11 · 2026

مذكرة بحثية · النسخة العامة



إثبات العمل المفيد · العملات المشفرة × السيليكون

الحوسبة بوصفها إجماعًا

الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة × الشرائح في 2026، انطلاقًا من إثبات العمل المفيد في Pearl

Pearl · العمل المفيد · DePIN والوكلاء · اقتصاديات ASIC · عقد التصنيع · ميزانيات على مراحل

الخلاصة

تثبت Pearl أن ضرب المصفوفات قادر على تأمين سلسلة كتل، لكنها لم تثبت بعد أن هذا العمل مفيد. وفي تقاطع الذكاء الاصطناعي والعملات المشفرة، يتركز الطلب المدفوع في الاستدلال والبيانات والخصوصية، ولا تؤتي شريحة ASIC ثمارها إلا حيث تكون الحصيلة كبيرة والقواعد مستقرة وللشريحة سوق ثانية.

تان شواي

تقني ومؤسس · باحث ومطوّر في الذكاء الاصطناعي

tanshuai.com · i@tanshuai.com

البيانات حتى 13 نوفمبر 2026

المبالغ بالدولار الأمريكي

المحتويات

المحتويات



◆	**الملخص التنفيذي** النظرية صامدة، والحافز ليس كذلك	04
01	**النطاق والمنهج** النطاق والمنهج وأربعة اختبارات	07
02	**Pearl · الآلية** Pearl: ضرب المصفوفات بوصفه إجماعًا	08
03	**Pearl · الاقتصاديات** Pearl: الحجم والإصدار وفجوة الفائدة	10
04	**Pearl · القواعد** Pearl: مخاطر القواعد والحساب العددي والحوكمة	12
05	**سلاسل العمل المفيد** سلاسل العمل المفيد: لا المصفوفات ولا المعرفة الصفرية توقف شرائح ASIC	13
06	**المشهد الأوسع** بقية الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة: طلب حقيقي لكنه صغير، وقيمة تنتقل إلى الأسهم	15
07	**اقتصاديات ASIC** مسألة ASIC: معادلة واحدة، وثلاثة معايير	18
08	**شريحة تلو أخرى** خمسة أنواع من الشرائح، خمس إجابات	20
09	**عقد التصنيع** عقد التصنيع: دع أكبر تكلفة على مدى العمر تختار	24
10	**ميزانية على مراحل** من النموذج إلى السيليكون: ميزانية على مراحل لأول شريحة	27
11	**الفرص** أين الفرص، وماذا كنت سأفعل	29
12	**المؤشرات** ما ينبغي مراقبته، من نوفمبر 2026 إلى 2027	31
13	**أسئلة ينبغي طرحها** أسئلة لم تطرحها وكان ينبغي أن تطرحها	32
◆	**عن المؤلف** تان شواي	34
◆	**المصادر**	35

الأشكال

الأشكال



الشكل 01	الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة في ستة قطاعات: أين الطلب المدفوع حقيقي	06
الشكل 02	في عمل Pearl بالأعداد الصحيحة، تتقاسم وحدات GPU سقفًا للطاقة	09
الشكل 03	أشهر Pearl الستة الأولى: معدل التجزئة يتبع السعر، والقواعد تتغير باستمرار	11
الشكل 04	مضاعف الدعم: كم مرة من الإيرادات الخارجية تدفع الشبكة	15
الشكل 05	لماذا تكف الكفاءة عن الدرّ: تحتفظ ASIC بما لا يزيد على 1 - k/1 من الإيرادات	18
الشكل 06	معظم الحصائل أصغر من ميزانية تصميم شريحة واحدة	20
الشكل 07	خمسة أنواع من الشرائح، خمس إجابات	23
الشكل 08	رقاقة العقد المتقدمة تكلف عشرة أضعاف الرقاقة الناضجة	25
الشكل 09	اشترِ الأدلة قبل الأقنعة: ميزانية على مراحل لأول شريحة	27

الوسوم في النص

- **تقدير** — حساب المؤلف أو استنتاجه من بيانات موثقة المصدر
- **ادعاء المورد** — منشور من الشركة التي تبيع المنتج، ولم يُتحقق منه على نحو مستقل
- **تحليل** — تفسير المؤلف للأدلة

هذه ترجمة للنسخة الإنجليزية، وعند أي اختلاف بينهما تكون النسخة الإنجليزية هي المعتمدة.

البيانات حتى 13 نوفمبر 2026 · المبالغ بالدولار الأمريكي



الملخص التنفيذي

النظرية صامدة، والحافز ليس كذلك

الخلاصة

تُظهر Pearl أن «الحوسبة بوصفها إجماعًا» تنجح هندسيًا، لكنها لم تُظهر بعد أنها مفيدة.

≈90 EH/s
شبكة Pearl في 13 نوفمبر 2026، حيث يساوي H واحد عملية ضرب وتجميع واحدة بصيغة INT7

≈1%
من كتل Pearl تحمل عملًا حقيقيًا للذكاء الاصطناعي (28 Blockworks، أكتوبر 2026)

≈70 مليون دولار
سنويًا من الإيرادات الخارجية القابلة للتحقق في Bittensor، مقابل إصدار يتجاوز 300 مليون دولار

175–180×
مكافآت المُثبِتين في Aleo مقارنة برسومها في الربع الثالث من 2025

R × (1 - 1/k)
سقف ربح شريحة ASIC أرخص بـ k مرة من المعدّن الحدّي تقدير

≈1.5 مليون دولار
لبلوغ سيليكون مقيس على N7 عبر نموذج FPGA وMPW، قبل طقم أقنعة بـ ≈3.5 مليون دولار تقدير

Pearl

في 13 نوفمبر 2026، عملت شبكة Pearl بنحو 90 EH/s. وفي شيفرة إجماعها تساوي «التجزئة» الواحدة عملية ضرب وتجميع صحيحة واحدة، فتعادل الشبكة الإنتاجية الصحيحة لنحو 122,000 بطاقة H100. ومع ذلك فإن نحو 1% فقط من الكتل يحمل عملًا حقيقيًا للذكاء الاصطناعي، والشراكة العلنية الوحيدة في الاستدلال لم تعد معروضة على واجهة API عديمة الخوادم لدى مزوّدها. والسبب اقتصادي لا تشفيري: وحدة GPU التي تعدّن أثناء خدمة الاستدلال لا تكسب إلا نحو 1% إلى 27% من معدل تجزئة جهاز تعدين مخصص، ولذلك يضرب المعدِّنون العقلانيون مصفوفات عشوائية.

الطلب المدفوع

وفي تقاطع الذكاء الاصطناعي والعملات المشفرة، يظهر الطلب المدفوع القابل للتحقق في ثلاثة مواضع: بيع الاستدلال، وبيع البيانات، وبيع الخصوصية. تبلغ إيرادات Bittensor الخارجية القابلة للتحقق نحو 70 مليون دولار سنويًا، نحو أربعة أخماسها من الشبكات الفرعية للحوسبة والبنية التحتية. وتفيد Grass بـ 17 مليون دولار من إيرادات البيانات في النصف الأول من 2026. والاستدلال السري في بيئات التنفيذ الموثوقة قائم في الإنتاج. في المقابل، لا تتجاوز المدفوعات التي يبدأها وكلاء الذكاء الاصطناعي فعلًا نحو 5,000–11,000 دولار شهريًا، ولا يملك zkML ولا التدريب اللامركزي أي طلب مدفوع معلن بعد.

الدعم والقيمة

مضاعف الدعم هو أصدق فحص للصحة. فقد بلغت مكافآت المُثبِتين في Aleo نحو 175–180 ضعف رسومها؛ ويبلغ إصدار Bittensor نحو 4–11 ضعف إيراداتها القابلة للتحقق؛ وتبلغ القيمة السوقية لـ Render نحو 360 ضعف رسومها على السلسلة؛ أما دخل معدِّني Pearl البالغ قرابة 460 مليون دولار سنويًا فمعظمه دعم كتل، لا يكاد يتصل بطلب مدفوع على الذكاء الاصطناعي. الدعم وقود للانطلاق من الصفر، لا نموذج عمل. وفي الأثناء تنتقل القيمة من الرموز إلى الأسهم: أربع شركات أسهم تستخدم بنية تحتية مركزية وتوزيعًا أصيلًا في عالم العملات المشفرة تُقيَّم بنحو 8.5 مليار دولار، أي بقدر رموز الذكاء الاصطناعي في طبقتي البروتوكول والتطبيقات مجتمعة تقريبًا.

شرائح ASIC

أما في الشرائح، فسقف ربح شريحة ASIC يساوي تقريبًا الإيراد لكل وحدة حوسبة مضروبًا في (1 - k/1)، حيث k هي عدد المرات التي تكون فيها أرخص من العتاد الحدّي. ولأن هذا الحد مقعّر، فإن الكفاءة بعد k = 5–10 لا تكاد تضيف ربحًا؛ وما يحسم النتيجة هو حجم الحصيلة، ومدة صمود القواعد، وهل للشريحة سوق ثانية. إجاباتي بحسب نوع الشريحة: لا ترسل الآن شريحة INT7 مخصصة لـ Pearl للتصنيع، وراهن بدلًا من ذلك على مسرّع استدلال أولًا قادر على التعدين أيضًا؛ وابقَ بعيدًا عن سوق معدِّنات bitcoin التجارية بوصفك داخلًا جديدًا؛ ولا تبنِ شريحة تدريب مستقلة بوصفك فريقًا صغيرًا؛ وابنِ شرائح الاستدلال حين يُوقَّع عميل؛ وتحوّط في مسرّعات ZK، وتموضع مبكرًا في FHE.

العقد والميزانيات

ينبغي اختيار عقدة التصنيع بحسب أكبر بنود التكلفة على مدى عمر الشريحة: الطاقة للشرائح العاملة على مدار الساعة، والتغليف والذاكرة لشرائح التدريب، وقرار SRAM أو HBM لشرائح الاستدلال. وينبغي شراء أول شريحة على مراحل، نموذج، ثم FPGA، ثم رقاقة متعددة المشاريع، وبعدها فقط طقم أقنعة، بحيث لا يكلف تغيير في البروتوكول إلا ثمن نموذج أولي لا ثمن إرسال للتصنيع. وتكمن الفرص حيث تتقاطع المجالات: العملات المشفرة عميلًا أول، والذكاء الاصطناعي سوقًا ثانية.

السؤال	الحكم	الأرقام الرئيسية (المصادر في الفصول)
① **هل تنجح Pearl، وهل عملها مفيد؟**	تنجح: سلسلة كتل يؤمّنها ضرب المصفوفات على نطاق واسع. لكنها ليست مفيدة بعد: يكاد كل التعدين يجري على مصفوفات عشوائية	نحو 90 EH/s في 13 نوفمبر 2026؛ H = 1 1 عملية ضرب وتجميع INT7؛ نحو 1% من الكتل يحمل عمل ذكاء اصطناعي
② **أين الطلب المدفوع الحقيقي في الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة؟**	الاستدلال والبيانات والخصوصية. أما مدفوعات الوكلاء وzkML والتدريب اللامركزي فما زالت قبل الطلب	Bittensor نحو 70 مليون دولار سنويًا من الإيرادات القابلة للتحقق؛ وGrass 17 مليون دولار في النصف الأول من 2026؛ ومدفوعات الوكلاء نحو 5,000–11,000 دولار شهريًا
③ **هل تستحق شريحة ASIC البناء؟**	فقط حيث تكون الحصيلة كبيرة والقواعد مستقرة وللشريحة سوق ثانية. ولا توفر أي شبكة اليوم الثلاثة معًا	سقف الربح ≈ R × (1 - 1/k)؛ bitcoin نحو 11.5 مليار دولار سنويًا من إيرادات المعدِّنين، وPearl نحو 0.46–0.49 مليار دولار، وKaspa نحو 18 مليون دولار
④ **أي الشرائح ينبغي أن يبنيها فريق صغير؟**	مسرّعات استدلال أولًا قادرة على التعدين أيضًا؛ وشرائح استدلال لعميل موقَّع؛ وعمل مبكر في FHE. لا معدِّنات bitcoin تجارية ولا شرائح تدريب	أفضل ASIC لـ Kaspa تكسب 0.86 دولار يوميًا؛ وميزانيات تصميم 3/2 nm من 60 إلى 400 مليون دولار أو أكثر
⑤ **أي عقدة تصنيع؟**	أكبر تكلفة على مدى العمر هي الحاسمة: الطاقة، أو التغليف والذاكرة، أو معمارية الذاكرة	TSMC N2 نحو 30,000 دولار للرقاقة مقابل نحو 3,000 دولار لـ N28؛ وHBM وCoWoS نحو 63% من تكلفة H100
⑥ **كم تكلف أول شريحة، وكيف ينبغي شراؤها؟**	على أربع مراحل: نموذج، ثم FPGA، ثم رقاقة متعددة المشاريع، ثم الأقنعة. توقف قبل الأقنعة إن لم تستقر القواعد أو المشتري	حجز MPW تجاري 50,000–500,000 دولار؛ وأقنعة N7 نحو 3.5 مليون دولار؛ وميزانية تصميم 7/6 nm من 15 إلى 100 مليون دولار

الشكل 01

الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة في ستة قطاعات: أين الطلب المدفوع حقيقي

الطلب المدفوع القابل للتحقق مقابل إشارات الدعم والتقييم، نوفمبر 2026

01 سلاسل العمل المفيد

حقيقي لكنه صغير

≈70 مليون دولار سنويًا

إيرادات Bittensor الخارجية القابلة للتحقق

الإشارة: الإصدار 4–11× الإيرادات؛ 1%≈ Pearl كتل ذكاء اصطناعي

الآليات تعمل؛ والفائدة تحتاج إلى من يدفع

02 الحوسبة اللامركزية

حقيقي لكنه صغير

2.35 مليون دولار سنويًا

رسوم Render على السلسلة، الأكبر بين القابلة للتحقق

الإشارة: القيمة السوقية ≈360× الرسوم

في معظمها إعادة بيع لاستدلال سلعي

03 التدريب والاستدلال

الربح للأسهم

+100 مليون دولار سنويًا

Prime Intellect، شركة أسهم على وحدات GPU مركزية

الإشارة: الشبكة الرئيسية لتدريب Gensyn لم تُطلق

التقدم حقيقي؛ والربح يذهب إلى الأسهم

04 الذكاء الاصطناعي القابل للتحقق

مبكر

398

مستخدمًا يدفعون لسحابة TEE من Phala، نهاية 2025

الإشارة: لا zkML مدفوع معلن

TEE في الإنتاج؛ وzkML مبكر

05 مدفوعات الوكلاء

قبل الطلب

5–11 ألف دولار شهريًا

مدفوعات x402 بدأها الوكلاء فعلًا

الإشارة: ≈200 مليون معاملة، معظمها إشارات

جاءت القنوات أولًا؛ ولم يأتِ الطلب

06 شبكات البيانات

مشترون حقيقيون

17 مليون دولار

إيرادات بيانات Grass، النصف الأول من 2026 (بإفصاح ذاتي)

الإشارة: القيمة السوقية ≈10× الإيرادات السنوية

من القطاعات القليلة ذات المشترين الحقيقيين

المصدر: DefiLlama، وSubConnect (عبر hoge.gg)، وTRM Labs، وPhala، وDealroom، وSiliconANGLE، وCoinGecko، وBlockworks؛ وتوليف المؤلف.



النطاق والمنهج

01 النطاق والمنهج وأربعة اختبارات

لماذا هذا التقرير، ولماذا الآن

في أبريل 2026 وضعت سلسلة كتل جديدة، هي Pearl، فكرة قديمة موضع الإنتاج: أن يتنافس المعدِّنون على الكتل بإجراء عمليات ضرب المصفوفات التي يقوم عليها الذكاء الاصطناعي، بدلًا من التجزئة. وفي غضون ستة أشهر بلغت شبكتها نحو 90 EH/s، وبلغت القيمة السوقية لرمزها نحو 500 مليون دولار. وفي الوقت نفسه جمعت أسواق حوسبة الذكاء الاصطناعي وشبكات التدريب اللامركزي وقنوات مدفوعات الوكلاء وشبكات البيانات مليارات الدولارات، وبدأ معدِّنو bitcoin تحويل مواقع الطاقة لديهم إلى مراكز بيانات للذكاء الاصطناعي. أردت أن أعرف أيها يملك عملاء حقيقيين، وهل للسيليكون المخصص معنى في أي منها، وأي عقدة تصنيع وأي مسبك يستطيع فريق شرائح استخدامهما فعلًا.

أربعة اختبارات لأي مشروع للذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة

رأت دراسة أمنية عن Gridcoin عام 2017 أن الحوسبة المفيدة لا تستطيع تأمين سلسلة كتل إلا إذا كانت صعبة الحل، وسهلة التحقق، وسهلة المكافأة. وأضيف اختبارًا رابعًا. ومعًا تحسم هذه الاختبارات معظم ما يلي.

01 **صعبة الحل.** يجب أن تكون الحوسبة النزيهة أرخص طريقة لإنتاج إثبات صالح؛ ويجب ألا يوجد طريق مختصر.

02 **سهلة التحقق.** يجب أن يكلف فحص العمل أقل بكثير من إنجازه، وإلا دفعت الشبكة مرتين.

03 **سهلة المكافأة.** يجب أن يتمكن البروتوكول من حساب المكافأة من الإثبات وحده، دون الثقة بطرف ثالث.

04 **أحد ما يدفع ثمن الناتج.** ما لم يدفع عميل من خارج الشبكة ثمن النتيجة، فإن العمل «المفيد» دعم مصحوب بسردية.

تجتاز ألغاز التجزئة الاختبارات الثلاثة الأولى وتفشل في الرابع. وتجتاز مهام الذكاء الاصطناعي الحقيقية الرابع وتفشل في الثاني: فإثبات حوسبة ذكاء اصطناعي بالمعرفة الصفرية يكلف من 100 إلى 10,000 ضعف الحوسبة نفسها، وقد ثبت أن مخططات إثبات التعلم قابلة للتزييف بكلفة زهيدة. وضرب المصفوفات المشوَّش في Pearl هو أول جسر موثوق يجتاز اختبار التحقق مع بقائه على شكل حوسبة الذكاء الاصطناعي نفسه.

كيف عملت

هذا بحث مكتبي، أجريته على النحو الذي أراجع به شريحة أو خطة عمل. قرأت شيفرة Pearl ومقترحات بروتوكولها وورقتها البيضاء؛ وبيانات السلسلة من عقدة كاملة مستقلة؛ وإفصاحات الشركات وبيانات أرباحها؛ وأوراقًا بحثية في التشفير وعمارة الحاسوب وتعلم الآلة؛ وبيانات أسعار المسابك والموردين؛ والصحافة التجارية والتقنية. يحمل كل رقم تاريخه. وحيث أشتق رقمًا بنفسي، أذكر ذلك وأسمه تقدير. والأرقام التي لا يذكرها سوى البائع موسومة ادعاء المورد؛ وتفسيري للأدلة موسوم تحليل. المبالغ بالدولار الأمريكي. والوضع حتى 13 نوفمبر 2026.

الفصل 02

02

Pearl · الآلية

Pearl: ضرب المصفوفات بوصفه إجماعًا

الفكرة، من النظرية إلى الشبكة الرئيسية

في أبريل 2025 نشر Ilan Komargodski وOmri Weinstein ورقة «Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication». وهما يبنيان إثبات عمل مفيد لأي ضرب مصفوفات بكلفة إضافية لا تتجاوز o(1) + 1 ضعف الضرب الساذج؛ ويستند أمنه إلى صعوبة حل دفعات من المعادلات الخطية العشوائية منخفضة الرتبة، وهي حدسية لا برهان. وتسمّي الورقة الصعوبة الحقيقية في هذا المجال: إثبات العمل المفيد بكلفة إضافية ذات معامل ثابت أمر تافه لكنه عديم الجدوى؛ والجزء الصعب هو الإبقاء على الحوسبة النزيهة أرخص طريقة للفوز حين يختار المعدِّنون مدخلاتهم بأنفسهم.

