

AI INSPECTION × ROBOTICS · تصنيع الإلكترونيات

AI على خط SMT:

ما يحقق عائدًا في 2026

الفحص البصري AI والأذرع الروبوتية في مصانع الإلكترونيات
الصين القارية · تايوان · جنوب شرق آسيا · الولايات المتحدة

KEY FINDING

مراجعة AI تستحق التنفيذ، لكن ضمن نطاق ضيق. أما الأذرع المجسّدة فيمكنها الانتظار.

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

يستحق التنفيذ، لكن ضمن نطاق ضيق، الآن وبالشراكة مع شركاء

KEY FINDING

ما أصبح ناضجًا في 2026، وما ستدفع المصانع مقابله، هو مراجعة AI والفحص المتخصص على صور AOI إضافة إلى خدمة الآلات بالروبوت المبرمج، وليس "نموذجًا كبيرًا ينظر إلى اللوحات إضافة إلى روبوتات مجسّدة تلتقطها".

0.46–0.65 yr

العائد من مراجعة AI في الولايات المتحدة وتايوان وشنتشن، بتكلفة 50 ألف RMB لكل خط

≤ 95% · < 20 PPM

مراجعة AI داخلية لدى شركة EMS رائدة: المعيار المطلوب للبيع لشركات EMS من الدرجة الأولى

100–700 RMB M

سوق التحديث القابل للخدمة من طرف ثالث في الصين القارية، دفعة واحدة، ونافذة تمتد نحو 5 أعوام

0 scores

درجات المعايير المرجعية لعيوب الصناعة للطرازات الرائدة في نوفمبر 2026

1.1–1.5 yr

عائد خلية خدمة الآلات بالروبوت التعاوني، على ورديتين

0.003–0.14 FTE

العمالة التي يوفرها ذراع الروبوت المخصص للانتقاء في كل وردية: لا تُسترد تكلفته أبدًا

المصدر: الملخص التنفيذي للتقرير والفصلان 4–5؛ أما أرقام العائد والسوق فهي تقديرات المؤلف.

ستة أسئلة، ست إجابات

① ما تشغّله المصانع

3D SPI، وأجهزة AOI قبل إعادة الصهر وبعدها، وفحص بالأشعة السينية على عينات، وICT/FCT. يوجد شخص يراجع خلف كل جهاز AOI؛ ويبلغ زمن التكت ≈13–22 ثانية لكل لوحة.

② إلى أي مدى تصل التقنية

الفحص على المستوى الصناعي يتم ككاشف + مراجعة AI + عدد قليل من الأشخاص؛ وليس بلا أشخاص بأي ثمن. البر الرئيسي: نماذج محلية؛ تايوان: العميل يقرر؛ الولايات المتحدة: رسوم جمركية وشهادات.

③ محليًا ومعزولًا عن الشبكة

عملي؛ فالحدود إجرائية. صندوق بدون مروحة بقدرة ≥100 واط عند الخط، وخوادم في غرفة الخوادم، و8-bit افتراضيًا.

④ المعلّم والطالب

الفحص: النماذج المتطورة تُسمّي مسبقًا، والأشخاص يحكمون، والمجموعة الذهبية تُقرّ الاعتماد. الأذرع: لا يزال المعلّمون عبارة عن عروض بشرية ومحاكاة.

⑤ التكلفة والعائد

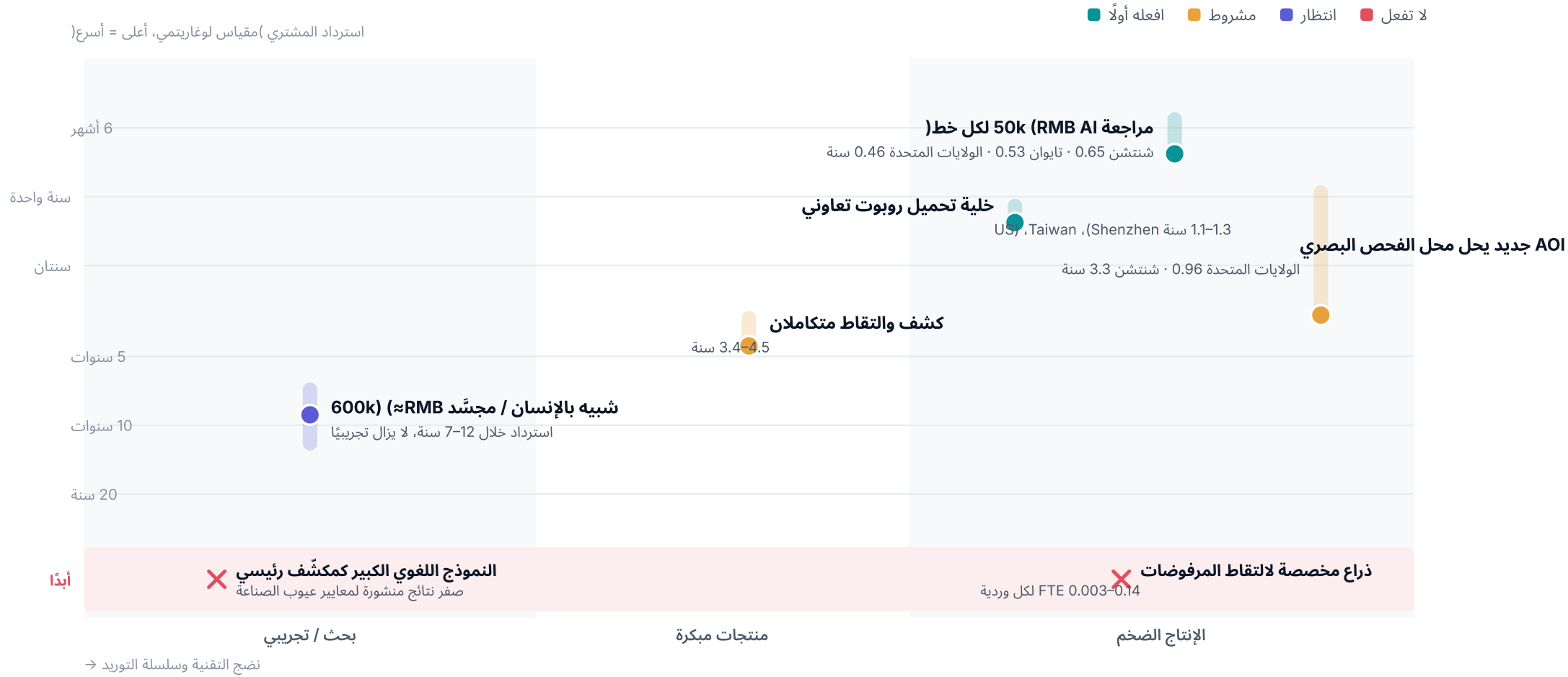
مراجعة AI خلال عام في الولايات المتحدة وتايوان وشنتشن؛ وخدمة الروبوت التعاوني 1.1–1.5 عامًا؛ وجنوب شرق آسيا 2–6 أعوام؛ أما ذراع الانتقاء فلا تُسترد تكلفتها أبدًا.

⑥ الآن أم الانتظار

طلب حقيقي وعرض مزدحم؛ يترك AI الخاص بـ OEM نافذة تحديث تبلغ نحو 5 أعوام. الفحص الآن ضمن نطاق ضيق؛ وAI المجسّد بعد بيانات 2027–28.

المصدر: الملخص التنفيذي للتقرير.

