06 **Daha geniş manzara** — Yapay zekâ × kriptonun geri kalanı: gerçek ama küçük talep ve özsermayeye kayan değer — 16

07 **ASIC ekonomisi** — ASIC sorusu: bir formül, üç ölçüt — 18

08 **Çip çip** — Beş çip türü, beş yanıt — 21

09 **Üretim düğümleri** — Üretim düğümleri: seçimi en büyük ömür boyu maliyet yapsın — 24

10 **Aşamalı bir bütçe** — Modelden silikona: ilk çip için aşamalı bir bütçe — 28

11 **Fırsatlar** — Fırsatlar nerede ve ben ne yapardım — 30

12 **Göstergeler** — Kasım 2026'dan 2027'ye izlenecekler — 32

13 **Sorulacak sorular** — Sormadığınız ama sormanız gereken sorular — 33

◆ **Yazar hakkında** — Tan Shuai — 35

◆ **Kaynaklar** — 36

ŞEKİLLER

Şekiller



ŞEKİL 01	Altı sektörde yapay zekâ × kripto: ücretli talep nerede gerçek	06
ŞEKİL 02	Pearl'ün tamsayı işinde GPU'lar ortak bir enerji tavanını paylaşıyor	09
ŞEKİL 03	Pearl'ün ilk altı ayı: hash oranı fiyatı izliyor, kurallar değişiyor	11
ŞEKİL 04	Sübvansiyon çarpanı: bir ağ dış gelirin kaç katını ödüyor	15
ŞEKİL 05	Verimlilik neden kazandırmayı bırakır: ASIC gelirin en fazla 1 − 1/k'sini tutar	19
ŞEKİL 06	Pastaların çoğu tek bir çip tasarım bütçesinden küçük	20
ŞEKİL 07	Beş çip türü, beş yanıt	24
ŞEKİL 08	En ileri düğümde yonga plakası olgun düğümün on katı	25
ŞEKİL 09	Maskelerden önce kanıt satın alın: ilk çip için aşamalı bir bütçe	28

Metindeki etiketler

- **tahmin** — yazarın, kaynak gösterilen verilerden yaptığı hesap ya da çıkarım
- **satıcı beyanı** — ürünü satan şirket tarafından yayımlanmış, bağımsız olarak doğrulanmamış
- **analiz** — yazarın kanıtlara ilişkin yorumu

Bu metin İngilizce sürümün çevirisidir; aralarında farklılık olması hâlinde İngilizce sürüm esas alınır.

Veriler 13 Kasım 2026 itibarıyladır · Tutarlar ABD doları cinsindendir

YÖNETİCİ ÖZETİ

Teorem geçerli, teşvik değil

HÜKÜM

Pearl, "uzlaşı olarak hesaplama" fikrinin mühendislik olarak çalıştığını gösteriyor, ama henüz yararlı olduğunu göstermiyor.

≈90 EH/s
Pearl ağı, 13 Kasım 2026; bir H bir INT7 çarp-topla işlemidir

≈%1
Pearl bloklarının gerçek yapay zekâ işi taşıyan payı (Blockworks, 28 Ekim 2026)

≈70 mn $
Bittensor'ın yıllık doğrulanabilir dış geliri; buna karşı 300 milyon doları aşan emisyon

175–180×
2025'in 3. çeyreğinde Aleo'nun kanıtlayıcı ödüllerinin ücretlerine oranı

R × (1 – 1/k)
marjinal madenciden k kat ucuz bir ASIC'in kâr tavanı tahmin

≈1,5 mn $
N7'de bir model, bir FPGA ve bir MPW üzerinden ölçülmüş silikona ulaşmak için; ≈3,5 milyon dolarlık maske setinden önce tahmin

Pearl

13 Kasım 2026'da Pearl ağı yaklaşık 90 EH/s hızında çalışıyordu. Uzlaşı kodunda bir "hash" bir tamsayı çarp-topla işlemidir; dolayısıyla ağ, yaklaşık 122.000 H100'ün tamsayı işlem hacmine eşittir. Yine de blokların yalnızca yaklaşık %1'i gerçek yapay zekâ işi taşıyor ve kamuya açık tek çıkarım ortaklığı artık sağlayıcısının sunucusuz API'sinde sunulmuyor. Neden kriptografik değil, ekonomiktir: çıkarım hizmeti verirken madencilik yapan bir GPU, adanmış bir madencinin hash oranının yalnızca yaklaşık %1 ile %27'si kadarını elde eder; bu yüzden rasyonel madenciler rastgele matrisleri çarpar.

Ücretli talep

Yapay zekâ × kripto genelinde, doğrulanabilir ücretli talep üç yerde ortaya çıkıyor: çıkarım satmak, veri satmak ve gizlilik satmak. Bittensor'ın doğrulanabilir dış geliri yılda yaklaşık 70 milyon dolar; bunun yaklaşık beşte dördü hesaplama ve altyapı alt ağlarından geliyor. Grass, 2026'nın ilk yarısında 17 milyon dolarlık veri geliri bildiriyor. Güvenilir yürütme ortamlarında gizli çıkarım üretimde çalışıyor. Buna karşılık, gerçekten yapay zekâ ajanlarının başlattığı ödemeler ayda yaklaşık 5.000–11.000 dolar tutuyor; zkML ve merkeziyetsiz eğitim için ise henüz açıklanmış bir ücretli talep yok.

Sübvansiyon ve değer

Sübvansiyon çarpanı en dürüst sağlık göstergesidir. Aleo'nun kanıtlayıcı ödülleri ücretlerinin yaklaşık 175–180 katıydı; Bittensor'ın emisyonu doğrulanabilir gelirinin yaklaşık 4–11 katı; Render'ın piyasa değeri zincir üstü ücretlerinin yaklaşık 360 katı; Pearl'ün yılda kabaca 460 milyon dolarlık madenci geliri ise büyük ölçüde blok sübvansiyonudur ve ücretli yapay zekâ talebiyle neredeyse hiç bağlantısı yoktur. Sübvansiyon soğuk başlangıç için yakıttır, iş modeli değil. Bu arada değer token'lardan özsermayeye kayıyor: merkezî altyapı ve kriptoya özgü

dağıtım kullanan dört özsermaye şirketinin değeri yaklaşık 8,5 milyar dolar; bu, protokol ve uygulama katmanındaki yapay zekâ token'larının toplamıyla aşağı yukarı aynıdır.

ASIC'ler

Çipler açısından bir ASIC'in kâr tavanı kabaca birim hesaplama başına gelir çarpı (1 − 1/k)'dir; burada k, çipin marjinal donanımdan kaç kat ucuz olduğudur. Bu terim içbükey olduğundan k = 5–10'un ötesindeki verimlilik kâra neredeyse hiçbir şey eklemez; sonucu belirleyen, pastanın büyüklüğü, kuralların ne kadar süre dayandığı ve çipin ikinci bir pazarı olup olmadığıdır. Çip türüne göre yanıtlarım: şimdi adanmış bir INT7 Pearl çipi için tape-out yapmayın, bunun yerine madencilik de yapabilen, çıkarım öncelikli bir hızlandırıcıya oynayın; yeni bir oyuncu olarak ticari bitcoin madenci pazarından uzak durun; küçük bir ekip olarak bağımsız bir eğitim çipi yapmayın; bir müşteri imza attığında çıkarım çipleri yapın; ZK hızlandırıcılarında riskten korunun, FHE'de erkenden konumlanın.

Düğümler ve bütçeler

Üretim düğümü, çipin ömür boyu maliyetindeki en büyük kaleme göre seçilmelidir: kesintisiz çalışan çiplerde enerji, eğitim çiplerinde paketleme ve bellek, çıkarım çiplerinde SRAM-ya-da-HBM kararı. İlk çip ise aşamalar hâlinde satın alınmalıdır: bir model, bir FPGA, çok projeli bir yonga plakası ve ancak ondan sonra bir maske seti; böylece protokoldeki bir değişiklik bir tape-out'un değil, bir prototipin bedeline mal olur. Fırsatlar alanların kesiştiği yerde yatıyor: ilk müşteri olarak kripto, ikinci pazar olarak yapay zekâ.

Soru	Değerlendirme	Kilit rakamlar (kaynaklar bölümlerde)
① **Pearl çalışıyor mu ve işi yararlı mı?**	Çalışıyor: büyük ölçekte matris çarpımıyla güvence altına alınan bir blokzincir. Henüz yararlı değil: madenciliğin neredeyse tamamı rastgele matrisler üzerinde	13 Kasım 2026'da yaklaşık 90 EH/s; 1 H = 1 INT7 çarp-topla; blokların yaklaşık %1'i yapay zekâ işi taşıyor
② **Yapay zekâ × kriptoda gerçek ücretli talep nerede?**	Çıkarım, veri ve gizlilik. Ajan ödemeleri, zkML ve merkeziyetsiz eğitim hâlâ talep öncesinde	Bittensor yılda yaklaşık 70 milyon dolar doğrulanabilir gelir; Grass 2026'nın ilk yarısında 17 milyon dolar; ajan ödemeleri ayda yaklaşık 5.000–11.000 dolar
③ **Bir ASIC yapmaya değer mi?**	Yalnızca pastanın büyük, kuralların istikrarlı olduğu ve çipin ikinci bir pazarı bulunduğu yerde. Bugün hiçbir ağ üçünü birden sunmuyor	Kâr tavanı ≈ R × (1 − 1/k); bitcoin yılda yaklaşık 11,5 milyar dolar madenci geliri, Pearl yaklaşık 0,46–0,49 milyar dolar, Kaspa yaklaşık 18 milyon dolar
④ **Küçük bir ekip hangi çipleri yapmalı?**	Madencilik de yapabilen çıkarım öncelikli hızlandırıcılar; imzalı bir müşteri için çıkarım çipleri; erken FHE çalışmaları. Ticari bitcoin madencileri ya da eğitim çipleri değil	Kaspa'nın en iyi ASIC'i günde 0,86 dolar kazanıyor; 3/2 nm tasarım bütçeleri 60–400 milyon dolar ya da daha fazla
⑤ **Hangi üretim düğümü?**	En büyük ömür boyu maliyet karar verir: enerji, paketleme ve bellek ya da bellek mimarisi	TSMC N2 yonga plakası başına yaklaşık 30.000 dolar, N28 için yaklaşık 3.000 dolar; HBM ve CoWoS bir H100'ün maliyetinin yaklaşık %63'ü
⑥ **İlk çip neye mal olur ve nasıl satın alınmalı?**	Dört aşamada: bir model, bir FPGA, çok projeli bir yonga plakası, sonra maskeler. Kurallar ya da alıcı netleşmemişse maskelerden önce durun	Ticari bir MPW yeri 50.000–500.000 dolar; N7 maskeleri yaklaşık 3,5 milyon dolar; 7/6 nm tasarım bütçesi 15–100 milyon dolar

ŞEKİL 01 **Altı sektörde yapay zekâ × kripto: ücretli talep nerede gerçek**

Doğrulanabilir ücretli talep ile sübvansiyon ve değerleme sinyalleri, Kasım 2026

Yararlı iş zincirleri — 01

GERÇEK AMA KÜÇÜK

Yılda ≈70 mn $

Bittensor'ın doğrulanabilir dış geliri

Sinyal: emisyon gelirin 4–11 katı; Pearl'de ≈%1 YZ bloğu

Mekanizmalar çalışıyor; yararlılık ödeyen ister

Merkeziyetsiz hesaplama — 02

GERÇEK AMA KÜÇÜK

Yılda 2,35 mn $

Render'ın zincir üstü ücretleri, doğrulanabilir en büyük

Sinyal: piyasa değeri ücretlerin ≈360 katı

Çoğu sıradan çıkarımın yeniden satışı

Eğitim ve çıkarım — 03

KÂR ÖZSERMAYEDE

Yılda 100 mn $+

Prime Intellect, merkezî GPU'larda özsermaye şirketi

Sinyal: Gensyn'in eğitim ana ağı canlı değil

İlerleme gerçek; kâr özsermayeye gidiyor

Doğrulanabilir YZ — 04

ERKEN

398

Phala TEE bulutunun ücretli kullanıcısı, 2025 sonu

Sinyal: açıklanmış ücretli zkML yok

TEE'ler üretimde; zkML erken

Ajan ödemeleri — 05

TALEP ÖNCESİ

Ayda 5–11 bin $

gerçekten ajanların başlattığı x402 ödemeleri

Sinyal: ≈200 mn işlem, çoğu sinyal

Önce altyapı geldi; talep gelmedi

Veri ağları — 06

GERÇEK ALICILAR

17 mn $

Grass veri geliri, 2026 ilk yarı (şirket beyanı)

Sinyal: piyasa değeri yıllık gelirin ≈10 katı

Gerçek alıcısı olan az sayıdaki sektörden biri

Kaynak: DefiLlama, SubConnect (hoge.gg üzerinden), TRM Labs, Phala, Dealroom, SiliconANGLE, CoinGecko, Blockworks; yazarın sentezi.

01

KAPSAM VE YÖNTEM

Kapsam, yöntem ve dört test

Neden bu rapor ve neden şimdi

Nisan 2026'da yeni bir blokzincir olan Pearl, uzun süredir var olan bir fikri üretime aldı: madenciler hash hesaplamak yerine yapay zekânın üzerinde çalıştığı matris çarpımlarını yaparak bloklar için yarışsın. Altı ay içinde ağı yaklaşık 90 EH/s'ye, token'ı da yaklaşık 500 milyon dolarlık piyasa değerine ulaştı. Aynı dönemde yapay zekâ hesaplama pazaryerleri, merkeziyetsiz eğitim ağları, ajan ödeme altyapıları ve veri ağları milyarlarca dolar topladı; bitcoin madencileri de enerji sahalarını yapay zekâ veri merkezlerine dönüştürmeye başladı. Bunlardan hangilerinin gerçek müşterisi olduğunu, özel tasarım silikonun bunların herhangi birinde anlamlı olup olmadığını ve bir çip ekibinin gerçekte hangi üretim düğümünü ve hangi dökümhaneyi kullanabileceğini bilmek istedim.

Her yapay zekâ × kripto projesi için dört test

Gridcoin üzerine 2017 tarihli bir güvenlik çalışması, yararlı hesaplamanın bir blokzinciri ancak çözmesi zor, doğrulaması kolay ve ödüllendirmesi kolay olduğunda güvence altına alabileceğini savundu. Ben dördüncü bir test ekliyorum. Birlikte, aşağıda anlatılanların çoğunu belirliyorlar.

01 **Çözmesi zor.** Geçerli bir kanıt üretmenin en ucuz yolu dürüst hesaplama olmalıdır; kestirme yol olmamalıdır.

02 **Doğrulaması kolay.** İşi kontrol etmek, işi yapmaktan çok daha ucuza mal olmalıdır; yoksa ağ iki kez öder.

03 **Ödüllendirmesi kolay.** Protokol, üçüncü bir tarafa güvenmeden ödülü yalnızca kanıttan hesaplayabilmelidir.

04 **Çıktının parasını biri öder.** Ağın dışındaki bir müşteri sonucun parasını ödemedikçe, "yararlı" iş, anlatısı olan bir sübvansiyondan ibarettir.

Hash bulmacaları ilk üç testi geçer, dördüncüde kalır. Gerçek yapay zekâ görevleri dördüncüyü geçer, ikincide kalır: bir yapay zekâ hesaplamasını sıfır bilgiyle kanıtlamak hesaplamanın kendisinin 100 ila 10.000 katına mal olur ve öğrenme kanıtı şemalarının ucuza taklit edilebildiği gösterilmiştir. Pearl'ün gürültülü matris çarpımı, yapay zekâ hesaplamasıyla aynı biçimde kalırken doğrulama testini geçen ilk inandırıcı köprüdür.

Nasıl çalıştım

Bu bir masa başı araştırmasıdır; bir çipi ya da bir iş planını incelerken izlediğim yolla yapıldı. Pearl'ün kodunu, protokol önerilerini ve teknik incelemesini (whitepaper); bağımsız bir tam düğümden alınan zincir verilerini; şirket dosyalarını ve kazanç açıklamalarını; kriptografi, bilgisayar mimarisi ve makine öğrenmesi makalelerini; dökümhane ve satıcı fiyat verilerini; sektör ve teknoloji basınını okudum. Her rakam tarihini taşır. Bir rakamı kendim türettiğimde bunu belirtir ve tahmin olarak işaretlerim. Yalnızca satıcının bildirdiği rakamlar satıcı beyanı olarak işaretlidir; kanıtlara ilişkin kendi yorumum analiz olarak işaretlidir. Tutarlar ABD doları cinsindendir. Durum 13 Kasım 2026 itibarıyladır.

BÖLÜM 02

02

PEARL · MEKANİZMA

Pearl: uzlaşı olarak matris çarpımı

Fikir: teoremden ana ağa

Nisan 2025'te Ilan Komargodski ve Omri Weinstein "Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication" başlıklı çalışmayı yayımladı. Herhangi bir matris çarpımı için, basit bir çarpımın yalnızca 1 + o(1) katı ek yükle çalışan bir yararlı iş kanıtı kuruyorlar; güvenliği, rastgele düşük ranklı doğrusal denklem gruplarını çözmenin zorluğuna dayanıyor ve bu bir kanıt değil, bir varsayımdır. Makale alanın asıl zorluğunu adıyla koyuyor: sabit çarpanlı ek yükü olan bir yararlı iş kanıtı önemsizdir ama işe yaramaz; zor olan, madenciler kendi girdilerini seçtiğinde dürüst hesaplamayı kazanmanın en ucuz yolu olarak tutmaktır.

Pearl'ün ana ağı 27 Nisan 2026'da saat 09.00 UTC'de başladı. Madenciler gürültülü bir (A + E)(B + F) çarpımı hesaplar; düşük ranklı gürültü bir BLAKE3 taahhüdünden türetilir. Ardından gürültüyü çıkararak A·B'yi elde ederler. Her çıktı karosunun akümülatör durumu hash'lenerek bir piyango biletine dönüştürülür; kazanan karo açılır ve 65 KB ile sınırlı bir blok sertifikasının içinde, 60 KB'tan küçük özyinelemeli bir Plonky2 sıfır bilgi kanıtıyla kanıtlanır. Doğrulama, matris boyutundan bağımsız, sabit boyutlu küçük bir kanıttır: kontrol etmesi bir hash bulmacası kadar ucuzdur, hesaplamanın kendisi ise yararlı olabilir.