انطلقت شبكة Pearl الرئيسية في 27 أبريل 2026، الساعة 09:00 UTC. يحسب المعدِّنون ضربًا مشوَّشًا (A + E)(B + F)، حيث يُشتق التشويش منخفض الرتبة من التزام BLAKE3، ثم يزيلون التشويش لاستعادة A·B. وتُجزَّأ حالة المُراكِم لكل بلاطة ناتجة إلى تذكرة يانصيب؛ وتُفتح البلاطة الفائزة وتُثبت بإثبات معرفة صفرية تكراري من Plonky2 أصغر من 60 KB، داخل شهادة كتلة سقفها 65 KB. والتحقق إثبات صغير ثابت الحجم، مستقل عن حجم المصفوفة: رخيص الفحص كلغز تجزئة، بينما يمكن أن تكون الحوسبة نفسها مفيدة.

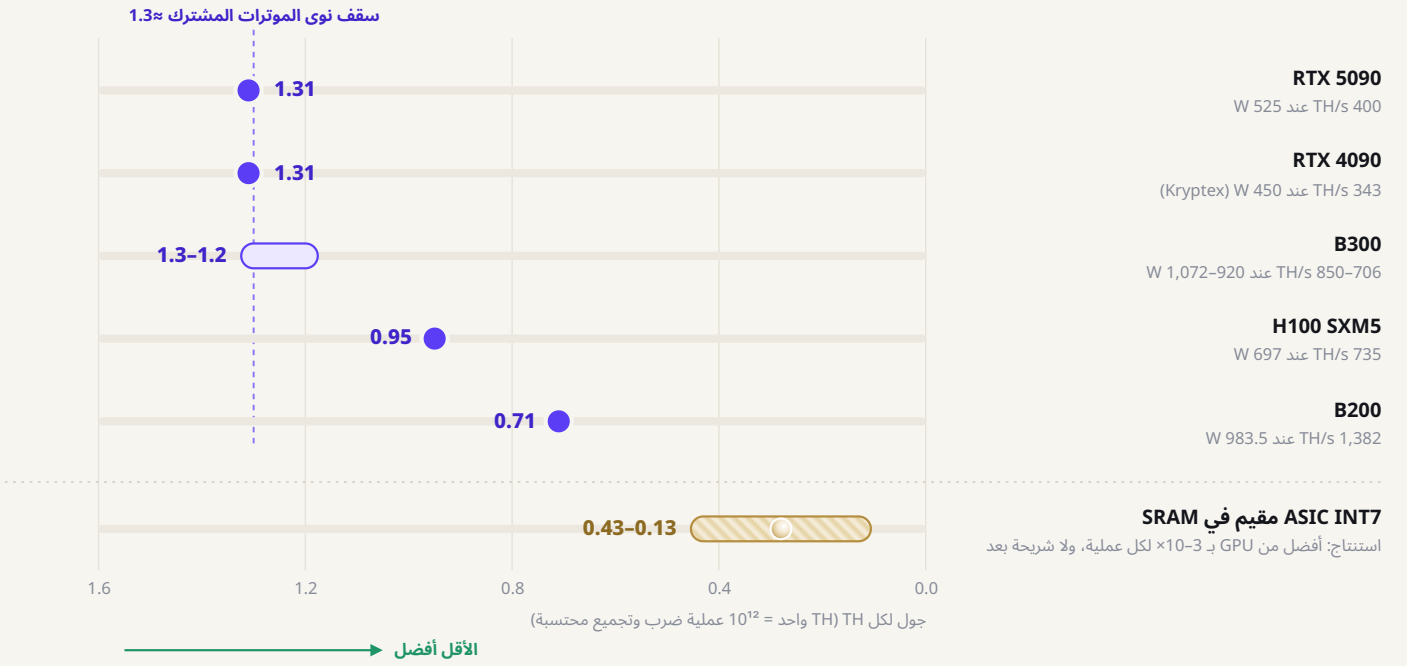
عملية ضرب وتجميع واحدة هي «تجزئة» واحدة

بالنسبة إلى مصمم الشرائح، أهم حقيقة هي الوحدة. تقيس شيفرة إجماع Pearl هدف كل محاولة بحجم البلاطة مضروبًا في طول الضرب النقطي، لذا **فإن 1 H هي بالضبط عملية ضرب وتجميع محتسبة واحدة INT32 ← INT7 × INT7 (MAC)**. ومنذ الكتلة 96,251 تفرض عقوبة الرتبة رتبة تشويش لا تقل عن 128؛ وعند الرتبة الدنيا، تظل 1 H مساوية لـ 1 MAC. ومن ثم فإن «EH/s» في Pearl تعني حرفيًا 18^10 عملية ضرب وتجميع صحيحة في الثانية: **لأول مرة، تُسعَّر ميزانية أمن سلسلة كتل بإنتاجية الموترات في مسرّعات الذكاء الاصطناعي.** وتقع معدلات التجزئة المقيسة لوحدات GPU بين 60% و95% من ذروة الضرب والتجميع الكثيف بصيغة INT8 لكل بطاقة، وهو ما يتسق مع هذه القراءة.

العتاد	معدل التجزئة في Pearl	القدرة	جول لكل تريليون MAC (J/TH)	المصدر (التاريخ)
RTX 5090	400 TH/s	525 W	1.31 تقدير	Kryptex (12 نوفمبر)
RTX 4090	نحو 305 TH/s (نطاق المجتمع 280–330)؛ وتدرج Kryptex 343 TH/s	450 W (Kryptex)	1.31 (أرقام Kryptex) تقدير	prlstats (3 أكتوبر)؛ Kryptex
H100 SXM5	735 TH/s	697 W	0.95 تقدير	PeakMiner، عبر prlstats (19 سبتمبر)
B200	1.382 PH/s	983.5 W	0.71 تقدير	PeakMiner، عبر prlstats
B300	850–706 TH/s	1,072–920 W	1.3–1.2 تقدير	prlstats؛ SimeonOnSecurity

الشكل 02 **في عمل Pearl بالأعداد الصحيحة، تتقاسم وحدات GPU سقفًا للطاقة**

جول لكل تريليون عملية ضرب وتجميع INT7 (J/TH) عند معدل التجزئة المقيس في Pearl؛ الأقل أفضل



المصدر: Kryptex (12 نوفمبر 2026)؛ ومقاييس PeakMiner وSRBMiner عبر prlstats؛ وSimeonOnSecurity؛ ونطاق ASIC استنتاج من المؤلف لا قياس.

تفصيلان في هذا الجدول يهمان مصممي الشرائح. أولًا، تلتقي بطاقات RTX 4090 و5090 الاستهلاكية وB300 المخصصة لمراكز البيانات عند نحو 1.3 J/TH، ولا تبلغ حتى أفضل بطاقة، B200، إلا نحو 0.71 J/TH. فوحدة GPU لمراكز البيانات تكلف عشرات آلاف الدولارات تنفق من الطاقة لكل عملية ضرب وتجميع صحيحة ما يقارب ما تنفقه بطاقة ألعاب، وهذا يشير إلى سقف مشترك لطاقة نوى الموترات لكل MAC بصيغة INT8، وذلك السقف هو بالضبط ما يمكن لشريحة مخصصة أن تكسره. ثانيًا، B300 أبطأ من B200: فقد خفّضت NVIDIA إنتاجية INT8 بحدة في Blackwell Ultra، فيضطر العمل الصحيح إلى سلوك مسار أبطأ على تلك الشريحة. والسيليكون السائد للذكاء الاصطناعي يبتعد عن INT8 نحو FP8 وFP4. وحين تتباعد صيغة الأعداد التي يختارها إجماعٌ ما عن الوجهة التي يسير إليها العتاد، يُضطر البروتوكول إلى تغيير قواعده، وهذا هو جذر تفرّع FP8 وجذر حكمي على ASIC لاحقًا في هذا التقرير.



الفصل 03

03

Pearl · الاقتصاديات

Pearl: الحجم والإصدار وفجوة الفائدة

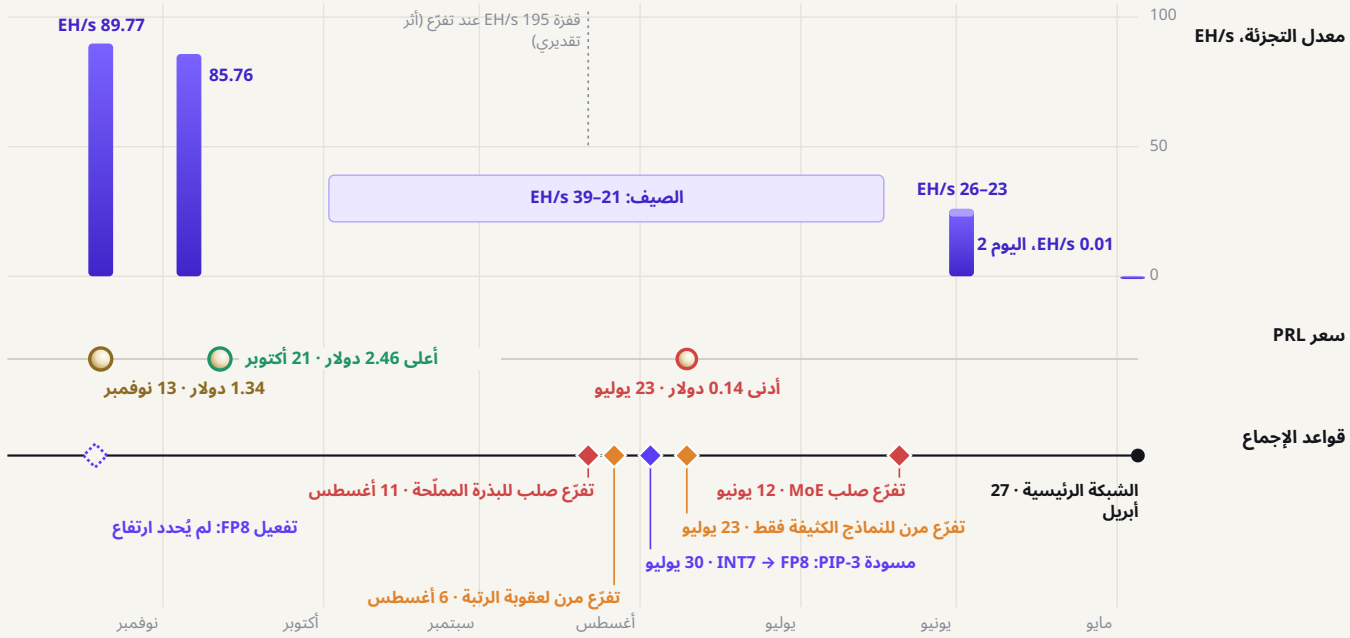
من 0.01 إلى 90 EH/s في ستة أشهر

المؤشر	القيمة (13 نوفمبر 2026)	الأساس والمصدر
معدل تجزئة الشبكة	نحو 90 EH/s (خط الأساس 89.77؛ ونطاق اليوم نفسه 88.20–93.22؛ وأعلى قيمة خلال يوم 12 نوفمبر 110–123)	العقدة الكاملة المستقلة prlstats؛ Kryptex
الصعوبة وارتفاع الكتلة	58,841,982 و142,530	prlstats
العتاد المكافئ	نحو 122,000 بطاقة H100 أو 225,000 بطاقة RTX 5090	عند 735 و400 TH/s لكل بطاقة تقدير
السعر والقيمة السوقية والقيمة بعد التخفيف الكامل	1.32–1.34 دولار؛ نحو 500 مليون دولار؛ نحو 2.8 مليار دولار (المرتبة 101 في CoinGecko)	CoinGecko
أعلى وأدنى سعر تاريخي	2.46 دولار (21 أكتوبر) و0.1399 دولار (23 يوليو)	CoinGecko
العملات المعدَّنة	377.6 مليون PRL، أي 17.98% من السقف البالغ 2.1 مليار	prlstats
دعم الكتلة والإصدار اليومي	نحو 2,173 PRL ونحو 0.97–1.03 مليون PRL	prlstats؛ Kryptex
المعروض الجديد خلال الأشهر الـ 12 المقبلة	نحو 78% من المعروض الحالي	prlstats
دخل المعدِّنين	نحو 1.25 مليون دولار يوميًا (نموذج)، ونحو 460 مليون دولار سنويًا	prlstats
الإيراد لكل وحدة معدل تجزئة، R	نحو 14–15 دولارًا لكل PH/s يوميًا؛ وتكسب RTX 5090 نحو 5–6 دولارات يوميًا	تقدير؛ Kryptex
الكتل التي تحمل عملًا حقيقيًا للذكاء الاصطناعي	نحو 1% (تقدير 28 أكتوبر)	Blockworks
تركّز مجمعات التعدين	وجدت Kryptex 46.4% من الكتل في آخر 24 ساعة؛ وأكبر مجمعين نحو 62%	prlstats
تركّز الحائزين	معامل جيني للعناوين 0.969؛ وأكبر 100 عنوان تحوز 53.0%	prlstats

معدل تجزئة Pearl يكاد يكون دالة متأخرة لسعرها. ففي اليوم التالي للإطلاق عملت الشبكة بنحو 0.01 EH/s؛ وبحلول نهاية مايو بلغت 23–26 EH/s. وخلال الصيف هبط السعر نحو 86% عن ذروة مايو وتحرك معدل التجزئة أفقيًا عند 21–39 EH/s. وبعد أن ارتفع السعر نحو عشرة أضعاف في سبتمبر وأكتوبر، بلغ معدل التجزئة 85.76 EH/s في 27 أكتوبر ونحو 90 EH/s في نوفمبر. وقد تزامنت قفزة إلى 195 EH/s في 11 أغسطس مع تفرّع، وينبغي قراءتها أثرًا تقديريًا. ونمت الطاقة معه: قدّرت إحدى الدراسات نحو 112 MW للشبكة كلها عند 24 EH/s، ويقدّرها نموذج من prlstats اليوم بنحو 190–215 MW.

الشكل 03 **أشهر Pearl الستة الأولى: معدل التجزئة يتبع السعر، والقواعد تتغير باستمرار**

معدل تجزئة الشبكة، وثلاث علامات للسعر، وكل تغيير في الإجماع، من 27 أبريل إلى 13 نوفمبر 2026



المصدر: عقدة prlstats الكاملة وسلاسلها؛ وKryptex؛ وCoinGecko؛ وملف params.go في Pearl وPIP-3. قفزة 11 أغسطس أثر تقديري عند تفرّع.

الإصدار يضخّم الانعكاسية

سقف المعروض 2.1 مليار عملة ولا يوجد تنصيف: يتناقص دعم الكتلة بسلاسة وفق E(t) = S·H / ((t + H)(t + H - 1)) حيث H = 650,226. لكن الإصدار يُحتسب بالكتل لا بالزمن، وقد بدأت الصعوبة المبكرة منخفضة أكثر من اللازم وتعدّلت ببطء. **عُدِّن نحو 44.06 مليون عملة في اليوم الأول ونحو 120 مليونًا في الأيام الستة الأولى**، أي نحو 32% من المعروض الحالي تقدير. والكتل الأخيرة، بنحو 171–183 ثانية، ما زالت أسرع من الهدف البالغ 194 ثانية. والنتيجة أن المعروض سينمو بنحو 78% خلال الأشهر الـ 12 المقبلة، وهو تخفيف يتعين على المعدِّنين وصانعي العتاد والحائزين جميعًا مواجهته.

وتتبع ذلك اقتصاديات المعدِّنين. يبلغ دخل المعدِّنين على مستوى الشبكة نحو 1.25 مليون دولار يوميًا (نموذج)؛ ويعطي الإصدار اليومي لدى Kryptex مضروبًا في السعر الحالي نحو 1.35 مليون دولار يوميًا، لذا **فإن الإيراد لكل وحدة معدل تجزئة R ≈ 14–15 دولارًا لكل PH/s يوميًا** تقدير. وتكسب RTX 5090 نحو 5–6 دولارات يوميًا. وتكسب H100 أو H200 نحو 11 دولارًا، بينما يبلغ أرخص استئجار علني عند الطلب نحو 2.09 دولار لكل بطاقة في الساعة، أي نحو 50 دولارًا يوميًا، فاستئجار البطاقات للتعدين وحده يخسر خسارة فادحة. وتتأرجح R تأرجحًا واسعًا: فبحسب سلسلة prlstats كانت نحو 10 دولارات في أغسطس وسبتمبر ونحو 33 دولارًا لفترة وجيزة في منتصف أكتوبر تقدير. وفي غضون أسابيع من الإطلاق، انخفض الإيراد اليومي التقديري لـ RTX 5090 إلى النصف من نحو 33.80 دولار إلى نحو 17.19 دولار. ولم يكن استئجار وحدات GPU السحابية للتعدين مربحًا إلا في الأسابيع الأولى وأثناء قفزة السعر في أكتوبر.

النظرية صامدة؛ والحافز ليس كذلك

المشكلة الحقيقية هي الطلب، لا التشفير. فالتكامل التجاري العلني الوحيد لـ Pearl هو نقطة نهاية Gemma-4-31B-it-pearl من Together AI، أُطلقت في 15 مايو بسعر أقل من المعتاد بأكثر من 25%، ويُموَّل الخصم من القيمة المستقبلية المتوقعة للإصدار. وفي 13 نوفمبر أظهرت صفحة النموذج أنه **غير متاح على واجهة API عديمة الخوادم لدى Together**. وفي يونيو خلص إحصاء لـ 8,012 نسخة تعدين متصلة، أي نحو 21% من الشبكة، إلى أن الشبكة لا تنتج أي حوسبة ذكاء اصطناعي مفيدة على الإطلاق (يصف المؤلف الأدلة بأنها موحية لا قاطعة)، وأظهر أن مجمعات التعدين قبلت حصصًا مبنية من مصفوفات عشوائية بحتة. وفي 28 أكتوبر قدّرت

Blockworks أن **نحو 1% فقط من الكتل يحمل عملًا حقيقيًا للذكاء الاصطناعي**؛ وكتبت أن Pearl من دونه نسخة من bitcoin أصغر وأقل أمنًا وأسرع تضخمًا.

ويمكن حساب السبب. فالكلفة الإضافية على جانب الاستدلال صغيرة فعلًا: تفيد Pearl بزيادة 5.08% في الزمن الكلي لـ Llama 70B على أربع H200، وقاس اختبار مستقل خسارة 9.2% في الإنتاجية على GPU Hopper واحدة. أما جانب التعدين فيكسب أقل مما ينبغي. فإضافة vLLM الرسمية لا تعدّن إلا على دفعات ملء مسبق لا تقل عن 1,024 رمزًا، ولا تعدّن أبدًا في خطوات فك الترميز. وبطاقة تخدم الاستدلال تحصل على نحو 27% من معدل تجزئة جهاز تعدين مخصص في حركة ملء مسبق خالصة، ونحو 5.4% في مزيج محادثة يشكّل فك الترميز 80% منه، ونحو 1% فقط في حركة يغلب عليها فك الترميز. ومن دون طلب مدفوع على الاستدلال، يضرب المعدِّن العقلاني مصفوفات عشوائية؛ فالبروتوكول يتحقق من أن المصفوفات الملتزم بها ضُربت بنزاهة، لا من أنها مفيدة. **النظرية صامدة؛ والحافز ليس كذلك.** إن فائدة Pearl مشكلة تجارية خارج السلسلة: لا بد أن يدفع أحد ثمن الاستدلال.

الفصل 04

04

Pearl · القواعد

Pearl: مخاطر القواعد والحساب العددي والحوكمة

أربعة تفرّعات في شهرين

الوجه الآخر لـ Pearl هو سرعة تغير قواعدها. فمن يونيو إلى أغسطس 2026 دفع المختبر أربعة تغييرات في الإجماع عند ارتفاعات مثبتة في الشيفرة: تفرّع صلب لمزيج الخبراء (الكتلة 71,935، نحو 12 يونيو)، وتفرّع مرن للنماذج الكثيفة فقط (91,630، نحو 23 يوليو)، وتفرّع مرن لعقوبة الرتبة (96,251، نحو 6 أغسطس)، وتفرّع صلب للبذرة المملّحة (99,000، نحو 11 أغسطس). وبعد تفرّع البذرة المملّحة، لم يعد المعدِّنون القدامى ينتجون إلا حصصًا غير صالحة؛ وخفّضت عقوبة الرتبة معدل التجزئة الفعلي للإعدادات عالية الرتبة بنسبة 50% إلى 87.5%.