أين يناسب الذكاء الاصطناعي أرضية المصنع اليوم

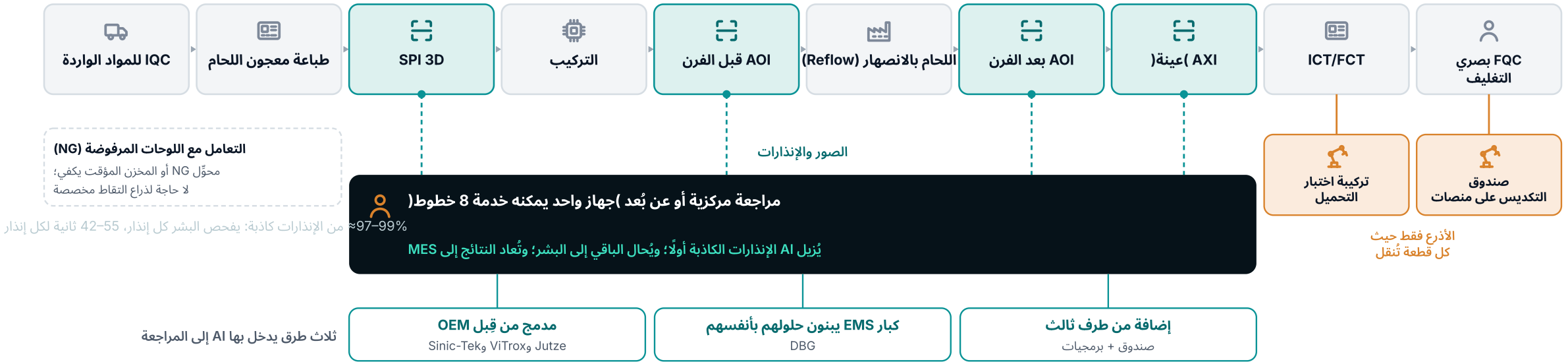


المصدر: الاسترداد من نموذج المؤلف (الفصل 4)؛ ومحور النضج هو تقدير المؤلف.

يجلس الأشخاص خلف جهاز AOI. ومن هنا يدخل AI

نبضة 13–22≈ ثانية لكل لوحة · 3–5 أجهزة AOI لكل خط

خط SMT إنتاج ضخم



المصدر: إفصاحات عامة ومواد بائعين (Huaqin وDBG وSinic-Tek وغيرها)؛ جمعها المؤلف.

نحو 97–99% من إنذارات AOI إنذارات كاذبة

لكل 100 إنذار من AOI



اليوم: يفحص البشر كل إنذار

42–55 ثانية لكل

≈448 إنذارًا كاذ

5.2–6.8 ساعة لكل وردية ≈ مراجع واحد بدوام كامل ←

التوظيف في الحالة: شخصان لكل وردية

مراجعة AI: إزالة الإنذارات الكاذبة وإحالة الباقي إلى البشر

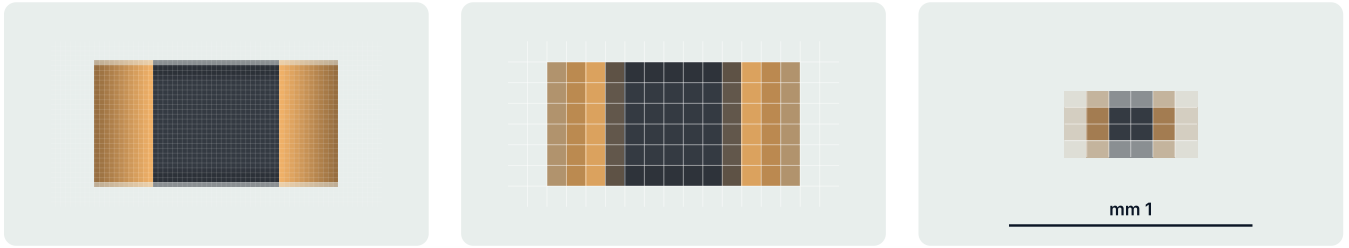
خفض الإنذارات الكاذبة أو ساعات المراجعة بنسبة 60–90% (ادعاءات بائعين)

معيار داخلي لدى كبار EMS: يغطي ≥95% من المكونات المُبلَّغ عنها، تسريبات <20 PPM، وانخفاض المراجعة البشرية ≥85%

فشل مفتوح نحو البشر، ويستمر الخط

المصدر: دراسة حالة Siemens وiFactory (ادعاء بائع) وتقرير DBG السنوي 2025؛ ساعات المراجعة قدّرها المؤلف.

الكاميرا العامة ليست AOI



الكاميرا نفسها على مكوّن 01005
≈3×5 بكسل: غير مرئي فعليًا

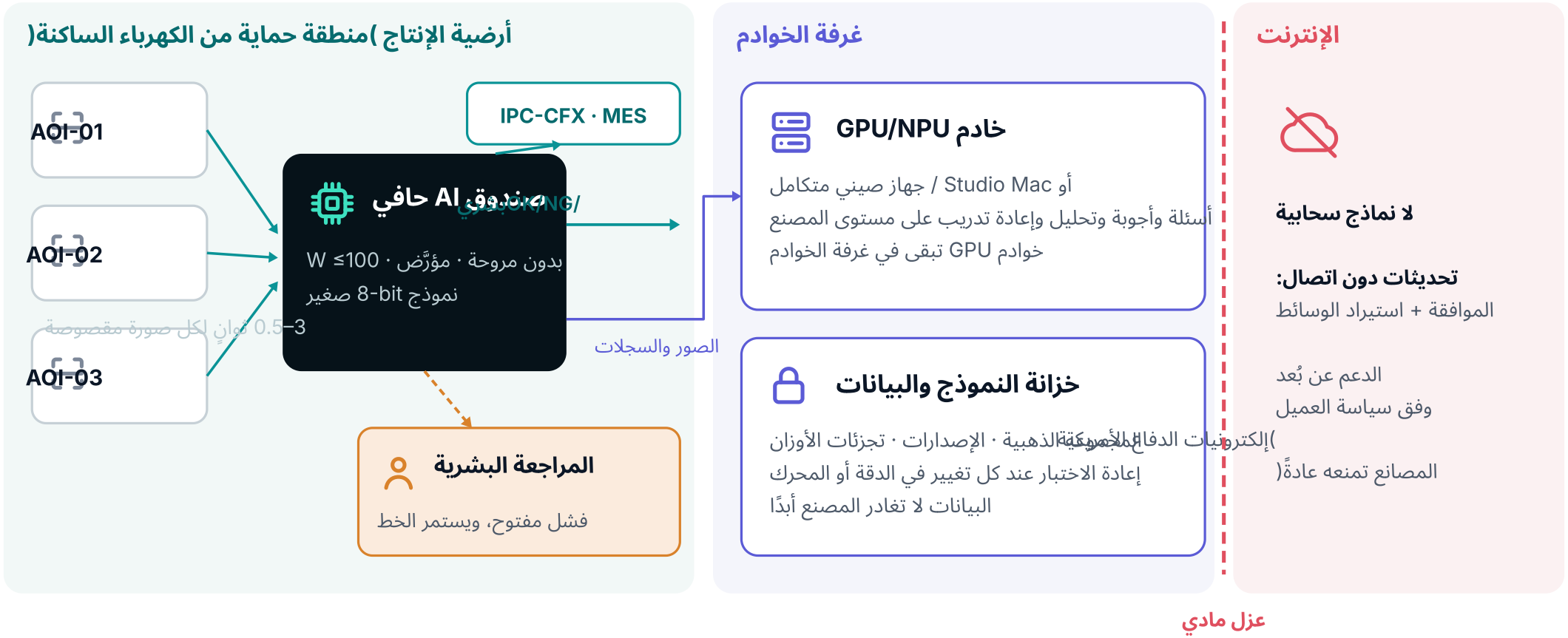
كاميرا 4K على لوحة 300 mm: ≈78 µm/بكسل
0402 تنكمش إلى ≈6×13 بكسل: تكفي للحضور والإزاحة الكبيرة فقط

AOI: 8–20 µm لكل بكسل
0402 ≈ 50×100 بكسل: تفاصيل الحواف والانحناءات

- **AOI:** 8–20 ميكرومترًا لكل بكسل، وإضاءة متعددة الزوايا والألوان وضوء منظّم
- **4K على لوحة 300 مم:** ≈78 ميكرومترًا لكل بكسل؛ أما 0402 فحوالي 6×13 بكسل، وهو كافٍ للكشف عن الوجود لا عن الوصلات
- **01005:** ≈3×5 بكسل، غير مرئي عمليًا
- **إذن:** يعمل AI على صور جهاز AOI نفسها؛ فهو لا يستبدل البصريات

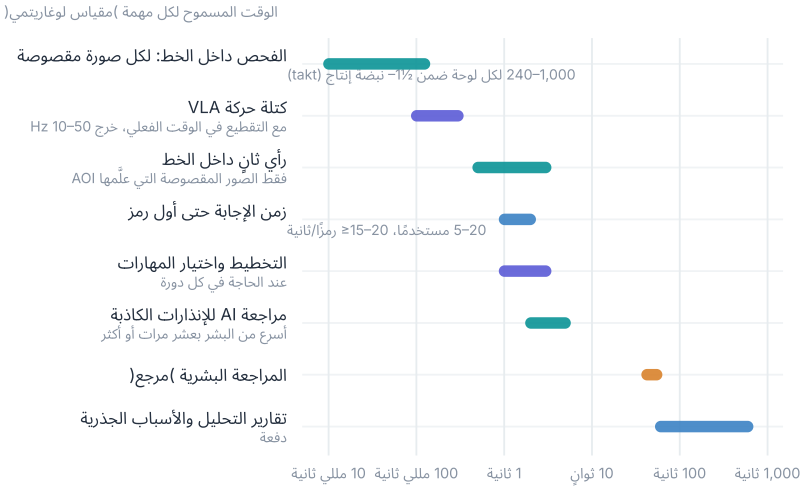
المصدر: Circuits Assembly؛ حساب المؤلف للوحة 300 mm ومستشعر 4K. شبكات البكسل توضيحية.