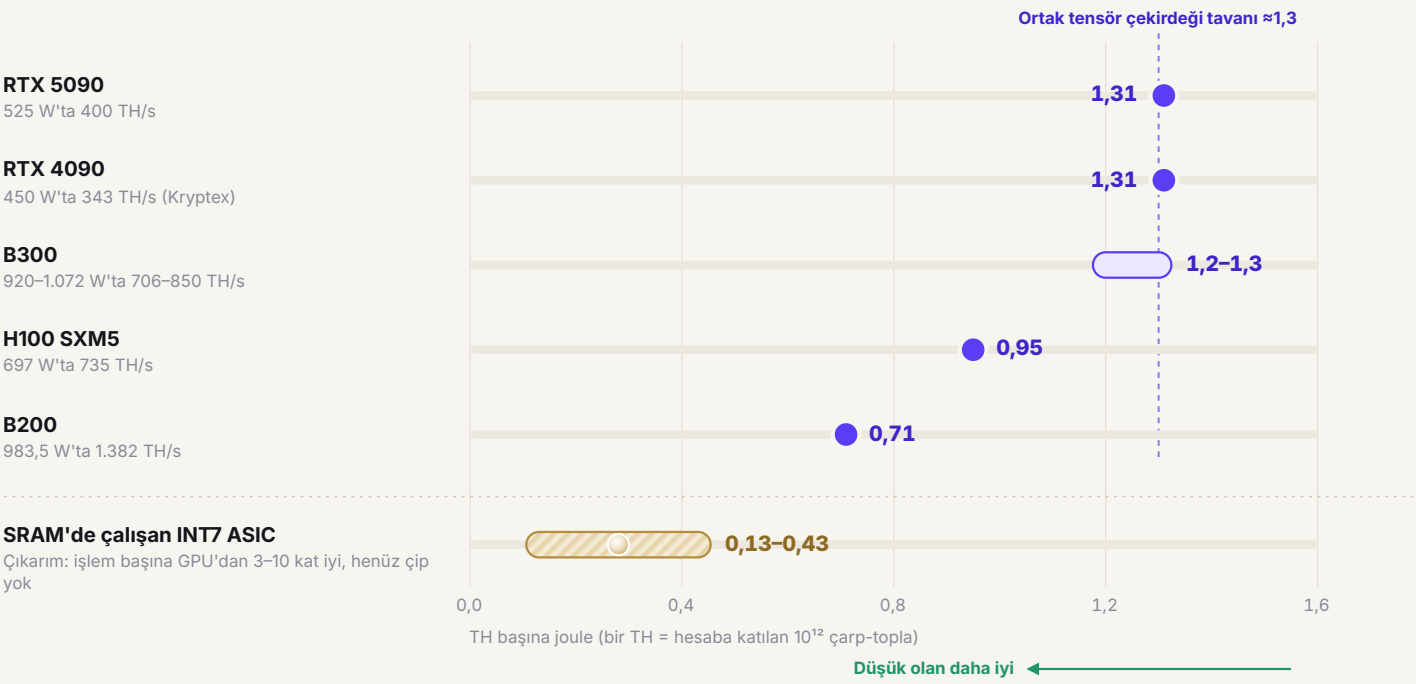
Bir çarp-topla bir "hash"tir

Bir çip tasarımcısı için en önemli olgu birimdir. Pearl'ün uzlaşı kodu her denemenin hedefini karo boyutu çarpı nokta çarpım uzunluğuyla ölçekler; dolayısıyla **1 H tam olarak, hesaba katılan bir INT7 × INT7 → INT32 çarp-topla (MAC) işlemidir**. 96.251. bloktan bu yana bir rank cezası en az 128'lik bir gürültü rankı şart koşuyor; asgari rankta 1 H yine 1 MAC'e eşittir. Dolayısıyla Pearl'ün "EH/s"si kelimenin tam anlamıyla saniyede 10^18 tamsayı çarp-topla demektir: **bir blokzincirin güvenlik bütçesi ilk kez yapay zekâ hızlandırıcılarının tensör işlem hacmiyle fiyatlanıyor.** Ölçülen GPU hash oranları her kartın yoğun INT8 çarp-topla tepe değerinin %60 ile %95'i arasına düşüyor; bu da bu okumayla örtüşüyor.

Donanım	Pearl hash oranı	Güç	Trilyon MAC başına joule (J/TH)	Kaynak (tarih)
RTX 5090	400 TH/s	525 W	1,31 tahmin	Kryptex (12 Kasım)
RTX 4090	yaklaşık 305 TH/s (topluluk aralığı 280–330); Kryptex 343 TH/s veriyor	450 W (Kryptex)	1,31 (Kryptex rakamları) tahmin	prlstats (3 Ekim); Kryptex
H100 SXM5	735 TH/s	697 W	0,95 tahmin	PeakMiner, prlstats üzerinden (19 Eylül)
B200	1,382 PH/s	983,5 W	0,71 tahmin	PeakMiner, prlstats üzerinden
B300	706–850 TH/s	920–1.072 W	1,2–1,3 tahmin	prlstats; SimeonOnSecurity

ŞEKİL 02 **Pearl'ün tamsayı işinde GPU'lar ortak bir enerji tavanını paylaşıyor**

Ölçülen Pearl hash oranında trilyon INT7 çarp-topla başına joule (J/TH); düşük olan daha iyi



Kaynak: Kryptex (12 Kasım 2026); prlstats üzerinden PeakMiner ve SRBMiner ölçümleri; SimeonOnSecurity; ASIC aralığı yazarın çıkarımıdır, ölçüm değildir.

Bu tablodaki iki ayrıntı çip tasarımcıları için önemlidir. Birincisi, tüketiciye yönelik RTX 4090 ve 5090 kartları ile veri merkezi sınıfı B300 yaklaşık 1,3 J/TH'de buluşuyor ve en iyi kart olan B200 bile yalnızca yaklaşık 0,71 J/TH'ye ulaşıyor. On binlerce dolarlık bir veri merkezi GPU'su, tamsayı çarp-topla başına neredeyse bir oyun kartı kadar enerji harcıyor; bu, INT8 MAC başına tensör çekirdeği enerjisinde ortak bir tavana işaret ediyor ve adanmış bir çipin kırabileceği şey tam da bu tavandır. İkincisi, B300 B200'den yavaş: NVIDIA, Blackwell Ultra'da INT8 işlem hacmini sert biçimde düşürdü, bu yüzden tamsayı işi o çipte daha yavaş bir yoldan gitmek zorunda. Ana akım yapay zekâ silikonu INT8'den uzaklaşıp FP8 ve FP4'e yöneliyor. Bir uzlaşının seçtiği sayı biçimi donanımın gittiği yönden ayrıştığında protokol kurallarını değiştirmeye zorlanır; FP8 fork'unun ve bu raporda ileride vereceğim ASIC hükmünün kökü budur.

BÖLÜM 03

03

PEARL · EKONOMİ

Pearl: ölçek, emisyon ve yararlılık açığı

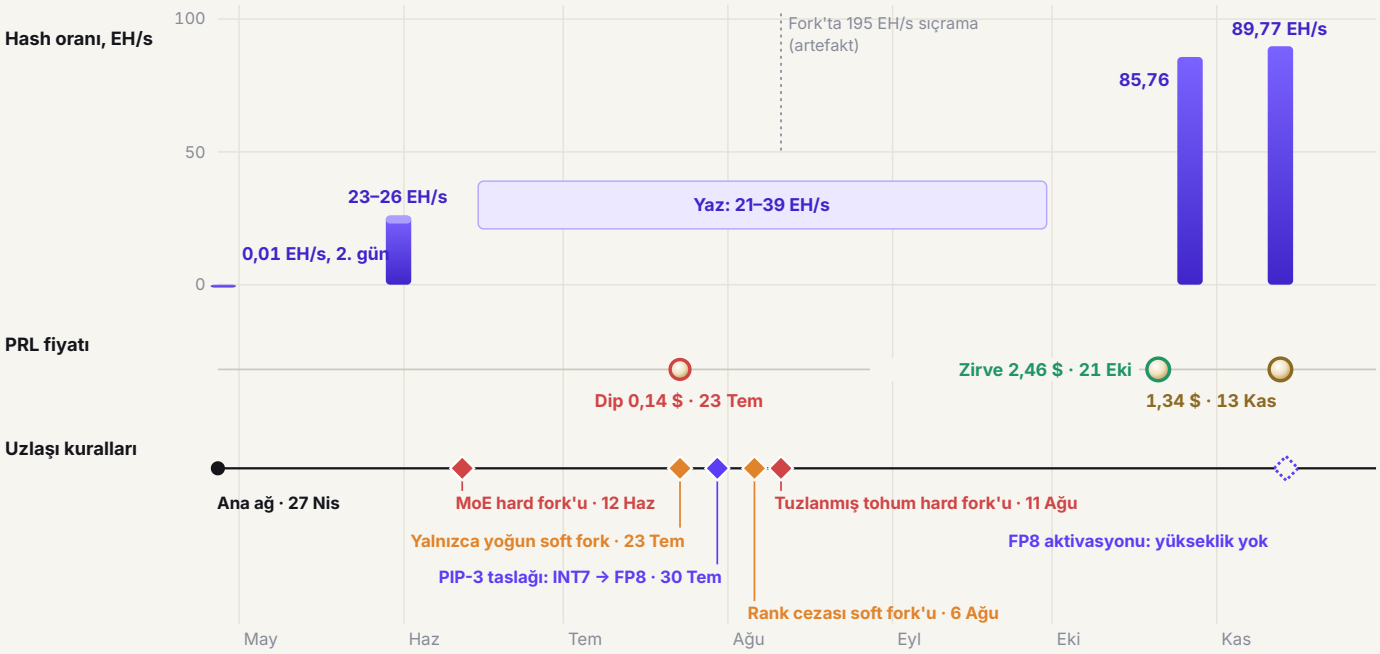
Altı ayda 0,01'den 90 EH/s'ye

Gösterge	Değer (13 Kasım 2026)	Dayanak ve kaynak
Ağ hash oranı	Yaklaşık 90 EH/s (taban değer 89,77; aynı gün aralığı 88,20–93,22; 12 Kasım gün içi zirvesi 110–123)	Bağımsız tam düğüm prlstats; Kryptex
Zorluk ve blok yüksekliği	58.841.982 ve 142.530	prlstats
Eşdeğer donanım	Yaklaşık 122.000 H100 ya da 225.000 RTX 5090	Kart başına 735 ve 400 TH/s ile tahmin
Fiyat, piyasa değeri ve tam seyreltilmiş değer	1,32–1,34 dolar; yaklaşık 500 milyon dolar; yaklaşık 2,8 milyar dolar (CoinGecko sırası 101)	CoinGecko
Tüm zamanların en yüksek ve en düşük değeri	2,46 dolar (21 Ekim) ve 0,1399 dolar (23 Temmuz)	CoinGecko
Çıkarılan coin	377,6 milyon PRL, 2,1 milyarlık üst sınırın %17,98'i	prlstats
Blok sübvansiyonu ve günlük emisyon	Yaklaşık 2.173 PRL ve yaklaşık 0,97–1,03 milyon PRL	prlstats; Kryptex
Önümüzdeki 12 aydaki yeni arz	Mevcut arzın yaklaşık %78'i	prlstats
Madenci geliri	Günde yaklaşık 1,25 milyon dolar (model), yılda yaklaşık 460 milyon dolar	prlstats
Birim hash oranı başına gelir, R	Günde PH/s başına yaklaşık 14–15 dolar; bir RTX 5090 günde yaklaşık 5–6 dolar kazanıyor	tahmin; Kryptex
Gerçek yapay zekâ işi taşıyan bloklar	Yaklaşık %1 (28 Ekim tahmini)	Blockworks
Havuz yoğunlaşması	Kryptex son 24 saatteki blokların %46,4'ünü buldu; ilk iki havuz yaklaşık %62	prlstats
Sahip yoğunlaşması	Adres Gini katsayısı 0,969; ilk 100 adres %53,0'ı tutuyor	prlstats

Pearl'ün hash oranı, fiyatının gecikmeli bir fonksiyonuna yakındır. Lansmanın ertesi günü ağ yaklaşık 0,01 EH/s'de çalışıyordu; mayıs sonunda 23–26 EH/s'ye ulaştı. Yaz boyunca fiyat mayıs zirvesinden yaklaşık %86 düştü ve hash oranı 21–39 EH/s aralığında yatay seyretti. Fiyat eylül ve ekimde yaklaşık on kat yükseldikten sonra hash oranı 27 Ekim'de 85,76 EH/s'ye, kasımda yaklaşık 90 EH/s'ye ulaştı. 11 Ağustos'taki 195 EH/s'lik sıçrama bir fork'la aynı zamana denk geldi ve bir tahmin artefaktı olarak okunmalıdır. Enerji de onunla birlikte büyüdü: bir çalışma 24 EH/s'de tüm ağ için yaklaşık 112 MW tahmin etti; bir prlstats modeli ise bugün için yaklaşık 190–215 MW veriyor.

ŞEKİL 03 **Pearl'ün ilk altı ayı: hash oranı fiyatı izliyor, kurallar değişiyor**

Ağ hash oranı, üç fiyat noktası ve tüm uzlaşı değişiklikleri, 27 Nisan–13 Kasım 2026



Kaynak: prlstats tam düğümü ve serileri; Kryptex; CoinGecko; Pearl'ün params.go dosyası ve PIP-3. 11 Ağustos sıçraması bir fork'taki tahmin artefaktıdır.

Emisyon refleksiviteyi büyütüyor

Arz üst sınırı 2,1 milyar coin'dir ve yarılanma yoktur: blok sübvansiyonu E(t) = S·H / ((t + H)(t + H − 1)) biçiminde, H = 650.226 olmak üzere yumuşakça azalır. Ama emisyon zamanla değil bloklarla sayılır ve erken dönem zorluğu çok düşük başladı, yavaş ayarlandı. **İlk gün yaklaşık 44,06 milyon coin, ilk altı günde yaklaşık 120 milyon coin çıkarıldı**; bu, bugünkü arzın yaklaşık %32'sidir tahmin. Son bloklar yaklaşık 171–183 saniyede gelerek hâlâ 194 saniyelik hedeften hızlı. Sonuç olarak arz önümüzdeki 12 ayda yaklaşık %78 büyüyecek; bu, madencilerin, donanım üreticilerinin ve sahiplerin hepsinin yüzleşmesi gereken bir seyrelmedir.

Madenci ekonomisi bundan çıkar. Ağ genelinde madenci geliri günde yaklaşık 1,25 milyon dolardır (model); Kryptex'in günlük emisyonu çarpı güncel fiyat günde yaklaşık 1,35 milyon dolar verir; dolayısıyla **birim hash oranı başına gelir R ≈ günde PH/s başına 14–15 dolar** tahmin. Bir RTX 5090 günde yaklaşık 5–6 dolar kazanıyor. Bir H100 ya da H200 yaklaşık 11 dolar kazanırken, kamuya açık en ucuz talep üzerine kiralama kart başına saatte yaklaşık 2,09 dolar, yani günde yaklaşık 50 dolardır; bu yüzden yalnızca madencilik için kart kiralamak ağır zarar ettirir. R geniş dalgalanır: prlstats serisine göre ağustos ve eylülde yaklaşık 10 dolardı, ekim ortasında kısa süreliğine yaklaşık 33 dolara çıktı tahmin. Lansmandan sonraki birkaç hafta içinde bir RTX 5090'ın tahmini günlük geliri yaklaşık 33,80 dolardan yaklaşık 17,19 dolara yarıya indi. Madencilik için bulut GPU'su kiralamak yalnızca ilk haftalarda ve ekimdeki fiyat sıçraması sırasında kârlıydı.

Teorem geçerli, teşvik değil

Asıl sorun kriptografi değil, taleptir. Pearl'ün kamuya açık tek ticari entegrasyonu, Together AI'ın 15 Mayıs'ta olağan fiyatın %25'ten fazla altında başlattığı bir Gemma-4-31B-it-pearl uç noktasıdır; indirim, emisyonun beklenen gelecekteki değeriyle finanse ediliyordu. 13 Kasım'da model sayfası, bunun **Together'ın sunucusuz API'sinde kullanılamadığını** gösteriyordu. Haziranda, ağın yaklaşık %21'ini oluşturan 8.012 çevrimiçi madencilik örneği üzerinde yapılan bir sayım, ağın hiçbir yararlı yapay zekâ hesaplaması üretmediği sonucuna vardı (yazar kanıtı kesin değil, düşündürücü olarak nitelendiriyor) ve tamamen rastgele matrislerden oluşturulan share'lerin

havuzlarca kabul edildiğini gösterdi. 28 Ekim'de Blockworks, **blokların yalnızca yaklaşık %1'inin gerçek yapay zekâ işi taşıdığını** tahmin etti; bu olmadan, diye yazdı, Pearl daha küçük, daha az güvenli ve daha hızlı enflasyon yaratan bir bitcoin'dir.

Nedeni hesaplanabilir. Çıkarım tarafındaki ek yük gerçekten küçüktür: Pearl, dört H200 üzerinde Llama 70B için uçtan uca sürede %5,08'lik bir artış bildiriyor; bağımsız bir test ise tek bir Hopper GPU'da %9,2'lik bir işlem hacmi kaybı ölçtü. Madencilik tarafı ise çok az kazanıyor. Resmî vLLM eklentisi yalnızca en az 1.024 token'lık prefill gruplarında madencilik yapar, decode adımlarında asla yapmaz. Çıkarım hizmeti veren bir kart, saf prefill trafiğinde adanmış bir madencinin hash oranının yaklaşık %27'sini, %80'i decode olan bir sohbet karışımında yaklaşık %5,4'ünü, decode ağırlıklı trafikte ise yalnızca yaklaşık %1'ini elde eder. Ücretli çıkarım talebi olmadan rasyonel bir madenci rastgele matrisleri çarpar; protokol, taahhüt edilen matrislerin dürüstçe çarpıldığını doğrular, yararlı olup olmadıklarını değil. **Teorem geçerli, teşvik değil.** Pearl'ün yararlılığı zincir dışı ticari bir sorundur: birinin çıkarımın parasını ödemesi gerekir.

BÖLÜM 04



04 PEARL · KURALLAR
Pearl: kural riski, sayısal ayrıntılar ve yönetişim

İki ayda dört fork

Pearl'ün öteki yüzü, kurallarının ne kadar hızlı değiştiğidir. Haziran–ağustos 2026 arasında laboratuvar, sabit kodlanmış yüksekliklerde dört uzlaşı değişikliği hayata geçirdi: bir uzmanlar karışımı (mixture-of-experts) hard fork'u (71.935. blok, yaklaşık 12 Haziran), yalnızca yoğun modellere izin veren bir soft fork (91.630, yaklaşık 23 Temmuz), bir rank cezası soft fork'u (96.251, yaklaşık 6 Ağustos) ve bir tuzlanmış tohum hard fork'u (99.000, yaklaşık 11 Ağustos). Tuzlanmış tohum fork'undan sonra eski madenciler yalnızca geçersiz share üretebildi; rank cezası, yüksek ranklı yapılandırmaların etkin hash oranını %50 ile %87,5 arasında düşürdü.

Sonraki adım, hâlâ taslak olan PIP-3'tür: madenciliği INT7'den FP8 × FP8 → FP32'ye taşır ve bit düzeyinde birebir cihaz profilleri şart koşar; **yalnızca iki mimariyi, Hopper ve Blackwell'i destekler**. Belge, donanım bağımlılığını kayan noktalı protokollerin zorunlu bir kötülüğü olarak niteliyor ve doğrulamadaki her toleransın grinding saldırılarına davetiye çıkaracağı uyarısında bulunuyor. 12 Kasım'da fp8-scheme dalının ana ağ parametreleri herhangi bir aktivasyon yüksekliği belirlemiyordu. Mevcut taslakta RTX 40 serisi, A100 ve AMD kartları kabul edilmiyor; düşük güvenilirlikli bir prlstats modeli ise hash oranının yaklaşık %82'sinin tüketici kartlarından geldiğini tahmin ediyor. Fork'u zorla geçirmek, zincirin bölünmesi ya da madencilerin tepkisi riskini taşıyor.

Bir sayı biçimi üçlemi

Pearl bir üçlemle karşı karşıya: bir sayı biçimi yapay zekâ için yararlı (FP8 ya da FP4), donanımlar arasında bit düzeyinde birebir doğrulanabilir ve donanımdan bağımsız olabilir, ama üçünden en fazla ikisi birden. INT7 şeması doğrulanabilir ve bağımsızdır ama yapay zekâ silikonunun gittiği yönden ayrışır. Beyaz listeli FP8 yararlı ve doğrulanabilirdir ama uzlaşıyı tek bir satıcıya bağlar. Toleranslı FP8 yararlı ve bağımsızdır ama grinding saldırılarına kapı açar. Tensör çekirdeklerindeki kayan nokta aritmetiği genellikle bir sayısal standarda uymaz ve nesiller arasında yeniden üretilemez; örneğin Hopper'da FP8 akümülasyonu yalnızca 13 kesir biti tutar ve keser. Bir çip tasarımcısının bakış açısından bir "Hopper profili", bir ASIC'in bit bit uygulayabileceği, belki GPU'dan daha verimli biçimde, tamamen belirlenmiş bir aritmetiktir. Ama bunu yapmak, protokolün açıkça belirtilen niyetine karşı gri bölgede bir iş olur ve yönetişim riski çok yüksektir analiz.