والخطوة التالية هي PIP-3، وما زالت مسودة: تنقل التعدين من INT7 إلى FP32 → FP8 × FP8 وتشترط ملفات تعريف أجهزة مطابقة بتًا بتًا، **ولا تدعم إلا معماريتين، Hopper وBlackwell**. وتصف الوثيقة الاعتماد على العتاد بأنه شر لا بد منه في بروتوكولات الفاصلة العائمة، وتحذّر من أن أي تسامح في التحقق يستدعي هجمات الطحن. وفي 12 نوفمبر لم تحدد معلمات الشبكة الرئيسية في فرع fp8-scheme أي ارتفاع للتفعيل. وبموجب المسودة الحالية، لا تُقبل سلسلة RTX 40 ولا A100 ولا بطاقات AMD، بينما يقدّر نموذج منخفض الثقة من prlstats أن نحو 82% من معدل التجزئة يأتي من بطاقات استهلاكية. وفرض التفرّع بالقوة ينطوي على خطر انقسام السلسلة أو ردة فعل عنيفة من المعدِّنين.

معضلة ثلاثية في صيغة الأعداد

تواجه Pearl معضلة ثلاثية: يمكن لصيغة أعداد أن تكون مفيدة للذكاء الاصطناعي (FP8 أو FP4)، وقابلة للتحقق بتًا بتًا عبر العتاد، ومحايدة تجاه العتاد، لكن ليس أكثر من اثنتين من الثلاث. فمخطط INT7 قابل للتحقق ومحايد لكنه يتباعد عن الوجهة التي يسير إليها سيليكون الذكاء الاصطناعي. وFP8 مع قائمة بيضاء مفيد وقابل للتحقق لكنه يربط الإجماع بمورّد واحد. وFP8 مع تسامح مفيد ومحايد لكنه يفتح الباب لهجمات الطحن. والحساب بالفاصلة العائمة في نوى الموترات لا يتبع عمومًا معيارًا عدديًا ولا يمكن استنساخه بين الأجيال؛ ففي Hopper مثلًا لا يحتفظ تجميع FP8 إلا بـ 13 بتًا كسرية ويقتطع الباقي. ومن وجهة نظر مصمم الشرائح، فإن «ملف تعريف Hopper» حساب محدد بالكامل يمكن لـ ASIC أن تنفذه بتًا بتًا، وربما بكفاءة أعلى من GPU. لكن ذلك سيكون عملًا في منطقة رمادية يخالف النية المعلنة للبروتوكول، بمخاطر حوكمة مرتفعة جدًا تحليل .

الحوكمة

الحوكمة مركّزة. فالمختبر كتب كل مقترحات البروتوكول؛ وتُفعَّل التفرّعات عند ارتفاعات مثبتة في الشيفرة دون إشارات من المعدِّنين؛ ولا يوجد تنفيذ ثانٍ للعميل؛ وحتى أوائل أكتوبر لم يُنشر أي تدقيق من طرف ثالث للعقدة أو لدارات المعرفة الصفرية. وأفادت صحيفة TheMarker الإسرائيلية بأن المختبر جمع نحو 120–130 مليون دولار في جولة سرية (نحو 55 مليون دولار من الأسهم إضافة إلى صندوق للبنية التحتية من GPU بنحو 75 مليون دولار)؛ ولم تؤكد Pearl ذلك عبر قنوات رسمية. يمكن أن تصح العبارتان «لا تخصيص للمستثمرين في الرمز» و«شركة لها مساهمون من رأس المال المغامر» معًا، لكن التوتر يبقى: قد تتدفق إيرادات الذكاء الاصطناعي إلى الأسهم بينما يقع التخفيف على حائزي الرمز.

إجمالًا، Pearl هي أنظف تجربة لـ «الحوسبة بوصفها إجماعًا» حتى الآن: آلية مبتكرة، قابلة للتحقق على السلسلة، بوحدة تُطابَق واحدًا لواحد مع عتاد الذكاء الاصطناعي. لكن الفائدة لم تصل، وميزانية أمنها ومعدل تجزئتها وحماسة معدِّنيها كلها معلّقة برمز لم يتشكل طلبه الرئيسي بعد وسيزداد معروضه بنحو 78% خلال 12 شهرًا. وتستحق ثلاث إشارات من Blockworks المتابعة: هل تمر الترقية بسلاسة، وهل ترتفع حصة كتل عمل الذكاء الاصطناعي ارتفاعًا ملموسًا، وهل يمرر أي مزوّد استدلال دخل التعدين إلى عملائه.



الفصل 05

سلاسل العمل المفيد

05 سلاسل العمل المفيد: لا المصفوفات ولا المعرفة الصفرية توقف شرائح ASIC

Kaspa: المصفوفة ليست مفيدة ولا مانعة لشرائح ASIC

Kaspa هي الحالة النموذجية. تضع kHeavyHash ضرب مصفوفة في متجه بحجم 64 × 64 على قيم من 4 بتات بين تجزئتين، ثم يُرمى الناتج. وبعد نحو 16 شهرًا من إطلاقها العادل في نوفمبر 2021، أعلنت IceRiver أول شرائح ASIC لـ Kaspa في 14 مارس 2023، وبحلول نهاية 2023 انتهى التعدين بوحدات GPU. ومقارنة RTX 4090 عند 3.8 GH/s و300 W بجهاز KS7 من Bitmain عند 77 J/TH تعطي فجوة كفاءة تبلغ نحو **1,000 ضعف** تقدير. وبعد الوليمة جاء الانضغاط: في 13 نوفمبر عملت الشبكة بـ 358.9 PH/s، أي أقل بنحو 64% من 1 EH/s في أغسطس 2024، ولا يكسب أفضل جهاز KS7 إلا **0.86 دولار يوميًا** عند 0.10 دولار لكل kWh.

Aleo: المعرفة الصفرية لا توقف العتاد الخاص أيضًا

صُمم لغز المُثبِت في Aleo ليحاكي عمل توليد إثبات SNARK؛ وهو لا يثبت معاملات المستخدمين، ويرحب المشروع علنًا بشرائح ASIC لـ ZK. وبعد نحو خمسة أشهر من شبكتها الرئيسية في سبتمبر 2024، كانت الأجهزة المخصصة تُشحن. وفي الربع الثالث من 2025 تلقى المُثبِتون 31.2 مليون ALEO (نحو 7.8 مليون دولار) بينما لم تجمع الشبكة إلا نحو 43,000–44,000 دولار من الرسوم: **مضاعف دعم يبلغ نحو 175–180**. وهبط السعر من نحو 9 دولارات في التداولات الأولى إلى 0.22 دولار بنهاية ذلك الربع، وتشترط ARC-46 الآن حصة من 100,000 إلى 2.5 مليون ALEO لكل حل، فيتحول التعدين إلى عتبة حصص.

Qubic وBittensor

تسوّق Qubic «إثبات عمل مفيدًا» يدرّب شبكتها العصبية Aigarth، لكن أبرز ناتج لحوسبتها في 2025–2026 كان كتل سلاسل أخرى. فقد عدّنت أولًا Monero، ورفعت حصتها من أقل من 2% في منتصف مايو 2025 إلى أكثر من 25% بنهاية يوليو وادّعت 51% في أغسطس، ما تسبب في إعادة تنظيم ست كتل (ويقول مصدر آخر 18). وفي 1 أبريل 2026 تحولت إلى تعدين Dogecoin بشرائح ASIC، مستخدمة العائدات في إعادة الشراء والحرق. ولا يوجد دليل مستقل على أن تدريبها للذكاء الاصطناعي مفيد، وقد هبطت قيمتها

السوقية من نحو 280–300 مليون دولار إلى نحو 50 مليون دولار في 13 نوفمبر. كما كشفت عن أثر خارجي: فالسلسلة التي تدفع مقابل حوسبة عامة الغرض تُنشئ مجمعًا كبيرًا منسقًا قابلًا للاستئجار من معدل التجزئة، يمكن توجيهه ضد السلاسل الملائمة لوحدات CPU.

Bittensor ليست إثبات عمل بل تقييمًا ذاتيًا مرجّحًا بالحصص: يقيّم المدققون المعدِّنين، وتُقصّ الأوزان عند الوسيط المرجّح بالحصص. وهي الشبكة الوحيدة في هذه المجموعة ذات إيرادات خارجية على نطاق واسع. يُظهر مؤشر SubConnect، الذي لا يحتسب إلا العملاء الخارجيين القابلين للتحقق، نحو **70 مليون دولار سنويًا** في أوائل نوفمبر 2026 (نحو 35 مليون دولار في 1 سبتمبر)، منها 78% إلى 82% من الحوسبة والبنية التحتية؛ لكن إصدارها بأسعار أوائل نوفمبر يتجاوز 300 مليون دولار سنويًا، فلا تغطي الإيرادات إلا 9% إلى 23%. وتتفاوت تقديرات الإيرادات تفاوتًا واسعًا بحسب الأساس، من نحو 17 مليون دولار (Artemis) إلى 172 مليون دولار سنويًا من إجماليات بإفصاح ذاتي. وفي أبريل كانت 67 من 128 شبكة فرعية تحرق أكثر من 99% من حوافزها، وحين غادر الفريق الرائد Covenant بسبب خلاف على الحوكمة، هبط TAO بنسبة 24% في غضون ساعات.

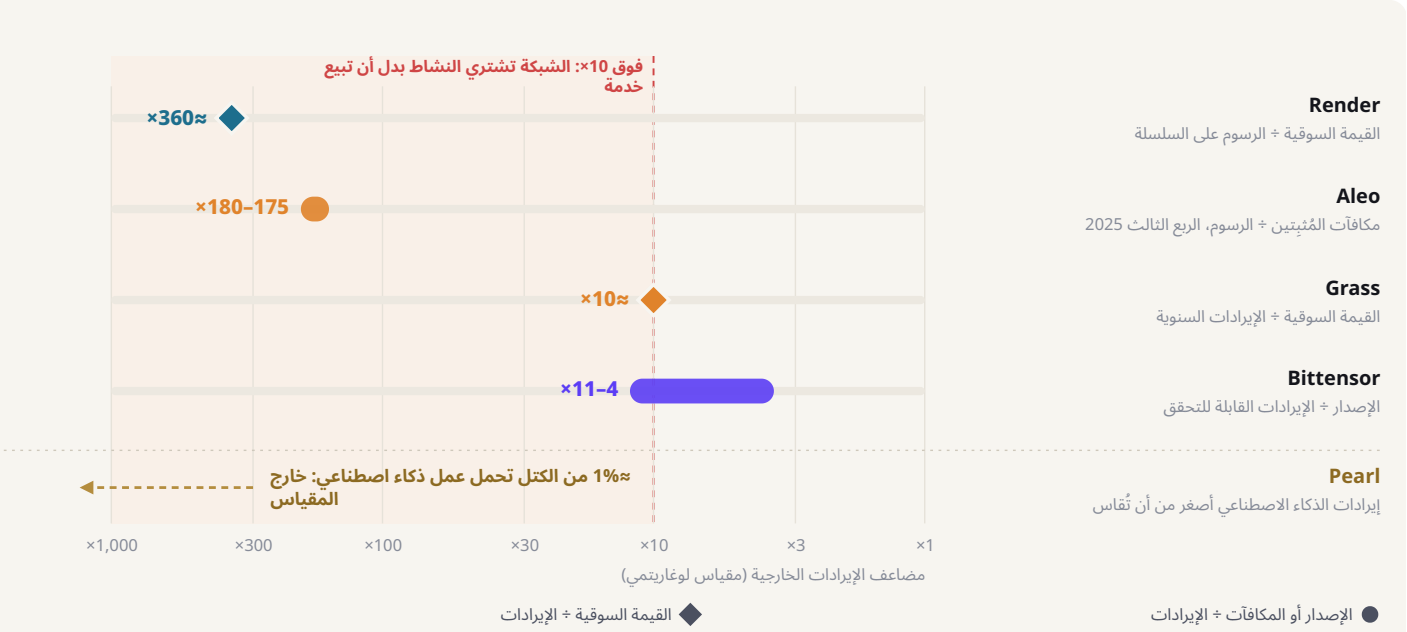
التاريخ يعطي الإجابة نفسها

كانت سلاسل الأعداد الأولية في Primecoin سريعة التحقق، لكن أحدًا لم يكن بحاجة إليها. واعتمدت Gridcoin على مواقع إحصاءات من أطراف ثالثة لتشهد على مساهمات BOINC، فزوّر باحثون كتلًا دون إجراء أي حوسبة. وإثباتات التخزين في Filecoin تعمل تقنيًا، لكن الاستخدام في الربع الثالث من 2025 لم يتجاوز 36%، وكانت 99.5% من رسومها البالغة 793,000 دولار غرامات، بينما لم تتجاوز الرسوم الأساسية 4,100 دولار.

المشروع	العمل أو الإجماع	القيمة السوقية (التاريخ)	مسار العتاد	الطلب المدفوع مقابل الدعم	الحكم
Pearl	ضرب مصفوفات مشوَّش (MAC) بصيغة INT7 مع شهادة ZK	نحو 500 مليون دولار (13 نوفمبر)	وحدات GPU؛ ومسودة FP8 ستضع Hopper وBlackwell على قائمة بيضاء	نحو 1% من الكتل يحمل عمل ذكاء اصطناعي؛ ودخل المعدِّنين معظمه دعم	الآلية الأكثر موثوقية؛ والطلب غير مثبت
Kaspa	kHeavyHash (ضرب مصفوفة في متجه 64 × 64 بـ 4 بتات بين تجزئتين)	نحو 840 مليون دولار (13 نوفمبر)	شرائح ASIC بعد نحو 16 شهرًا من الإطلاق؛ والآن ASIC بالكامل	لا تدّعي أي فائدة؛ وإيرادات المعدِّنين نحو 18 مليون دولار سنويًا تقدير	المصفوفة ليست مفيدة ولا مانعة لشرائح ASIC
Aleo	لغز SNARK اصطناعي مع إثبات الحصة	نحو 118 مليون دولار (نهاية الربع الثالث 2025)	أجهزة مخصصة بعد نحو خمسة أشهر	مكافآت المُثبِتين نحو 175–180 ضعف الرسوم	عمل اصطناعي يحركه الدعم
Qubic	«uPoW» (تدّعي تدريب Aigarth)	نحو 50 مليون دولار (13 نوفمبر)	CPU وGPU؛ وشرائح ASIC لـ Dogecoin منذ أبريل 2026	لا دليل مستقل على الفائدة؛ والحوسبة مستخدمة في تعدين خارجي وإعادة شراء	تجميع حوسبة مغلّف بقصة ذكاء اصطناعي
Bittensor	إجماع Yuma (تقييم مرجّح بالحصص)	نحو 2.55 مليار دولار (11 نوفمبر)	وحدات GPU عامة الغرض؛ ولا مسار لـ ASIC	نحو 70 مليون دولار سنويًا من الإيرادات القابلة للتحقق مقابل إصدار يتجاوز 300 مليون دولار	الوحيدة ذات إيرادات خارجية على نطاق واسع؛ وما زال دعمها 4–11 ضعفًا
Filecoin (للمقارنة)	إثباتات النسخ والزمكان	نحو 1.5 مليار دولار (نهاية الربع الثالث 2025)	—	الاستخدام 36%؛ والرسوم الأساسية الفصلية 4,100 دولار	مفيدة، لكنها قاصرة عن الطلب

الشكل 04 **مضاعف الدعم: كم مرة من الإيرادات الخارجية تدفع الشبكة**

الإصدار أو القيمة السوقية مقسومًا على الإيرادات المدفوعة من خارج الشبكة، مقياس لوغاريتمي



المصدر: Blockworks (Aleo، الربع الثالث 2025)، وDefiLlama (رسوم Render)، وCoinGecko، وhoge.gg (Bittensor)، وDealroom (Grass)، وBlockworks 0xResearch (Pearl)؛ وحساب المؤلف.

الدرس للعتاد: العمل الثابت المنتظم المدفوع برمز سائل يجتذب شرائح ASIC في غضون نحو 3 إلى 16 شهرًا، وغالبًا من المنافسين قبل الشركات القائمة. ولم تصمد ادعاءات «الفائدة» إلا حيث يدفع عميل خارجي ثمن الناتج. والمحركان الرئيسيان للعتاد العالق هما دعم مرتفع قياسًا بالإيرادات وتحكّم المطورين في دالة العمل.

الفصل 06

المشهد الأوسع

06 بقية الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة: طلب حقيقي لكنه صغير، وقيمة تنتقل إلى الأسهم

أسواق الحوسبة اللامركزية

للحوسبة اللامركزية عملاء يدفعون، لكن الطلب صغير ومركّز وفي معظمه إعادة بيع لاستدلال النماذج المفتوحة. والرسوم القابلة للتحقق على السلسلة صغيرة: تُظهر DefiLlama نحو 2.35 مليون دولار من الرسوم لـ Render خلال العام الماضي ونحو 680,000 دولار لـ Livepeer، ولم يكسب قطاع DePIN بأكمله إلا نحو 72 مليون دولار من الإيرادات على السلسلة في 2025. والأرقام المفصح عنها ذاتيًا أكبر لكنها فضفاضة التعريف: تفيد Aethir بإيرادات «تتجاوز 127.8 مليون دولار» للسنة المالية 2025 دون أن توضح هل هي فوترة إجمالية أم حصة البروتوكول. وقد انفصلت قيم الرموز عن الإيرادات في الاتجاهين: فالقيمة السوقية لـ Render نحو 360 ضعف رسومها على السلسلة، بينما القيمة السوقية لـ Aethir البالغة نحو 87.7 مليون دولار أدنى من إيراداتها المفصح عنها ذاتيًا تقدير.

ولا يصح ادعاء أنها أرخص بنسبة 70% إلى 85% إلا مقارنة بأسعار مزودي الحوسبة السحابية الكبار عند الطلب. ففي 3 نوفمبر كان متوسط سعر H100 المرجّح على Akash نحو **2.73 دولار لكل ساعة GPU** (النطاق 2.04–3.16 دولار)، أدنى من نحو 6.88 دولار على

AWS و11.06 دولار على Google Cloud، لكنه أعلى من نحو 1.73 دولار على Vast.ai و1.99 دولار على السحابة المجتمعية لـ RunPod ونحو 2.44 دولار لحجز لمدة عام (أسعار المنصات الأخرى كما قُرئت في 12 سبتمبر؛ وAkash، الناشر، طرف ذو مصلحة). والطلب في معظمه استدلال سلعي يوزَّع عبر OpenRouter، نحو 1.7 مليار رمز يوميًا على AkashML وأكثر من 4 مليارات على io.net، في منافسة مباشرة مع كل السحب الجديدة. وأكبر دولارات «الحوسبة اللامركزية» تعود إلى المركزية: فقد وقّعت Axe Compute، التي تحتفظ برمز Aethir أصلًا في خزينتها، عقدًا لخمس سنوات بقيمة 1.5 مليار دولار لتأجير عنقودها الخاص من 9,200 بطاقة B300، مقابل إيرادات في الربع الأول من 2026 بلغت 35,000 دولار.

التدريب والاستدلال اللامركزيان

ثبتت إمكانية التدريب عبر الإنترنت عند 8 إلى 40 مليار معامل. فقد تدرّب Pluralis-8B مدة 40 يومًا على 330 عقدة، معظمها وحدات GPU استهلاكية، وبلغ 63% من كفاءة خط أساس مركزي من H100، وإن كانت ورقته تعترف بأن التشغيل لم يكن لامركزيًا واحتاج إلى عقد Pluralis نفسها وإلى سلطة قبول. وأكملت Psyche من Nous Research تشغيل التدريب المسبق Consilience بـ 40 مليار معامل. وعند نطاق الحدود المتقدمة عاد العمل إلى المركزية: فقد دُرِّب INTELLECT-3 من Prime Intellect، وهو نموذج مزيج خبراء بـ 106 مليارات معامل، على مدى شهرين على 512 بطاقة H200 موصولة بشبكة InfiniBand بسرعة 400 Gbps. والقيود واضحة: تحتاج العقد إلى عرض نطاق لا يقل عن 200 Mbit/s وإلى ضغط اتصالات بنحو 100 ضعف، وما زالت الثقة والتحقق يعتمدان على الأدوار المميزة للمشغّل.