نشر معزول عن الشبكة: الصندوق يقرر، وغرفة الخوادم تجيب



المصدر: تركيب المؤلف (الفصل 2).

تحدد المناطق النظيفة ومناطق ESD مكان وضع الحوسبة؛ وتعتمد حدود السرعة على الاستخدام



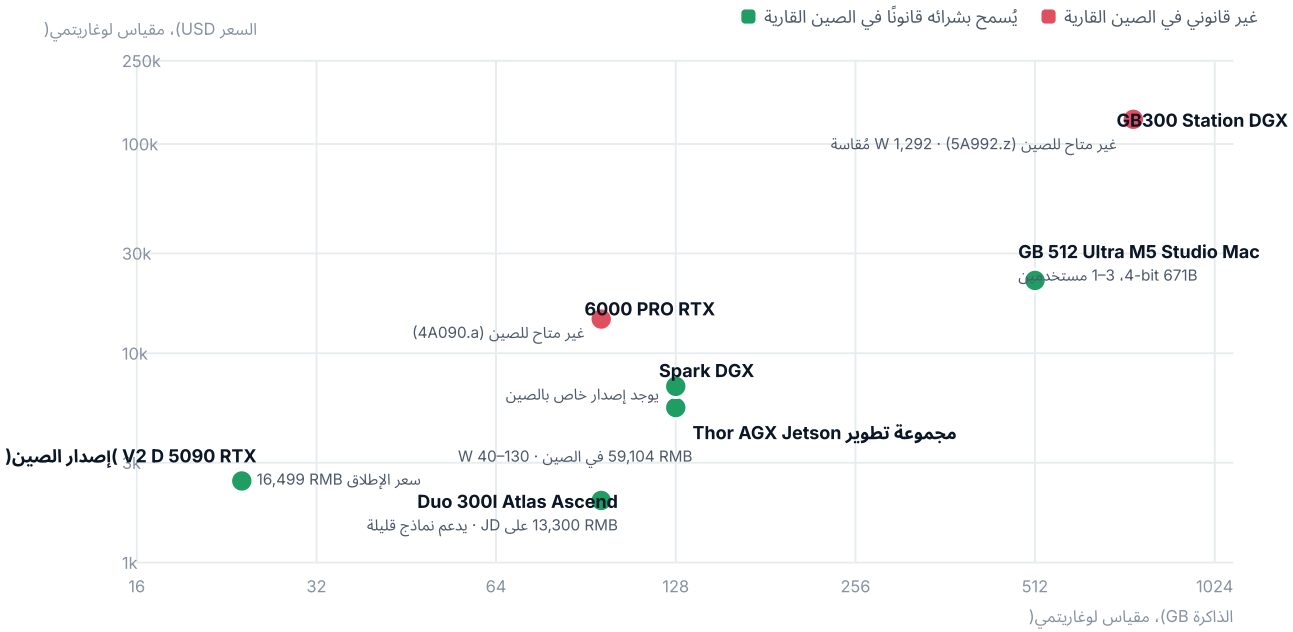


النقطة الأساسية قاعة SMT العادية هي منطقة محمية من التفريغ الكهروستاتيكي (ESD)، وليست غرفة نظيفة مدرّجة: يوضع صندوق بدون مروحة داخل علبة معدنية مؤرضة عند جهاز AOI أو مقعد المراجعة، ولا تدخل خوادم GPU إلى الخط أبدًا.

المصدر: ANSI/ESD S20.20 وIEC 61340-5-1 وISO 14644 ومعايير SEMI ومواد البائعين؛ جمعها المؤلف. تركيب المؤلف (الفصلان 1–2).

قواعد التصدير تحدد القائمة المختصرة للعتاد قبل أن تفعلها المعايير المرجعية

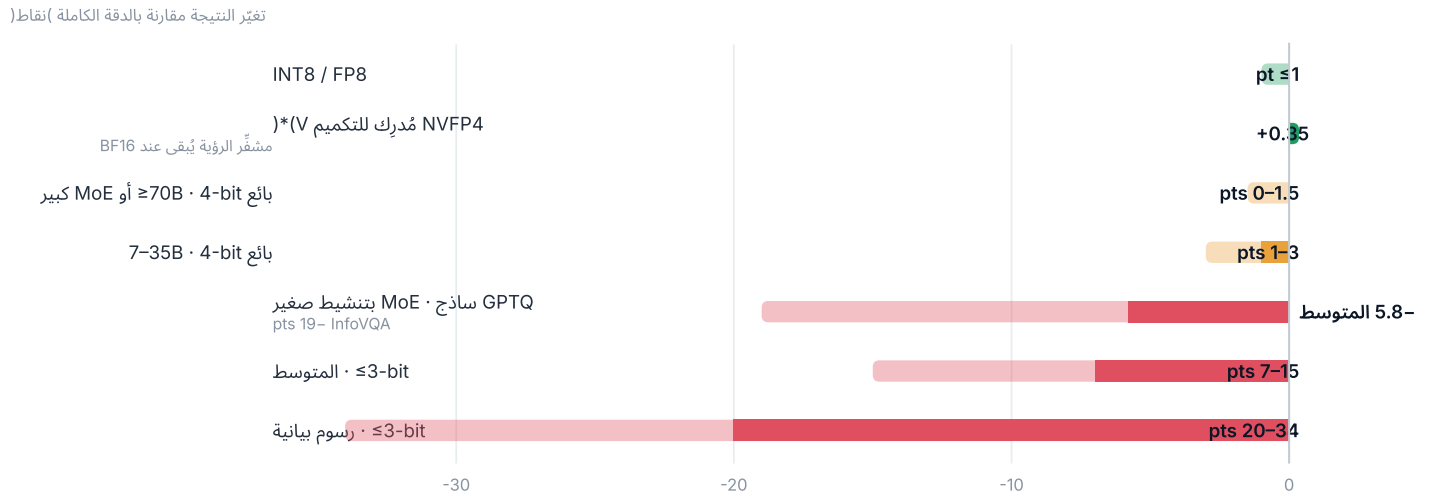
- **Jetson Thor:** 128 جيجابايت، 40–130 واط؛ ونماذج رؤية 2–8B على قصاصات AOI، ونماذج VLA من فئة 3B في الزمن الحقيقي؛ بسعر 59,104 RMB في الصين
- **Mac Studio بسعة 512 جيجابايت:** DeepSeek 671B بدقة 4-bit لعدد 1–3 مستخدمين
- **DGX Station:** 5A992.z، غير متاح للبر الرئيسي؛ ويمنح طراز 743B نحو 32 مستخدمًا ≈4 رمز/ثانية لكل منهم
- **المسرّعات المحلية:** خادمان من Ascend بثماني بطاقات لكل منهما، للأسئلة والأجوبة متعددة المستخدمين بالحجم الكامل