Yönetişim

Yönetişim yoğunlaşmış durumda. Bütün protokol önerilerini laboratuvar yazdı; fork'lar madenci sinyali olmadan sabit kodlanmış yükseklikte etkinleşiyor; ikinci bir istemci uygulaması yok; ekim başı itibarıyla düğümün ya da sıfır bilgi devrelerinin üçüncü taraf denetimi yayımlanmamıştı. İsrail gazetesi TheMarker, laboratuvarın gizli bir turda yaklaşık 120–130 milyon dolar topladığını bildirdi (yaklaşık 55 milyon dolar özsermaye artı yaklaşık 75 milyon dolarlık bir GPU altyapı fonu); Pearl bunu resmî kanallardan doğrulamadı. "Token'da yatırımcı tahsisi yok" ile "girişim sermayesi ortakları olan bir şirket" ikisi birden doğru olabilir, ama gerilim sürüyor: yapay zekâ geliri özsermayeye akarken seyrelme token sahiplerinin üzerine düşebilir.

Bir bütün olarak bakıldığında Pearl, şimdiye kadarki en temiz "uzlaşı olarak hesaplama" deneyidir: zincir üstünde doğrulanabilen, birimi yapay zekâ donanımıyla birebir eşleşen yeni bir mekanizma. Ama yararlılık henüz gelmedi; güvenlik bütçesi, hash oranı ve madenci coşkusu, ana talebi henüz oluşmamış ve arzı 12 ayda yaklaşık %78 büyüyecek bir token'a bağlı. Blockworks'ün üç sinyali izlemeye değer: yükseltmenin sorunsuz geçip geçmediği, yapay zekâ işi taşıyan blokların payının kayda değer biçimde artıp artmadığı ve herhangi bir çıkarım sağlayıcısının madencilik gelirini müşterilerine yansıtıp yansıtmadığı.

BÖLÜM 05

YARARLI İŞ ZİNCİRLERİ

05 Yararlı iş zincirleri: ne matrisler ne de sıfır bilgi ASIC'leri durduruyor

Kaspa: bir matris ne yararlıdır ne de ASIC'e dayanıklı

Kaspa ders kitabı örneğidir. kHeavyHash, iki hash arasına 4 bitlik değerler üzerinde 64 × 64'lük bir matris-vektör çarpımı koyar ve çarpımın sonucu atılır. Kasım 2021'deki adil lansmanından yaklaşık 16 ay sonra IceRiver, 14 Mart 2023'te ilk Kaspa ASIC'lerini duyurdu ve 2023 sonunda GPU madenciliği bitmişti. 300 W'ta 3,8 GH/s veren bir RTX 4090 ile 77 J/TH'lik Bitmain KS7 karşılaştırıldığında yaklaşık **1.000 katlık** bir verimlilik farkı çıkar tahmin. Bolluğun ardından sıkışma geldi: 13 Kasım'da ağ 358,9 PH/s'de çalışıyordu, Ağustos 2024'teki 1 EH/s'nin yaklaşık %64 altında; en iyi KS7 ise kWh başına 0,10 dolarla günde yalnızca **0,86 dolar** kazanıyor.

Aleo: sıfır bilgi de özel donanımı durdurmuyor

Aleo'nun kanıtlayıcı bulmacası, bir SNARK kanıtı üretme işini taklit edecek biçimde tasarlanmıştır; kullanıcıların işlemlerini kanıtlamaz ve proje ZK ASIC'lerini açıkça memnuniyetle karşılar. Eylül 2024'teki ana ağından yaklaşık beş ay sonra adanmış makineler sevk ediliyordu. 2025'in 3. çeyreğinde kanıtlayıcılar 31,2 milyon ALEO (yaklaşık 7,8 milyon dolar) alırken ağ yalnızca yaklaşık 43.000–44.000 dolar ücret topladı: **yaklaşık 175–180'lik bir sübvansiyon çarpanı**. Fiyat ilk işlemlerdeki yaklaşık 9 dolardan o çeyreğin sonunda 0,22 dolara düştü; ARC-46 artık çözüm başına 100.000 ile 2,5 milyon ALEO arasında stake şart koşuyor ve madenciliği bir stake eşiğine dönüştürüyor.

Qubic ve Bittensor

Qubic, Aigarth sinir ağını eğiten bir "yararlı iş kanıtı" pazarlıyor, ama 2025–2026'da hesaplamasının en görünür çıktısı başka zincirlerin bloklarıydı. Önce Monero madenciliği yaptı; payını Mayıs 2025 ortasında %2'nin altından temmuz sonunda %25'in üzerine çıkardı ve ağustosta %51 iddia etti; bu, altı bloklık bir yeniden düzenlemeye yol

açtı (başka bir kaynak 18 diyor). 1 Nisan 2026'da ASIC'lerle Dogecoin madenciliğine geçti ve gelirleri geri alım ve yakım için kullandı. Yapay zekâ eğitiminin yararlı olduğuna dair bağımsız bir kanıt yok ve piyasa değeri yaklaşık 280–300 milyon dolardan 13 Kasım'da yaklaşık 50 milyon dolara düştü. Ayrıca bir dışsallığı da açığa çıkardı: genel amaçlı hesaplamaya ödeme yapan bir zincir, CPU dostu zincirlere karşı çevrilebilecek büyük, kiralanabilir, koordineli bir hash oranı havuzu yaratır.

Bittensor iş kanıtı değil, stake ağırlıklı öznel puanlamadır: doğrulayıcılar madencileri puanlar ve ağırlıklar stake ağırlıklı medyanda kırpılır. Bu gruptaki, büyük ölçekte dış geliri olan tek ağdır. Yalnızca doğrulanabilir dış müşterileri sayan SubConnect endeksi, Kasım 2026 başında **yılda yaklaşık 70 milyon dolar** gösteriyor (1 Eylül'de yaklaşık 35 milyon dolar); bunun %78 ile %82'si hesaplama ve altyapıdan geliyor; ama kasım başı fiyatlarıyla emisyonu yılda 300 milyon doları aşıyor, dolayısıyla gelir yalnızca %9 ile %23'ünü karşılıyor. Gelir tahminleri dayanağa göre geniş ölçüde değişiyor: yaklaşık 17 milyon dolardan (Artemis) şirketin kendi bildirdiği toplamlardan yıllıklandırılmış 172 milyon dolara kadar. Nisanda 128 alt ağın 67'si teşviklerinin %99'undan fazlasını yakıyordu ve önde gelen ekip Covenant yönetişim nedeniyle ayrıldığında TAO birkaç saat içinde %24 düştü.

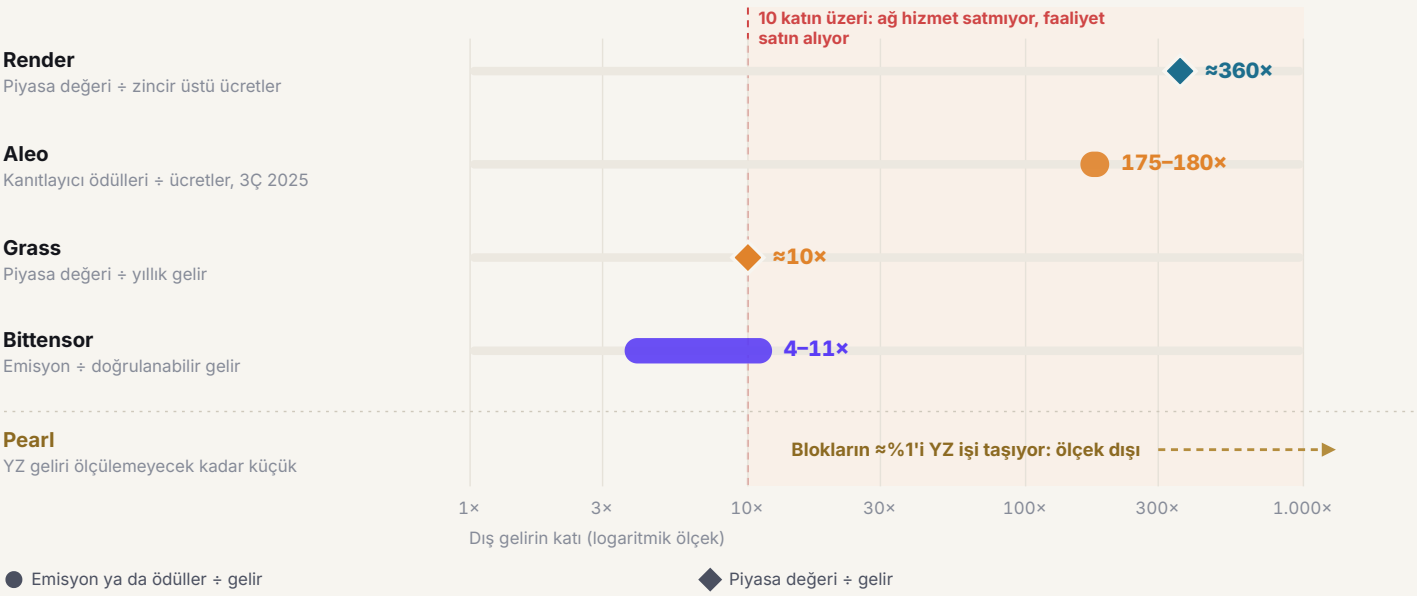
Tarih aynı yanıtı veriyor

Primecoin'in asal sayı zincirlerini doğrulamak hızlıydı, ama kimsenin onlara ihtiyacı yoktu. Gridcoin, BOINC katkılarını onaylamak için üçüncü taraf istatistik sitelerine dayanıyordu ve araştırmacılar hiçbir hesaplama yapmadan blok sahteledi. Filecoin'in depolama kanıtları teknik olarak çalışıyor, ama 2025'in 3. çeyreğinde kullanım oranı yalnızca %36'ydı ve 793.000 dolarlık ücretlerinin %99,5'i cezalardı; temel ücretler yalnızca 4.100 dolardı.

Proje	İş ya da uzlaşı	Piyasa değeri (tarih)	Donanım yolu	Sübvansiyona karşı ücretli talep	Değerlendirme
Pearl	Gürültülü matris çarpımı (INT7 MAC artı ZK sertifikası)	Yaklaşık 500 milyon dolar (13 Kasım)	GPU'lar; FP8 taslağı Hopper ve Blackwell'i beyaz listeye alacak	Blokların yaklaşık %1'i yapay zekâ işi taşıyor; madenci geliri büyük ölçüde sübvansiyon	En inandırıcı mekanizma; talep kanıtlanmamış
Kaspa	kHeavyHash (hash'ler arasında 64 × 64, 4 bitlik matris-vektör çarpımı)	Yaklaşık 840 milyon dolar (13 Kasım)	Lansmandan yaklaşık 16 ay sonra ASIC'ler; şimdi tamamen ASIC	Yararlılık iddiası yok; madenci geliri yılda yaklaşık 18 milyon dolar tahmin	Bir matris ne yararlıdır ne de ASIC'e dayanıklı
Aleo	Sentetik SNARK bulmacası artı hisse kanıtı	Yaklaşık 118 milyon dolar (2025'in 3. çeyreği sonu)	Yaklaşık beş ay sonra adanmış makineler	Kanıtlayıcı ödülleri ücretlerin yaklaşık 175–180 katı	Sübvansiyonla yürüyen sentetik iş
Qubic	“uPoW” (Aigarth'ı eğittiğini iddia ediyor)	Yaklaşık 50 milyon dolar (13 Kasım)	CPU ve GPU; Nisan 2026'dan beri Dogecoin için ASIC'ler	Yararlılığa dair bağımsız kanıt yok; hesaplama dış madencilik ve geri alımlar için kullanılıyor	Yapay zekâ hikâyesine sarılmış hesaplama toplama
Bittensor	Yuma uzlaşısı (stake ağırlıklı puanlama)	Yaklaşık 2,55 milyar dolar (11 Kasım)	Genel amaçlı GPU'lar; ASIC yolu yok	Yılda yaklaşık 70 milyon dolar doğrulanabilir gelire karşı 300 milyon doları aşan emisyon	Büyük ölçekte dış geliri olan tek ağ; yine de 4–11 katlık sübvansiyon
Filecoin (referans)	Çoğaltma ve uzay-zaman kanıtları	Yaklaşık 1,5 milyar dolar (2025'in 3. çeyreği sonu)	—	Kullanım %36; çeyreklik temel ücretler 4.100 dolar	Yararlı, ama talebi yetersiz

ŞEKİL 04 **Sübvansiyon çarpanı: bir ağ dış gelirin kaç katını ödüyor**

Emisyon ya da piyasa değeri bölü ağın dışından ödenen gelir, logaritmik ölçek



Kaynak: Blockworks (Aleo 3Ç 2025), DefiLlama (Render ücretleri), CoinGecko, hoge.gg (Bittensor), Dealroom (Grass), Blockworks 0xResearch (Pearl); yazarın hesabı.

Donanım için ders: likit bir token'la ödenen sabit, düzenli iş, yaklaşık 3 ila 16 ay içinde ASIC'lere kavuşur; çoğu zaman da yerleşik oyunculardan önce meydan okuyanlardan. "Yararlı" iddiaları yalnızca dışarıdan bir müşterinin çıktının parasını ödediği yerde ayakta kaldı. Atıl kalan donanımın başlıca nedenleri ise gelire göre yüksek bir sübvansiyon ve geliştiricinin iş fonksiyonu üzerindeki denetimidir.

BÖLÜM 06

DAHA GENİŞ MANZARA

06 Yapay zekâ × kriptonun geri kalanı: gerçek ama küçük talep ve özsermayeye kayan değer

Merkeziyetsiz hesaplama pazarları

Merkeziyetsiz hesaplamanın ücret ödeyen müşterileri var, ama talep küçük, yoğunlaşmış ve büyük ölçüde açık model çıkarımının yeniden satışı. Zincir üstünde doğrulanabilen ücretler küçük: DefiLlama, geçen yıl Render için yaklaşık 2,35 milyon dolar, Livepeer için yaklaşık 680.000 dolar ücret gösteriyor; DePIN sektörünün tamamı 2025'te yalnızca yaklaşık 72 milyon dolar zincir üstü gelir elde etti. Şirketlerin kendi bildirdiği rakamlar daha büyük ama gevşek tanımlı: Aethir, 2025 mali yılı için "127,8 milyon doları aşan" gelir bildiriyor ama bunun brüt faturalama mı yoksa protokol payı mı olduğunu söylemiyor. Token değerleri ile gelir her iki yönde de birbirinden kopmuş durumda: Render'ın piyasa değeri zincir üstü ücretlerinin yaklaşık 360 katı, Aethir'in yaklaşık 87,7 milyon dolarlık piyasa değeri ise kendi bildirdiği gelirin altında tahmin.

%70 ile %85 daha ucuz olma iddiası yalnızca büyük bulut sağlayıcılarının talep üzerine fiyatlarına karşı geçerli. 3 Kasım'da Akash'ta ağırlıklı ortalama H100 fiyatı yaklaşık **GPU-saat başına 2,73 dolardı** (aralık 2,04–3,16 dolar); bu, AWS'deki yaklaşık 6,88 dolar ve Google Cloud'daki 11,06 doların altında, ama Vast.ai'daki yaklaşık 1,73 dolar, RunPod topluluk bulutundaki 1,99 dolar ve bir yıllık rezervasyon için yaklaşık 2,44 doların üstünde (diğer platformların fiyatları 12 Eylül'de okundu; yayıncı Akash ilgili taraftır). Talep büyük ölçüde OpenRouter üzerinden dağıtılan sıradan çıkarımdır: AkashML'de günde yaklaşık 1,7 milyar token, io.net'te 4 milyardan fazla; her neocloud ile doğrudan rekabet ediyor. En büyük "merkeziyetsiz hesaplama" dolarları yeniden merkezîleşiyor: Aethir'in token'ını hazine varlığı olarak tutan Axe Compute, 9.200 B300'lük kendi kümesini kiraya vermek için 1,5 milyar dolarlık beş yıllık bir sözleşme imzaladı; 2026'nın ilk çeyreğindeki geliri ise 35.000 dolardı.

Merkeziyetsiz eğitim ve çıkarım

İnternet üzerinden eğitim 8 ila 40 milyar parametrede gösterildi. Pluralis-8B, çoğu tüketici GPU'su olan 330 düğüm üzerinde 40 gün eğitildi ve merkezî bir H100 temel çizgisinin verimliliğinin %63'üne ulaştı; ancak makalesi, çalıştırmanın merkeziyetsiz olmadığını ve Pluralis'in kendi düğümlerine ve bir kabul otoritesine ihtiyaç duyduğunu kabul ediyor. Nous Research'ün Psyche'si 40 milyar parametreli Consilience ön eğitim çalıştırmasını tamamladı. Sınır ölçeğinde iş yeniden merkezîleşti: Prime Intellect'in 106 milyar parametreli uzmanlar karışımı modeli INTELLECT-3, 400 Gbps InfiniBand ile bağlanmış 512 H200 üzerinde iki ay boyunca eğitildi. Kısıtlar açık: düğümlerin en az 200 Mbit/s bant genişliğine ve yaklaşık 100 katlık iletişim sıkıştırmasına ihtiyacı var; güven ve doğrulama hâlâ operatörün ayrıcalıklı rollerine bağlı.

Para, merkezî ürünler satan özsermaye şirketlerine gitti. Prime Intellect, temmuzda 1 milyar dolar değerlemeyle 130 milyon dolar toplamadan önce yıllıklandırılmış 100 milyon doları aşan gelire sahipti; özel bir çıkarım uygulaması olan Venice, yıllıklandırılmış 70 milyon doları aşan gelir ve 2026'nın ilk çeyreğinden beri kâr bildiriyor (şirket rakamları), 1 milyar dolar değerlemeyle 65 milyon dolar topladı ve kiralık GPU'larla çalışıyor. Token tarafında Gensyn'in çekirdek eğitim ağı hâlâ "belirlenecek" durumda ve token'ı yaklaşık 17,2 milyon dolar değerinde; yapay zekâya özgü bir katman 1 olan Ritual'ın token'ı ana ağdan sonra zirvesinden %72 düştü (yalnızca başlık bilgisi).

Doğrulanabilir yapay zekâ

Üretim, güvenilir yürütme ortamlarını (TEE) seçti. Hopper'ın gizli hesaplaması tipik LLM sorgularına %7'nin altında ek yük getiriyor, büyük modellerde neredeyse hiç; Phala'nın üretimdeki ek yükü yaklaşık %0,5 ile %5 arasında, ama 2025 sonunda 10.004 kullanıcısının 398'i ücret ödüyordu. Bir TEE'nin güven kökü çip satıcısıdır: Ekim 2025'te açıklanan TEE.fail, tamamen güncel Intel TDX ve AMD SEV-SNP makinelerinden doğrulama anahtarlarını çıkarmak için 1.000 doların altında maliyetli bir DDR5 veri yolu ara aygıtı kullandı; bu da NVIDIA'nın GPU gizli hesaplamasını zayıflatıyor ve iki satıcı da fiziksel saldırıların tehdit modellerinin dışında olduğunu söylüyor. Bu, düğüm operatörlerinin fiziksel erişime sahip olduğu DePIN ortamının ta kendisidir. zkML artık eksiksiz bir LLM'yi kanıtlayabiliyor: Lagrange'ın DeepProve'u GPT-2'yi dakikada yaklaşık 174 token, Gemma 3'ü yaklaşık 86 token hızında kanıtlıyor; bu, üretim çıkarımından kat kat uzak ve açıklanmış hiçbir ücretli kullanımı yok.