وذهب المال إلى شركات أسهم تبيع منتجات مركزية. فقد كانت لدى Prime Intellect إيرادات سنوية تتجاوز 100 مليون دولار قبل أن تجمع 130 مليون دولار بتقييم مليار دولار في يوليو؛ وتفيد Venice، وهي تطبيق استدلال خاص، بإيرادات سنوية تتجاوز 70 مليون دولار وبأرباح منذ الربع الأول من 2026 (أرقام الشركة)، وقد جمعت 65 مليون دولار بتقييم مليار دولار وتعمل على وحدات GPU مستأجرة. وعلى جانب الرموز، ما زالت شبكة التدريب الأساسية لـ Gensyn «قيد التحديد» ويساوي رمزها نحو 17.2 مليون دولار؛ وهبط رمز Ritual، وهي طبقة أولى أصيلة للذكاء الاصطناعي، بنسبة 72% عن ذروته بعد الشبكة الرئيسية (العنوان فقط).

الذكاء الاصطناعي القابل للتحقق

اختار الإنتاج بيئات التنفيذ الموثوقة (TEE). فالحوسبة السرية في Hopper تضيف أقل من 7% من الكلفة الإضافية لاستعلامات LLM المعتادة ولا تكاد تضيف شيئًا للنماذج الكبيرة؛ والكلفة الإضافية لدى Phala في الإنتاج نحو 0.5% إلى 5%، لكن بنهاية 2025 لم يكن يدفع إلا 398 من مستخدميها البالغين 10,004. وجذر الثقة في TEE هو مورّد الشريحة: فقد استخدم TEE.fail، الذي كُشف عنه في أكتوبر 2025، أداة اعتراض على ناقل DDR5 تكلف أقل من 1,000 دولار لاستخراج مفاتيح المصادقة من أجهزة Intel TDX وAMD SEV-SNP المحدّثة بالكامل، وهذا بدوره يقوّض الحوسبة السرية لوحدات GPU من NVIDIA، ويقول المورّدان كلاهما إن الهجمات المادية خارج نموذج التهديد لديهما. وهذا هو بالضبط وضع DePIN، حيث يملك مشغلو العقد وصولًا ماديًا. ويمكن لـ zkML الآن إثبات LLM كاملة: فـ DeepProve من Lagrange يثبت GPT-2 بنحو 174 رمزًا في الدقيقة وGemma 3 بنحو 86، بفارق مراتب عن استدلال الإنتاج ودون استخدام مدفوع معلن.

مدفوعات الوكلاء والبيانات

x402 هو أفضل مثال تحذيري. تحصي TRM Labs نحو 198.9 مليون معاملة و52.7 مليون دولار سوّاها ميسّرون معروفون منذ مايو 2025، 99.6% منها بـ USDC؛ وبعد استبعاد المدفوعات الذاتية والتدفقات الدفعية والبائعين الذين لديهم أقل من عشرة مشترين، لا تتجاوز الحصة التي بدأها الوكلاء فعلًا 0.6% إلى 7.5%، أي **نحو 5,000–11,000 دولار شهريًا**. وترى Artemis أن أكثر من 95% من النشاط إشارات بروتوكولية لا بيع وشراء. وفي الأثناء توحّد الشركاتُ القائمة القنواتِ: فقد أُنشئت مؤسسة x402 تحت مظلة Linux Foundation في 14 يوليو، وأعضاؤها الأساسيون Visa وMastercard وStripe وGoogle وAWS وCloudflare وCoinbase، وأطلقت Tempo، التي شاركت Stripe في كتابة Machine Payments Protocol، شبكتها الرئيسية في مارس بتقييم 5 مليارات دولار. وما زالت منصات رموز الوكلاء تعمل بمنطق منصات الإطلاق: تفيد Virtuals ذاتيًا بـ 479 مليون دولار من «aGDP»، وأعلن

مؤسس ElizaOS موت رمزها بعد تسوية دعوى جماعية. ومن الأرجح أن تستحوذ على القيمة جهاتُ إصدار العملات المستقرة وشركات المدفوعات القائمة؛ وقد يكون الدور المميز للعملات المشفرة هنا هو هوية الوكلاء ومساءلتهم.

والبيانات من القطاعات الفرعية القليلة ذات المشترين الحقيقيين خارج السلسلة. تفيد Grass بـ 17 مليون دولار من إيرادات البيانات في 2025 و17 مليون دولار أخرى في النصف الأول من 2026، وتستهدف 75 مليون دولار للعام وتقول إنها رابحة؛ ويساوي GRASS نحو 328 مليون دولار، أي نحو عشرة أضعاف إيراداتها السنوية المحسوبة من النصف الأول تقدير. وخندقها هو نطاق جمع عرض النطاق السكني الموزع، لا العملات المشفرة نفسها. وتفتقر منظمات DAO للبيانات وأسواق البيانات إلى طلب مدفوع ظاهر: تساوي Vana نحو 21.5 مليون دولار وOcean نحو 27.6 مليون دولار، وOcean في نزاع قضائي مع Fetch.ai. ويكتسب إثبات الشخصية تكاملات حقيقية مع تكاثر الوكلاء: تقول World إنها تحققت من قرابة 18 مليون شخص، وتدعم Zoom وDocusign وTinder أجزاء من World ID.

لقد صوّت رأس المال

القطاع	الطلب المدفوع القابل للتحقق	إشارات الدعم والتقييم	الحكم
سلاسل العمل المفيد	Bittensor نحو 70 مليون دولار سنويًا من الإيرادات الخارجية القابلة للتحقق؛ وPearl نحو 1% من الكتل يحمل عمل ذكاء اصطناعي	Aleo 175–180 ضعفًا؛ وBittensor 4–11 ضعفًا؛ وPearl معظمها دعم	للآليات قيمة؛ والفائدة تحتاج إلى عملاء يدفعون
أسواق الحوسبة اللامركزية	رسوم على السلسلة نحو 0.68–2.35 مليون دولار سنويًا (Livepeer وRender)؛ وبإفصاح ذاتي 4–128 مليون دولار	القيمة السوقية لـ Render نحو 360 ضعف الرسوم	حقيقي لكنه صغير، وفي معظمه إعادة بيع لاستدلال سلعي
التدريب والاستدلال اللامركزيان	شركات أسهم: Prime Intellect أكثر من 100 مليون دولار سنويًا، وVenice أكثر من 70 مليون دولار (بنية تحتية مركزية)	الشبكة الرئيسية لتدريب Gensyn لم تُطلق؛ ورمز Ritual -72% عن ذروته	التقدم التقني حقيقي؛ والأرباح تذهب إلى الأسهم
الذكاء الاصطناعي القابل للتحقق	TEE في الإنتاج (398 مستخدمًا يدفعون لدى Phala)؛ ولا zkML مدفوع معلن	—	TEE مفيدة؛ وzkML مبكر
مدفوعات الوكلاء	التدفقات التي بدأها الوكلاء نحو 5,000–11,000 دولار شهريًا	نحو 200 مليون معاملة، معظمها إشارات ومضاربة	القنوات أولًا، والطلب لاحقًا
شبكات البيانات	Grass 17 مليون دولار في النصف الأول من 2026 (بإفصاح ذاتي)	GRASS نحو 10 أضعاف الإيرادات السنوية	من القطاعات القليلة ذات المشترين الحقيقيين

ضع القطاعات الستة جنبًا إلى جنب تجد الاستنتاج متسقًا: **الدعم وقود للانطلاق من الصفر، لا نموذج عمل.** في 13 نوفمبر بلغت قيمة فئة الذكاء الاصطناعي في CoinGecko نحو 18.6 مليار دولار إجمالًا، لكن نحو 56% منها طبقات أولى عامة الغرض مثل NEAR وICP، إضافة إلى مشاريع على مستوى الإجماع مثل TAO وTAO المرهون (وقد يُحتسب مرتين مع TAO) وPearl؛ ولا يتجاوز مجموع رموز الذكاء الاصطناعي في طبقتي البروتوكول والتطبيقات نحو 8 مليارات دولار أو أقل تقدير. وهذا يقارب التقييم المجمّع لأربع شركات أسهم: Tempo (5 مليارات دولار)، وNous (1.5 مليار دولار بحسب ما نُقل)، وPrime Intellect (مليار دولار)، وVenice (مليار دولار). وتمويل رأس المال المغامر للعملات المشفرة عالق عند نحو 4.5–5 مليارات دولار فصليًا، وتأتي الزيادة من البنية التحتية المرتبطة بالذكاء الاصطناعي، التي ارتفعت حصتها من المبالغ المعلنة من 8.1% إلى 18.2% في الربع الثالث من 2026؛ و84.7% من الرموز الـ 118 التي أُطلقت في 2025 تتداول دون سعر إطلاقها. في جملة واحدة: **العملات المشفرة تتولى التوزيع والتسوية، والأسهم تأخذ الأرباح**، في 2026 على الأقل.

الفصل 07

اقتصاديات ASIC

07 مسألة ASIC: معادلة واحدة، وثلاثة معايير

معادلة واحدة: لماذا تكف الكفاءة عن الدرّ بعد k = 5

لتكن R الإيراد اليومي لكل وحدة حوسبة (دخل معدِّني الشبكة مقسومًا على معدل تجزئة الشبكة)، وc التكلفة اليومية لوحدة حوسبة على العتاد الحدّي (في Pearl، وحدة GPU)، وk عدد المرات التي تكون فيها ASIC أرخص من ذلك العتاد الحدّي (c_ASIC = c/k). وما دامت وحدات GPU هي المعدِّنين الحدّيين، فإن حرية الدخول والخروج تدفع R نحو c، فتكسب ASIC مقدار R - c/k لكل وحدة حوسبة:

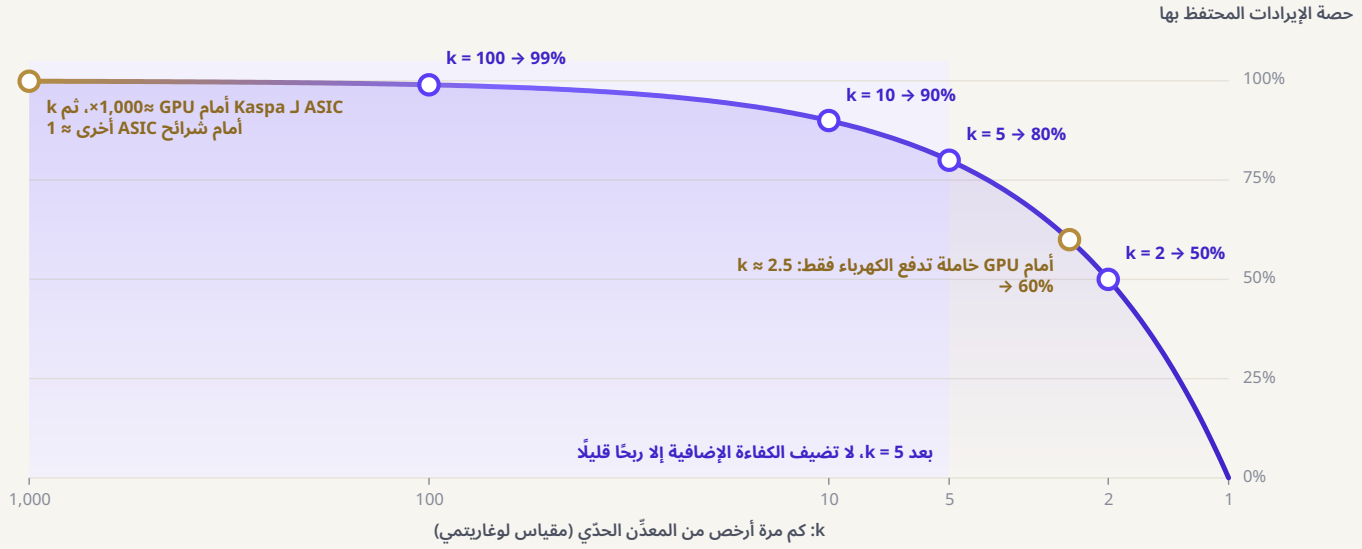
سقف ربح ASIC ≈ R × (1 - 1/k)

وعلى مستوى الشبكة، يساوي سقف الربح الإجمالي السنوي لأسطول ASIC تقريبًا إيرادات معدِّني الشبكة × (1 - 1/k)، وذلك فقط إلى أن تحل شرائح ASIC محل وحدات GPU بوصفها المعدِّنين الحدّيين.

للمعادلة ثلاث نتائج. أولًا، (1 - 1/k) مقعّرة: عند k = 2 تحتفظ ASIC بـ 50% من الإيرادات، وعند k = 5 بـ 80%، وعند k = 10 بـ 90%، وعند k = 100 بـ 99%. **وبعد k = 5–10، لا تكاد الكفاءة الإضافية تضيف ربحًا**؛ فحجم R وحجم الحصيلة هما الحاسمان. ثانيًا، يُعاد ضبط المرجع: فحين تصبح شرائح ASIC هي المعدِّنين الحدّيين، يجب قياس k أمام شرائح ASIC أخرى. كانت لشرائح ASIC في Kaspa ميزة كفاءة تبلغ نحو 1,000 ضعف على وحدات GPU، لم تشترِ إلا مكسبًا مفاجئًا قصيرًا؛ واليوم لا يكسب أفضل جهاز KS7 إلا 0.86 دولار يوميًا. ثالثًا، في سلسلة ملائمة لوحدات GPU مثل Pearl، لا يكون المرجع غالبًا سعر شراء GPU بل **كهرباء GPU خاملة**: فبطاقة RTX 5090 مملوكة عند 525 W و0.10 دولار لكل kWh تكلف نحو 1.26 دولار يوميًا من الطاقة وتكسب نحو 5–6 دولارات تقدير. وأمام وحدات GPU هي تكاليف غارقة، حتى ASIC تستهلك خُمس الطاقة لا تكون k الفعلية لها إلا نحو 2.5 إذا ساوى إهلاكها كهرباءها، ويكون سقف ربحها نحو 60% من R (افتراض توضيحي).

الشكل 05 لماذا تكف الكفاءة عن الدرّ: تحتفظ ASIC بما لا يزيد على 1 - k/1 من الإيرادات

حصة الإيرادات التي يمكن لـ ASIC الاحتفاظ بها أمام المعدِّن الحدّي، بحسب ميزة التكلفة k



المصدر: نموذج المؤلف: حين تحدد الأجهزة الحدّية السعر، يميل الإيراد لكل وحدة حوسبة إلى تكلفتها؛ وأرقام Kaspa وRTX 5090 من التقرير.

ثلاثة معايير: الحصيلة، وحجم الاسترداد، والقواعد

المعيار الأول هو **الحصيلة**. فبحساب سنوي لنحو 2,893 BTC من مكافآت الكتل في الأسبوع الأول من نوفمبر (نحو 222 مليون دولار)، يكسب معدِّنو bitcoin نحو 11.5 مليار دولار سنويًا تقدير . ويكسب معدِّنو Pearl نحو 0.46–0.49 مليار دولار (بالأسعار الحالية)؛ ومكافآت المُثبِتين في Aleo، بحساب سنوي من الربع الثالث من 2025، نحو 31 مليون دولار؛ ومعدِّنو Kaspa، بمكافأة كتلة قدرها 1.945 KAS وعشر كتل في الثانية، نحو 18 مليون دولار تقدير . **إن عاملًا كاملًا من إيرادات معدِّني Kaspa أقل من الحد الأدنى لميزانية تصميم شريحة واحدة بعقدة 5/4 nm (نحو 30 مليون دولار).**

المعيار الثاني هو **معدل التجزئة اللازم لاسترداد تكاليف NRE**:

h* = NRE ÷ [R × (1 - 1/k) × T × p]

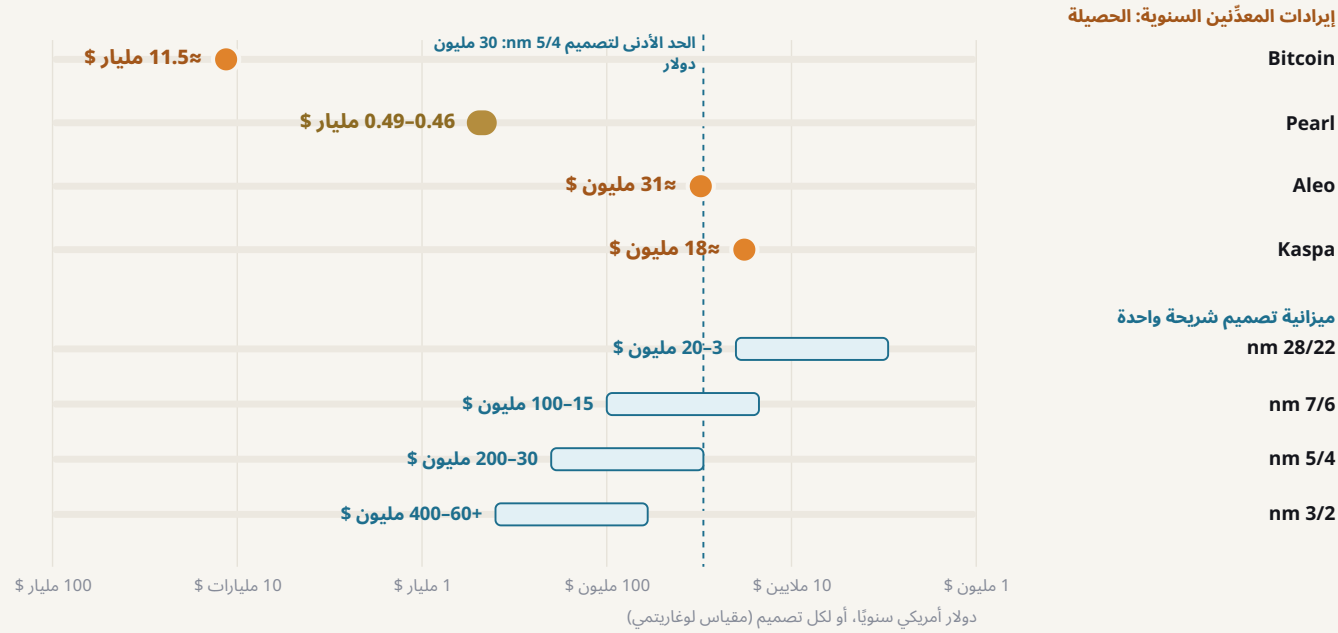
حيث T النافذة المفيدة بالأيام وp احتمال بقاء القواعد دون تغيير في تلك النافذة. لـ Pearl، خذ R = 14 دولارًا لكل PH/s يوميًا، وk = 5، وT = 365 يومًا، وتكاليف NRE قدرها 20 مليون دولار (شريحة مصفوفة متكررة بعقدة N7/N6؛ عند الحد الأدنى من نطاقات 5–30 مليون دولار للعقد المتوسطة من Silicon Analysts و15–100 مليون دولار لشرائح ASIC الحوسبية بعقدة 7/6 nm من AnySilicon، لأن شريحة التعدين تستخدم قليلًا من الملكية الفكرية وبنية متكررة؛ وهذا افتراضي). مع p = 1، تحتاج إلى نحو **4.9 EH/s** تعمل عامًا كاملًا، أي نحو 5% من الشبكة؛ ومع p = 0.5، إلى نحو **9.8 EH/s**، أي نحو 11%؛ وإذا عادت R إلى مستوى الصيف البالغ نحو 10 دولارات، فحتى p = 1 تحتاج إلى نحو 6.9 EH/s تقدير . فالحجم ليس بعيد المنال. المشكلة هي p وT.

المعيار الثالث هو **مخاطر القواعد**، وغالبًا ما يكون حاسمًا. فقد ترك تفرّع Monero المضاد لـ ASIC في 2018 جهاز X3 من Bitmain عالقًا وأفقد الشبكة لفترة وجيزة قرابة نصف معدل تجزئتها. وعطّل تفرّع Sia في العام نفسه أجهزة تعدين Bitmain وInnosilicon، بينما ارتفع السعر المستعمل لجهاز Obelisk، المرتبط بالمطورين، من 2,499 دولارًا إلى أكثر من 5,000 دولار. وبعد ما يزيد قليلًا على شهر من الدمج في Ethereum، لم يجد إلا أقل من 20% من معدِّني Ethereum السابقين عملًا جديدًا. **من يتحكم في دالة العمل يتحكم في مصير المستثمرين في العتاد**، وتُظهر Sia أن «مقاومة ASIC» قد تصبح خندقًا للمطورين أنفسهم. والعتاد ذو السوق الثانية ينجو: بعد الدمج انتقلت وحدات GPU إلى الذكاء الاصطناعي والسحابة، بينما تكدست شرائح ASIC أحادية الخوارزمية في Ethereum Classic. والنافذة تضيق أيضًا: استغرقت أول ASIC لـ Kaspa نحو 16 شهرًا، ولـ Aleo نحو خمسة، وغالبًا ما يكون أول من يبلغ حدود الكفاءة منافسًا لا شركة قائمة.