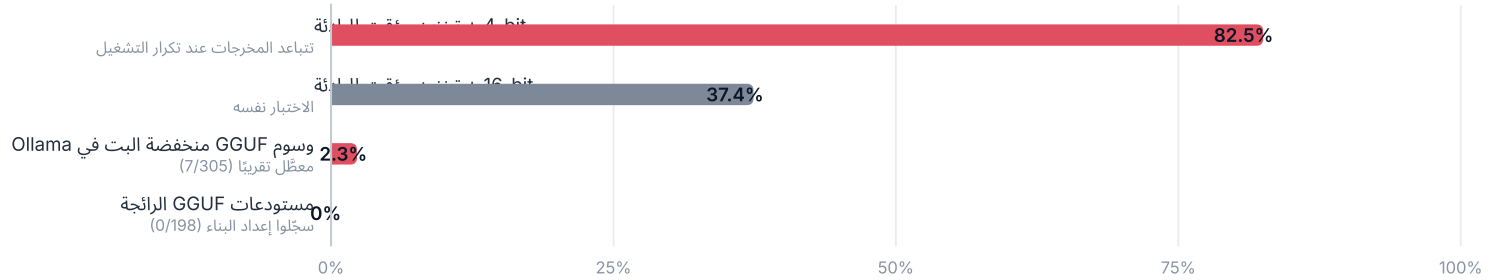
المصدر: تصنيفات تصدير NVIDIA وApple وRS China وJD.com، وأسعار المراجعات (نوفمبر 2026)، StorageReview (أغسطس وأكتوبر 2026)؛ ServeTheHome. اختبارات مستقلة من مصدر واحد.

التكميم: bit-8 آمن، وbit-4 يعتمد على الوصفة، وbit-3 وما دونها مستبعد

الدقة: bit-8 آمن، وbit-4 يعتمد على الوصفة، وbit-3≥ مستبعد



الأعطال الهندسية أكبر من خطأ التكميم

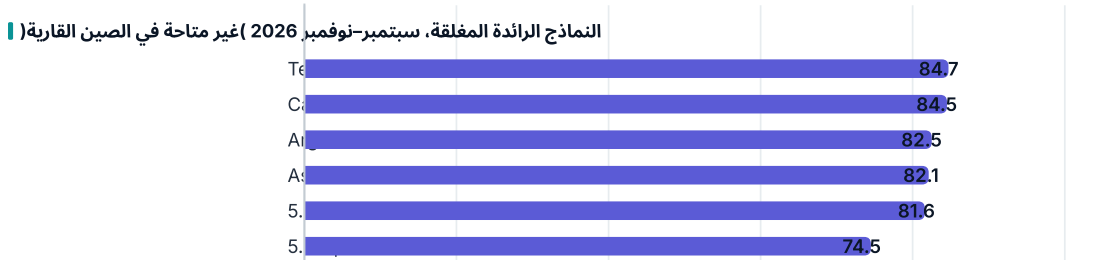


المصدر: بطاقة نموذج NVIDIA Nemotron وVL MQ وVFQ وarXiv 2609.05881 و2610.19498 و2609.04748 وغيرها.

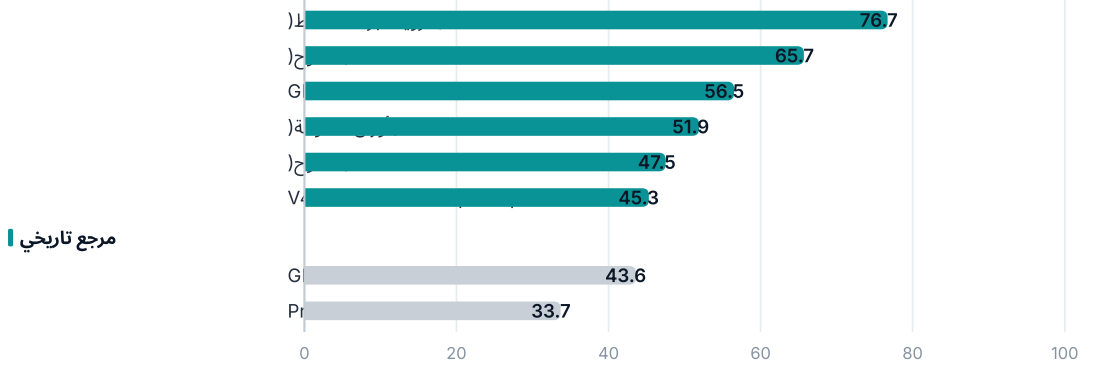
تضاعفت الرؤية العامة خلال جيل واحد؛ بينما تفتقر درجات العيوب الصناعية إلى البيانات

كشف Roboflow العام 50@mAP

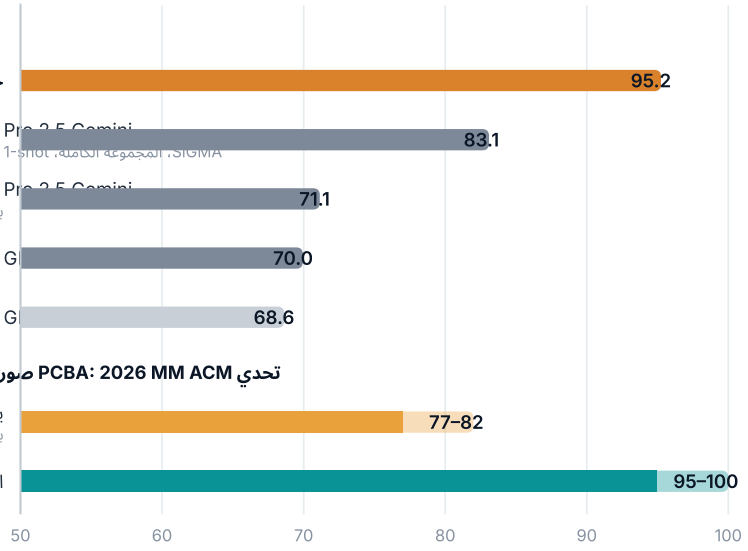
النماذج الرائدة المغلقة، سبتمبر–نوفمبر 2026)غير متاحة في الصين القارية(



متاح في الصين القارية: أوزان محلية أو مفتوحة



مرجع تاريخي



معايير عيوب الصناعة (MMAD)، MVTec AD 2، VisA، Real-IAD، UniPCB): صفر نتائج منشورة لهذه النماذج الرائدة لعام 2026

نتائج الكشف العامة تضاعفت خلال جيل، لكن ذلك ليس حكمًا على العيوب؛ اختبر على مجموعتك الذهبية

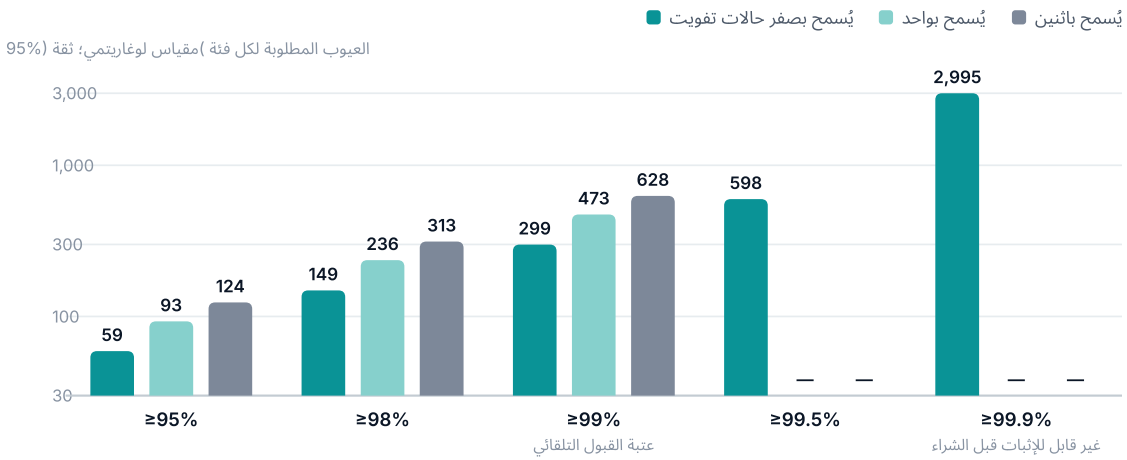
الدقة أو النتيجة (%)

دقة التصMMAD:

تحدي PCBA: 2026 MM ACM صور خطوط SMT حقيقية)أفضل 5 أنظمة(

المصدر: Roboflow Vision Evals؛ ملاحظات إصدار النماذج؛ صفحات معايير MMAD و2 MVTec AD وغيرها (حتى 11 نوفمبر 2026). MMAD؛ SiGMA؛ InspectorGPT؛ تحدي PCBA ACM MM 2026.