Ajan ödemeleri ve veri

x402 en iyi ibret örneğidir. TRM Labs, Mayıs 2025'ten bu yana bilinen kolaylaştırıcılar tarafından gerçekleştirilen yaklaşık 198,9 milyon işlem ve 52,7 milyon dolarlık ödeme sayıyor, bunun %99,6'sı USDC; kendi kendine ödemeler, toplu akışlar ve ondan az alıcısı olan satıcılar çıkarıldıktan sonra gerçekten ajanların başlattığı pay yalnızca %0,6 ile %7,5, yani **ayda yaklaşık 5.000–11.000 dolar**. Artemis, faaliyetin %95'inden fazlasının alım satım değil protokol sinyali olduğunu değerlendiriyor. Bu arada altyapı yerleşik oyuncular tarafından standartlaştırılıyor: x402 Foundation, 14 Temmuz'da Linux Foundation bünyesinde Visa, Mastercard, Stripe, Google, AWS, Cloudflare ve Coinbase çekirdek üyeleriyle kuruldu; Stripe ile birlikte Machine Payments Protocol'ü yazan Tempo ise martta 5 milyar dolar değerlemeyle ana ağını başlattı. Ajan token'ı platformları hâlâ launchpad mantığıyla çalışıyor: Virtuals kendi bildirdiğine göre 479 milyon dolarlık "aGDP"ye sahip; ElizaOS'un kurucusu ise bir toplu dava uzlaşmasının ardından token'ının öldüğünü ilan etti. Değeri büyük olasılıkla stablecoin ihraççıları ve yerleşik ödeme oyuncuları yakalayacak; kriptonun buradaki ayırt edici rolü ajanlar için kimlik ve hesap verebilirlik olabilir.

Veri, gerçek zincir dışı alıcıları olan az sayıdaki alt sektörden biridir. Grass, 2025'te 17 milyon dolar ve 2026'nın ilk yarısında yine 17 milyon dolar veri geliri bildiriyor, yıl için 75 milyon dolar hedefliyor ve kârlı olduğunu söylüyor; GRASS yaklaşık 328 milyon dolar değerinde, yani yıllıklandırılmış ilk yarı gelirinin yaklaşık on katı tahmin. Hendeği kriptonun kendisi değil, dağıtık konut bant genişliğinin toplama ölçeğidir. Veri DAO'ları ve veri pazaryerlerinin görünür bir ücretli talebi yok: Vana yaklaşık 21,5 milyon dolar, Ocean yaklaşık 27,6 milyon dolar değerinde ve Ocean, Fetch.ai ile davalık. Ajanlar çoğaldıkça kişilik kanıtı gerçek entegrasyonlar kazanıyor: World, yaklaşık 18 milyon kişiyi doğruladığını söylüyor; Zoom, Docusign ve Tinder, World ID'nin bazı bölümlerini destekliyor.

Sermaye oyunu verdi

Sektör	Doğrulanabilir ücretli talep	Sübvansiyon ve değerleme sinyalleri	Değerlendirme
Yararlı iş zincirleri	Bittensor yılda yaklaşık 70 milyon dolar doğrulanabilir dış gelir; Pearl'de blokların yaklaşık %1'i yapay zekâ işi taşıyor	Aleo 175–180 kat; Bittensor 4–11 kat; Pearl büyük ölçüde sübvansiyon	Mekanizmaların değeri var; yararlılık ücret ödeyen müşterilere ihtiyaç duyuyor
Merkeziyetsiz hesaplama pazarları	Zincir üstü ücretler yılda yaklaşık 0,68–2,35 milyon dolar (Livepeer, Render); şirket beyanı 4–128 milyon dolar	Render'ın piyasa değeri ücretlerin yaklaşık 360 katı	Gerçek ama küçük; büyük ölçüde sıradan çıkarımın yeniden satışı
Merkeziyetsiz eğitim ve çıkarım	Özsermaye şirketleri: Prime Intellect yılda 100 milyon doların üzerinde, Venice 70 milyon doların üzerinde (merkezî altyapı)	Gensyn'in eğitim ana ağı canlı değil; Ritual'ın token'ı zirvesinden −%72	Teknik ilerleme gerçek; kâr özsermayeye gidiyor
Doğrulanabilir yapay zekâ	TEE'ler üretimde (Phala'da 398 ücretli kullanıcı); açıklanmış ücretli zkML yok	—	TEE'ler yararlı; zkML erken aşamada

Sektör	Doğrulanabilir ücretli talep	Sübvansiyon ve değerleme sinyalleri	Değerlendirme
Ajan ödemeleri	Ajanların başlattığı akışlar ayda yaklaşık 5.000–11.000 dolar	Yaklaşık 200 milyon işlem, büyük ölçüde sinyal ve spekülasyon	Önce altyapı, talep sonra
Veri ağları	Grass 2026'nın ilk yarısında 17 milyon dolar (şirket beyanı)	GRASS yıllıklandırılmış gelirin yaklaşık 10 katı	Gerçek alıcıları olan az sayıdaki sektörden biri

Altı sektörü yan yana koyunca sonuç tutarlıdır: **sübvansiyon soğuk başlangıç için yakıttır, iş modeli değil.** 13 Kasım'da CoinGecko'nun yapay zekâ kategorisi toplamda yaklaşık 18,6 milyar dolar değerindeydi, ama bunun yaklaşık %56'sı NEAR ve ICP gibi genel amaçlı katman 1'ler ile TAO, stake edilmiş TAO (TAO ile çift sayılmış olabilir) ve Pearl gibi uzlaşı düzeyindeki projelerdir; protokol ve uygulama katmanındaki yapay zekâ token'larının toplamı yaklaşık 8 milyar dolar ya da daha azdır tahmin. Bu, dört özsermaye şirketinin toplam değerlemesi kadardır: Tempo (5 milyar dolar), Nous (bildirildiğine göre 1,5 milyar dolar), Prime Intellect (1 milyar dolar) ve Venice (1 milyar dolar). Kripto girişim sermayesi fonlaması çeyrekte yaklaşık 4,5–5 milyar dolarda takılı kalmış durumda; artış yapay zekâ ile ilgili altyapıdan geliyor ve bunun açıklanan tutarlar içindeki payı 2026'nın 3. çeyreğinde %8,1'den %18,2'ye çıktı; 2025'te piyasaya çıkan 118 token'ın %84,7'si lansman fiyatının altında işlem görüyor. Tek cümleyle: **kripto dağıtımı ve takası yapıyor, kârı özsermaye alıyor**; en azından 2026'da.

BÖLÜM 07

07

ASIC EKONOMİSİ

ASIC sorusu: bir formül, üç ölçüt

Bir formül: verimlilik neden k = 5'ten sonra kazandırmayı bırakır

R birim hesaplama başına günlük gelir (ağın madenci geliri bölü ağ hash oranı), c marjinal donanımda (Pearl'de bir GPU) bir birim hesaplamanın günlük maliyeti ve k bir ASIC'in o marjinal donanımdan kaç kat ucuz olduğu olsun (c_ASIC = c/k). GPU'lar marjinal madenci olarak kaldıkça serbest giriş ve çıkış R'yi c'ye doğru iter; dolayısıyla bir ASIC birim hesaplama başına R − c/k kazanır:

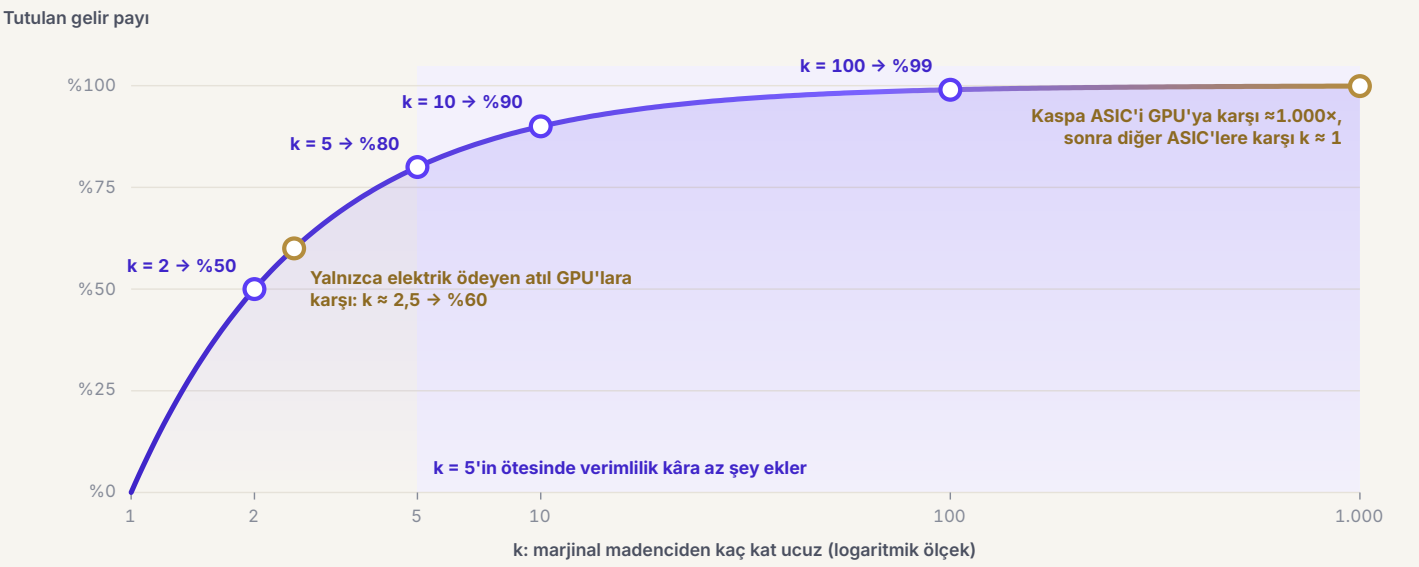
ASIC kâr tavanı ≈ R × (1 − 1/k)

Ağ genelinde bir ASIC filosunun yıllık brüt kâr tavanı kabaca ağın madenci geliri × (1 − 1/k)'dir ve bu yalnızca ASIC'ler marjinal madenci olarak GPU'ların yerini alana kadar geçerlidir.

Formülün üç sonucu var. Birincisi, (1 − 1/k) içbükeydir: k = 2'de bir ASIC gelirin %50'sini, k = 5'te %80'ini, k = 10'da %90'ını, k = 100'de %99'unu tutar. **k = 5–10'un ötesinde daha fazla verimlilik kâra neredeyse hiçbir şey eklemez**; belirleyici olan R'nin ve pastanın büyüklüğüdür. İkincisi, referans sıfırlanır: ASIC'ler marjinal madenci olduğunda k'nin diğer ASIC'lere karşı ölçülmesi gerekir. Kaspa'nın ASIC'lerinin GPU'lara karşı yaklaşık 1.000 katlık verimlilik üstünlüğü vardı, bu da yalnızca kısa süreli bir beklenmedik kazanç sağladı; bugün en iyi KS7 günde 0,86 dolar kazanıyor. Üçüncüsü, Pearl gibi GPU dostu bir zincirde referans çoğu zaman bir GPU'nun satın alma fiyatı değil, **atıl bir GPU'nun elektriğidir**: 525 W'ta ve kWh başına 0,10 dolarla çalışan, sahip olunan bir RTX 5090 günde yaklaşık 1,26 dolarlık elektrik harcar ve yaklaşık 5–6 dolar kazanır tahmin. Batık maliyet olan GPU'lara karşı, enerjinin beşte birini kullanan bir ASIC'in bile, amortismanı elektriğine eşitse etkin k'si yalnızca yaklaşık 2,5 ve kâr tavanı R'nin yaklaşık %60'ıdır (açıklayıcı bir varsayım).

ŞEKİL 05 **Verimlilik neden kazandırmayı bırakır: ASIC gelirin en fazla 1 − 1/k'sini tutar**

Bir ASIC'in marjinal madenciye karşı tutabileceği gelir payı, maliyet üstünlüğü k'ye göre



Kaynak: Yazarın modeli: fiyatı marjinal donanım belirlediğinde birim hesaplama başına gelir onun maliyetine yaklaşır; Kaspa ve RTX 5090 rakamları rapordan.

Üç ölçüt: pasta, geri ödeme ölçeği ve kurallar

Birinci ölçüt **pastadır**. Kasım ayının ilk haftasındaki yaklaşık 2.893 BTC'lik blok ödülleri (yaklaşık 222 milyon dolar) yıllıklandırıldığında bitcoin madencileri yılda yaklaşık 11,5 milyar dolar kazanıyor tahmin. Pearl'ün madencileri yaklaşık 0,46–0,49 milyar dolar (güncel fiyatlarla); Aleo'nun kanıtlayıcı ödülleri, 2025'in 3. çeyreğinden yıllıklandırıldığında yaklaşık 31 milyon dolar; Kaspa'nın madencileri ise 1,945 KAS blok ödülü ve saniyede on blokla yaklaşık 18 milyon dolar kazanıyor tahmin. **Kaspa'nın tam bir yıllık madenci geliri, tek bir 5/4 nm çip tasarım bütçesinin alt ucundan (yaklaşık 30 milyon dolar) azdır.**

İkinci ölçüt **NRE'yi geri ödemek için gereken hash oranıdır**:

h* = NRE ÷ [R × (1 − 1/k) × T × p]

Burada T gün cinsinden yararlı pencere, p ise kuralların o pencerede değişmeden kalma olasılığıdır. Pearl için R = günde PH/s başına 14 dolar, k = 5, T = 365 gün ve 20 milyon dolarlık bir NRE alalım (tekrarlı dizili bir N7/N6 çipi; Silicon Analysts'in orta sınıf düğümler için verdiği 5–30 milyon dolar ve AnySilicon'un 7/6 nm hesaplama ASIC'leri için verdiği 15–100 milyon dolar aralıklarının alt ucunda, çünkü bir madencilik çipi az IP ve tekrarlanan bir yapı kullanır; benim varsayımım). p = 1 ile tam bir yıl boyunca çalışan yaklaşık **4,9 EH/s** gerekir, ağın yaklaşık %5'i; p = 0,5 ile yaklaşık **9,8 EH/s**, yaklaşık %11; R yazın gördüğü yaklaşık 10 dolar düzeyine geri düşerse p = 1'de bile yaklaşık 6,9 EH/s gerekir tahmin. Ölçek ulaşılmaz değil. Sorun p ve T'dir.

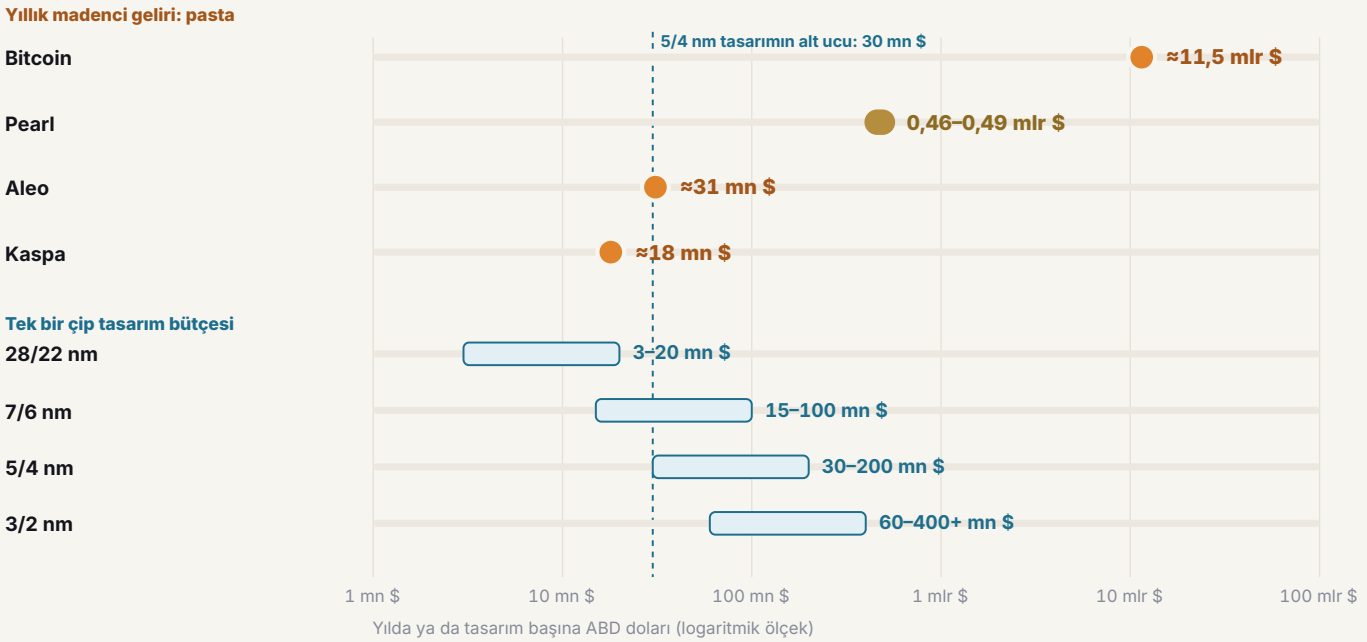
Üçüncü ölçüt **kural riskidir** ve çoğu zaman belirleyicidir. Monero'nun 2018'deki ASIC karşıtı fork'u Bitmain'in X3'ünü atıl bıraktı ve ağa kısa bir süre için hash oranının neredeyse yarısını kaybettirdi. Sia'nın aynı yılki fork'u Bitmain'in ve Innosilicon'un madencilerini kullanılmaz hâle getirdi; geliştiricilerle bağlantılı Obelisk madencisinin ikinci el fiyatı ise 2.499 dolardan 5.000 doların üzerine çıktı. Ethereum'un Merge'ünden bir aydan biraz fazla süre sonra eski Ethereum madencilerinin %20'den azı yeni iş bulmuştu. **İş fonksiyonunu kim denetliyorsa donanım yatırımcılarının kaderini de o denetler** ve Sia, "ASIC direncinin" geliştiricilerin kendi hendeğine dönüşebileceğini gösteriyor. İkinci pazarı olan donanım hayatta kalır: Merge'den sonra GPU'lar yapay zekâya ve buluta geçti, tek algoritmalı ASIC'ler ise Ethereum Classic'e doluştu. Pencere de daralıyor: Kaspa'nın ilk ASIC'i yaklaşık 16 ay,

Aleo'nunki yaklaşık beş ay sürdü ve verimlilik sınırına ilk ulaşan çoğu zaman yerleşik oyuncu değil, meydan okuyandır.

Ağ	Yıllık madenci geliri (yaklaşık)	Marjinal ya da referans donanım	Kural istikrarı	Yeni bir oyuncunun elde edebileceği k	Değerlendirme
Bitcoin	11,5 milyar dolar	Bitmain S23 XP Hyd (8,9 J/TH, TH başına 25,5 dolar)	Çok yüksek	≤1	Büyük bir pasta, ama k yerleşik oyunculara ait
Pearl	0,46–0,49 milyar dolar (güncel fiyatlarla)	Sahip olunan ya da atıl GPU'lar (marjinal maliyet ≈ elektrik) ve veri merkezi GPU'ları	Çok düşük: iki ayda dört fork; FP8 beyaz listesi beklemede	Verimlilikte belki 3–10 kat analiz ; batık maliyetli GPU'lara karşı daha düşük	Pasta yeterince büyük; kural riski veto ediyor
Aleo	Yaklaşık 31 milyon dolar (2025'in 3. çeyreği, yıllıklandırılmış)	IceRiver AE2 ve diğer adanmış makineler	Orta: ARC-46 stake eşiği	≈1	Küçük bir pasta ve eşik yükseliyor
Kaspa	Yaklaşık 18 milyon dolar	KS7 (77 J/TH)	Yüksek	≈1	Yıllık gelir tek bir 5/4 nm tasarım bütçesinin alt ucunun altında

ŞEKİL 06 **Pastaların çoğu tek bir çip tasarım bütçesinden küçük**

Dört ağın yıllık madenci geliri ile düğüme göre tek bir çipin tasarım maliyeti, logaritmik ölçek



Kaynak: Hashrate Index (bitcoin, Kasım 2026), prlstats ve Kryptex (Pearl), Blockworks (Aleo, 3Ç 2025), minerstat (Kaspa), AnySilicon (tasarım bütçeleri, 2026); yıllıklandırma yazara ait.