الشبكة	إيرادات المعدِّنين السنوية (تقريبًا)	العتاد الحدّي أو المرجعي	استقرار القواعد	k المتاحة لداخل جديد	الحكم
Bitcoin	11.5 مليار دولار	Bitmain S23 XP Hyd (8.9 J/TH، و25.5 دولار لكل TH)	مرتفع جدًا	≥1	حصيلة كبيرة، لكن k ملك للشركات القائمة
Pearl	0.46–0.49 مليار دولار (بالأسعار الحالية)	وحدات GPU مملوكة أو خاملة (التكلفة الحدّية ≈ الكهرباء) ووحدات GPU لمراكز البيانات	منخفض جدًا: أربعة تفرّعات في شهرين؛ وقائمة FP8 البيضاء معلّقة	ربما 3–10 أضعاف في الكفاءة تحليل ؛ وأقل أمام وحدات GPU ذات التكاليف الغارقة	الحصيلة كبيرة بما يكفي؛ ومخاطر القواعد تنقضها
Aleo	نحو 31 مليون دولار (الربع الثالث 2025، بحساب سنوي)	IceRiver AE2 وأجهزة مخصصة أخرى	متوسط: عتبة الحصص في ARC-46	≈1	حصيلة صغيرة، والعتبة ترتفع
Kaspa	نحو 18 مليون دولار	KS7 (77 J/TH)	مرتفع	≈1	الإيرادات السنوية أدنى من الحد الأدنى لميزانية تصميم واحد بعقدة 5/4 nm

الشكل 06 معظم الحصائل أصغر من ميزانية تصميم شريحة واحدة

إيرادات المعدِّنين السنوية لأربع شبكات مقابل تكلفة تصميم شريحة واحدة بحسب عقدة التصنيع، مقياس لوغاريتمي



المصدر: bitcoin Hashrate Index (نوفمبر 2026)، وprlstats وKryptex (Pearl)، وBlockworks (Aleo، الربع الثالث 2025)، وminerstat (Kaspa)، وAnySilicon (ميزانيات التصميم، 2026)؛ بحساب سنوي من المؤلف.

ربع «الحصيلة الكبيرة والقواعد المستقرة و$k > 1$» خالٍ اليوم: لدى bitcoin الحصيلة والقواعد المستقرة، لكن k فيها ملك للشركات القائمة؛ وحصيلة Pearl كبيرة بما يكفي لكن قواعدها هي الأقل استقرارًا؛ ولدى Kaspa وAleo قواعد مستقرة بما يكفي وحصيلتان صغيرتان جدًا.

الفصل 08

شريحة تلو أخرى

08 خمسة أنواع من الشرائح، خمس إجابات

PoUW على طريقة Pearl: لا شريحة INT7 مخصصة؛ راهن على معدِّن قادر على خدمة الاستدلال

حجة ASIC حقيقية. فنحو 1% فقط من الكتل يحمل عمل ذكاء اصطناعي اليوم، لذا فإن الحجة الاقتصادية في الورقة البيضاء، ومفادها أن ASIC المخصصة تفقد القدرة على أداء عمل مفيد فتكسب أقل، هي في أضعف حالاتها الآن. وأغلى أجزاء GPU، أي HBM وتغليف CoWoS، تشكّل نحو 63% من تكلفة تصنيع H100، بينما لا يتجاوز قالب المنطق نحو 9%. ويمكن لشريحة لا تفعل شيئًا سوى عمليات ضرب وتجميع بأعداد صحيحة من 7 بتات، وتحتفظ بمعاملاتها في SRAM على الشريحة، وتعمل بجهد منخفض، أن تبلغ على نحو معقول 3 إلى 10 أضعاف كفاءة GPU من العقدة نفسها في الطاقة لكل عملية، وميزة أكبر في التكلفة لكل عملية [تحليل؛ لا قياسات بعد]. أما الحجة المضادة فأقوى. فمهل التسليم لدى المسابك في العقد المتقدمة قد تتجاوز 50 أسبوعًا، ويحتاج فريق جديد إلى نحو 18 إلى 24 شهرًا من البداية إلى الإنتاج الكمي **تقدير**؛ وحين تصل الشريحة، قد تكون Pearl انتقلت فعلًا إلى FP8 ثم FP4. ولأن PIP-3 تعرّف الحساب المقبول عبر قائمة بيضاء للأجهزة، فإن شريحة INT7 ستتوقف ببساطة عن العمل بمجرد تفعيلها.

لذا فإن استنتاجي هو: **لا ترسل الآن شريحة INT7 مخصصة لـ Pearl للتصنيع.** هناك رهانان أفضل. أحدهما مسرّع استدلال أولًا قادر على التعدين أيضًا: مبني حول GEMM عام بصيغة INT8/FP8 ومعاملات مقيمة في SRAM، بحيث إذا مُنع الوصول إلى التعدين، استقرت القيمة في سوق استدلال حقيقية. والآخر هو الانضمام إلى النقاش حول البروتوكول والدفع نحو حساب معياري محايد تجاه الموردين يمكن لـ ASIC أن تنفذه بدقة، مع التزام باستقرار الخوارزمية، وهو الشرط المسبق لوجود ربع «الحصيلة الكبيرة والقواعد المستقرة و$1 > k$». وإلى ذلك الحين، يمكن التحقق من المعمارية على FPGA أو على رقاقات متعددة المشاريع (MPW) بعقد ناضجة، مع إبقاء مخاطر NRE في حدود مليون دولار. ويحوّل الفصل 10 ذلك إلى ميزانية على مراحل.

معدِّنات على طريقة Bitcoin: الشركات القائمة تملك k، والطاقة هي الأصل النادر

مخاطر القواعد في Bitcoin هي الأدنى، لكن المنافسة تدفع k لداخل جديد إلى ما دون 1. يبلغ جهاز S23 XP Hyd من Bitmain 8.9 J/TH، ويُباع بـ 25.5 دولار لكل TH ويُشحن اعتبارًا من نوفمبر؛ وقد انخفضت كفاءة الطرازات الرائدة من 17.5 J/TH لـ S21 في 2023 إلى 8.9 J/TH، أي نحو 49% في ثلاث سنوات. وسيحتاج داخل جديد يشحن بكميات كبيرة في 2027–2028 إلى نحو 8 J/TH أو أفضل كي يصمد تقدير . والمنافسون يغادرون: أعلنت Canaan إيرادات للربع الثاني من 2026 بقيمة 31.9 مليون دولار مع خسارة إجمالية بلغت 29.3 مليون دولار، ولم تتوقع إلا 11–15 مليون دولار للربع الثالث؛ وانخفضت مبيعات Bitdeer من أجهزتها لمشترين خارجيين في الربع الثالث إلى 0.3 مليون دولار، بهامش إجمالي للمجموعة قدره 3.4%؛ وغيّرت Auradine اسمها إلى Velaura AI واتجهت إلى شرائح الذكاء الاصطناعي؛ وألغت Core Scientific طلبية بنحو 15 EH/s من أجهزة 3 nm من وحدة Proto التابعة لـ Block، وسجلت خسارة قدرها 41.9 مليون دولار.

والطلب يتقلص أيضًا. ففي 9 نوفمبر كان سعر التجزئة نحو 31.89 دولار لكل PH/s يوميًا، وبلغ متوسط المنحنى الآجل حتى أبريل 2027 نحو 32.7 دولار، ولم تتجاوز الرسوم 0.72% من مكافآت الكتل. وعند 0.045 دولار لكل kWh، يسترد S23 XP Hyd كلفته في نحو 3.1 سنوات تقدير ، أي قرب التنصيف التالي المتوقع نحو 2028. والأهم هو تكلفة الفرصة البديلة للطاقة: فعقود إيجار الذكاء الاصطناعي والحوسبة عالية الأداء تكسب الآن نحو 1.67–1.9 مليون دولار لكل ميغاواط متعاقد عليه سنويًا، وهو ما يعادل بصافي دخل تشغيلي 80% إلى 85% نحو 1.5 إلى 2.9 ضعف الربح الإجمالي للتعدين لكل ميغاواط (نحو 0.56–0.9 مليون دولار) [تقدير؛ أساسا الميغاواط مختلفان]. ستتوقف Core Scientific عن التعدين في الربع الرابع؛ وأغلقت Bitfarms، التي باتت Keel، جميع مواقع تعدينها في الولايات المتحدة؛ وكسبت IREN 200 مليون دولار من سحابة الذكاء الاصطناعي و28 مليون دولار فقط من التعدين في ربع واحد. **الطاقة وسعة مراكز البيانات هي الأصول؛ وأجهزة التعدين مواد استهلاكية.**

وحساب NRE لا يرحم بالقدر نفسه. فكفاءة الحدود المتقدمة تحتاج الآن إلى عمليات من فئة 3 nm (بحسب مصادر ثانوية، تستخدم MicroBT عملية Samsung SF3، وشرائح Auradine وProto بعقدة 3 nm). تكلف الأقنعة نحو 10–20 مليون دولار وتكاليف NRE الكاملة 30–100 مليون دولار أو أكثر؛ وعند 20–25 دولارًا لكل TH وهامش إجمالي 30%، تكسب كل 1 EH/s مباعة نحو 6–7.5 مليون دولار من الربح الإجمالي، لذا فإن تغطية إنفاق سنوي على البحث والتطوير بحجم Bitdeer، أي نحو 110–160 مليون دولار، تتطلب بيع نحو 20–25 EH/s سنويًا لمشترين خارجيين، أي نحو 2% من الشبكة تقدير . والاستنتاج: **لا ينبغي لفريق جديد أن يدخل سوق معدِّنات bitcoin التجارية.** وتظل ثلاث حالات منطقية: التكامل الرأسي مع طاقة رخيصة مملوكة؛ والأشكال المتخصصة مثل المعدِّنات المنزلية ومعدِّنات التدفئة (تطلق Canaan أيضًا منتجات تدفئة منزلية)؛ والمشاركة في خرائط طريق الشركات القائمة عبر الملكية الفكرية وخدمات التصميم.

شرائح تدريب الذكاء الاصطناعي: ليست لفريق صغير

في شرائح التدريب، k هي الأصعب كسبًا. ففي الجيل والدقة نفسيهما، لا تتقدم Ironwood من Google على B300 في كفاءة FP8 على مستوى الشريحة إلا بنحو 1.1 إلى 1.8 ضعف (قدرة Ironwood تقدير صحفي) تقدير ؛ أما الـ 30 إلى 80 ضعفًا التي كثيرًا ما تُقتبس من ورقة TPU v1 فقد قيست مقارنة بـ K80، التي لم تكن فيها نوى موترات. والرافعة الحقيقية هي صيغة الأعداد: الانتقال من FP8 إلى FP4 يعطي عادة 2 إلى 3 أضعاف الإنتاجية على السيليكون نفسه، وNVIDIA هي الأسرع هناك: تدّعي 50 PF من استدلال NVFP4 لـ Rubin، بالإنتاج الكمي في النصف الثاني من 2026. وعتبات التكلفة والإمداد أعلى من ذلك: تبلغ ميزانيات تصميم 3/2 nm من 60 إلى

400 مليون دولار أو أكثر؛ وسعة CoWoS في 2026 نحو 106,000–130,000 رقاقة شهريًا، وتفيد التقارير بأن TSMC تدرس رفع الأسعار حتى 20%؛ وبسعر تعاقدي قدره 15.6 دولار لكل GB لـ HBM3E، تكلف HBM وحدها في مسرّع بسعة 288 GB نحو 4,500 دولار تقدير. هذه السوق ملك للتطوير المشترك على طريقة Broadcom مع مزودي الحوسبة السحابية الكبار (الفصل 11). والاستنتاج: **لا ينبغي للفرق الصغيرة أن تبني شرائح تدريب مستقلة**؛ بل ملكية فكرية أو شرائح فرعية أو خدمات تصميم.

شرائح استدلال الذكاء الاصطناعي: قايض العمومية بـ k، فهذا مجدٍ

الاستدلال هو حيث تملك شرائح ASIC أوسع مجال، لأن k يمكن شراؤها بالتخلي عن العمومية. تدّعي Etched أن خادمها ذا الشرائح الثماني يشغّل Llama-70B بأكثر من 500,000 رمز في الثانية، أي نحو 20 ضعف ثماني بطاقات H100؛ وتثبّت Taalas أوزان النموذج في ذاكرة ROM للأقنعة وتدّعي طاقة أقل بـ 10 أضعاف وتكلفة تصنيع أقل بـ 20 ضعفًا (كلاهما ادعاء المورد). وتتجنب المعماريات المتمحورة حول SRAM ذاكرة HBM وتغليف CoWoS، وعقدها أيسر إدارة: تستخدم Taalas عملية TSMC 6 nm، وانتقلت Groq من Samsung 4 nm إلى 14 nm. ولا يساعد التوزيع في عالم العملات المشفرة شرائح الاستدلال، لأن شبكات الحوسبة اللامركزية تعمل كلها تقريبًا على NVIDIA؛ والمدخل هو اقتصاديات الشراء لدى السحب الجديدة وسوق الاستدلال المحلية الكبيرة في الصين، حيث يجب على مراكز البيانات الممولة من الدولة استخدام شرائح ذكاء اصطناعي محلية، وتُقيَّد واردات H200، وتريد بكين أن تشغّل شركات الإنترنت الكبرى الاستدلال على شرائح محلية. والاستنتاج: **تستحق البناء**، ما دام هناك عميل واضح وكانت درجة التقييد بالنماذج والمعمارية خيارًا مدروسًا. وهي أيضًا أفضل سوق ثانية لشريحة تعدين PoUW.

مسرّعات ZK وFHE: تحوّط في ZK، وتموضع مبكرًا في FHE

لقد لحقت وحدات GPU بالإثبات الآني لـ ZK: فقد أثبت SP1 Hypercube من Succinct 99.7% من كتل Ethereum في أقل من 12 ثانية على 16 بطاقة RTX 5090. وتدّعي Cysic أن شريحتها ZK C1 أكفأ بـ 10 إلى 100 ضعف من المُثبِتات على GPU وأنها ستُشحن في 2026، لكن طلبها يأتي إلى حد بعيد من مكافآت رمزها نفسه ادعاء المورد؛ ولم أجد دليلًا علنيًا على أن شرائح ASIC لألغاز Aleo تُستخدم في إثبات ZK حقيقي. وإثبات ZK صحيح وحتمي، قريب في شكله مما تفعله شرائح التعدين، لكن أنظمة الإثبات تتغير بسرعة (SP1 وRISC Zero وHalo2 وPlonky2 وغيرها). والاستنتاج: **انتظر وتحوّط**، بمحركات MSM وNTT وتجزئة قابلة للبرمجة، أولًا على FPGA، ثم بوصفها ASIC.

وFHE هي البدائية الأشد ارتباطًا بالعتاد وذات أكبر إمكانات صعود. تشغّل Heracles من Intel، على عملية Intel 3 بمساحة 197 mm² و176 W و48 GB من HBM3، عمليات FHE أسرع بـ 1,074 إلى 5,547 ضعفًا من Xeon بـ 24 نواة، لكن ليس لدى Intel خطط تجارية وقد غادر قائد المشروع في ديسمبر 2025. وتبني Niobium على Samsung 8LPU مع SemiFive شريكًا في التصميم (عقد تطوير بنحو 6.86 مليون دولار)، وقد جمعت أكثر من 23 مليون دولار؛ وجمعت Optalysys، بنهج ضوئي، 31 مليون دولار وتقول إن شريحة تجارية كاملة ما زالت على بعد سنتين إلى ثلاث؛ ويبلغ تصميم FPGA مفتوح المصدر من Zama نحو 13,000 عملية إقلاع قابلة للبرمجة في الثانية عند نحو 200 W، وهو خط الأساس العلني الذي يجب على أي ASIC أن تتفوق عليه بوضوح. والاستنتاج: **تموضع مبكرًا وتحقق بأصول خفيفة**، لنافذة نحو 2027–2029. ومن الأرجح أن يرسو الطلب على الذكاء الاصطناعي المشفر للمؤسسات والحكومات لا على العملات المشفرة نفسها، وتحتاج FHE إلى HBM، فتشبه بنية تكلفتها بنية شريحة تدريب.

نوع الشريحة	من أين تأتي k	الطلب والحصيلة	NRE والعتبات	مخاطر القواعد أو التقييد	السوق الثانية	الحكم
شريحة تعدين PoUW على طريقة Pearl	الاستغناء عن HBM وCoWoS والوحدات عامة الغرض: ربما 3–10 أضعاف في J/op تحليل	دخل المعدِّنين نحو 0.46–0.49 مليار دولار سنويًا، متقلب	مصفوفة متكررة بعقدة N7/N6 نحو 10–30 مليون دولار تحليل	مرتفعة جدًا: البروتوكول يقرر صيغة الأعداد والقائمة البيضاء للأجهزة	استدلال الذكاء الاصطناعي، إن بُنيت بـ GEMM عام INT8/FP8	لا شريحة INT7 مخصصة؛ ابنِ استدلالًا أولًا قابلًا للتعدين، أو انتظر الحساب المعياري

نوع الشريحة	من أين تأتي k	الطلب والحصيلة	NRE والعتبات	مخاطر القواعد أو التقييد	السوق الثانية	الحكم
شريحة تعدين Bitcoin SHA-256	k ≤ 1 أمام Bitmain	نحو 11.5 مليار دولار سنويًا، سوق تجارية تسيطر عليها شركتان	أقنعة فئة 3 nm 10–20 مليون دولار؛ وNRE كاملة 30–100 مليون دولار أو أكثر	منخفضة (خوارزمية مستقرة)؛ ومخاطر عالية من المنافسة والتنصيف	تكاد تكون معدومة (خوارزمية واحدة)	يبقى الداخلون الجدد خارج السوق التجارية؛ فقط طاقة ذاتية أو أشكال متخصصة أو ملكية فكرية
شريحة تدريب ذكاء اصطناعي	المصفوفات الانقباضية من الجيل نفسه 1.1–1.8 ضعف فقط؛ والصيغة هي الرافعة	الأكبر (Broadcom نحو 58 مليار دولار من إيرادات أشباه موصلات الذكاء الاصطناعي في السنة المالية 2026)	تصميم 3/2 nm من 60 إلى 400 مليون دولار أو أكثر؛ وCoWoS وHBM	الإيقاع السنوي لـ NVIDIA	—	تبني الفرق الصغيرة ملكية فكرية وشرائح فرعية وخدمات تصميم، لا شرائح مستقلة
شريحة استدلال ذكاء اصطناعي	التخلي عن العمومية: 10–20 ضعفًا مُدّعاة ادعاء المورد	كبيرة ومجزأة؛ والسوق المحلية في البر الرئيسي الصيني كبيرة بحد ذاتها	معماريات SRAM بعقد N6/N7–N4 يسهل التحكم فيها	التقييد بالنماذج والمعمارية	هي السوق الرئيسية	تستحق البناء: وقّع مع العميل، ثم اختر درجة التقييد
مسرّع ZK	10–100 ضعف GPU مُدّعاة ادعاء المورد	صغير، تحركه في معظمه مكافآت الرموز	N7/N6 ثم N5؛ وFPGA أولًا	أنظمة الإثبات تتغير بسرعة	محدودة خارج ZK	انتظر وتحوّط: محركات MSM وNTT قابلة للبرمجة
مسرّع FHE	1,074–5,547 ضعف Xeon (Heracles)	لم يتشكل بعد؛ يرسو على المؤسسات والحكومات	يحتاج إلى HBM؛ وبنية التكلفة قريبة من شرائح التدريب	المعايير والمنظومة غير مستقرة	الحوسبة المشفرة، الذكاء الاصطناعي الخاص	تموضع مبكرًا، وتحقق بأصول خفيفة؛ نافذة 2027–2029

الشكل 07

خمسة أنواع من الشرائح، خمس إجابات

من أين تأتي ميزة التكلفة k، وإلى أي سوق يمكن أن يُباع السيليكون إن تغيرت القواعد، والحكم



شريحة تعدين PoUW على طريقة Pearl

ليس الآن

k: بلا HBM ولا وحدات عامة: 3–10× لكل عملية (استنتاج)

السوق الثانية: استدلال الذكاء الاصطناعي، إن كان GEMM عامًا INT8/FP8

راهن على شريحة استدلال أولًا قادرة على التعدين، لا على قطعة INT7 مخصصة



شريحة تعدين SHA-256 Bitcoin

ابقَ بعيدًا

k: ≤1 أمام الشركات القائمة

السوق الثانية: تكاد تكون معدومة

فقط مع طاقة ذاتية، أو شكل متخصص، أو كملكية فكرية



شريحة تدريب ذكاء اصطناعي

ملكية فكرية لا شرائح

k: 1.1–1.8× بالدقة نفسها

السوق الثانية: —

التغليف وHBM يحسمان؛ ابنِ ملكية فكرية وشرائح فرعية وخدمات



شريحة استدلال ذكاء اصطناعي

ابنِ

k: التخلي عن العمومية: 10–20× مُدّعاة

السوق الثانية: هي السوق الرئيسية

وقّع مع العميل، ثم اختر درجة التقييد



مسرّع إثبات ZK

انتظر وتحوّط

k: 10–100× من GPU مُدّعاة

السوق الثانية: محدودة خارج ZK

محركات MSM وNTT قابلة للبرمجة؛ FPGA أولًا



مسرّع FHE

تموضع مبكرًا

k: 1,074–5,547× من Xeon (Heracles)

السوق الثانية: الحوسبة المشفرة، الذكاء الاصطناعي الخاص

نافذة 2027–2029؛ تحقق بأصول خفيفة

المصدر: توليف المؤلف للفصلين 7 و8؛ وأرقام الموردين موسومة كما في التقرير.