النماذج المتطورة تُسمّي مسبقًا، والأشخاص يحكمون، والمجموعة الذهبية تُقرّ الاعتماد

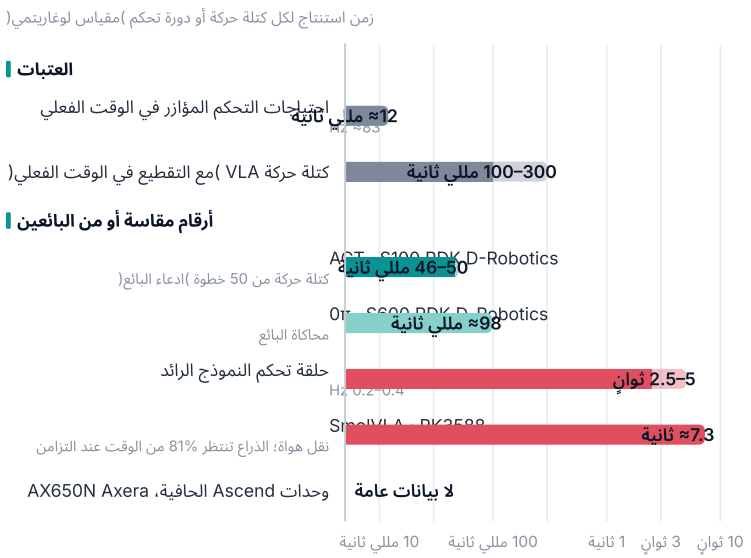


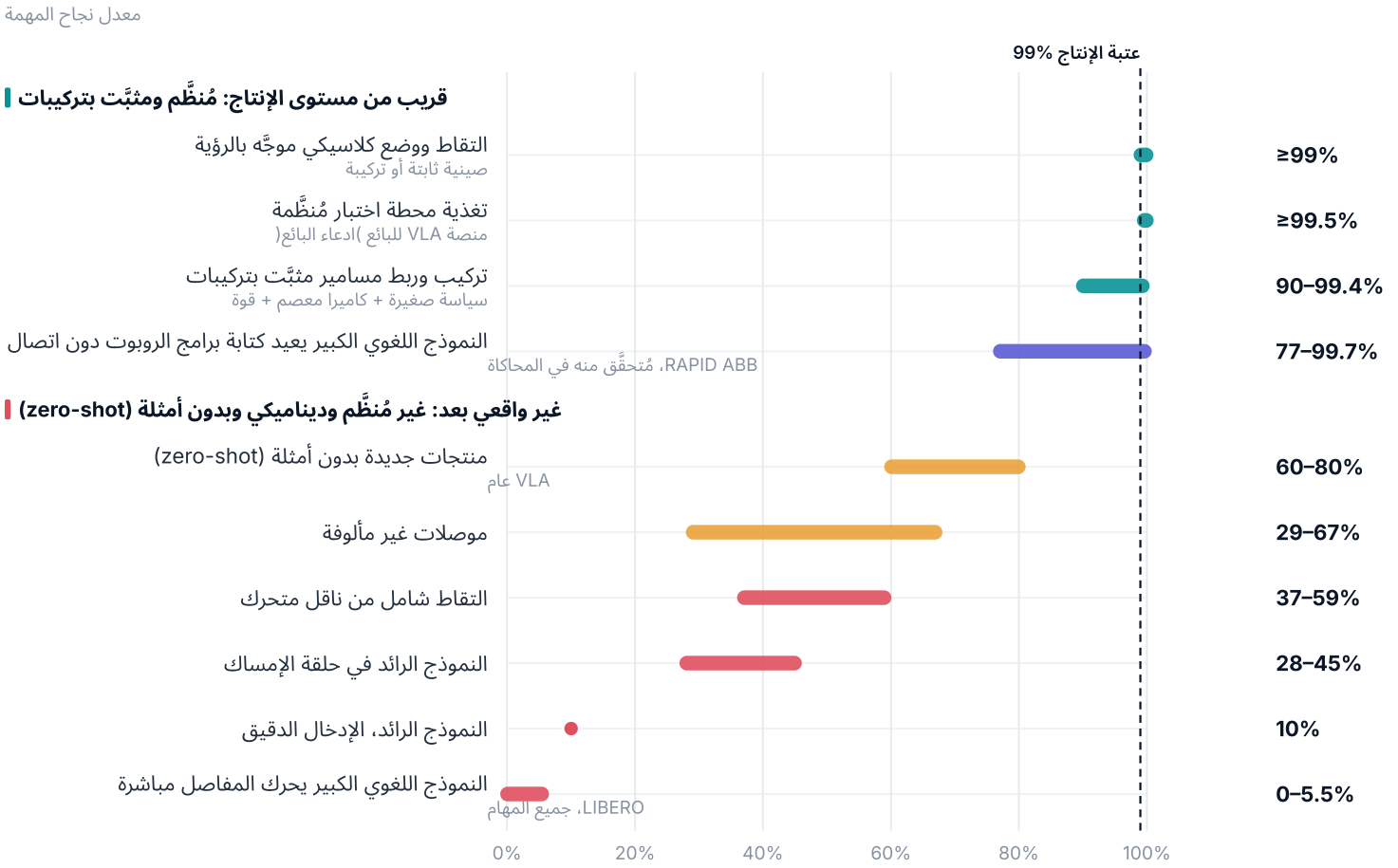


النقطة الأساسية لا تُقبل تسميات المعلّم تلقائيًا إلا لفئة لم تسجّل أي خطأ على ≥299 عيبًا ذهبيًا (استدعاء بنسبة 99% عند مستوى ثقة 95%)؛ أما الفئات الحرجة مثل القصر الكهربائي والأجزاء المفقودة والقطبية فتحتاج إلى المزيد.

المصدر: تركيب المؤلف (الفصل 3)؛ التكاليف وأحجام العينات تقديرات. فترات ثقة ثنائية الحدين الدقيقة (95%).

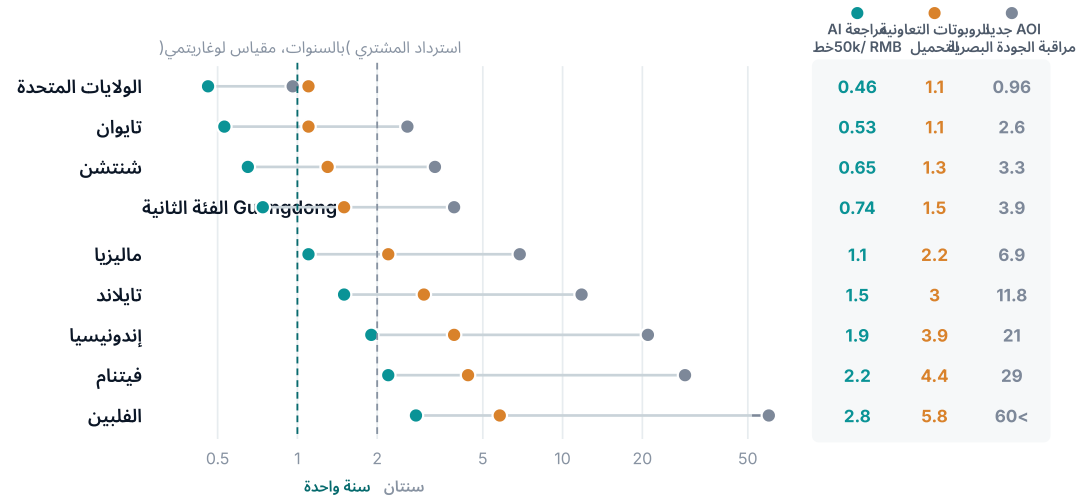
الروبوتات المتعلِّمة: قريبة من مستوى الإنتاج فقط عندما تكون المحطة مُنظَّمة