"Büyük pasta, istikrarlı kurallar ve k > 1" çeyreği bugün boş: bitcoin'de pasta ve istikrarlı kurallar var ama k'si yerleşik oyunculara ait; Pearl'ün pastası yeterince büyük ama kuralları en az istikrarlı olanı; Kaspa ve Aleo'nun kuralları yeterince istikrarlı, pastaları ise çok küçük.

BÖLÜM 08

08

ÇİP ÇİP

Beş çip türü, beş yanıt

Pearl tarzı PoUW: adanmış INT7 çipi yok; çıkarım hizmeti verebilen bir madenciye oynayın

ASIC lehine gerekçe gerçek. Bugün blokların yalnızca yaklaşık %1'i yapay zekâ işi taşıyor; dolayısıyla teknik incelemenin ekonomik argümanı, yani adanmış bir ASIC'in yararlı iş yapma yeteneğini yitirdiği ve bu yüzden daha az kazandığı argümanı, şu anda en zayıf noktasında. Bir GPU'nun en pahalı parçaları olan HBM ve CoWoS paketleme, bir H100'ün üretim maliyetinin yaklaşık %63'ünü oluşturuyor, mantık kalıbı ise yalnızca yaklaşık %9'unu. 7 bitlik tamsayı çarp-topladan başka hiçbir şey yapmayan, işlenenlerini çip üstü SRAM'de tutan ve düşük gerilimde çalışan bir çip, aynı düğümdeki bir GPU'ya göre işlem başına enerjide makul olarak 3 ila 10 kat ve işlem başına maliyette daha büyük bir üstünlüğe ulaşabilir [analiz; henüz ölçüm yok]. Aleyhindeki gerekçe ise daha ağır. İleri düğümlerde dökümhane teslim süreleri 50 haftayı aşabilir ve yeni bir ekibin başlangıçtan seri üretime yaklaşık 18 ila 24 aya ihtiyacı var tahmin; bir çip geldiğinde Pearl pekâlâ FP8'e, ardından FP4'e geçmiş olabilir. Ayrıca PIP-3 kabul edilen aritmetiği bir cihaz beyaz listesiyle tanımladığından, PIP-3 devreye girdiği anda bir INT7 çipi düpedüz çalışmaz hâle gelir.

Dolayısıyla vardığım sonuç şu: **şimdi adanmış bir INT7 Pearl çipi için tape-out yapmayın.** İki daha iyi bahis var. Biri, madencilik de yapabilen çıkarım öncelikli bir hızlandırıcı: genel INT8/FP8 GEMM ve SRAM'de tutulan işlenenler etrafında kurulur, böylece madencilik erişimi kapatılırsa değer gerçek bir çıkarım pazarına düşer. Öteki, protokol tartışmasına katılıp bir ASIC'in tam olarak uygulayabileceği, satıcıdan bağımsız kanonik bir aritmetik için, algoritma istikrarı taahhüdüyle birlikte bastırmaktır; bu, "büyük pasta, istikrarlı kurallar, k > 1" çeyreğinin var olabilmesinin ön koşuludur. O zamana kadar bir mimari, FPGA'larda ya da olgun düğüm çok projeli yonga plakalarında (MPW) doğrulanabilir ve NRE riski bir milyon dolar düzeyinde tutulabilir. 10. bölüm bunu aşamalı bir bütçeye dönüştürüyor.

Bitcoin tarzı madenciler: k yerleşik oyunculara ait ve kıt varlık enerji

Bitcoin'in kural riski en düşüktür, ama rekabet yeni bir oyuncunun k'sini 1'in altına iter. Bitmain'in S23 XP Hyd'i 8,9 J/TH'ye ulaşıyor, TH başına 25,5 dolara satılıyor ve kasımdan itibaren sevk ediliyor; amiral gemisi verimliliği 2023'teki S21'in 17,5 J/TH'sinden 8,9 J/TH'ye düştü, üç yılda yaklaşık %49. 2027–2028'de seri sevkiyat yapacak yeni bir oyuncunun ayakta kalabilmesi için yaklaşık 8 J/TH ya da daha iyisine ihtiyacı olur tahmin. Meydan okuyanlar çekiliyor: Canaan, 2026'nın 2. çeyreğinde 29,3 milyon dolar brüt zararla 31,9 milyon dolar gelir bildirdi ve 3. çeyrek için yalnızca 11–15 milyon dolar öngördü; Bitdeer'in kendi makinelerini dış alıcılara 3. çeyrek satışları 0,3 milyon dolara düştü, grup brüt marjı %3,4; Auradine adını Velaura AI olarak değiştirip yapay zekâ çiplerine yöneldi; Core Scientific de Block'un Proto biriminden yaklaşık 15 EH/s'lik 3 nm makine siparişini iptal ederek 41,9 milyon dolar zarar kaydetti.

Talep de küçülüyor. 9 Kasım'da hashprice günde PH/s başına yaklaşık 31,89 dolardı, Nisan 2027'ye kadarki vadeli eğrinin ortalaması yaklaşık 32,7 dolardı ve ücretler blok ödüllerinin yalnızca %0,72'siydi. kWh başına 0,045 dolarla S23 XP Hyd kendini yaklaşık 3,1 yılda öder tahmin; bu, 2028 civarında beklenen bir sonraki yarılanmaya yakın. Daha önemlisi enerjinin fırsat maliyetidir: yapay zekâ ve yüksek başarımlı hesaplama kiralamaları artık sözleşmeli megavat başına yılda yaklaşık 1,67–1,9 milyon dolar kazandırıyor; bu, %80 ile %85 net faaliyet geliriyle megavat başına madencilik brüt kârının (yaklaşık 0,56–0,9 milyon dolar) yaklaşık 1,5 ila 2,9 katıdır [tahmin; iki megavat

tabanı farklı]. Core Scientific 4. çeyrekte madenciliği bırakacak; artık Keel adını taşıyan Bitfarms tüm ABD madencilik sahalarını kapattı; IREN bir çeyrekte yapay zekâ bulutundan 200 milyon dolar, madencilikten yalnızca 28 milyon dolar kazandı. **Varlık olan enerji ve veri merkezi kapasitesidir; madencilik makineleri sarf malzemesidir.**

NRE hesabı da aynı derecede acımasız. Sınır verimlilik artık 3 nm sınıfı süreçler gerektiriyor (ikincil kaynaklara göre MicroBT Samsung SF3 kullanıyor, Auradine'ın ve Proto'nun çipleri 3 nm). Maskeler yaklaşık 10–20 milyon dolar, tam NRE ise 30–100 milyon dolar ya da daha fazla tutuyor; TH başına 20–25 dolar ve %30 brüt marjla satılan her 1 EH/s yaklaşık 6–7,5 milyon dolar brüt kâr getirir; dolayısıyla Bitdeer ölçeğindeki yıllık Ar-Ge'yi, yaklaşık 110–160 milyon doları karşılamak için dış alıcılara yılda yaklaşık 20–25 EH/s satmak gerekir, ağın yaklaşık %2'si tahmin. Sonuç: **yeni bir ekip ticari bitcoin madenci pazarına girmemelidir.** Üç durum yine de anlamlı: kendine ait ucuz enerjiyle dikey entegrasyon; ev ve ısıtma madencileri gibi niş biçimler (Canaan da ev tipi ısıtma ürünleri çıkarıyor); IP ve tasarım hizmetleri aracılığıyla yerleşik oyuncuların yol haritalarında yer almak.

Yapay zekâ eğitim çipleri: küçük bir ekip olarak değil

Eğitim çiplerinde k'yi elde etmek en zordur. Aynı nesil ve hassasiyette Google'ın Ironwood'u, çip düzeyinde FP8 verimliliğinde B300'ün yalnızca yaklaşık 1,1 ila 1,8 kat önünde (Ironwood'un gücü bir muhabirin tahmini) tahmin; TPU v1 makalesinden sık sık alıntılanan 30 ila 80 kat, tensör çekirdeği olmayan bir K80'e karşı ölçülmüştü. Asıl kaldıraç sayı biçimidir: FP8'den FP4'e geçmek genellikle aynı silikonda 2 ila 3 kat işlem hacmi sağlar ve orada en hızlı ilerleyen NVIDIA'dır: 2026'nın ikinci yarısında seri üretime geçen Rubin için 50 PF NVFP4 çıkarım iddia ediyor. Maliyet ve tedarik eşikleri daha da yüksek: 3/2 nm tasarım bütçeleri 60–400 milyon dolar ya da daha fazla; 2026'da CoWoS kapasitesi ayda yaklaşık 106.000–130.000 yonga plakası ve TSMC'nin %20'ye varan fiyat artışlarını değerlendirdiği bildiriliyor; HBM3E için GB başına 15,6 dolarlık sözleşme fiyatıyla 288 GB'lık bir hızlandırıcıdaki HBM tek başına yaklaşık 4.500 dolara mal oluyor tahmin. Bu pazar, büyük bulut sağlayıcılarıyla Broadcom tarzı ortak geliştirmeye aittir (11. bölüm). Sonuç: **küçük ekipler bağımsız eğitim çipleri yapmamalı**; bunun yerine IP, chiplet ya da tasarım hizmetleri üretmeli.

Yapay zekâ çıkarım çipleri: genelliği k ile takas edin, karşılığını verir

Çıkarım, ASIC'lerin en çok alana sahip olduğu yerdir, çünkü k genellikten vazgeçerek satın alınabilir. Etched, sekiz çipli sunucusunun Llama-70B'yi saniyede 500.000'den fazla token ile, yani sekiz H100'ün yaklaşık 20 katı hızla çalıştırdığını iddia ediyor; Taalas model ağırlıklarını maske ROM'a sabit olarak işliyor ve 10 kat daha düşük güç ve 20 kat daha düşük üretim maliyeti iddia ediyor (ikisi de satıcı beyanı). SRAM merkezli mimariler HBM ve CoWoS'tan kaçınır ve düğümleri daha yönetilebilirdir: Taalas TSMC 6 nm kullanıyor, Groq 14 nm'den Samsung 4 nm'ye geçti. Kripto dağıtımı çıkarım çiplerine yardımcı olmaz, çünkü merkeziyetsiz hesaplama ağları neredeyse tamamen NVIDIA üzerinde çalışır; giriş yolu neocloud'ların satın alma ekonomisi ve Çin'deki büyük yerli çıkarım pazarıdır: orada devlet fonlu veri merkezleri yerli yapay zekâ çipleri kullanmak zorunda, H200 ithalatı kısılıyor ve Pekin büyük internet şirketlerinin çıkarımı yerli çiplerde çalıştırmasını istiyor. Sonuç: net bir müşteri olduğu ve modellere ve mimariye bağımlılık derecesi bilinçli bir seçim olduğu sürece **yapmaya değer**. Bu aynı zamanda bir PoUW madencilik çipi için en iyi ikinci pazardır.

ZK ve FHE hızlandırıcıları: ZK'de riskten korunun, FHE'de erkenden konumlanın

GPU'lar gerçek zamanlı ZK kanıtlamaya şimdiden yetişti: Succinct'in SP1 Hypercube'ü, 16 RTX 5090 üzerinde Ethereum bloklarının %99,7'sini 12 saniyenin altında kanıtladı. Cysic, ZK C1 çipinin GPU kanıtlayıcılarından 10 ila 100 kat verimli olduğunu ve 2026'da sevk edileceğini iddia ediyor, ama talebi büyük ölçüde kendi token ödüllerinden geliyor satıcı beyanı; Aleo bulmaca ASIC'lerinin gerçek ZK kanıtlama için kullanıldığına dair kamuya açık bir kanıt bulamadım. ZK kanıtlama tamsayı tabanlı ve deterministiktir, biçim olarak madencilik çiplerinin yaptığına yakındır, ama kanıt sistemleri hızla değişiyor (SP1, RISC Zero, Halo2, Plonky2 ve diğerleri). Sonuç:

bekleyin ve riskten korunun; önce FPGA'larda, sonra ASIC olarak programlanabilir MSM, NTT ve hash motorlarıyla.

FHE, donanıma en bağımlı ve yukarı yönlü potansiyeli en büyük temel yapıtaşıdır. Intel 3 üzerinde 197 mm², 176 W ve 48 GB HBM3 ile Intel'in Heracles'i, FHE işlemlerini 24 çekirdekli bir Xeon'dan 1.074 ila 5.547 kat hızlı çalıştırıyor, ama Intel'in ticari planı yok ve projenin lideri Aralık 2025'te ayrıldı. Niobium, tasarım ortağı SemiFive ile Samsung 8LPU üzerinde çalışıyor (yaklaşık 6,86 milyon dolarlık bir geliştirme sözleşmesi) ve 23 milyon doları aşan fon topladı; fotonik bir yaklaşım izleyen Optalysys 31 milyon dolar topladı ve tam ticari bir çipin hâlâ iki üç yıl uzakta olduğunu söylüyor; Zama'nın açık kaynaklı FPGA tasarımı ise yaklaşık 200 W'ta saniyede yaklaşık 13.000 programlanabilir bootstrap'e ulaşıyor; bu, herhangi bir ASIC'in açıkça geçmesi gereken kamuya açık temel çizgidir. Sonuç: yaklaşık 2027–2029 penceresi için **erkenden konumlanın ve hafif varlıklarla doğrulayın**. Talebin kripto paranın kendisinden çok şirketler ve hükümetler için şifreli yapay zekâda demirlemesi daha olası; FHE ayrıca HBM gerektirdiği için maliyet yapısı bir eğitim çipininkine benziyor.

Çip türü	k nereden geliyor	Talep ve pasta	NRE ve eşikler	Kural ya da bağımlılık riski	İkinci pazar	Değerlendirme
Pearl tarzı PoUW madencilik çipi	HBM, CoWoS ve genel amaçlı birimlerden vazgeçmek: J/op'ta belki 3–10 kat analiz	Madenci geliri yılda yaklaşık 0,46–0,49 milyar dolar, oynak	Tekrarlı dizili N7/N6 yaklaşık 10–30 milyon dolar analiz	Çok yüksek: sayı biçimine ve cihaz beyaz listesine protokol karar veriyor	Genel INT8/FP8 GEMM olarak yapılırsa yapay zekâ çıkarımı	Adanmış INT7 çipi yok; çıkarım öncelikli ve madenciliğe uygun yapın ya da kanonik aritmetiği bekleyin
Bitcoin SHA-256 madencilik çipi	Bitmain'e karşı k ≤ 1	Yılda yaklaşık 11,5 milyar dolar; ticari pazar iki firmanın elinde	3 nm sınıfı maskeler 10–20 milyon dolar; tam NRE 30–100 milyon dolar ya da daha fazla	Düşük (istikrarlı algoritma); yüksek rekabet ve yarılanma riski	Neredeyse hiç (tek algoritma)	Yeni oyuncular ticari pazardan uzak durmalı; yalnızca kendi enerjisiyle, niş biçimler ya da IP
Yapay zekâ eğitim çipi	Aynı nesil sistolik diziler yalnızca 1,1–1,8 kat; kaldıraç sayı biçimi	En büyük (Broadcom'un 2026 mali yılında yaklaşık 58 milyar dolar yapay zekâ yarı iletken geliri)	3/2 nm tasarım 60–400 milyon dolar ya da daha fazla; CoWoS ve HBM	NVIDIA'nın yıllık ritmi	—	Küçük ekipler bağımsız çip değil, IP, chiplet ve tasarım hizmetleri üretmeli
Yapay zekâ çıkarım çipi	Genellikten vazgeçmek: 10–20 kat iddia ediliyor satıcı beyanı	Büyük ve parçalı; Çin anakarasının yerli pazarı başlı başına büyük	N6/N7–N4'te SRAM mimarileri yönetilebilir	Modellere ve mimariye bağımlılık	Ana pazarın kendisi	Yapmaya değer: önce müşteriyle imzalayın, sonra bağımlılığı seçin
ZK hızlandırıcısı	GPU'ların 10–100 katı iddia ediliyor satıcı beyanı	Küçük, büyük ölçüde token ödülleriyle yürüyor	N7/N6, sonra N5; önce FPGA	Kanıt sistemleri hızla değişiyor	ZK dışında sınırlı	Bekleyin ve riskten korunun: programlanabilir MSM ve NTT motorları
FHE hızlandırıcısı	Bir Xeon'un 1.074–5.547 katı (Heracles)	Henüz oluşmadı; şirketler ve kamuda demirliyor	HBM gerektiriyor; maliyet yapısı eğitim çiplerine yakın	Standartlar ve ekosistem oturmamış	Şifreli hesaplama, özel yapay zekâ	Erkenden konumlanın, hafif varlıklarla doğrulayın; 2027–2029 penceresi

ŞEKİL 07 **Beş çip türü, beş yanıt**

Maliyet üstünlüğü k nereden geliyor, kurallar değişirse silikon nereye satılabilir ve değerlendirme



Kaynak: Yazarın 7. ve 8. bölümlerden sentezi; satıcı rakamları raporda etiketlendiği gibidir.

BÖLÜM 09

ÜRETİM DÜĞÜMLERİ

09 Üretim düğümleri: seçimi en büyük ömür boyu maliyet yapsın

Maliyet merdiveni: en ileri yonga plakaları olgun olanların on katına mal oluyor

Önce hesap defteri. En ileri düğümde bir yonga plakası artık olgun bir düğümdekinin yaklaşık on katına mal oluyor: TSMC N2 yaklaşık 30.000 dolar, N3 yaklaşık 20.000 dolar, N7 yaklaşık 9.500 dolar ve N28 yaklaşık 3.000 dolar; Samsung SF3 yaklaşık 15.000 dolar, N3'ün yaklaşık %25 altında; SMIC'in 7 nm sınıfı üretim maliyetinin ise TSMC'ninkinin %40 ile %50 üzerinde olduğu bildiriliyor. TSMC'nin Ocak 2027'den itibaren fiyatları %3 ile %6 daha artıracağı, en çok da 2 nm ve 3 nm'de, bildiriliyor. Maske ve tasarım maliyetleri daha da fazla farklılık gösteriyor ve kaynaklar birbiriyle çelişiyor; bu yüzden tablo her ikisini de gösteriyor.