الفصل 09

09

عقد التصنيع

عقد التصنيع: دع أكبر تكلفة على مدى العمر تختار

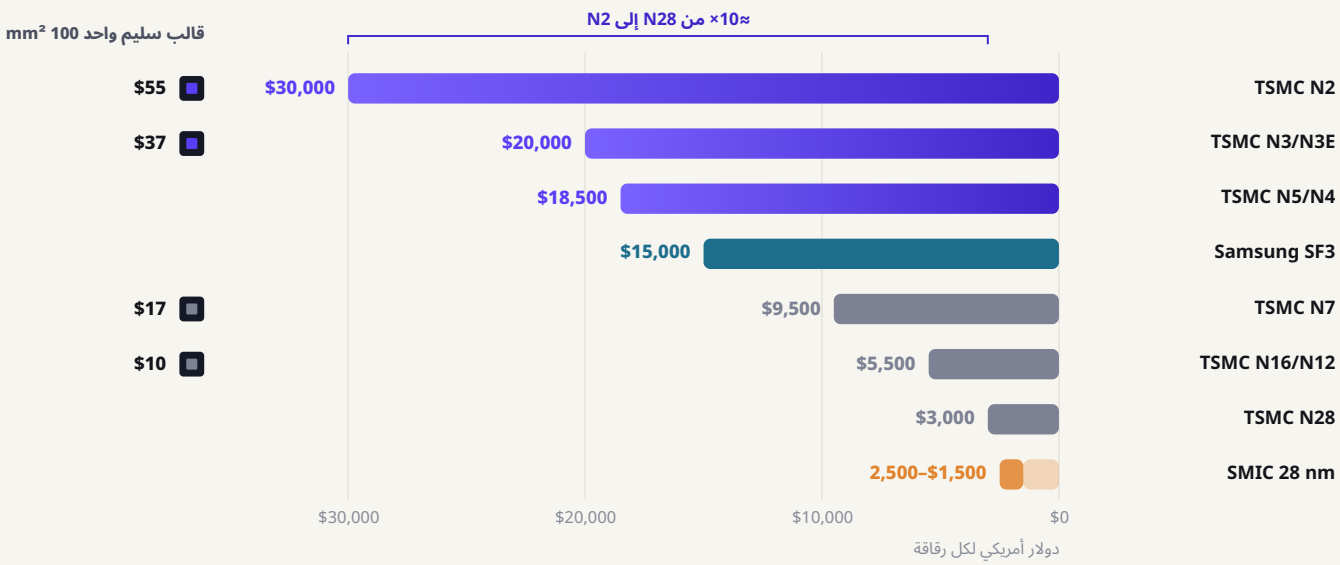
سلّم التكلفة: رقاقات العقد المتقدمة تكلف عشرة أضعاف الناضجة

ابدأ بالدفاتر. تكلف رقاقة العقد المتقدمة الآن نحو عشرة أضعاف الرقاقة الناضجة: TSMC N2 نحو 30,000 دولار، وN3 نحو 20,000 دولار، وN7 نحو 9,500 دولار، وN28 نحو 3,000 دولار؛ وSamsung SF3 نحو 15,000 دولار، أي أقل من N3 بنحو 25%؛ وتفيد التقارير بأن تكلفة التصنيع لدى SMIC بفئة 7 nm أعلى من TSMC بنسبة 40% إلى 50%. وتفيد التقارير بأن TSMC سترفع الأسعار بنسبة 3% إلى 6% أخرى اعتبارًا من يناير 2027، وأكثرها لعقدتي 2 nm و3 nm. وتختلف تكاليف الأقنعة والتصميم أكثر من ذلك، والمصادر متباينة، لذا يعرض الجدول كليهما.

العقدة	سعر الرقاقة (تقدير)	طقم الأقنعة (قيمة النموذج / النطاق الإرشادي)	ميزانية التصميم (AnySilicon)	MPW (لكل مشروع)
TSMC N2	نحو 30,000 دولار	—	3/2 nm: من 60 إلى 400 مليون دولار أو أكثر	—
TSMC N3/N3E	نحو 20,000 دولار (18,000–27,000 دولار)	15 مليون دولار / 10–20 مليون دولار	كما سبق	—
Samsung SF3	نحو 15,000 دولار (13,000–17,000 دولار)	12 مليون دولار	—	—
TSMC N5/N4	نحو 18,500 دولار (16,000–21,300 دولار، بثقة منخفضة)	6.5 مليون دولار / 10–20 مليون دولار	5/4 nm: 30–200 مليون دولار	—
TSMC N7	نحو 9,500 دولار (8,100–10,900 دولار)	3.5 مليون دولار / 5–10 ملايين دولار	7/6 nm: 15–100 مليون دولار	تجاري 100,000–500,000 دولار
TSMC N16/N12	نحو 5,500 دولار	1.8 مليون دولار	16/12 nm: 6–40 مليون دولار	أكاديمي نحو 35,000 دولار لكل mm²
TSMC N28	نحو 3,000 دولار	1 مليون دولار / 1–3 ملايين دولار	28/22 nm: 3–20 مليون دولار	تجاري 50,000–150,000 دولار؛ وأكاديمي نحو 12,000 دولار لكل mm²
SMIC 28 nm	1,500–2,500 دولار	—	—	—
SMIC فئة 7 nm (N+2/N+3)	أعلى من TSMC بـ 40–50%	—	—	—

الشكل 08 رقاقة العقد المتقدمة تكلف عشرة أضعاف الرقاقة الناضجة

السعر التقديري لكل رقاقة 300 mm بحسب العقدة، وتكلفة قالب سليم واحد مساحته 100 mm² عند مردود 85%



المصدر: أسعار الرقاقات من Silicon Analysts (تقديرات، N5 بثقة منخفضة)، وWccftech (SMIC)؛ وتكاليف القوالب حساب المؤلف بمردود مفترض.

ثم الفيزياء. تُظهر قياسات Horowitz الكلاسيكية أن التعليمة القابلة للبرمجة تكلف نحو 70 pJ بينما تكلف العملية الحسابية نفسها بضعة بيكوجولات: **الحساب رخيص والكلفة الإضافية باهظة**، وهذا هو سبب وجود المصفوفات الانقباضية والشرائح المخصصة. وتنصيف حجم الخاصية ينصّف تقريبًا الطاقة لكل عملية، لكن جهد التغذية توقف عند نحو 0.9–1.1 V. وتكلف رقاقة N2 أكثر من N3 بنسبة 50% إلى 67%، فما لم ترتفع الكثافة بأكثر من نحو 1.5 ضعف، ترتفع التكلفة لكل ترانزستور بدلًا من أن تنخفض : فعلى تقدير العقد المتقدمة أن تسدد كلفتها عبر الكفاءة والأداء. ولقالب مساحته 100 mm² بمردود 85%، تبلغ تكلفة كل قالب سليم نحو 55 دولارًا على N2، و37 دولارًا على N3، و29–34 دولارًا على N5، و17 دولارًا على N7، و10 دولارات على N16 [تقدير؛ والمردود افتراض].

اختيار العقدة بحسب نوع الشريحة والفريق

قاعدتي هي: **دع أكبر بنود التكلفة على مدى عمر الشريحة يختار العقدة.** لشرائح الحوسبة التي تعمل بحمل كامل على مدار الساعة (التعدين، ZK)، تهيمن الكهرباء على تكلفة العمر، لذا ينبغي أن تنتقل إلى N5/N4 وN3/SF3 بمجرد استقرار الخوارزمية؛ وما دامت الخوارزمية غير مستقرة أو المال شحيحًا، فتحقق أولًا على MPW بعقدة ناضجة. ولشرائح التدريب، عنق الزجاجة هو التغليف والذاكرة (HBM وCoWoS نحو 63% من قائمة مواد H100)، فالعقدة ثانوية. ولشرائح الاستدلال، القرار الأول هو معمارية الذاكرة: يمكن للتصاميم المتمحورة حول SRAM أن تبقى عند N6/N7 إلى N4، بينما ترث تصاميم HBM بنية تكلفة شرائح التدريب. وFHE مقيدة بعرض نطاق الذاكرة ولا يمكنها تجنب HBM.

نوع الشريحة	شركة ناشئة أو فريق صغير	شركة كبيرة	مسار البر الرئيسي الصيني	النقاط الرئيسية
شريحة تعدين PoUW بضرب المصفوفات (مقيمة في SRAM، بلا HBM)	نموذج أولي على MPW بعقدة 28 nm أو 16/12 nm؛ وأول إنتاج كمي على N7/N6؛ وN5/N4 بعد استقرار الخوارزمية والإيرادات؛ وقوالب من 50–150 mm² في تغليف flip-chip قياسي	Samsung SF3 أو N3/N3E	SMIC N+1/N+2 تصلح (لا حاجة إلى HBM أو CoWoS)، بنحو 40–50% أكثر لكل قالب سليم	الطاقة هي المهيمنة؛ وقواعد البروتوكول هي الخطر الأكبر
شريحة تعدين SHA-256	لا تطارد الحافة المتقدمة؛ والأشكال المتخصصة يمكنها استخدام عقد ناضجة	فئة 3 nm؛ وتنتقل الشركات القائمة من TSMC 5 nm إلى Samsung SF3 ومن 2 nm إلى 2 nm (مصادر ثانوية)	يصعب مجاراة كفاءة العقد المتقدمة	سعر الطاقة ودورة التنصيف يحددان الهوامش

نوع الشريحة	شركة ناشئة أو فريق صغير	شركة كبيرة	مسار البر الرئيسي الصيني	النقاط الرئيسية
شريحة تدريب ذكاء اصطناعي	لا شريحة مستقلة: ملكية فكرية، شرائح فرعية، خدمات تصميم	N3P ثم N2/A16؛ و2–8 شرائح فرعية؛ وتأمين CoWoS وHBM مبكرًا	HBM مع SMIC N+2/N+3 محلية (نموذج Huawei)؛ وFP8 لكل شريحة نحو 0.2–0.5 ضعف NVIDIA، يعوَّض بحجم النظام	التغليف وHBM هما عنق الزجاجة
شريحة استدلال ذكاء اصطناعي	متمحورة حول SRAM أو مثبّتة الأوزان، N6/N7 أو N4/N5/SF4؛ وINT8 وFP8 وFP4 فقط	N3/N2 مع HBM (سياق طويل، مزيج خبراء)، أو SRAM متعددة الشرائح الفرعية	LPDDR مع SMIC N+2 أو GDDR؛ وذاكرة فئة HBM هي نقطة الاختناق	درجة التقييد المعماري هي القرار المحوري
مسرّع ZK	ابدأ على FPGA أو MPW بعقدة 16/12 nm؛ ثم N7/N6 وN5	N5/N3	SMIC N+1/N+2 تصلح	صحيح وحتمي؛ سهل التحقق
مسرّع FHE	FPGA (مقابل خط الأساس مفتوح المصدر) أو MPW بعقدة 16/12 nm؛ والإنتاج الكمي يحتاج إلى HBM	N5/N3 مع HBM	محدود بالوصول إلى HBM	عرض نطاق الذاكرة، لا الحساب، هو ما يحدد السرعة

متقدمة أم ناضجة، وأربعة أنواع من المسابك، والشرائح الفرعية

الخيار	نقاط القوة الرئيسية	نقاط الضعف الرئيسية	الأنسب لـ
العقد المتقدمة (N3/N2 وSF3/SF2 وIntel 18A)	كل عقدة كاملة تنصّف تقريبًا الطاقة لكل عملية؛ وSRAM كثيفة	الرقاقات 3–10 أضعاف، والأقنعة 5–15 ضعفًا، وميزانيات التصميم 10–20 ضعف نظيرتها في العقد الناضجة؛ ومهل تسليم تتجاوز 50 أسبوعًا؛ وقد ترتفع تكلفة الترانزستور في N2	شرائح الحوسبة ذات الخوارزميات المستقرة العاملة على مدار الساعة؛ وشرائح التدريب
العقد الناضجة والمتوسطة (N7/N6 وN16/12 وN28)	أقنعة في حدود المليون دولار، وMPW رخيصة، وتكرار سريع، ومسابك كثيرة (TSMC وUMC وGlobalFoundries وSMIC)	كفاءة غير تنافسية عند الحمل الكامل على مدار الساعة	النماذج الأولية، والأسواق المتخصصة، والاستدلال الطرفي
TSMC	أفضل مردود ومنظومة	الأسعار الأعلى؛ وسعة N2/N3 ضيقة؛ وطوابير طويلة على CoWoS	الفرق التي تطارد حدود الكفاءة مع التزامات بالكميات
Samsung Foundry	رقاقات أرخص بنحو 20–25% (SF3 نحو 15,000 دولار مقابل نحو 20,000 دولار لـ N3)؛ يستخدمها الجيل الثاني من Groq وغيره	أعمال المسبك خاسرة، وتستهدف التعادل بنهاية 2027	شرائح الحوسبة الحساسة للتكلفة
Intel Foundry	شرائح معقدة مثل Heracles مثبتة على Intel 3	لا تسعير خارجي علني ولا بيانات عملاء لـ 18A؛ وأعمال المسبك خاسرة	تقييم المنظومة والدعم حالة بحالة
مسابك البر الرئيسي الصيني (SMIC وغيرها)	القرب من سوق محلية كبيرة؛ ورقاقات 28 nm بـ 1,500–2,500 دولار	سعة فئة 7 nm نحو 45,000–60,000 رقاقة شهريًا، تستوعب Huawei معظمها؛ والمردود نحو ثلث مردود TSMC؛ والتكاليف أعلى بـ 40–50%؛ وDUV فقط	شرائح الاستدلال والتعدين وZK للسوق المحلية
الشرائح الفرعية	تتجاوز حدود الشبكية والمردود؛ ومعيار لأنظمة HBM (MI355X وIronwood وTrainium3)	تكلفة تغليف أعلى واعتماد على CoWoS؛ واختبار القوالب السليمة المعروفة يضيف تكلفة	شرائح التدريب والاستدلال الكبيرة؛ ولا حاجة إليها لشرائح التعدين أو ZK الصغيرة

الفصل 10

10

ميزانية على مراحل

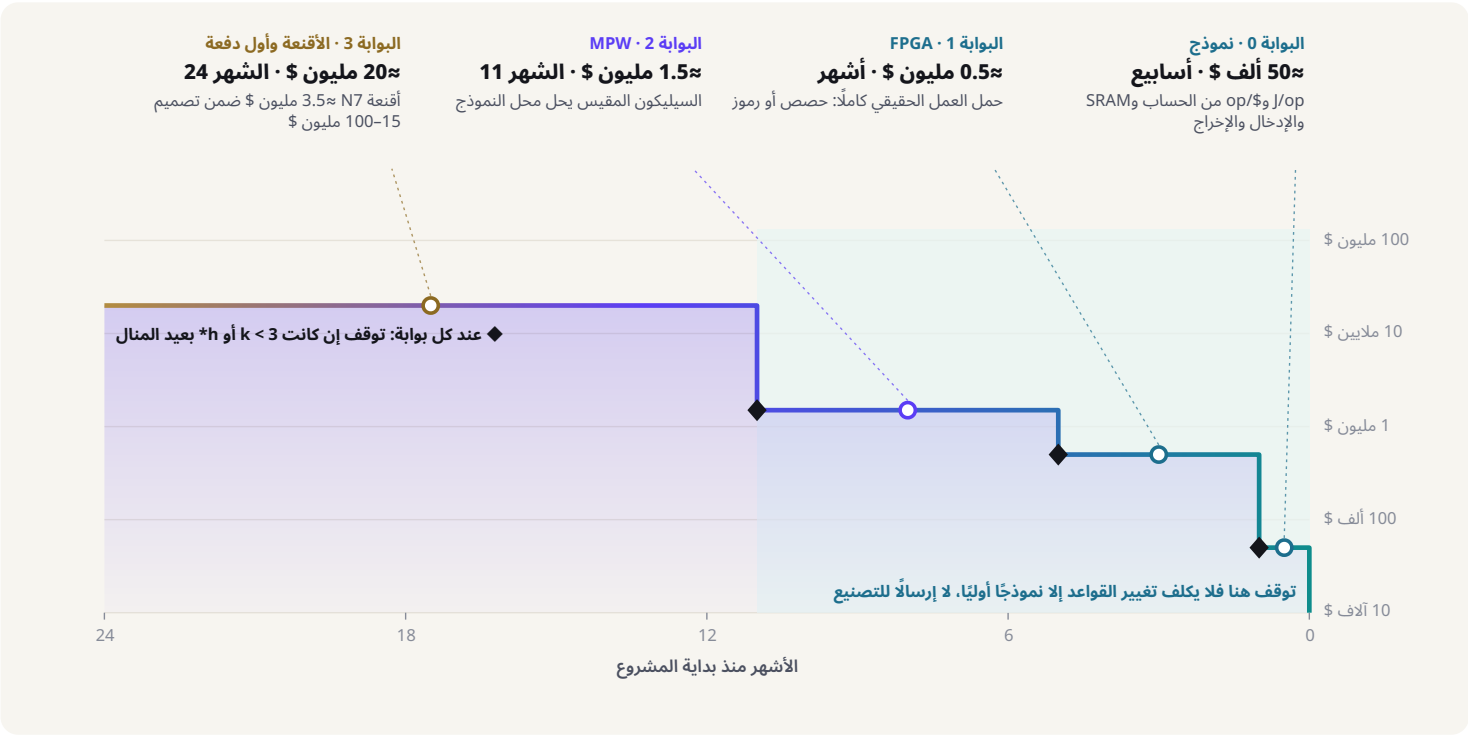
من النموذج إلى السيليكون: ميزانية على مراحل لأول شريحة

اشترِ الأدلة قبل الأقنعة

الشريحة المخصصة بالكامل سلسلة من الرهانات، كل منها أكبر من سابقه، والانضباط هو أن تشتري الأدلة قبل أن تشتري الأقنعة. أستخدم أربع بوابات تحليل . البوابة 0 نموذج: دراسة معمارية تقدّر J/op و$/op من الحساب وSRAM والإدخال والإخراج، مقابل العتاد المرجعي في الفصل 7؛ وتكلف أسابيع وعشرات آلاف الدولارات. والبوابة 1 نموذج أولي على FPGA يشغّل حمل العمل الحقيقي من البداية إلى النهاية، حصص تعدين أو رموز استدلال، ويثبت مسار البيانات والتكامل مع البروتوكول؛ وتكلف بضعة أشهر وبضع مئات آلاف الدولارات. والبوابة 2 رقاقة متعددة المشاريع: يكلف الحجز التجاري نحو 50,000–150,000 دولار على N28 و100,000–500,000 دولار على N7، ويحل السيليكون المقيس محل تقديرات الطاقة في النموذج. والبوابة 3 طقم الأقنعة الكامل وأول دفعة إنتاج: أقنعة بنحو 1 مليون دولار على N28، و3.5 مليون دولار على N7، و15 مليون دولار على N3، ضمن ميزانية تصميم من 15 إلى 100 مليون دولار بعقدة 7/6 nm. وتحتاج كل بوابة إلى رقم يوقف المشروع، مثل k دون 3 أمام العتاد الحدّي، أو معدل تجزئة استرداد h* لا تستطيع النافذة بلوغه.