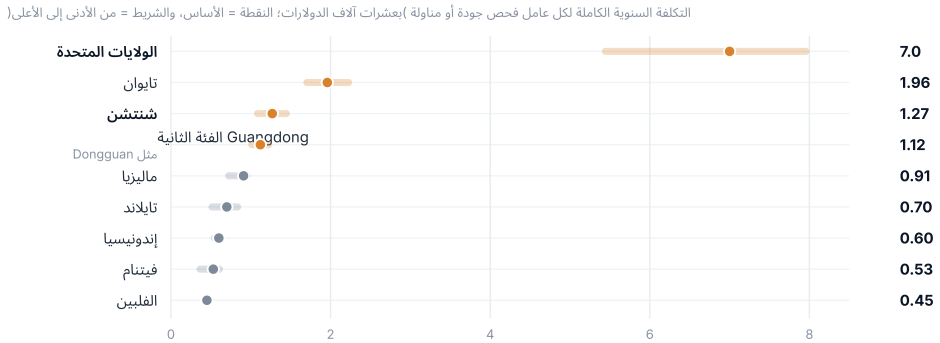




المصدر: أوراق ومواد بائعين مُستشهد بها في الفصل 3؛ وبعض الأرقام ادعاءات بائعين. وثائق D-Robotics والمنتدى (أرقام بائعين)؛ منقولات مجتمع GitHub؛ أبحاث Anthropic.

مراجعة AI تحقق عائدها خلال أشهر؛ بينما خدمة الآلات خلال نحو عام



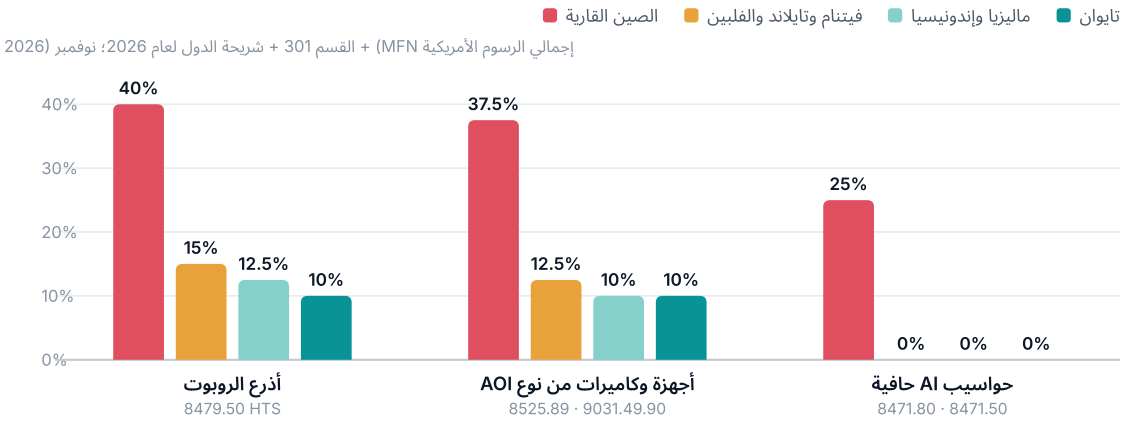


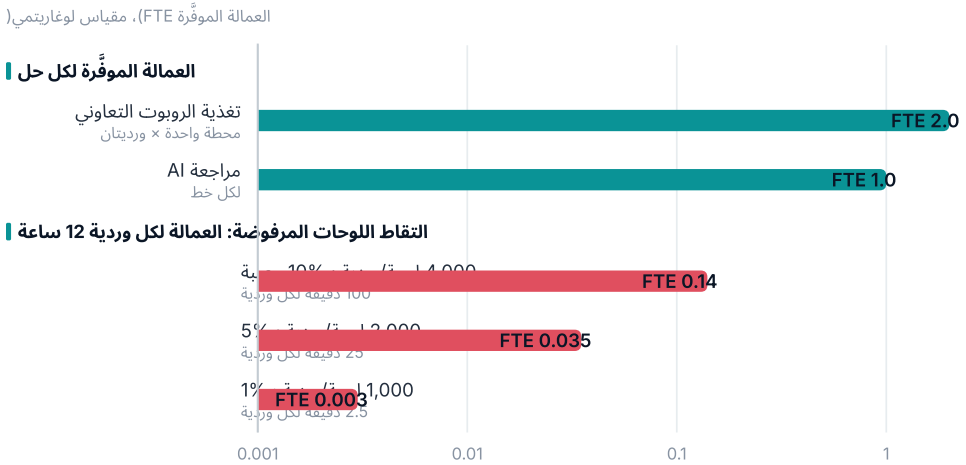
ذراع روبوت لمجرد التقاط اللوحات المرفوضة لا يسترد تكلفته أبدًا في أي مكان
عندما يتجاوز العائد من أول تمريرة 90%، يستغرق الالتقاط 0.003–0.14 FTE فقط لكل وردية

النقطة الأساسية بتكلفة 50,000 RMB لكل خط، تحقق مراجعة AI عائدها خلال 0.46 عامًا في الولايات المتحدة، و0.53 في تايوان، و0.65 في شنتشن، و2.2 في فيتنام؛ بينما تحقق خلية خدمة الروبوت التعاوني على ورديتين عائدها خلال 1.1–1.5 عامًا [تقديرات].

المصدر: إرشادات الأجور الرسمية في شنتشن ووزارة العمل التايوانية وJETRO وBLS؛ تقديرات المؤلف. نموذج المؤلف: صندوق مراجعة AI بقيمة 50k RMB لكل خط؛ وخلية تغذية روبوت تعاوني بقيمة 200k RMB أو 140k$، على ورديتين.

ذراع الانتقاء لا تُسترد تكلفتها أبدًا؛ فمكان تصنيع الذراع يغيّر الرسوم الجمركية الأمريكية المفروضة عليها





النقطة الأساسية عندما يتجاوز معدل النجاح من أول تمرير 90%، يستغرق انتقاء اللوحات المعيبة (NG) من 0.003 إلى 0.14 من عمل شخص واحد لكل وردية، لذا يكفي محوّل NG أو مخزن مؤقت لأداء المهمة؛ كما تدفع الذراع المصنوعة في البر الرئيسي نحو 40% رسومًا جمركية أمريكية مجمّعة.

المصدر: تقديرات المؤلف، جدول التعريفة المنسقة USITC الفصل 99؛ السجل الفيدرالي؛ USTR (نوفمبر 2026).

حقيقي لكنه صغير: 16,000 خط قابل للخدمة، ≈320 مليون RMB دفعة واحدة، ونافذة زمنية تمتد خمس سنوات

خطوط SMT في الصين
40,000
35k–46k

50% × 80% ×

قابلة للخدمة
16,000 سطر
بدون AI حتى الآن: 75–85%
قابل الوصول: 40–60%
10.5k–23.5k

20k RMB ×

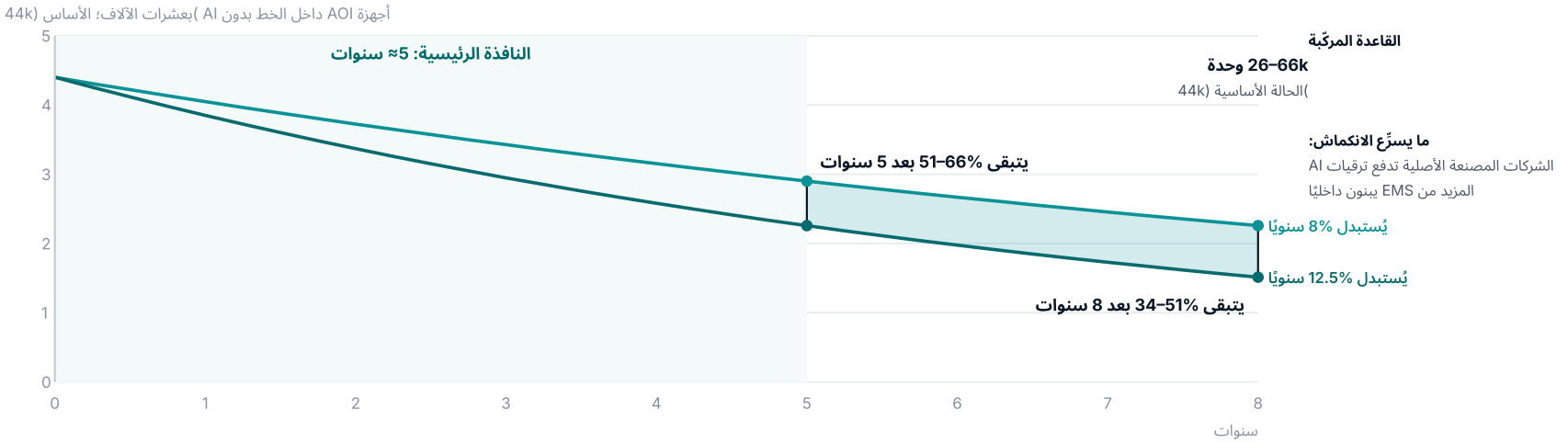
سوق لمرة واحدة
B
10–30k RMB لمرة واحدة
105–705M RMB