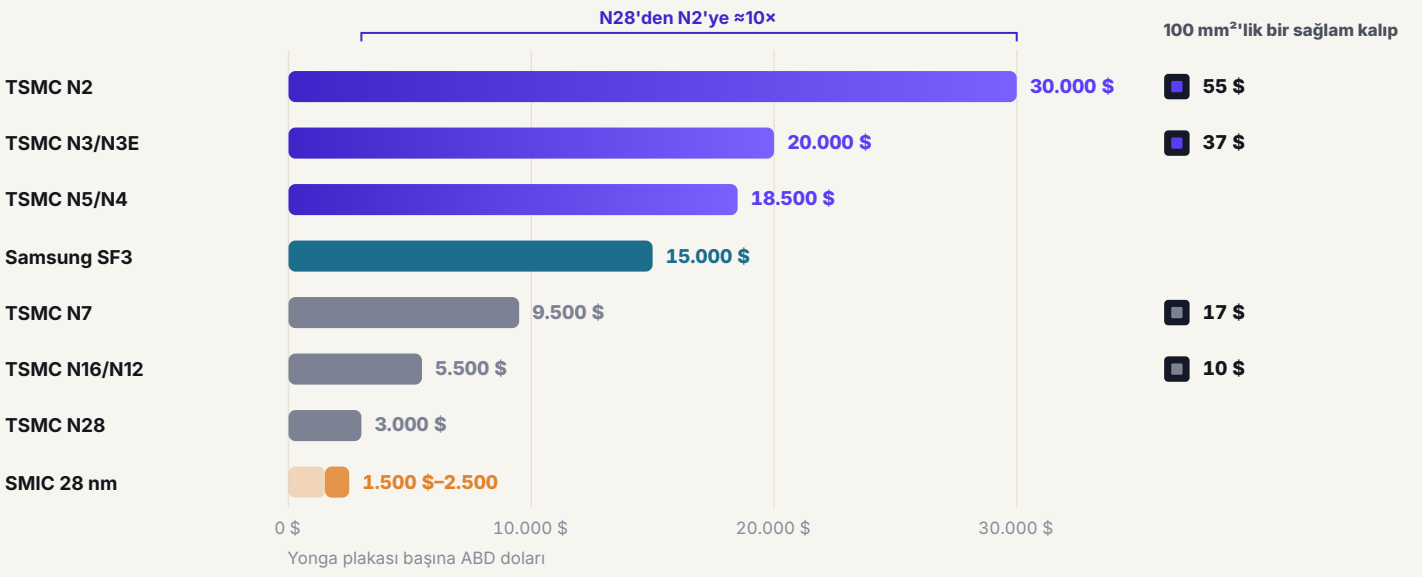
Düğüm	Yonga plakası fiyatı (tahmin)	Maske seti (model değeri / rehber aralığı)	Tasarım bütçesi (AnySilicon)	MPW (proje başına)
TSMC N2	Yaklaşık 30.000 dolar	—	3/2 nm: 60–400 milyon dolar ya da daha fazla	—

Düğüm	Yonga plakası fiyatı (tahmin)	Maske seti (model değeri / rehber aralığı)	Tasarım bütçesi (AnySilicon)	MPW (proje başına)
TSMC N3/N3E	Yaklaşık 20.000 dolar (18.000–27.000 dolar)	15 milyon dolar / 10–20 milyon dolar	Yukarıdaki gibi	—
Samsung SF3	Yaklaşık 15.000 dolar (13.000–17.000 dolar)	12 milyon dolar	—	—
TSMC N5/N4	Yaklaşık 18.500 dolar (16.000–21.300 dolar, düşük güvenilirlik)	6,5 milyon dolar / 10–20 milyon dolar	5/4 nm: 30–200 milyon dolar	—
TSMC N7	Yaklaşık 9.500 dolar (8.100–10.900 dolar)	3,5 milyon dolar / 5–10 milyon dolar	7/6 nm: 15–100 milyon dolar	Ticari 100.000–500.000 dolar
TSMC N16/N12	Yaklaşık 5.500 dolar	1,8 milyon dolar	16/12 nm: 6–40 milyon dolar	Akademik mm² başına yaklaşık 35.000 dolar
TSMC N28	Yaklaşık 3.000 dolar	1 milyon dolar / 1–3 milyon dolar	28/22 nm: 3–20 milyon dolar	Ticari 50.000–150.000 dolar; akademik mm² başına yaklaşık 12.000 dolar
SMIC 28 nm	1.500–2.500 dolar	—	—	—
SMIC 7 nm sınıfı (N+2/N+3)	TSMC'nin %40–50 üzerinde	—	—	—

ŞEKİL 08

En ileri düğümde yonga plakası olgun düğümün on katı

Düğüme göre 300 mm yonga plakası başına tahmini fiyat ve %85 verimde 100 mm²'lik bir sağlam kalıbın maliyeti



Kaynak: Silicon Analysts yonga plakası fiyatları (tahmin, N5 düşük güvenilirlik), Wccftech (SMIC); kalıp maliyetleri varsayılan bir verimle yazarın hesabıdır.

Sonra fizik. Horowitz'in klasik ölçümleri, programlanabilir bir komutun yaklaşık 70 pJ'ye mal olduğunu, aritmetiğin kendisinin ise birkaç pikojoule tuttuğunu gösteriyor: **aritmetik ucuz, ek yük pahalıdır**; sistolik dizilerin ve adanmış çiplerin var olma nedeni budur. Özellik boyutunu yarıya indirmek işlem başına enerjiyi kabaca yarıya indirir, ama

besleme gerilimi 0,9–1,1 V civarında takılıp kaldı. Bir N2 yonga plakası N3'ten %50 ile %67 daha pahalı; dolayısıyla yoğunluk yaklaşık 1,5 kattan fazla artmadıkça transistör başına maliyet düşmez, yükselir tahmin: en ileri düğümler kendilerini verimlilik ve başarımla amorti etmek zorunda. %85 verimle 100 mm²'lik bir kalıp için her sağlam kalıbın maliyeti N2'de yaklaşık 55 dolar, N3'te 37 dolar, N5'te 29–34 dolar, N7'de 17 dolar ve N16'da 10 dolardır [tahmin; verim bir varsayımdır].

Çip türüne ve ekibe göre düğüm seçmek

Kuralım şu: **düğümü, çipin ömür boyu maliyetindeki en büyük kalem seçsin.** Kesintisiz tam yükte çalışan hesaplama çiplerinde (madencilik, ZK) ömür boyu maliyete elektrik hâkimdir; dolayısıyla algoritma istikrar kazandığında N5/N4 ve N3/SF3'e geçmeleri gerekir; algoritma oturmamışken ya da para kısıtlıyken önce olgun düğüm MPW'lerinde doğrulayın. Eğitim çiplerinde darboğaz paketleme ve bellektir (HBM ve CoWoS bir H100'ün malzeme listesinin yaklaşık %63'ü), dolayısıyla düğüm ikincildir. Çıkarım çiplerinde ilk karar bellek mimarisidir: SRAM merkezli tasarımlar N6/N7 ile N4 arasında kalabilir, HBM tasarımları ise eğitim çiplerinin maliyet yapısını devralır. FHE bellek bant genişliğine bağlıdır ve HBM'den kaçamaz.

Çip türü	Girişim ya da küçük ekip	Ölçeklenmiş şirket	Çin anakarası yolu	Kilit noktalar
Matris çarpımlı PoUW madencilik çipi (SRAM'de çalışan, HBM'siz)	28 nm ya da 16/12 nm MPW'de prototip; ilk seri üretim N7/N6'da; algoritma ve gelir istikrar kazanınca N5/N4; standart flip-chip paketlerde 50–150 mm²'lik kalıplar	N3/N3E ya da Samsung SF3	SMIC N+1/N+2 uygulanabilir (HBM ya da CoWoS gerekmez), sağlam kalıp başına yaklaşık %40–50 daha pahalı	Enerji baskın; en büyük risk protokol kuralları
SHA-256 madencilik çipi	Sınırın peşinden koşmayın; niş biçimler olgun düğümleri kullanabilir	3 nm sınıfı; yerleşik oyuncular TSMC 5 nm'den 2 nm'ye ve Samsung SF3'ten 2 nm'ye geçiyor (ikincil kaynaklar)	En ileri düğüm verimliliğini yakalamak zor	Marjları enerji fiyatı ve yarılanma döngüsü belirler
Yapay zekâ eğitim çipi	Bağımsız çip yok: IP, chiplet, tasarım hizmetleri	N3P, sonra N2/A16; 2–8 chiplet; CoWoS ve HBM'yi erkenden güvenceye alın	Yerli HBM ile SMIC N+2/N+3 (Huawei modeli); çip başına FP8 NVIDIA'nın yaklaşık 0,2–0,5 katı, sistem ölçeğiyle telafi ediliyor	Darboğaz paketleme ve HBM
Yapay zekâ çıkarım çipi	SRAM merkezli ya da sabit kablolu, N6/N7 ya da N4/N5/SF4; yalnızca INT8, FP8 ve FP4	HBM ile N3/N2 (uzun bağlam, uzmanlar karışımı) ya da çok chiplet'li SRAM	LPDDR ya da GDDR ile SMIC N+2; HBM sınıfı bellek boğaz noktası	Mimari bağımlılığın derecesi temel karar
ZK hızlandırıcısı	FPGA'da ya da 16/12 nm MPW'de başlayın; sonra N7/N6 ve N5	N5/N3	SMIC N+1/N+2 uygulanabilir	Tamsayı tabanlı ve deterministik; doğrulaması kolay
FHE hızlandırıcısı	FPGA (açık kaynaklı temel çizgiye karşı) ya da 16/12 nm MPW; seri üretim HBM gerektirir	HBM ile N5/N3	HBM erişimiyle sınırlı	Hızı aritmetik değil, bellek bant genişliği belirler

İleri ya da olgun, dört tür dökümhane ve chiplet'ler

Seçenek	Başlıca güçlü yönler	Başlıca zayıf yönler	En uygun olduğu alan
En ileri düğümler (N3/N2, SF3/SF2, Intel 18A)	Her tam düğüm işlem başına enerjiyi kabaca yarıya indirir; yoğun SRAM	Yonga plakaları olgun düğümlerin 3–10 katı, maskeler 5–15 katı, tasarım bütçeleri 10–20 katı; teslim süreleri 50 haftanın üzerinde; N2'de transistör başına maliyet yükselebilir	Algoritması istikrarlı, kesintisiz çalışan hesaplama çipleri; eğitim çipleri
Olgun ve orta sınıf düğümler (N7/N6, N16/12, N28)	Milyon dolar düzeyinde maskeler, ucuz MPW, hızlı yineleme, çok sayıda dökümhane (TSMC, UMC, GlobalFoundries, SMIC)	Kesintisiz tam yükte rekabetçi olmayan verimlilik	Prototipler, niş pazarlar, uç çıkarım
TSMC	En iyi verim ve ekosistem	En yüksek fiyatlar; N2/N3 kapasitesi dar; CoWoS için uzun kuyruklar	Hacim taahhüdü olan, verimlilik sınırını kovalayan ekipler
Samsung Foundry	Yonga plakaları yaklaşık %20–25 daha ucuz (SF3 yaklaşık 15.000 dolar, N3 yaklaşık 20.000 dolar); Groq'un ikinci nesli ve diğerleri kullanıyor	Dökümhane işi zarar ediyor, 2027 sonuna kadar başa baş hedefliyor	Maliyete duyarlı hesaplama çipleri
Intel Foundry	Heracles gibi karmaşık çipler Intel 3'te kanıtlandı	18A için kamuya açık dış fiyat ya da müşteri verisi yok; dökümhane işi zarar ediyor	Ekosistemi ve desteği duruma göre değerlendirin
Çin anakarasındaki dökümhaneler (SMIC ve diğerleri)	Büyük bir yerli pazara yakınlık; 1.500–2.500 dolarlık 28 nm yonga plakaları	7 nm sınıfı kapasite ayda yaklaşık 45.000–60.000 yonga plakası, büyük ölçüde Huawei tarafından emiliyor; verim TSMC'ninkinin yaklaşık üçte biri; maliyetler %40–50 daha yüksek; yalnızca DUV	Yerli pazar için çıkarım, madencilik ve ZK çipleri
Chiplet'ler	Retikül ve verim sınırlarını aşar; HBM sistemlerinde standart (MI355X, Ironwood, Trainium3)	Daha yüksek paketleme maliyeti ve CoWoS bağımlılığı; bilinen sağlam kalıp testi maliyet ekler	Eğitim ve büyük çıkarım çipleri; küçük madencilik ya da ZK çipleri için gerekmez

BÖLÜM 10

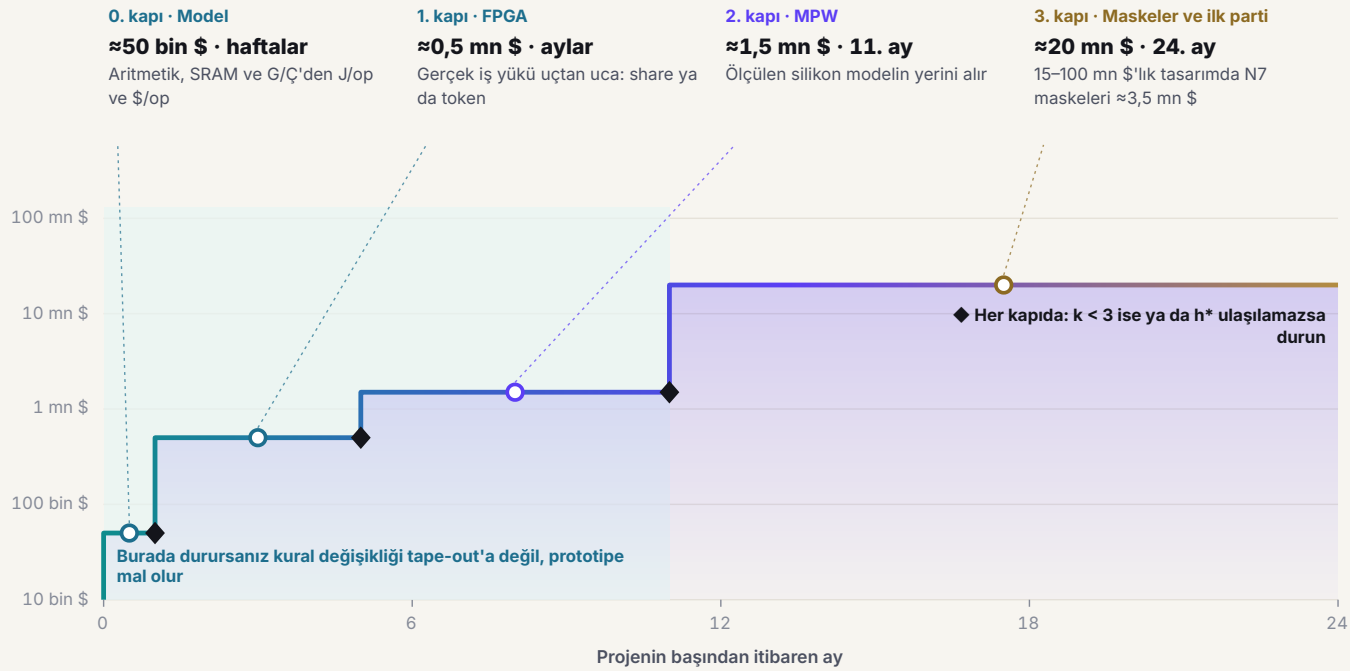
10 AŞAMALI BİR BÜTÇE
Modelden silikona: ilk çip için aşamalı bir bütçe

Maskelerden önce kanıt satın alın

Tam özel tasarım bir çip, her biri bir öncekinden büyük bir dizi bahistir ve disiplin, maske satın almadan önce kanıt satın almaktır. Dört kapı kullanıyorum analiz. 0. kapı bir modeldir: J/op ve $/op'u aritmetikten, SRAM'den ve G/Ç'den, 7. bölümün referans donanımına karşı tahmin eden bir mimari çalışması; haftalar ve on binlerce dolar tutar. 1. kapı, gerçek iş yükünü uçtan uca çalıştıran, share ya da çıkarım token'ı üreten ve veri yolunu ve protokol entegrasyonunu kanıtlayan bir FPGA prototipidir; birkaç ay ve birkaç yüz bin dolar tutar. 2. kapı çok projeli bir yonga plakasıdır: ticari bir yer N28'de yaklaşık 50.000–150.000 dolar, N7'de 100.000–500.000 dolar tutar ve ölçülen silikon modelin enerji tahminlerinin yerini alır. 3. kapı tam maske seti ve ilk üretim partisidir: 7/6 nm'de 15–100 milyon dolarlık bir tasarım bütçesi içinde N28'de yaklaşık 1 milyon dolar, N7'de 3,5 milyon dolar ve N3'te 15 milyon dolarlık maskeler. Her kapının projeyi durduran bir rakama ihtiyacı vardır; örneğin marjinal donanıma karşı 3'ün altında bir k ya da pencerenin ulaşamayacağı bir geri ödeme hash oranı h*.

ŞEKİL 09 **Maskelerden önce kanıt satın alın: ilk çip için aşamalı bir bütçe**

Bir N7/N6 projesinin dört kapı boyunca ABD doları cinsinden kümülatif harcaması, logaritmik ölçek; her kapıda projeyi durduran bir rakam var



Kaynak: Yonga plakası, MPW ve maske fiyatları 9. bölümdeki gibi (Silicon Analysts, AnySilicon, model değerleri); kapı zamanlaması ve harcamalar yazarın açıklayıcı varsayımlarıdır.

Merdiven diktir. Bir N7/N6 projesinde ilk üç kapı birlikte yaklaşık 1,5 milyon dolar ve yaklaşık on bir ay tutar; dördüncüsü bunun on katından fazlasına mal olur tahmin. Bu yüzden sıra düğümden daha önemlidir: protokol

aritmetiğini değiştirirse ya da alıcı vazgeçerse, 2. kapıda duran bir ekip bir tape-out'un değil, bir prototipin bedelini kaybeder.

Her çip neye mal olur ve neyin doğru olması gerekir

Proje	2. kapı (prototip)	3. kapı (düğüm ve tasarım bütçesi)	100 mm²'lik bir sağlam kalıp	Geri ödeme için neyin doğru olması gerekir
Madencilik yapabilen çıkarım öncelikli hızlandırıcı	16/12 nm ya da N7 MPW, 0,1–0,5 milyon dolar	N6/N7, yaklaşık 15–30 milyon dolar tahmin	N7'de paketleme ve bellek hariç yaklaşık 17 dolar	İmzalı bir çıkarım müşterisi NRE'nin çoğunu taşır; madencilik geliri temel senaryo değil, ek kazançtır
Adanmış Pearl INT7 madencisi (şimdilik önerilmez)	28 nm MPW, 0,05–0,15 milyon dolar	N7/N6, yaklaşık 20 milyon dolar	N7'de yaklaşık 17 dolar	p = 1 ile tam bir yıl boyunca yaklaşık 4,9 EH/s ya da p = 0,5 ile 9,8 EH/s (7. bölüm)
ZK hızlandırıcısı	FPGA, sonra 16/12 nm MPW	N7/N6, sonra N5	N16'da yaklaşık 10 dolar, N7'de 17 dolar	Kanıt sistemlerinin sabit bir tasarımın hizmet edebileceği MSM ve NTT çekirdeklerinde karar kılması
FHE hızlandırıcısı	Açık kaynaklı temel çizgiye karşı FPGA	HBM ile N5/N3, 30 milyon dolar ya da daha fazla	HBM ve paketleme baskın	Büyük hacimde şifreli yapay zekâ için henüz var olmayan bir alıcı

Bundan iki ticari sonuç çıkar. Birincisi, en ucuz verimlilik mimaridir: işlenenleri SRAM'de tutmak ve HBM ile CoWoS'u dışarıda bırakmak, herhangi bir düğüm seçilmeden önce bir GPU'nun maliyetinin çoğunu (bir H100'ün malzeme listesinin yaklaşık %63'ü) ortadan kaldırır. İkincisi, zaman bir maliyettir: yeni bir ekibin başlangıçtan seri üretime yaklaşık 18 ila 24 aya ihtiyacı var ve en ileri düğümlerde teslim süreleri 50 haftayı aşıyor; dolayısıyla aritmetiğini birkaç ayda bir değiştiren bir protokol, bir çipi 3. kapı kendini amorti etmeden eskitebilir.

Küçük bir ekip için üç kural

Bu rakamlar birlikte üç kural veriyor analiz. Birincisi, **adı belli bir alıcı ya da dondurulmuş bir protokol sürümü olana kadar 1. ya da 2. kapıda kalın**; ne token fiyatı ne de hash oranı bunların yerini tutar. İkincisi, **k'yi önce mimariyle, sonra düğümle satın alın**: N7'de SRAM'de çalışan bir dizi, tek bir iş yükü için N3'teki genel amaçlı bir parçayı, maske maliyetinin küçük bir kesriyle geçebilir. Üçüncüsü, **tape-out'tan önce geri ödeme hash oranını ya da hacmini p ile birlikte yazın** ve kilometre taşı ödemelerini sabit bir protokol sürümüne göre fiyatlayın; böylece kural riskini tasarım şirketi değil, müşteri taşır.