الشكل 09 اشترِ الأدلة قبل الأقنعة: ميزانية على مراحل لأول شريحة

الإنفاق التراكمي بالدولار الأمريكي لمشروع N7/N6 عبر أربع بوابات، مقياس لوغاريتمي؛ لكل بوابة رقم يوقف المشروع



المصدر: أسعار الرقاقات وMPW والأقنعة كما في الفصل 9 (Silicon Analysts، وAnySilicon، وقيم النماذج)؛ وتوقيت البوابات والإنفاق افتراضات توضيحية من المؤلف.

السلّم شديد الانحدار. ففي مشروع بعقدة N7/N6، تكلف البوابات الثلاث الأولى مجتمعة نحو 1.5 مليون دولار ونحو أحد عشر شهرًا؛ وتكلف الرابعة أكثر من عشرة أضعاف ذلك تقدير . ولهذا يهم الترتيب أكثر من العقدة: إذا غيّر البروتوكول حسابه، أو انسحب المشتري، فإن الفريق الذي توقف عند البوابة 2 يخسر ثمن نموذج أولي، لا ثمن إرسال للتصنيع.

كم تكلف كل شريحة، وما الذي يجب أن يتحقق

المشروع	البوابة 2 (نموذج أولي)	البوابة 3 (العقدة وميزانية التصميم)	قالب سليم واحد 100 mm²	ما الذي يجب أن يتحقق لاسترداد الكلفة
مسرّع استدلال أولًا قادر على التعدين	MPW بعقدة 16/12 nm أو N7، 0.1–0.5 مليون دولار	N6/N7، نحو 15–30 مليون دولار تقدير	نحو 17 دولارًا على N7، قبل التغليف والذاكرة	عميل استدلال موقَّع يتحمل معظم NRE؛ ودخل التعدين مكسب إضافي، لا الحالة الأساسية
معدِّن INT7 مخصص لـ Pearl (غير موصى به الآن)	MPW بعقدة 28 nm، 0.05–0.15 مليون دولار	N7/N6، نحو 20 مليون دولار	نحو 17 دولارًا على N7	نحو 4.9 EH/s لعام كامل مع p = 1، أو 9.8 EH/s مع p = 0.5 (الفصل 7)
مسرّع ZK	FPGA، ثم MPW بعقدة 16/12 nm	N7/N6، ثم N5	نحو 10 دولارات على N16، و17 دولارًا على N7	أن تستقر أنظمة الإثبات على نوى MSM وNTT يمكن لتصميم ثابت أن يخدمها
مسرّع FHE	FPGA مقابل خط الأساس مفتوح المصدر	N5/N3 مع HBM، 30 مليون دولار أو أكثر	تهيمن عليه HBM والتغليف	مشترٍ للذكاء الاصطناعي المشفر بكميات كبيرة، وهو غير موجود بعد

تترتب على ذلك نقطتان تجاريتان. أولًا، أرخص كفاءة هي الكفاءة المعمارية: فإبقاء المعاملات في SRAM والاستغناء عن HBM وCoWoS يزيلان معظم تكلفة GPU (نحو 63% من قائمة مواد H100) قبل اختيار أي عقدة. ثانيًا، الوقت تكلفة: يحتاج فريق جديد إلى نحو 18 إلى 24 شهرًا من البداية إلى الإنتاج الكمي، وتتجاوز مهل التسليم في العقد المتقدمة 50 أسبوعًا، لذا فإن بروتوكولًا يغيّر حسابه كل بضعة أشهر قد يجعل الشريحة متقادمة قبل أن تسدد البوابة 3 كلفتها.

ثلاث قواعد لفريق صغير

مجتمعةً، تعطي هذه الأرقام ثلاث قواعد تحليل . أولًا، **ابقَ عند البوابة 1 أو 2 إلى أن يوجد مشترٍ مسمّى أو إصدار بروتوكول مجمّد**؛ فلا سعر الرمز ولا معدل التجزئة بديل عن أي منهما. ثانيًا، **اشترِ k بالمعمارية أولًا وبالعقدة ثانيًا**: يمكن لمصفوفة مقيمة في SRAM على N7 أن تتفوق على قطعة عامة الغرض على N3 في حمل عمل واحد، بجزء من تكلفة الأقنعة. ثالثًا، **دوّن معدل تجزئة الاسترداد أو حجمه، مع p، قبل الإرسال للتصنيع**، وسعّر الدفعات المرتبطة بالمراحل مقابل إصدار بروتوكول ثابت، بحيث يتحمل العميل، لا بيت التصميم، مخاطر القواعد.

الفصل 11

الفرص

11 أين الفرص، وماذا كنت سأفعل

الشرائح المخصصة: الطلب يأتي في أغلبه الساحق من الذكاء الاصطناعي

في 2026 يأتي الطلب على الشرائح المخصصة في أغلبه الساحق من الذكاء الاصطناعي. بلغت إيرادات Broadcom من أشباه موصلات الذكاء الاصطناعي في الربع الثالث من سنتها المالية 2026 16.7 مليار دولار، بارتفاع 221% على أساس سنوي، أي نحو 58 مليار دولار للعام، 73% منها من وحدات XPU لستة عملاء (من نص آلي لمكالمة الأرباح). وارتفعت إيرادات Global Unichip في الربع الثاني بنسبة 128% على أساس سنوي، مع ارتفاع إيرادات الإنتاج الشامل بنسبة 188% وهامش إجمالي قدره 21.5%. وتوزعت إيرادات Alchip في الربع الأول بحسب العقدة على 21% بعقدة 3/2 nm، و63% بعقدة 7/5 nm، و16% بعقدة 12 nm وما فوقها. وبلغت الطلبيات الجديدة لـ VeriSilicon لعام 2026 8.24 مليار يوان (نحو 1.16 مليار دولار) بنهاية أبريل، 91.37% منها لحوسبة الذكاء الاصطناعي. وللسوق ثلاث طبقات: في القمة، تطوير مشترك متعدد السنوات بمليارات الدولارات؛ وفي الوسط، مشاريع من 7 nm إلى 2 nm بتكاليف NRE من بضعة ملايين إلى أكثر من مئة مليون دولار (5–30 مليون دولار في العقد المتوسطة، و30–100 مليون دولار أو أكثر في العقد المتقدمة)؛ وذيل طويل من شرائح ASIC بعقد ناضجة بتكاليف NRE قدرها 0.5–5 ملايين دولار. وعملاء العملات المشفرة والتعدين شريحة متخصصة صغيرة ودورية، لكنهم اليوم أسرع «عميل أول» يدفع ثمن الحوسبة وأقلهم حاجة إلى إذن.

والقدرات الأكثر قابلية للنقل لدى فريق شرائح التعدين، أي التشغيل بجهد منخفض قرب العتبة، ومصفوفات الحوسبة المكررة على نطاق هائل، وإمداد الطاقة والتبريد بفئة الكيلوواط، والإرسال السريع للتصنيع بالعقد المتقدمة، هي بالضبط ما تحتاجه شرائح الاستدلال ومسرّعات ZK وFHE. وأسواق رأس المال تسعّر ذلك: فقد جمعت Velaura AI (Auradine سابقًا) 110 ملايين دولار في أغسطس بتقييم يتجاوز مليار دولار. والمثال المعاكس هو وحدة شرائح الذكاء الاصطناعي الطرفي في Canaan، التي حققت إيرادات قدرها 0.9 مليون دولار في السنة المالية 2024 بينما استهلكت 15% من النفقات التشغيلية، وأُغلقت في يونيو 2025. والفارق يكمن في طريق مستقل إلى السوق، لا في إعادة استخدام قنوات التعدين.

تطوير الذكاء الاصطناعي: الساعات سلعة؛ والقيمة في المفاصل

في الطرف الأدنى، صارت خدمات تطوير الذكاء الاصطناعي سلعة: الأسعار المعتادة على Clutch هي 25–49 دولارًا للساعة، و50–99 دولارًا في الولايات المتحدة وكندا والأسواق المماثلة؛ ويكلف فريق تطوير سلاسل الكتل نحو 15,000 إلى أكثر من 90,000 دولار شهريًا. وبيع الساعات لا خندق له. القيمة في المفاصل بين المجالات: النوى البرمجية والمترجمات للشرائح المخصصة، والتعدين المدمج في خدمة الاستدلال (إضافة vLLM في Pearl مثال على ذلك)، والاستدلال القابل للتحقق الذي يجمع TEE مع فحوص ZK عشوائية، والمدفوعات والهوية للوكلاء.

أنظمة الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة: وقّع مع مشتري الحوسبة قبل الرمز

لكل من يصمم سلسلة أو شبكة حوسبة أصيلة للذكاء الاصطناعي، اتخذت صندوق أدوات التحقق في 2026 شكلها. وبترتيب التكلفة لكل وحدة عمل، من الأدنى إلى الأعلى: أخذ العينات الإحصائي (إثبات أخذ العينات من Hyperbolic)، والتفويض المحكَّم (Verde من Gensyn، التي لا تحتاج إلا إلى مدقق نزيه واحد لكنها تشترط تنفيذًا مطابقًا بتًا بتًا)، وTEE (سرعة تقارب الأصلية، لكن مع الثقة بمورّد الشريحة)، والتكرار الكامل، وzkML العامة. والتصميم العملي متعدد الطبقات: TEE أو أخذ عينات لزمن انتقال منخفض، وألعاب النزاع أو فحوص ZK العشوائية للنهائية؛ وقد حاكت ورقة في ديسمبر 2025 الحوسبة السرية في H100 مع إثباتات الاحتيال وفحوص ZK العشوائية عند 99% من الإنتاجية المركزية وبتكلفة حدّية قدرها 0.07 دولار لكل استعلام. وفلسفة العتاد تحسم الأمن والتوزيع: فإثبات

العمل المفيد الأصيل على GPU تحميه في البداية وحدات GPU سحابية قابلة للاستئجار، فترتبط تكلفة الهجوم بأسعار الإيجار، وتُظهر Qubic أن إثبات العمل على عتاد عام الغرض يمكن الاستحواذ عليه بالجملة بحوافز خارجية.

التكلفة والوقت ليسا الحاجز. فقد انتقلت Pearl من الورقة (أبريل 2025) إلى الشبكة الرئيسية في نحو 12 شهرًا، متفرعة عن btcd، مع عقدة كاملة ومحفظة وعميل خفيف وبرنامج تعدين عند الإطلاق. وتكلف معظم عمليات تدقيق DeFi 100,000–25,000 دولار، وعمليات التدقيق المؤسسية أو متعددة السلاسل 250,000–150,000 دولار أو أكثر، ودارات ZK أكثر بنسبة 80% إلى 120%، والمشاريع ذات القيمة الحقيقية المعرّضة للخطر تخصص 500,000–150,000 دولار سنويًا للأمن. والحاجزان الحقيقيان هما التوزيع والسيولة. يفيد المؤسسون بأن Binance طلبت من 0% إلى 3.5%، ويُزعم 8%، من معروض الرمز للإدراج (تنفي Binance تحقيق أرباح من الإدراجات)؛ وهبطت المشاريع الستة كلها التي راجعتها Cointelegraph واستخدمت صفقات صناعة سوق من نوع «قرض رمز مع خيار شراء»، وباع صانع سوق Movement نحو 38 مليون دولار من الرموز يوم الإدراج. والبدائل هي السيولة على السلسلة، كما في Hyperliquid، التي تجاوزت قيمتها السوقية 10 مليارات دولار دون إدراج في Binance وتجاوزت أسواقها الدائمة HIP-3 3.2 مليار دولار من العقود المفتوحة في يونيو، والبيوع العامة عبر المنصات الكبرى، كما حين جمعت Monad 269 مليون دولار عبر Coinbase. وكانت القيمة المرتفعة بعد التخفيف الكامل مع تعويم منخفض أوضح مؤشر على الهبوط بعد الإطلاق في 2025–2026.

وتصميم الرمز جزء من تصميم النظام. ينبغي أن يتبع الإصدار الطلب المدفوع لا أن يسبقه: فالشبكات في هذا التقرير ذات أصح مضاعفات الدعم تربط المكافآت بعمل يدفع ثمنه مشترٍ خارجي، وتلك ذات الأسوأ تدفع مقابل معدل تجزئة أو حصص لا شيء وراءها. والقاعدة العملية أن يُنشر قبل الإطلاق مضاعف الدعم الذي تستهدفه الشبكة في سنتها الأولى والثانية والثالثة، وأن يُخفَّض الإصدار حين لا يتحقق تحليل .

الاتجاه	من يشتري، والاستعداد للدفع	النافذة	القدرات الرئيسية	الخطر الرئيسي
مسرّع استدلال أولًا قادر على التعدين	السحب الجديدة، والنشر الخاص، وشبكات PoUW	2028–2027 (بحسب تفرّعي FP8 وFP4)	GEMM بصيغ INT8 وFP8 وFP4؛ ومعمارية SRAM؛ والتكامل مع البروتوكول	القبول في البروتوكول، والتقييد المعماري
شريحة استدلال SRAM أو مثبّتة الأوزان	السحب الجديدة، ومراكز البيانات في البر الرئيسي الصيني، والأطراف	الآن	المترجمات وتكييف النماذج؛ والتصميم بعقد N6–N4	النماذج تتغير بسرعة كبيرة
شريحة تعدين (متخصصة أو متكاملة رأسيًا)	معدِّنون بطاقتهم الخاصة؛ ومعدِّنات منزلية ومعدِّنات تدفئة	الآن، في حدود التنصيف وسعر التجزئة	مصفوفات منخفضة الجهد، والكفاءة، وسلسلة إمداد للإنتاج الكمي	حروب الأسعار من الشركات القائمة، وأسعار الطاقة
تسريع إثبات ZK	شبكات المُثبِتين، وrollups	الانتظار حتى تتقارب أنظمة الإثبات	MSM وNTT قابلة للبرمجة	الطلب يعتمد على مكافآت الرموز
تسريع FHE	الذكاء الاصطناعي المشفر للمؤسسات والحكومات؛ وسلاسل الخصوصية	2029–2027	NTT، وأنظمة HBM، وهندسة التشفير	الطلب لم يتشكل بعد؛ ودورات بيع طويلة
تقوية TEE والاستدلال القابل للتحقق	شبكات الاستدلال السري، وDePIN	الآن	تشفير الذاكرة مع السلامة، وجذور مصادقة مستقلة، وفحوص ZK عشوائية	الاعتماد على منظومات الموردين
سلسلة أو شبكة حوسبة أصيلة للذكاء الاصطناعي	مشترو الاستدلال، والمعدِّنون، والمطورون	الآن	تصميم التحقق، وتصميم الإصدار، والتوزيع	الهبوط بعد الإطلاق، وسيولة الرمز

ثلاثة مسارات كنت سأسلكها، لكل منها خطوة أولى

لو كان عليّ أن أختار، لسلكت ثلاثة مسارات على الأكثر، لكل منها خطوة أولى صغيرة تختبره قبل الالتزام بالمال تحليل .

- **المسار أ: مسرّع استدلال أولًا قادر على التعدين أيضًا.** الخطوة الأولى: دراسة معمارية مدتها أربعة أسابيع تنمذج J/op و$/op لمصفوفة GEMM بصيغة INT8/FP8 مقيمة في SRAM مقابل RTX 5090 وH100، على عمل Pearl وعلى استدلال المحوّلات معًا،

يليها تحقق على FPGA أو MPW بعقدة ناضجة بتكاليف NRE في حدود مليون دولار.

- **المسار ب: خدمات السيليكون المخصص مع العملات المشفرة عميلًا أول والذكاء الاصطناعي سوقًا ثانية.** الخطوة الأولى: تحويل نموذج NRE ونقطة التعادل في هذا التقرير إلى دراسة جدوى مدفوعة لمشاريع شرائح الحوسبة، بدفعات مرتبطة بالمراحل وقبول مقابل إصدار بروتوكول ثابت.
- **المسار ج: شبكة أصيلة للذكاء الاصطناعي توقّع مع مشتري الحوسبة قبل رمزها.** الخطوة الأولى: مذكرة تصميم عن التحقق متعدد الطبقات (TEE مع أخذ العينات مع فحوص ZK العشوائية) وعن حساب معياري محايد تجاه الموردين، تُكتب مع مشترٍ مسمّى للاستدلال قبل أي تصميم للرمز.



الفصل 12

12

المؤشرات

ما ينبغي مراقبته، من نوفمبر 2026 إلى 2027

متى	ما ينبغي مراقبته	لماذا يهم
في أي وقت	ارتفاع تفعيل FP8 في Pearl	يحسم هل يبقى العتاد الصحيح والبطاقات من غير NVIDIA مقبولين، وهل تنقسم السلسلة
شهريًا	حصة كتل Pearl التي تحمل عمل ذكاء اصطناعي	أفضل اختبار منفرد لما إذا كانت «الفائدة» تصبح حقيقة
شهريًا	هل يمرر مزودو الاستدلال دخل التعدين إلى العملاء	التقاء الطلب المدفوع بالإصدار: النموذج الذي تحتاجه Pearl
فصليًا	إيرادات Bittensor القابلة للتحقق مقابل إصدارها	هل تسد أكبر شبكة عمل مفيد فجوة الدعم لديها
فصليًا	حصة تدفقات x402 التي بدأها الوكلاء فعلًا	هل تنتقل مدفوعات الوكلاء من الإشارات إلى التجارة
يناير 2027	رفع الأسعار الذي تفيد التقارير بأن TSMC ستجريه بنسبة 3% إلى 6%، وأكثره لعقدتي 2 nm و3 nm	تكلفة الإرسال للتصنيع بالعقد المتقدمة
الربع الأول من 2027	FP4 في Pearl، كما نُقل عن جلسة AMA للمؤسسين	تحول إضافي للعمل نحو أحدث صيغ NVIDIA
نهاية 2027	هدف Samsung Foundry لبلوغ التعادل	هل يبقى مصدر ثانٍ أرخص في حالة جيدة
أبريل 2028	التنصيف التالي في Bitcoin	ينصّف الحصيلة لمعدِّنات SHA-256



الفصل 13

أسئلة ينبغي طرحها

13 أسئلة لم تطرحها وكان ينبغي أن تطرحها

الأسئلة أدناه هي التي كنت سأطرحها قبل الالتزام بالمال أو السيليكون في أي مشروع للذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة.

من يتحكم في دالة العمل؟ إذا كان فريق صغير يستطيع تغيير الحساب عند ارتفاع مثبت في الشيفرة، فعمر عتادك قراره هو. اطلب التزامًا مكتوبًا بالاستقرار، أو صمم عتادًا ذا سوق ثانية.

ما مضاعف الدعم؟ اقسم الإصدار (أو القيمة السوقية) على الإيرادات المدفوعة من خارج الشبكة. المضاعف فوق 10 يعني أن الشبكة تشتري النشاط، لا تبيع خدمة.

كم تكلف البوابة التالية، وما الرقم الذي يوقفك؟ تكلف الرقاقة متعددة المشاريع عشرات أو مئات آلاف الدولارات؛ ويكلف طقم الأقنعة ملايين. حدد رقم التوقف قبل أن تنفق.

ما معدل تجزئة الاسترداد، مع p؟ اقسم NRE على R × (1 - 1/k) × T × p. إذا كانت الإجابة حصة كبيرة من الشبكة، فالشريحة رهان على القواعد، لا على السيليكون.

ما السوق الثانية للشريحة؟ إن تفرّع البروتوكول أو هبط الرمز، فإلى أي سوق أخرى يمكن أن يُباع السيليكون؟ نجت وحدات GPU من الدمج في Ethereum لأنها امتلكت سوقًا كهذه؛ أما شرائح ASIC أحادية الخوارزمية فلم تنجُ.