÷ ≈5 سنوات

نافذة 5 سنوات
B
ينكمش 8–12%/سنة
21–141M RMB

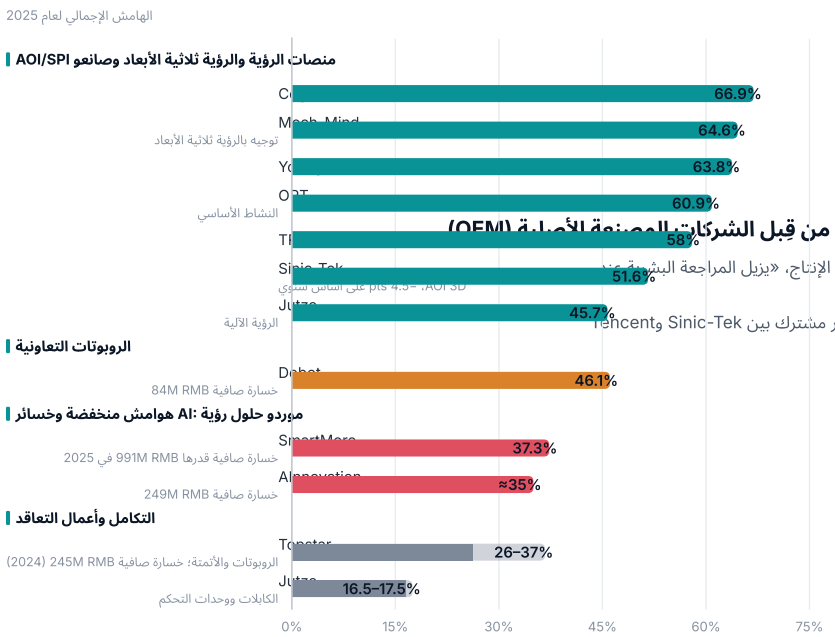
داخل جديد يحصل على 2–5% من الخطوط القابلة للخدمة خلال 3 سنوات: 320–800≈ خطًا، 2–5M ≈RMB سنويًا

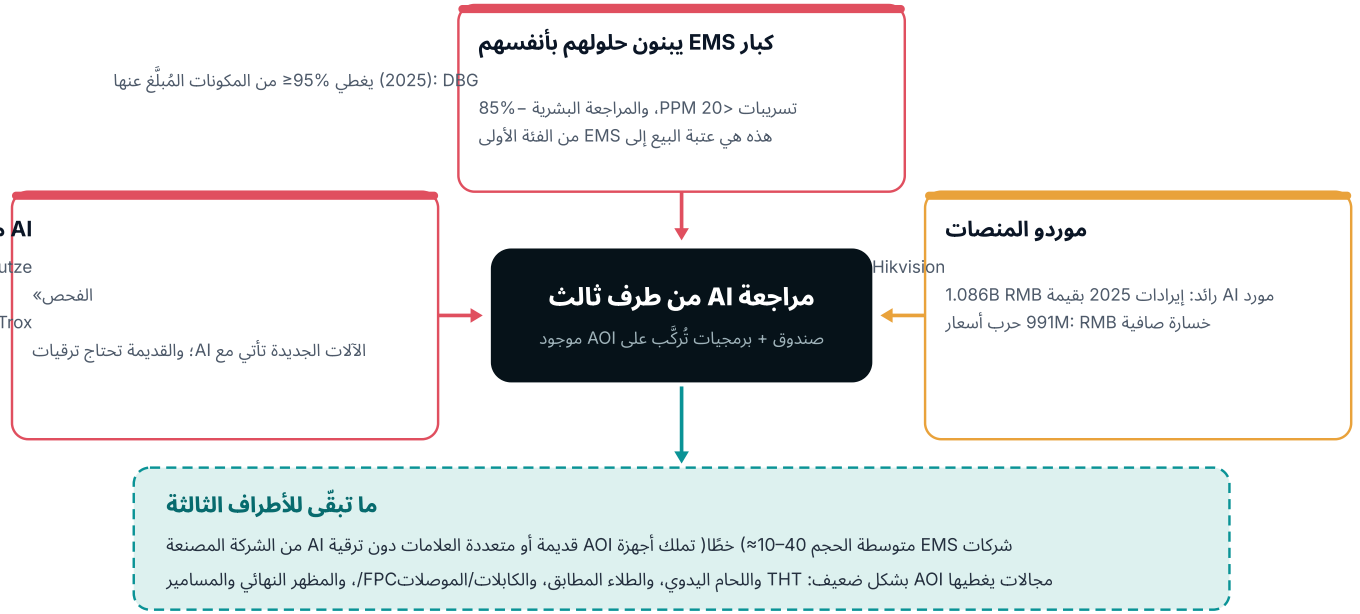
كاشتراك (5k RMB) لكل خط سنويًا؛ دخل متكرر بقيمة 1.6–4M RMB، أي 0.3–2.3% فقط من توقعات IDC لفحص الجودة الصناعي بالذكاء الاصطناعي في الصين



المصدر: NVR (أساس 2020)؛ تقديرات المؤلف. تقديرات المؤلف؛ القاعدة المركّبة والحصص لم تُتحقق منها بشكل مستقل.