BÖLÜM 11

11

FIRSATLAR

Fırsatlar nerede ve ben ne yapardım

Özel tasarım çipler: talep ezici biçimde yapay zekâdan geliyor

2026'da özel tasarım çip talebi ezici biçimde yapay zekâdan geliyor. Broadcom'un 2026 mali yılının 3. çeyreğindeki yapay zekâ yarı iletken geliri, yıllık bazda %221 artışla 16,7 milyar dolardı; yıl için yaklaşık 58 milyar dolar, bunun %73'ü altı müşteri için XPU'lardan (kazanç çağrısının otomatik dökümünden). Global Unichip'in 2. çeyrek geliri yıllık bazda %128 arttı; anahtar teslim üretim geliri %188 yükseldi, brüt marj %21,5. Alchip'in 1. çeyrek gelirinin düğümlere göre dağılımı 3/2 nm'de %21, 7/5 nm'de %63 ve 12 nm ve üzerinde %16'ydı. VeriSilicon'un 2026 yeni siparişleri nisan sonunda 8,24 milyar RMB'ye (yaklaşık 1,16 milyar dolar) ulaştı, bunun %91,37'si yapay zekâ hesaplaması içindi. Pazarın üç katmanı var: en üstte milyarlarca dolarlık çok yıllı ortak geliştirme; ortada, NRE'si birkaç milyondan yüz milyon doların üzerine kadar uzanan 7 nm'den 2 nm'ye projeler (orta sınıf düğümlerde 5–30 milyon dolar, en ileri düğümde 30–100 milyon dolar ya da daha fazla); ve NRE'si 0,5–5 milyon dolar olan olgun düğüm ASIC'lerinden oluşan uzun bir kuyruk. Kripto ve madencilik müşterileri küçük, döngüsel bir niş, ama bugün hesaplamaya para ödeyen en hızlı ve en izinsiz "ilk müşteri" onlar.

Bir madencilik çipi ekibinin en iyi aktarılan yetenekleri, eşiğe yakın düşük gerilimde çalışma, devasa ölçüde çoğaltılmış hesaplama dizileri, kilovat sınıfı güç dağıtımı ve soğutma ve en ileri düğümlerde hızlı tape-out, tam olarak çıkarım çiplerinin ve ZK ve FHE hızlandırıcılarının ihtiyaç duyduğu şeylerdir. Sermaye piyasaları bunu fiyatlıyor: Velaura AI (eski adıyla Auradine) ağustosta 1 milyar doların üzerinde bir değerlemeyle 110 milyon dolar topladı. Karşı örnek, Canaan'ın uç yapay zekâ çip birimidir: 2024 mali yılında faaliyet giderlerinin %15'ini tüketirken 0,9 milyon dolar gelir elde etti ve Haziran 2025'te kapatıldı. Fark, madencilik kanallarını yeniden kullanmakta değil, bağımsız bir pazara erişim yolunda yatıyor.

Yapay zekâ geliştirme: saatler sıradan bir metadır; değer eklem yerlerinde

Alt uçta yapay zekâ geliştirme hizmetleri metalaşmış durumda: Clutch'taki tipik ücretler saatte 25–49 dolar, ABD, Kanada ve benzeri pazarlarda 50–99 dolar; bir blokzincir geliştirme ekibi ayda yaklaşık 15.000 dolardan 90.000 doların üzerine kadar tutuyor. Saat satmanın hendeği yoktur. Değer, alanlar arasındaki eklem yerlerindedir: özel tasarım çipler için çekirdekler ve derleyiciler, çıkarım hizmetine gömülü madencilik (Pearl'ün vLLM eklentisi bir örnek), TEE'leri ZK nokta kontrolleriyle birleştiren doğrulanabilir çıkarım ve ajanlar için ödeme ve kimlik.

Yapay zekâ × kripto sistemleri: token'dan önce hesaplama alıcısıyla imzalayın

Yapay zekâya özgü bir zincir ya da hesaplama ağı tasarlayan herkes için 2026'nın doğrulama araç kutusu şekillendi. Birim iş başına maliyete göre, en düşükten en yükseğe: istatistiksel örnekleme (Hyperbolic'in örnekleme kanıtı), hakemli devretme (Gensyn'in Verde'si; yalnızca bir dürüst doğrulayıcıya ihtiyaç duyar ama bit düzeyinde birebir yürütme gerektirir), TEE'ler (doğal hıza yakın, ama çip satıcısına güven), tam yedeklilik ve genel zkML. Pratik tasarım katmanlıdır: düşük gecikme için TEE'ler ya da örnekleme, kesinlik için itiraz oyunları ya da ZK nokta kontrolleri; Aralık 2025 tarihli bir makale, dolandırıcılık kanıtları ve rastgele ZK nokta kontrolleriyle H100 gizli hesaplamasını merkezî işlem hacminin %99'unda ve sorgu başına 0,07 dolarlık marjinal maliyetle simüle etti. Donanım felsefesi güvenliği ve dağılımı belirler: GPU'ya özgü PoUW başlangıçta kiralanabilir bulut GPU'larıyla

korunur, dolayısıyla saldırı maliyeti kiralama fiyatlarına bağlıdır; Qubic ise genel amaçlı donanım üzerindeki iş kanıtının dış teşviklerce toptan ele geçirilebileceğini gösteriyor.

Engel maliyet ve zaman değil. Pearl, makaleden (Nisan 2025) ana ağa yaklaşık 12 ayda geçti; btcd'den fork'landı ve lansmanda tam düğüm, cüzdan, hafif istemci ve madenci yazılımıyla geldi. DeFi denetimlerinin çoğu 25.000–100.000 dolar, kurumsal ya da çok zincirli denetimler 150.000–250.000 dolar ya da daha fazla tutuyor; ZK devreleri %80 ile %120 daha pahalı ve gerçek değeri risk altında olan projeler güvenlik için yılda 150.000–500.000 dolar bütçe ayırıyor. Asıl engeller dağıtım ve likidite. Kurucular, Binance'in listeleme için token arzının %0 ile %3,5'ini, iddiaya göre de %8'ini istediğini bildiriyor (Binance listelemelerden kâr elde ettiğini reddediyor); Cointelegraph'ın incelediği ve "token borcu artı alım opsiyonu" türü piyasa yapıcılık anlaşmaları kullanan altı projenin altısı da düştü ve Movement'ın piyasa yapıcısı listeleme günü yaklaşık 38 milyon dolarlık token sattı. Alternatifler zincir üstü likidite, örneğin Binance listelemesi olmadan 10 milyar dolar piyasa değerini aşan ve HIP-3 vadesiz piyasaları haziranda 3,2 milyar doları aşan açık pozisyona ulaşan Hyperliquid, ve büyük borsalar üzerinden yapılan kamu satışlarıdır, örneğin Monad'ın Coinbase üzerinden 269 milyon dolar toplaması gibi. 2025–2026'da lansman sonrası düşüşün en net öncü göstergesi, düşük dolaşımla birlikte yüksek tam seyreltilmiş değer oldu.

Token tasarımı da sistem tasarımının bir parçasıdır. Emisyon ücretli talebin önüne geçmemeli, onu izlemelidir: bu rapordaki ağlardan sübvansiyon çarpanı en sağlıklı olanlar ödülleri dışarıdan bir alıcının parasını ödediği işe bağlıyor, en kötüleri ise arkasında hiçbir şey olmayan hash oranı ya da stake için ödeme yapıyor. Pratik bir kural, lansmandan önce ağın birinci, ikinci ve üçüncü yılında hedeflediği sübvansiyon çarpanını yayımlamak ve hedef tutturulamazsa emisyonu kısmaktır analiz.

Yön	Kim satın alır ve ödeme isteği	Pencere	Kilit yetenekler	Ana risk
Madencilik yapabilen çıkarım öncelikli hızlandırıcı	Neocloud'lar, özel kurulumlar, PoUW ağları	2027–2028 (FP8 ve FP4 fork'larına bağlı)	INT8, FP8 ve FP4 GEMM; SRAM mimarisi; protokol entegrasyonu	Protokole kabul, mimari bağımlılık
SRAM tabanlı ya da sabit kablolu çıkarım çipi	Neocloud'lar, Çin anakarasındaki veri merkezleri, uç	Şimdi	Derleyiciler ve model uyarlama; N6–N4 tasarımı	Modeller çok hızlı değişiyor
Madencilik çipi (niş ya da dikey entegre)	Kendi enerjisi olan madenciler; ev ve ısıtma madencileri	Şimdi, yarılanma ve hashprice ile sınırlı	Düşük gerilimli diziler, verimlilik, seri üretim tedarik zinciri	Yerleşik oyuncuların fiyat savaşları, enerji fiyatları
ZK kanıtlama hızlandırması	Kanıtlayıcı ağları, rollup'lar	Kanıt sistemleri yakınsayana kadar bekleyin	Programlanabilir MSM ve NTT	Talep token ödüllerine bağlı
FHE hızlandırması	Şirketler ve hükümetler için şifreli yapay zekâ; gizlilik zincirleri	2027–2029	NTT, HBM sistemleri, kriptografi mühendisliği	Talep henüz oluşmadı; uzun satış döngüleri
TEE sağlamlaştırma ve doğrulanabilir çıkarım	Gizli çıkarım ağları, DePIN	Şimdi	Bütünlük korumalı bellek şifreleme, bağımsız doğrulama kökleri, ZK nokta kontrolleri	Satıcı ekosistemlerine bağımlılık
Yapay zekâya özgü zincir ya da hesaplama ağı	Çıkarım alıcıları, madenciler, geliştiriciler	Şimdi	Doğrulama tasarımı, emisyon tasarımı, dağıtım	Lansman sonrası düşüş, token likiditesi

İzleyeceğim üç yol, her biri bir ilk adımla

Seçmem gerekseydi, her biri para bağlanmadan önce onu sınayan küçük bir ilk adımla, en fazla üç yol izlerdim analiz.

- **A yolu: madencilik de yapabilen, çıkarım öncelikli bir hızlandırıcı.** İlk adım: SRAM'de çalışan bir INT8/FP8 GEMM dizisi için J/op ve $/op'u, hem Pearl'ün işi hem de transformer çıkarımı üzerinde RTX 5090 ve H100'e karşı modelleyen dört haftalık bir mimari çalışması; ardından bir milyon dolar düzeyinde NRE ile FPGA ya da olgun düğüm MPW doğrulaması.
- **B yolu: ilk müşteri olarak kripto, ikinci pazar olarak yapay zekâ ile özel silikon hizmetleri.** İlk adım: bu raporun NRE ve başa baş modelini, kilometre taşı ödemeleri ve sabit bir protokol sürümüne göre kabulle, hesaplama çipi projeleri için ücretli bir fizibilite çalışmasına dönüştürmek.
- **C yolu: token'ından önce hesaplama alıcısıyla imzalayan, yapay zekâya özgü bir ağ.** İlk adım: herhangi bir token tasarımından önce, adı belli bir çıkarım alıcısıyla birlikte yazılmış, katmanlı doğrulama (TEE artı örnekleme artı ZK nokta kontrolleri) ve satıcıdan bağımsız kanonik bir aritmetik üzerine bir tasarım notu.

BÖLÜM 12

12

GÖSTERGELER

Kasım 2026'dan 2027'ye izlenecekler

Ne zaman	Ne izlenmeli	Neden önemli
Her an	Pearl'ün FP8 aktivasyon yüksekliği	Tamsayı donanımının ve NVIDIA dışı kartların kabul edilmeye devam edip etmeyeceğini ve zincirin bölünüp bölünmeyeceğini belirler
Aylık	Pearl'de yapay zekâ işi taşıyan blokların payı	"Yararlı"nın gerçeğe dönüşüp dönüşmediğinin tek en iyi testi
Aylık	Çıkarım sağlayıcılarının madencilik gelirini müşterilere yansıtıp yansıtmadığı	Ücretli talebin emisyonla buluşması: Pearl'ün ihtiyaç duyduğu model
Çeyreklik	Bittensor'ın doğrulanabilir gelirinin emisyonuna oranı	En büyük yararlı iş ağının sübvansiyon açığını kapatıp kapatmadığı
Çeyreklik	x402 akışlarında gerçekten ajanların başlattığı pay	Ajan ödemelerinin sinyalden ticarete geçip geçmediği
Ocak 2027	TSMC'nin, en çok 2 nm ve 3 nm'de olmak üzere bildirilen %3 ile %6'lık fiyat artışı	En ileri düğüm tape-out'larının maliyeti
2027'nin ilk çeyreği	Kurucuların AMA'sından aktarıldığı şekliyle Pearl'de FP4	İşin NVIDIA'nın en yeni biçimlerine doğru bir adım daha kayması
2027 sonu	Samsung Foundry'nin başa baş hedefi	Daha ucuz ikinci bir kaynağın sağlıklı kalıp kalmayacağı
Nisan 2028	Bitcoin'in bir sonraki yarılanması	SHA-256 madencileri için pastayı yarıya indirir

BÖLÜM 13

13 SORULACAK SORULAR
Sormadığınız ama sormanız gereken sorular

Aşağıdaki sorular, herhangi bir yapay zekâ × kripto projesine para ya da silikon bağlamadan önce soracağım sorulardır.

İş fonksiyonunu kim denetliyor? Küçük bir ekip aritmetiği sabit kodlanmış bir yükseklikte değiştirebiliyorsa, donanımınızın ömrü onların kararıdır. Yazılı bir istikrar taahhüdü isteyin ya da ikinci pazarı olan donanım tasarlayın.

Sübvansiyon çarpanı nedir? Emisyonu (ya da piyasa değerini) ağın dışından ödenen gelire bölün. 10'un üzerindeki bir çarpan, ağın hizmet satmadığı, faaliyet satın aldığı anlamına gelir.

Bir sonraki kapı neye mal oluyor ve sizi hangi rakam durdurur? Çok projeli bir yonga plakası on binlerce ya da yüz binlerce dolar, bir maske seti milyonlarca dolar tutar. Harcamadan önce durma rakamına karar verin.

p ile birlikte geri ödeme hash oranı nedir? NRE'yi R × (1 − 1/k) × T × p'ye bölün. Sonuç ağın büyük bir payıysa, çip silikona değil kurallara yapılmış bir bahistir.

Çipin ikinci pazarı nedir? Protokol fork'lanırsa ya da token düşerse silikon başka nereye satılabilir? GPU'lar Ethereum Merge'ünden ikinci pazarları olduğu için sağ çıktı; tek algoritmalı ASIC'ler çıkamadı.

Değer token'a mı düşüyor, özsermayeye mi? 2026'da kârlı yapay zekâ × kripto şirketleri çoğunlukla kripto dağıtımı olan özsermaye şirketleri; para toplamadan önce ikisinden hangisini kurduğunuza karar verin.

Ücret ödeyen ilk müşteri kim, adıyla? Bu rapordaki kalıcı her örnek, Grass'tan Bittensor'ın hesaplama alt ağlarına kadar, ağın dışındaki adı belli bir alıcıyla başladı.

Bunlar, teknik fikir alışverişi ve teknik iş birliği yoluyla başkalarıyla birlikte keşfetmek istediğim alanlar: madencilik, yapay zekâ eğitimi ve çıkarımı için özel tasarım çipler ve hızlandırıcılar; yapay zekâ geliştirme; zincirden düğüme ve çipe kadar yapay zekâ × kripto sistemleri. Bana i@tanshuai.com adresinden ulaşabilirsiniz.

Bu raporun sınırlılıkları

Bu, 13 Kasım 2026'ya kadarki kamuya açık belgelere dayanan bir masa başı araştırmasıdır. Bu sürüm için birincil görüşme ya da bağımsız ölçüm yapmadım. Aethir'in geliri, Grass'ın geliri, Etched'in ve Taalas'ın başarımı ve Cysic'in verimliliği gibi birkaç kilit rakam şirket ya da satıcı beyanıdır; bunlar öyle etiketlenmiştir. Pearl'ün zincir metrikleri bağımsız bir tam düğümden ve havuzlardan geliyor ve saatten saate değişiyor; 13 Kasım'da 07.13 UTC civarındaki okumaları kullandım ve aynı gün aralıklarını veriyorum. Yonga plakası, maske ve tasarım maliyetleri birbiriyle çelişen üçüncü taraf tahminleri ve model değerleridir; aralıkları gösteriyorum. ASIC başa baş hesabım ve

aşamalı bütçe, okuyucunun kendi değerleriyle değiştirmesi gereken açıklayıcı varsayımlar (k, T, p, NRE ve kapı maliyetleri) kullanıyor.



Yazar hakkında

Tan Shuai, çipler, donanım ve sistem yazılımı alanlarında yirmi yılı aşkın çalışması ve 20 tescilli patenti olan bir teknolog ve kurucudur. Kripto para madencilik çipleri ve multimedya kamera çipleri için tam özel tasarım ASIC veri yolu tasarımı da dahil olmak üzere, yıllara yayılan fabless çip Ar-Ge ve yönetim deneyimine sahiptir; bu raporun merceği de budur: işlem başına enerji, yonga plakası başına maliyet, bir protokolün silikona sabitlemenize izin verdiği şey ve parayı kimin ödediği. Çalışmaları onu Silikon Vadisi, New York, Chicago, Tayvan, Büyük Körfez Bölgesi (Shenzhen ve Hong Kong), Vietnam ve Malezya'ya götürdü. Bugün yapay zekâ araştırmacısı ve geliştiricisi olarak çalışıyor.

Teknik görüşme: i@tanshuai.com · tanshuai.com

Notlar ve sorumluluk reddi

Bu rapor, 13 Kasım 2026'ya kadar erişilebilen kamuya açık belgelere dayanan bağımsız bir masa başı araştırmasıdır. Yalnızca bilgi ve öğrenme amacıyla sunulmuştur; yatırım ya da mühendislik danışmanlığı değildir. Yalnızca teknolojiyi ve işi ele alır. Fiyatlar, zincir metrikleri ve protokol kuralları değişir; dayandığınız her şeyi birincil kaynaktan doğrulayın. satıcı beyanı, tahmin ya da analiz olarak işaretlenen rakamlar bu şekilde okunmalıdır. Kripto varlık fiyatları son derece oynaktır.

© 2026 Tan Shuai. Bu raporu, kaynak göstererek ve değiştirmeden paylaşabilirsiniz.

Kaynaklar

Tümüne 10–13 Kasım 2026 arasında erişildi. Bölümlere göre gruplandırılmıştır.