هل تستقر القيمة في الرمز أم في الأسهم؟ في 2026 كانت شركات الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة الرابحة في معظمها شركات أسهم ذات توزيع في عالم العملات المشفرة؛ قرر أيهما تبني قبل أن تجمع المال.

من أول عميل يدفع، بالاسم؟ كل حالة متينة في هذا التقرير، من Grass إلى الشبكات الفرعية للحوسبة في Bittensor، بدأت بمشترٍ مسمّى من خارج الشبكة.

هذه مجالات أود استكشافها مع آخرين، عبر التبادل التقني والتعاون التقني: الشرائح المخصصة للتعدين وتدريب الذكاء الاصطناعي واستدلاله والمسرّعات؛ وتطوير الذكاء الاصطناعي؛ وأنظمة الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة من السلسلة إلى العقدة إلى الشريحة. يمكنكم التواصل معي على i@tanshuai.com.

حدود هذا التقرير

هذا بحث مكتبي قائم على وثائق علنية حتى 13 نوفمبر 2026. لم أُجرِ مقابلات أولية ولا قياسات مستقلة لهذه النسخة. وعدة أرقام رئيسية هي ادعاءات شركات أو موردين، مثل إيرادات Aethir وإيرادات Grass وأداء Etched وTaalas وكفاءة Cysic؛ وهي موسومة على هذا الأساس. وتأتي مؤشرات سلسلة Pearl من عقدة كاملة مستقلة ومن مجمعات التعدين وتتغير كل ساعة؛ واستخدمت القراءات في نحو 07:13 UTC في 13 نوفمبر وأعطيت نطاقات اليوم نفسه. وتكاليف الرقاقات والأقنعة والتصميم تقديرات من أطراف ثالثة وقيم

نماذج يخالف بعضها بعضًا؛ وأعرض نطاقات. ويستخدم حسابي لنقطة تعادل ASIC والميزانية على مراحل افتراضات توضيحية (k وT وp وNRE وتكاليف البوابات) ينبغي للقارئ أن يستبدل بها افتراضاته.



عن المؤلف

تان شواي تقني ومؤسس، له أكثر من عشرين عامًا من العمل في الشرائح والعتاد وبرمجيات الأنظمة، و20 براءة اختراع ممنوحة. وخلفه سنوات طويلة من البحث والتطوير والإدارة في تصميم الشرائح دون مصانع (fabless)، ومنها تصميم مسارات بيانات ASIC مخصصة بالكامل لشرائح تعدين العملات المشفرة وشرائح الكاميرات متعددة الوسائط، وهي العدسة التي يُنظر بها في هذا التقرير: الطاقة لكل عملية، والتكلفة لكل رقاقة، وما يسمح لك البروتوكول بتثبيته في السيليكون، ومن يدفع. وقد أخذه عمله إلى وادي السيليكون ونيويورك وشيكاغو وتايوان ومنطقة الخليج الكبرى (شنتشن وهونغ كونغ) وفيتنام وماليزيا. ويعمل اليوم باحثًا ومطوّرًا في الذكاء الاصطناعي.

للنقاش التقني: i@tanshuai.com · tanshuai.com

ملاحظات وإخلاء مسؤولية

هذا التقرير بحث مكتبي مستقل قائم على وثائق علنية متاحة حتى 13 نوفمبر 2026. وهو مقدَّم للعلم والتعلم فقط، وليس استشارة استثمارية أو هندسية. ولا يتناول إلا التقنية والأعمال. والأسعار ومؤشرات السلاسل وقواعد البروتوكولات تتغير؛ فتحقق من كل ما تعتمد عليه مقابل المصدر الأصلي. وينبغي قراءة الأرقام الموسومة ادعاء المورد أو تقدير أو تحليل على هذا الأساس. وأسعار الأصول المشفرة شديدة التقلب.

© 2026 تان شواي. يجوز لك مشاركة هذا التقرير دون تغيير مع نسبته إلى صاحبه.



المصادر

جرى الاطلاع عليها جميعًا بين 10 نوفمبر و13 نوفمبر 2026. مجمّعة بحسب الفصل.

Pearl: البروتوكول والشيفرة وبيانات السلسلة

- Komargodski وWeinstein، "Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication"، arXiv 2504.09971: https://arxiv.org/abs/2504.09971
- Pearl Research Labs، الورقة البيضاء INT: https://pearlresearch.ai/research/int-whitepaper
- الشيفرة المصدرية لـ Pearl: كتلة التكوين: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/genesis.go ؛ معلمات الإجماع وارتفاعات التفرّع: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/params.go ؛ احتساب معدل التجزئة: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/pearl-zk-pow/src/api/sanity_checks.rs ؛ دليل الترقية لتفرّع البذرة المملّحة: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/docs/salted-seed-fork-upgrade-guide.md ؛ معلمات فرع fp8-scheme: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/fp8-scheme/node/chaincfg/params.go
- مقترحات تحسين Pearl: https://github.com/pearl-research-labs/pips ؛ PIP-3، التعديل بالفاصلة العائمة: https://github.com/pearl-research-labs/pips/blob/main/PIPS/pip-0003.md
- prlstats (عقدة كاملة مستقلة): الشبكة: https://prlstats.com/api/network ؛ السلاسل: https://prlstats.com/api/series ؛ الصفحة الرئيسية ونموذج دخل المعدِّنين: https://prlstats.com/api/stats ؛ المعروض المعدَّن: https://prlstats.com/api/mined ؛ مجمعات التعدين: https://prlstats.com/api/pools ؛ الحائزون: https://prlstats.com/api/holders ؛ افتراضات العتاد والكلفة الإضافية: https://prlstats.com/api/assumptions
- Kryptex Pool: شبكة Pearl: https://pool.kryptex.com/prl/about-coin ؛ معدل التجزئة: https://pool.kryptex.com/prl/hashrate ؛ RTX 5090: https://pool.kryptex.co/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 ؛ تاريخ الأسعار: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2/market_chart?vs_currency=usd&days=365&interval=daily ؛ البحث عن رمز "Perle": 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 يونيو 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، الشراكة مع Pearl Research Labs: https://together.ai/blog/together-ai-partners-with-pearl-research-labs ؛ صفحة النموذج: https://together.ai/models/gemma-4-31b-it-pearl
- Basu، إحصاء نسخ التعدين في Pearl، arXiv 2606.04819: https://arxiv.org/html/2606.04819v2
- Blockworks، نشرة 0xResearch، 28 أكتوبر 2026: https://blockworks.com/newsletter/0xresearch/issue/post_daf0d74a-2bf4-41e4-86d3-2a1275475a24
- Datawallet، "Pearl Explained": https://www.datawallet.com/crypto/pearl-explained
- Coingabbar عن تقرير TheMarker بشأن تمويل Pearl Research Labs: https://www.coingabbar.com/en/pearl-research-labs-funding-130m-stealth-round-themarker

سلاسل العمل المفيد والتاريخ

- Grothe وآخرون، تحليل أمن Gridcoin، USENIX WOOT 2017: https://www.usenix.org/system/files/conference/woot17/woot17-paper-grothe.pdf
- تزييف إثبات التعلم، arXiv 2208.03567: https://arxiv.org/abs/2208.03567
- hoge.gg، التحقق والثقة في الاستدلال اللامركزي: https://hoge.gg/decentralized-inference-2026-verification-trust/ ؛ إيرادات Bittensor وخزينتها: https://hoge.gg/bitte-tao-treasury-2026/
- Kaspa: شيفرة مصفوفة kHeavyHash: https://github.com/kaspanet/rusty-kaspa/blob/master/consensus/pow/src/matrix.rs ؛ الإطلاق: https://coinranking.com/coin/V8GxkwWow+kaspa-kas/about ؛ إعلان IceRiver KS1/KS2: https://www.iceriver.io/2023/03/14/1677644580/ ؛ تاريخ الانتقال من GPU إلى ASIC: https://captaingpu.com/algorithm ؛ معدلات تجزئة GPU: https://coincalculators.io/algorithm/kheavyhash ؛ الشبكة: https://minerstat.com/coin/kas ؛ KS7: https://www.asicminervalue.com/miners/bitmain/antminer-ks7-40th ؛ 1 EH/s في 2024: http://www.blockmining.com/blogs/crypto-news/the-evolution-of-kaspa-mining-from-gpus-to-asic-powerhouses ؛ Crescendo: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-crescendo-live-hashrate
- Aleo: الأسئلة الشائعة عن الشبكة الرئيسية: https://aleo.org/post/aleo-mainnet-faq/ ؛ الإثبات اللامركزي: https://aleo.org/post/decentralized-proving-advantages/ ؛ شرائح ASIC: 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 عن إعادة تنظيم Monero: 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 ؛ تعدين Dogecoin: https://hackernoon.com/qubic-is-now-mining-dogecoin-on-its-ai-compute-infrastructure ؛ CoinGecko: https://www.coingecko.com/en/coins/qubic
- وثائق إجماع Bittensor: 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 وتفرّعات مقاومة ASIC: https://lbry.com/news/forking-for-asic-resistance ؛ تفرّع Sia: https://hotfix.coindesk.com/markets/2018/11/01/sia-completes-hard-fork ؛ أسعار Obelisk: https://www.cryptoglobe.com/latest/2018/11/obelisk-hardware-skyrockets-in-selling-price-after-sia-hard-fork/ ؛ المعدِّنون بعد الدمج: https://hotfix.coindesk.com/business/2022/11/11/ex-ethereum-miners-token-hop-to-stay-alive-after-the-merge

قطاعات الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة

- DefiLlama: https://defillama.com/protocol/render-network-bme ؛ Render: https://defillama.com/protocol/livepeer ؛ Livepeer:
- Cointelegraph عن إيرادات DePIN لدى Messari: https://cointelegraph.com/news/depin-revenues-grow-despite-token-losses
- Aethir، حصاد 2025: https://aethir.com/blog-posts/aethirs-2025-wrap-up-decentralized-gpu-cloud-milestones
- CoinGecko، فئة الذكاء الاصطناعي: https://www.coingecko.com/en/categories/artificial-intelligence
- Akash، أسعار استئجار H100: https://akash.network/the-bid/h100-rental-price-2026-cost-per-hour/ ؛ تقرير الربع الأول 2026: https://akash.network/blog/akash-network-q1-2026-report/
- io.net، صفقة 8 ملايين دولار والرموز اليومية: 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، عقد Axe Compute: 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 عن Implicator ؛ INTELLECT-3: https://www.implicator.ai/prime-intellects-intellect-3-open-source-ambition-meets-centralized-reality/
- SiliconANGLE، تمويل Prime Intellect: https://siliconangle.com/2026/07/08/prime-intellect-raises-130m-1b-valuation-ai-training-platform/ ؛ The Block، Venice: https://www.theblock.co/post/406934/nous-research-75-million-round-1-5-billion-valuation ؛ RuntimeWire، تمويل Nous: https://runtimewire.com/article/nous-research-75-million-round-1-5-billion-valu
- ownyourmind، Gensyn: https://ownyourmind.ai/projects/gensyn/ ؛ Phemex، Ritual (العنوان فقط): https://phemex.com/news/article/ritual-launches-ai-layer-1-mainnet-and-ritual-token-price-dives-72-from-high-101259
- الكلفة الإضافية للحوسبة السرية، arXiv 2409.03992: https://arxiv.org/abs/2409.03992v2 ؛ تقرير Phala لعام 2025: 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، قياس مدفوعات وكلاء الذكاء الاصطناعي: https://www.trmlabs.com/trm-tech-blog/whos-actually-paying-measuring-ai-agent-payments-onchain ؛ Forkast عن مؤسسة x402: 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، الشبكة الرئيسية لـ Tempo: https://www.theblock.co/amp/post/394131/tempo-mainnet-goes-live-with-machine-payments-protocol-for-agents ؛ BlockEden عن aGDP لدى Virtuals: https://blockeden.xyz/blog/2026/04/21/agdp-agent-gdp-virtuals-protocol-ai-blockchain-valuation-primitive-tvl-displacement/ ؛ The Block عن ElizaOS: https://theblock.co/post/410774/eliza-labs-native-token-dead
- Dealroom، إيرادات Grass: https://dealroom.co/news/157794-grass-backed-by-multicoin-projects-75m-in-2026-data-revenue ؛ CryptoSlate، Fetch.ai وOcean: https://cryptoslate.com/cryptos-flagship-ai-pact-fracture-fetch-sues-ocean-over-263m-fet-community-sales/ ؛ Fortune عن World: https://fortune.com/om/2026/06/01/internet-according-to-sam-altman-seeing-orb
- Galaxy، رأس المال المغامر في العملات المشفرة: https://www.galaxy.com/insights/research/crypto-blockchain-venture-capital-q3 ؛ Crypto Briefing (العنوان فقط): https://cryptobriefing.com/crypto-vc-investment-q3-2026-galaxy/ ؛ Blockhead عن Tiger Research: https://www.blockhead.co/2026/10/14/bitcoin-rose-43-n-q3-crypto-venture-funding-did-not-follow/ ؛ ForkLog عن إطلاقات الرموز في 2025: https://forklog.com/en/85-of-tokens-launched-in-2025-fell-below-initial-prices/

اقتصاديات ASIC وأنواع الشرائح

- Hashrate Index، الحصاد الأسبوعي في 9 نوفمبر 2026: https://hashrateindex.com/blog/hashrate-index-roundup-november-9-2026/
- AnySilicon، تكلفة تصميم ASIC بحسب العقدة في 2026: https://anysilicon.com/news/how-much-does-asic-design-cost-in-2026-real-price-ranges-by-process-node/ ؛ Silicon Analysts، دليل تكلفة الإرسال للتصنيع للشركات دون مصانع: https://siliconanalysts.com/analysis/fabless-startup-tapeout-cost-guide ؛ بيانات السوق: https://siliconanalysts.com/market-data
- MillionMiner، Bitmain S23 XP Hyd: https://millionminer.com/news/bitmain-wdms-2026-s23-xp-hyd-launch
- Khattak وMikaitis، تجميع FP8 في نوى الموترات، arXiv 2512.07004: https://arxiv.org/html/2512.07004v2
- Canaan، نتائج الربع الثاني 2026: https://finviz.com/news/389337/canaan-inc-reports-unaudited-second-quarter-2026-financial-results ؛ Bitdeer، نتائج الربع الثالث 2026: 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: https://theenergymag.com/news/market-news/velaura-ai-series-a-bitcoin-pivot ؛ Velaura AI، Core Scientific وBlock: https://theenergymag.com/news/2026-08-06/miner-weekly-ai-pumpability-out-fuel ؛ اقتصاديات إيجار الذكاء الاصطناعي: https://theenergymag.com/news/2026-07-29/core-scientific-exit-block-bitcoin-deal-ai-fuel
- Blockworks، Cipher وFluidstack: 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، نتائج الربع الأول من السنة المالية 27: https://globenewswire.com/news-release/2026/11/05/3397020/0/en/iren-reports-q1-fy27-results.html
- Spark، تركّز سوق شرائح ASIC لـ bitcoin: https://www.spark.money/research/bitcoin-asic-manufacturer-market-concentration
- Google، وثائق TPU7x: https://docs.cloud.google.com/tpu/docs/tpu7x?hl=es ، The Register ؛ Ironwood: https://www.theregister.com/2025/04/10/googles_7th_tpu/ ، SemiAnalysis ؛ B300: https://inferencex.semianalysis.com/chips/b300 ؛ ورقة TPU v1، 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، تسعير CoWoS: 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، مقارنة مسرّعات استدلال الذكاء الاصطناعي: https://themenonlab.blog/blog/ai-inference-accelerators-compared ؛ Introl، مسرّعات الذكاء الاصطناعي ما بعد GPU: https://introl.com/blog/ai-accelerators-beyond-gpus-tpu-trainium-gaudi-cerebras-2025

- StratNews (Reuters)، شرائح الذكاء الاصطناعي المحلية في مراكز البيانات الممولة من الدولة: https://stratnewsglobal.com/team-sng/china-orders-state-funded-data-centres-to-use-domestic-ai-chips/ ؛ TNW، واردات H200: https://thenextweb.com/news/nvidia-h200-chips-hong-kong-china-import-approval
- Succinct، الإثبات الآني على GPU: https://blog.succinct.xyz/real-time-proving-16-gpus/ ؛ منتجات Cysic من ZK ASIC: 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 وSemiFive: https://evertiq.com/design/2026-02-20-semifive-secures-design-win-with-niobium-for-fhe-accelerator ؛ The Quantum Insider، تمويل Niobium: https://thequantuminsider.com/2025/12/03/niobium-23m-fhe-funding/ ؛ Optalysys: https://www.optica-opn.org/home/industry/2026/february/optalysys_raises_us_$31_million_to_push_photonics_computing_toward_cloud_infrastructure/ ؛ Optica OPN، Zama HPU على FPGA: https://www.zama.org/post/announcing-hpu-on-fpga-the-first-open-source-hardware-accelerator-for-fhe

عقد التصنيع

- Silicon Analysts، أسعار الرقاقات: https://siliconanalysts.com/data/wafer-pricing
- Tom's Hardware، شائعات أسعار TSMC A16: 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، أسعار SMIC: https://wccftech.com/smic-5nm-chip-prices-up-to-50-percent-more-expensive/amp/
- EUROPRACTICE، جدول MPW لدى TSMC لعام 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، خارطة طريق Huawei Ascend: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/huawei-ascend-npu-roadmap-examined ؛ The Substrate، سلسلة إمداد شرائح الذكاء الاصطناعي في الصين: https://www.the-substrate.net/p/where-chinas-ai-chip-supply-chain-company-targets-4-zettaflops-fp4-performance-by-2028-amid-manufacturing-constraints ؛ 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

الفرص واقتصاديات الإطلاق

- Webull (Benzinga)، مكالمة أرباح Broadcom: https://www.webull.com/news/15511095937917952 ؛ Quartr، Global Unichip الربع الثاني 2026: https://quartr.com/events/global-unichip-corp-3443-q2-2026_F9x6NJQY ؛ 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، وحدة الذكاء الاصطناعي في Canaan: https://www.theblock.co/post/359250/crypto-miner-canaan-to-shutter-non-core-ai-semiconductor-business-unit-amid-strategic-realignment
- Clutch، أسعار تطوير الذكاء الاصطناعي: https://clutch.co/developers/artificial-intelligence/pricing ؛ PixelPlex، تكلفة تطوير سلاسل الكتل: https://pixelplex.io/blog/blockchain-development-cost/
- Hyperbolic، إثبات أخذ العينات: 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 ؛ التحقق متعدد الطبقات، arXiv 2512.20176: https://arxiv.org/abs/2512.20176v1
- Sherlock، مرجع أسعار التدقيق لعام 2026: https://sherlock.xyz/post/smart-contract-audit-pricing-a-market-reference-for-2026
- Blockworks، معايير الإدراج في Binance: https://blockworks.com/news/binance-listing-standards-scrutiny ؛ Cointelegraph، صفقات صناعة السوق: https://cointelegraph.com/magazine/market-maker-deals-quietly-killing-crypto-projects ؛ Blockworks، Movement: https://blockworks.co/news/movement-rushi-manchopra-mainnet-launch-e-suspension-market-maker-web3port ؛ The Block، HIP-3: https://nansen.ai/post/what-is-hip-3-hyperliquid ؛ Nansen، Monad: https://www.theblock.co/post/380094/monad-mainnet-launches

إثبات العمل المفيد · العملات المشفرة × السيليكون

الحوسبة بوصفها إجماعًا

الذكاء الاصطناعي × العملات المشفرة × الشرائح في 2026، انطلاقًا من إثبات العمل المفيد في Pearl

يحمل كل رقم رئيسي في هذا التقرير مصدره وتاريخه. وحيث يشتق المؤلف رقمًا، يُوسم بأنه تقدير؛ وحيث لا يذكره سوى البائع، يُوسم بأنه ادعاء المورد. ولا يتناول التقرير إلا التقنية والأعمال.

تان شواي

تقني ومؤسس · باحث ومطوّر في الذكاء الاصطناعي

tanshuai.com · i@tanshuai.com

النسخة العامة · البيانات حتى 13 نوفمبر 2026