Pearl: protokol, kod ve zincir verileri

- Komargodski ve Weinstein, "Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication", arXiv 2504.09971: https://arxiv.org/abs/2504.09971
- Pearl Research Labs, INT teknik incelemesi (whitepaper): https://pearlresearch.ai/research/int-whitepaper
- Pearl kaynak kodu: genesis bloğu: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/genesis.go ; uzlaşı parametreleri ve fork yükseklikleri: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/params.go ; hash oranı hesabı: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/zk-pow/src/api/sanity_checks.rs ; tuzlanmış tohum fork'u yükseltme rehberi: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/docs/salted-seed-fork-upgrade-guide.md ; fp8-scheme dalı parametreleri: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/fp8-scheme/node/chaincfg/params.go
- Pearl Improvement Proposals: https://github.com/pearl-research-labs/pips ; PIP-3, kayan noktalı madencilik: https://github.com/pearl-research-labs/pips/blob/main/PIPS/pip-0003.md
- prlstats (bağımsız tam düğüm): ağ: https://prlstats.com/api/network ; seriler: https://prlstats.com/api/series ; ana sayfa ve madenci geliri modeli: https://prlstats.com/api/home ; çıkarılan arz: https://prlstats.com/api/mined ; havuzlar: https://prlstats.com/api/pools ; sahipler: https://prlstats.com/api/holders ; donanım ve ek yük varsayımları: https://prlstats.com/api/assumptions
- Kryptex Pool: Pearl ağı: https://pool.kryptex.com/prl/about-coin ; hash oranı: https://pool.kryptex.com/prl/hashrate ; RTX 5090: https://pool.kryptex.com/de/device/gpu/nvidia/nvidia-geforce-rtx-5090 ; RTX 4090: https://pool.kryptex.com/device/gpu/nvidia/nvidia-geforce-rtx-4090 ; "Pearl FP8 fork": https://pool.kryptex.com/articles/pearl-fp8-fork-en
- CoinGecko, Pearl: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2 ; https://www.coingecko.com/en/coins/pearl-research ; fiyat geçmişi: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2/market_chart?vs_currency=usd&days=365&interval=daily ; "Perle" sembol araması: https://api.coingecko.com/api/v3/search?query=perle
- SimeonOnSecurity, "Mining Pearl (PRL) in 2026": https://simeononsecurity.com/articles/pearl-prl-mining-guide-2026/
- Hashrate Index, "Pearl (PRL): Inside the AI-Compute Cryptocurrency", 2 Haziran 2026: https://hashrateindex.com/blog/pearl-prl-ai-compute-cryptocurrency/
- Tom's Hardware, "New AI compute cryptocurrency Pearl sparks a GPU mining rush, but profitability is sliding": https://www.tomshardware.com/tech-industry/cryptomining/new-ai-compute-cryptocurrency-pearl-sparks-a-gpu-mining-rush-but-profitability-is-sliding
- Together AI, Pearl Research Labs ile ortaklık: https://together.ai/blog/together-ai-partners-with-pearl-research-labs ; model sayfası: https://together.ai/models/gemma-4-31b-it-pearl
- Basu, Pearl madencilik örnekleri sayımı, arXiv 2606.04819: https://arxiv.org/html/2606.04819v2
- Blockworks, 0xResearch bülteni, 28 Ekim 2026: https://blockworks.com/newsletter/0xresearch/issue/post_daf0d74a-2bf4-41e4-86d3-2a1275475a24
- Datawallet, "Pearl Explained": https://www.datawallet.com/crypto/pearl-explained
- Coingabbar, TheMarker'ın Pearl Research Labs finansmanı haberi üzerine: https://www.coingabbar.com/en/pearl-research-labs-funding-130m-stealth-round-themarker

Yararlı iş zincirleri ve tarihçe

- Grothe vd., Gridcoin güvenlik analizi, USENIX WOOT 2017: https://www.usenix.org/system/files/conference/woot17/woot17-paper-grothe.pdf
- Öğrenme kanıtının taklit edilmesi, arXiv 2208.03567: https://arxiv.org/abs/2208.03567
- hoge.gg, merkeziyetsiz çıkarımda doğrulama ve güven: https://hoge.gg/decentralized-inference-2026-verification-trust/ ; Bittensor geliri ve hazinesi: https://hoge.gg/bittensor-quantum-wallet-revenue-tao-treasury-2026/
- Kaspa: kHeavyHash matris kodu: https://github.com/kaspanet/rusty-kaspa/blob/master/consensus/pow/src/matrix.rs ; lansman: https://coinranking.com/coin/V8GxkwWow+kaspa-kas/about ; IceRiver KS1/KS2 duyurusu: https://www.iceriver.io/2023/03/14/1677644580/ ; GPU'dan ASIC'e tarihçe: https://captainmining.com/blogs/crypto-news/the-evolution-of-kaspa-mining-from-gpus-to-asic-powerhouses ; GPU hash oranları: https://coincalculators.io/algorithms/kheavyhash ; KS7: https://www.asicminervalue.com/miners/bitmain/antminer-ks7-40th ; ağ: https://minerstat.com/coin/kas ; 2024'te 1 EH/s: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-reaches-1-ehs-in-hashrate ; Crescendo: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-crescendo-live
- Aleo: ana ağ SSS: https://aleo.org/post/aleo-mainnet-faq/ ; merkeziyetsiz kanıtlama: https://aleo.org/post/decentralized-proving-advantages/ ; ASIC'ler: https://whattomine.com/coins/432-aleo-zksnark/asics ; Blockworks, "State of Aleo Q3 2025": https://app.blockworks.com/report/state-of-aleo-q3-2025 ; ARC-46: https://chaincatcher.com/en/article/2144326
- Qubic: The Block, Monero yeniden düzenlemesi üzerine: https://www.theblock.co/post/366535/monero-faces-chain-reorganization-fears-after-qubic-says-it-controls-51-of-hashrate ; Halborn: https://www.halborn.com/blog/post/explained-the-monero-51-percent-attack-august-2025 ; Dogecoin madenciliği: https://hackernoon.com/qubic-is-now-mining-dogecoin-on-its-ai-compute-infrastructure ; CoinGecko: https://www.coingecko.com/en/coins/qubic

- Bittensor uzlaşı belgeleri: https://www.bittensor.com/llms.mdx/docs/internals/consensus/content.md ; FalconX, "State of Bittensor": https://www.falconx.io/newsroom/state-of-bittensor-subnet-adoption-trends-network-mechanics-and-covenants-departure
- Primecoin: https://en.wikipedia.org/wiki/Primecoin ; Blockworks, "State of Filecoin Q3 2025": https://app.blockworks.com/report/state-of-filecoin-q3-2025
- Monero ve ASIC direnci fork'ları: https://lbry.com/news/forking-for-asic-resistance ; Sia fork'u: https://hotfix.coindesk.com/markets/2018/11/01/sia-completes-hard-fork-as-bricked-miners-form-rival-blockchain ; Obelisk fiyatları: https://www.cryptoglobe.com/latest/2018/11/obelisk-hardware-skyrockets-in-selling-price-after-sia-hard-fork/ ; Merge sonrası madenciler: https://hotfix.coindesk.com/business/2022/11/11/ex-ethereum-miners-token-hop-to-stay-alive-after-the-merge

Yapay zekâ × kripto sektörleri

- DefiLlama: Render: https://defillama.com/protocol/render-network-bme ; Livepeer: https://defillama.com/protocol/livepeer
- Cointelegraph, Messari'nin DePIN gelir verileri üzerine: https://cointelegraph.com/news/depin-revenues-grow-despite-token-losses
- Aethir, 2025 değerlendirmesi: https://aethir.com/blog-posts/aethirs-2025-wrap-up-decentralized-gpu-cloud-milestones
- CoinGecko, yapay zekâ kategorisi: https://www.coingecko.com/en/categories/artificial-intelligence
- Akash, H100 kiralama fiyatları: https://akash.network/the-bid/h100-rental-price-2026-cost-per-hour/ ; 2026 1. çeyrek raporu: https://akash.network/blog/akash-network-q1-2026-report/
- io.net, 8 milyon dolarlık anlaşma ve günlük token'lar: https://lifestyle.kbew98country.com/story/271004/io-net-to-burn-up-to-12m-tokens-as-network-closes-8m-deal-and-hits-4-billion-daily-ai-tokens/
- DCD, Axe Compute sözleşmesi: https://www.datacenterdynamics.com/en/news/axe-compute-secures-15bn-compute-contract-with-unnamed-customer/
- Pluralis-8B: https://www.alphaxiv.org/abs/2607.13332.md ; Nous Research, Psyche: https://nousresearch.com/the-next-phase-of-psyche ; Implicator, INTELLECT-3 üzerine: https://www.implicator.ai/prime-intellects-intellect-3-open-source-ambition-meets-centralized-reality/
- SiliconANGLE, Prime Intellect finansmanı: https://siliconangle.com/2026/07/08/prime-intellect-raises-130m-1b-valuation-ai-training-platform/ ; The Block, Venice: https://www.theblock.co/post/406934 ; RuntimeWire, Nous finansmanı: https://runtimewire.com/article/nous-research-75-million-round-1-5-billion-valuation
- ownyourmind, Gensyn: https://ownyourmind.ai/projects/gensyn/ ; Phemex, Ritual (yalnızca başlık): https://phemex.com/news/article/ritual-launches-ai-layer-1-mainnet-and-ritual-token-price-dives-72-from-high-101259
- Gizli hesaplama ek yükü, arXiv 2409.03992: https://arxiv.org/abs/2409.03992v2 ; Phala 2025 raporu: https://phala.com/posts/phala-2025-report ; TEE.fail: https://thehackernews.com/2025/10/new-teefail-side-channel-attack.html ; DeepProve, IACR ePrint 2026/1112: https://eprint.iacr.org/2026/1112
- TRM Labs, yapay zekâ ajan ödemelerinin ölçülmesi: https://www.trmlabs.com/trm-tech-blog/whos-actually-paying-measuring-ai-agent-payments-onchain ; Forkast, x402 Foundation üzerine: https://forkast.news/the-x402-foundation-activated-a-27-year-old-internet-code-200-million-transactions-later-the-real-volume-is-still-tiny/ ; The Block, Tempo ana ağı: https://www.theblock.co/amp/post/394131/tempo-mainnet-goes-live-with-machine-payments-protocol-for-agents ; BlockEden, Virtuals'ın aGDP'si üzerine: https://blockeden.xyz/blog/2026/04/21/agdp-agent-gdp-virtuals-protocol-ai-blockchain-valuation-primitive-tvl-displacement/ ; The Block, ElizaOS üzerine: https://theblock.co/post/410774/eliza-labs-native-token-dead
- Dealroom, Grass geliri: https://dealroom.co/news/157794-grass-backed-by-multicoin-projects-75m-in-2026-data-revenue/ ; CryptoSlate, Fetch.ai ve Ocean: https://cryptoslate.com/cryptos-flagship-ai-pact-fracture-fetch-sues-ocean-over-263m-fet-community-sales/ ; Fortune, World üzerine: https://fortune.com/2026/06/01/internet-according-to-sam-altman-seeing-orb/
- Galaxy, kripto girişim sermayesi: https://www.galaxy.com/insights/research/crypto-blockchain-venture-capital-q3 ; Crypto Briefing (yalnızca başlık): https://cryptobriefing.com/crypto-vc-investment-q3-2026-galaxy/ ; Blockhead, Tiger Research üzerine: https://www.blockhead.co/2026/10/14/bitcoin-rose-43-in-q3-crypto-venture-funding-did-not-follow/ ; ForkLog, 2025 token lansmanları üzerine: https://forklog.com/en/85-of-tokens-launched-in-2025-fell-below-initial-prices/

ASIC ekonomisi ve çip türleri

- Hashrate Index, 9 Kasım 2026 özeti: https://hashrateindex.com/blog/hashrate-index-roundup-november-9-2026/
- AnySilicon, 2026'da düğüme göre ASIC tasarım maliyeti: https://anysilicon.com/news/how-much-does-asic-design-cost-in-2026-real-price-ranges-by-process-node/ ; Silicon Analysts, fabless tape-out maliyet rehberi: https://siliconanalysts.com/analysis/fabless-startup-tapeout-cost-guide ; piyasa verileri: https://siliconanalysts.com/market-data
- MillionMiner, Bitmain S23 XP Hyd: https://millionminer.com/news/bitmain-wdms-2026-s23-xp-hyd-launch
- Khattak ve Mikaitis, tensör çekirdeklerinde FP8 akümülasyonu, arXiv 2512.07004: https://arxiv.org/html/2512.07004v2
- Canaan, 2026 2. çeyrek sonuçları: https://finviz.com/news/389337/canaan-inc-reports-unaudited-second-quarter-2026-financial-results ; Bitdeer, 2026 3. çeyrek sonuçları: https://greenstocknews.com/news/nasdaq/btdr/bitdeer-reports-unaudited-third-quarter-2026-results-record-revenue-of-us-320-7-million-adjusted-ebitda-up-173-to-us-69-6-million
- TheEnergyMag: Velaura AI: https://theenergymag.com/news/market-news/velaura-ai-series-a-bitcoin-pivot ; Core Scientific ve Block: https://theenergymag.com/news/2026-07-29/core-scientific-exit-block-bitcoin-deal-ai ; yapay zekâ kiralama ekonomisi: https://theenergymag.com/news/2026-08-06/miner-weekly-ai-pumpability-out-fuel
- Blockworks, Cipher ve Fluidstack: https://blockworks.co/news/cipher-mining-inks-3b-ai-hosting-deal-with-fluidstack ; Cointelegraph, Core Scientific: https://cointelegraph.com/news/core-scientific-to-quit-bitcoin-mining-by-year-end-as-ai-business-surges ; ForkLog, Bitfarms: https://forklog.com/en/former-bitfarms-shuts-down-all-mining-sites-in-the-us/ ; IREN, Q1 FY27 sonuçları: https://globenewswire.com/news-release/2026/11/05/3397020/0/en/iren-reports-q1-fy27-results.html

- Spark, bitcoin ASIC pazarında yoğunlaşma: https://www.spark.money/research/bitcoin-asic-manufacturer-market-concentration
- Google, TPU7x belgeleri: https://docs.cloud.google.com/tpu/docs/tpu7x?hl=es ; The Register, Ironwood: https://www.theregister.com/2025/04/10/googles_7thgen_ironwood_tpus_debut/ ; SemiAnalysis, B300: https://inferencex.semianalysis.com/chips/b300 ; TPU v1 makalesi, arXiv 1704.04760: https://arxiv.org/abs/1704.04760 ; Glenn Lockwood, MI355X: https://glennklockwood.com/garden/processors/mi355x
- Tom's Hardware, Vera Rubin: https://www.tomshardware.com/pc-components/gpus/nvidia-launches-vera-rubin-nvl72-ai-supercomputer-at-ces-promises-up-to-5x-greater-inference-performance-and-10x-lower-cost-per-token-than-blackwell-coming-2h-2026 ; TrendForce, CoWoS fiyatlaması: https://trendforce.com/news/2026/10/27/news-tsmc-reportedly-eyes-20-cowos-price-hike-skips-equipment-price-renegotiations-amid-ai-demand-surge
- Menon Lab, yapay zekâ çıkarım hızlandırıcılarının karşılaştırması: https://themenonlab.blog/blog/ai-inference-accelerators-compared ; Introl, GPU'ların ötesinde yapay zekâ hızlandırıcıları: https://introl.com/blog/ai-accelerators-beyond-gpus-tpu-trainium-gaudi-cerebras-2025
- StratNews (Reuters), devlet fonlu veri merkezlerinde yerli yapay zekâ çipleri: https://stratnewsglobal.com/team-sng/china-orders-state-funded-data-centres-to-use-domestic-ai-chips/ ; TNW, H200 ithalatı: https://thenextweb.com/news/nvidia-h200-chips-hong-kong-china-import-approval
- Succinct, 16 GPU'da gerçek zamanlı kanıtlama: https://blog.succinct.xyz/real-time-proving-16-gpus/ ; Cysic ZK ASIC ürünleri: https://cysic-docs.pages.dev/hardware-products/zk-asic-products
- Tom's Hardware, Intel Heracles: https://www.tomshardware.com/tech-industry/cyber-security/intels-heracles-chip-computes-fully-encrypted-data-without-decrypting-it-chip-is-1-074-to-5-547-times-faster-than-a-24-core-intel-xeon-in-fhe-math-operations ; IEEE Spectrum: https://spectrum.ieee.org/fhe-intel ; Evertiq, Niobium ve SemiFive: https://evertiq.com/design/2026-02-20-semifive-secures-design-win-with-niobium-for-fhe-accelerator ; The Quantum Insider, Niobium finansmanı: https://thequantuminsider.com/2025/12/03/niobium-23m-fhe-funding/ ; Optica OPN, Optalysys: https://www.optica-opn.org/home/industry/2026/february/optalysys_raises_us_$31_million_to_push_photonics_computing_toward_cloud_infrastructure/ ; Zama, FPGA üzerinde HPU: https://www.zama.org/post/announcing-hpu-on-fpga-the-first-open-source-hardware-accelerator-for-fhe

Üretim düğümleri

- Silicon Analysts, yonga plakası fiyatlaması: https://siliconanalysts.com/data/wafer-pricing
- Tom's Hardware, TSMC A16 fiyat söylentileri: https://www.tomshardware.com/tech-industry/semiconductors/tsmc-could-charge-up-to-usd45-000-for-1-6nm-wafers-rumors-allege-a-50-percent-increase-in-pricing-over-prior-gen-wafers ; Wccftech, SMIC fiyatlaması: https://wccftech.com/smic-5nm-chip-prices-up-to-50-percent-more-expensive/amp/
- EUROPRACTICE, TSMC MPW takvimi 2026: https://europractice-ic.com/wp-content/uploads/2025/11/TSMC-Europractice-MPW-schedule-2026.pdf
- Horowitz, "Computing's Energy Problem", ISSCC 2014: https://www.Gwern.net/doc/cs/hardware/2014-horowitz-2.pdf
- Tom's Hardware, Huawei Ascend yol haritası: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/huawei-ascend-npu-roadmap-examined-company-targets-4-zettaflops-fp4-performance-by-2028-amid-manufacturing-constraints ; The Substrate, Çin'in yapay zekâ çipi tedarik zinciri: https://www.the-substrate.net/p/where-chinas-ai-chip-supply-chain ; Tom's Hardware, Trainium3: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/amazon-launches-trainium3-ai-accelerator-competing-directly-against-blackwell-ultra-in-fp8-performance-new-trn3-gen2-ultraserver-takes-vertical-scaling-notes-from-nvidias-playbook

Fırsatlar ve lansman ekonomisi

- Webull (Benzinga), Broadcom kazanç çağrısı: https://www.webull.com/news/15511095937917952 ; Quartr, Global Unichip Q2 2026: https://quartr.com/events/global-unichip-corp-3443-q2-2026_F9×6NJQY ; Taiwan News, Alchip: https://www.taiwannews.com.tw/news/6370946 ; Design & Reuse, VeriSilicon: https://www.design-reuse.com/news/202530457-surge-in-custom-chip-business-propels-verisilicon-s-q1-revenue-to-double-with-new-orders-skyrocketing-to-8-2-billion-yuan-increased-r-d-investment-leads-to-wider-net-loss-earnings-insight/ ; The Block, Canaan'ın yapay zekâ birimi: https://www.theblock.co/post/359250/crypto-miner-canaan-to-shutter-non-core-ai-semiconductor-business-unit-amid-strategic-realignment
- Clutch, yapay zekâ geliştirme fiyatları: https://clutch.co/developers/artificial-intelligence/pricing ; PixelPlex, blokzincir geliştirme maliyeti: https://pixelplex.io/blog/blockchain-development-cost/
- Hyperbolic, örnekleme kanıtı: https://hyperbolic.ai/blog/deep-dive-into-hyperbolic-proof-of-sampling ; Gensyn, Verde: https://www.gensyn.ai/research/verde-a-verification-system-for-machine-learning-over-untrusted-nodes ; katmanlı doğrulama, arXiv 2512.20176: https://arxiv.org/abs/2512.20176v1
- Sherlock, 2026 için denetim fiyatlaması referansı: https://sherlock.xyz/post/smart-contract-audit-pricing-a-market-reference-for-2026
- Blockworks, Binance listeleme standartları: https://blockworks.com/news/binance-listing-standards-scrutiny ; Cointelegraph, piyasa yapıcılık anlaşmaları: https://cointelegraph.com/magazine/market-maker-deals-quietly-killing-crypto-projects ; Blockworks, Movement: https://blockworks.co/news/movement-rushi-manche-suspension-market-maker-web3port ; Nansen, HIP-3: https://nansen.ai/post/what-is-hip-3-hyperliquid ; The Block, Monad: https://www.theblock.co/post/380094/monad-mainnet-launches

YARARLI İŞ KANITI · KRİPTO × SİLİKON

Uzlaşı Olarak Hesaplama

Pearl'ün yararlı iş kanıtından başlayarak 2026'da yapay zekâ × kripto × çipler

Bu rapordaki her kilit rakam kaynağını ve tarihini taşır. Yazarın türettiği rakamlar tahmin olarak, yalnızca satıcının bildirdiği rakamlar satıcı beyanı olarak işaretlenmiştir. Rapor yalnızca teknolojiyi ve işi ele alır.

Tan Shuai

Teknolog ve kurucu · Yapay zekâ araştırmacısı ve geliştiricisi

tanshuai.com · i@tanshuai.com

KAMUYA AÇIK SÜRÜM · Veriler 13 Kasım 2026 itibarıyladır