إسفين المراجعة محاصر؛ والهامش يكمن في العتاد المُحوَّل إلى منتج

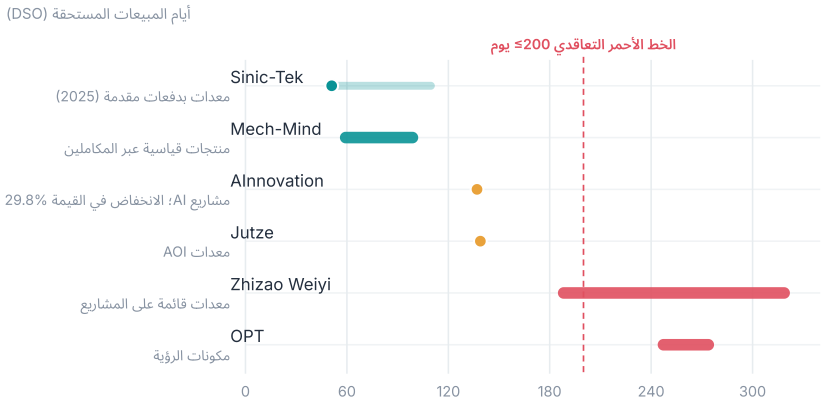


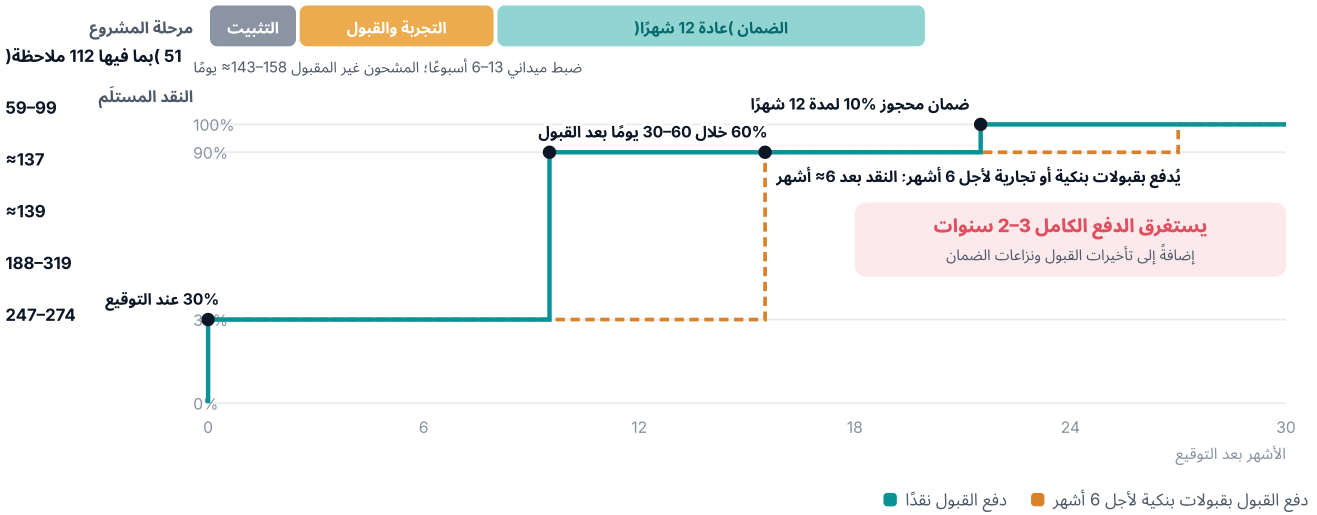


الأدلة حققت شركة الرؤية AI الرائدة إيرادات بلغت 1.086 مليار RMB في 2025 وخسارة صافية بلغت 991 مليون RMB؛ وانخفضت إيرادات 3C لأقرب شركة مدرجة قابلة للمقارنة بنسبة 79.9% على أساس سنوي في الفترة من يناير إلى مايو 2026.

المصدر: التقارير السنوية لـ Jutze وSinic-Tek وDBG؛ ومواد عامة من Hikvision وSmartMore؛ جمعها المؤلف. التقارير السنوية أو نشرات الاكتتاب لعام 2025.

يدفع المشترون 30/60/10؛ ويستغرق السداد الكامل عامين إلى ثلاثة أعوام





النقطة الأساسية تصل 30% مع الطلب، و60% بعد نحو أربعة إلى تسعة أشهر، وآخر 10% بعد نحو 16–21 شهرًا؛ ومن أول تجربة لدى شركة EMS كبيرة إلى السداد الكامل قد يستغرق الأمر من عامين إلى ثلاثة أعوام [تقدير].

المصدر: رد استفسار Sinic-Tek وMech-Mind وGKG وJT، وإفصاحات أخرى؛ مخطط للشروط المعتادة. والتوقيت مُقدَّر. إفصاحات الشركات؛ المستحقات (بما فيها أصول العقود) ÷ الإيرادات × 365.

خطّط دون اتصال، ونفّذ بسياسات صغيرة، وأبقِ الحركة والسلامة حتمية

الطبقة	ما الذي يفعله، وإلى أي مدى تصل الأدلة	المقياس الزمني · من يملكه
4 التخطيط	**النماذج الرائدة)دون اتصال(** كتابة أو تعديل برامج الروبوت دون اتصال وتغيير الطرازات وشرح الأعطال يعيد كتابة برامج RAPID ABB بنسبة 77–99.7%، ويُنشر بعد المحاكاة حلقة التحكم 0.2–0.4 Hz فقط: تبقى خارج الوقت الفعلي	من ثوانٍ إلى دقائق عمالقة النماذج
3 المهارات / السياسة	ACT وسياسات الانتشار ونماذج VLA صغ محطات مُنظَّمة ومثبّتة بتركيبات 90–99.4% رقاقات الحافة: Thor Jetson وRDK D-Robotics وAscend وRockchip	كتل حركة 100–300 مللي ثانية بائعو الرقاقات · صانعو الروبوتات
2 التحكم الحركي	**وحدة تحكم الروبوت** تخطيط المسارات والمؤازرة والتحكم بالقوة وفحص التصادم كود حتمي؛ والسياسات المتعلَّمة تحدد الأهداف فقط	بالملي ثانية)الوقت الفعلي يتطلب 83< Hz) صانعو الروبوتات
1 السلامة	PLC للسلامة وماسحات وحدود للقوة والس معتمد وفق ISO 10218-1/-2:2025 والقواعد المحلية لا تعلم آلة في وظائف السلامة: مراجعة هيئة مُخطِرة في الاتحاد الأوروبي اعتبارًا من 20 يناير 2027	وقت فعلي صارم روبوت معتمد + مكامل

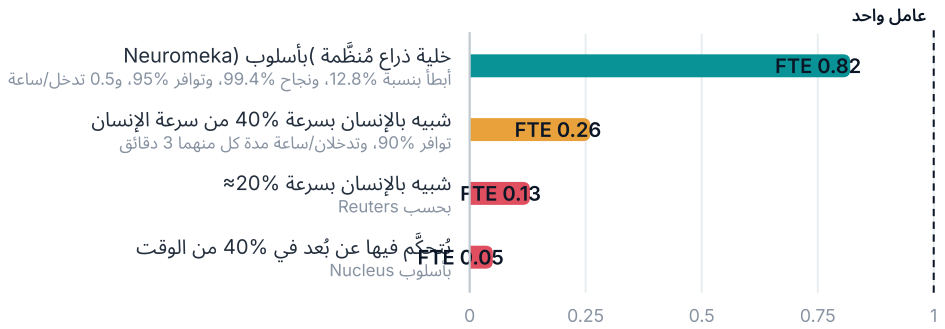
تنجح الشركات الصغيرة في التكامل وأجهزة الاستشعار: إدخال الإدراك المتعلَّم والسياسات الصغيرة في خلايا روبوت معتمدة، محطة تلو الأخرى

	تشغيل ضخم	التوافر / الأعطال	التدخلات / التحكم عن بُعد	نبضة الإنتاج (Takt)	معدل النجاح
BM	1,250 ساعة	غير مُفصَح عنه	الهدف فقط 0/وردية	الهدف فقط 84 ثانية	الهدف فقط >/99%وردية
GX	100,000 حاوية	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه
Me	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه
Au	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه
ى(	≈2 ساعة من الفيديو	غير مُفصَح عنه	≈40% تحكم عن بُعد*	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه
Lo	أكثر من 64 ساعة	عطل واحد، دقيقتان	غير مُفصَح عنه	18–20 ثانية لكل خطوة	99.99%
خلية Neuromeka الهجينة	324 دورة	غير مُفصَح عنه	غير مُفصَح عنه	أبطأ بنسبة 12.8%	322/324
0.6π @ موقع العميل	وردية واحدة	غير مُفصَح عنه	96.4% ذاتي التشغيل	—	—

* طريقة الحساب غير مُفصَحة

غير مُفصَح عنه الأهداف فقط مُفصَح عنه)غالبًا ادعاءات بائعين(

صافي العمالة المستبدلة لكل روبوت لكل وردية



المصدر: خلاصة المؤلف (الفصلان 3 و6) وتقديراته؛ ISO 10218:2025؛ لائحة الآلات الأوروبية؛ ومواد عامة من BMW وFigure وAgility وMercedes-Benz وغيرها.

ابنِ ضمن نطاق ضيق، وأثبت الجدوى على صور المصنع نفسه، ثم وسّع النطاق

ابنِ

مراجعة AI وتصنيف العيوب على صور AOI لشركات EMS متوسطة الحجم التي تملك أجهزة AOI أقدم أو متعددة العلامات؛ والفحص الذي يغطيه جهاز AOI بشكل ضعيف؛ وخلايا الروبوتات التعاونية التي تُدار فيها كل قطعة

لا تبنِ

منصة عامة تجمع بين AI والذراع الروبوتية؛ ونموذج LLM بوصفه المفتش الأساسي؛ وذراع انتقاء على خط SMT؛ وروبوتات بشرية الشكل وروبوتات كخدمة؛ ونماذج متطورة في حلقات التحكم أو وظائف السلامة

التجربة الأولية

1. **الأسابيع 0–2:** اتفاقية البيانات، وفئات العيوب، وخط الأساس
2. **الأسابيع 1–4:** المجموعة الذهبية، مُصنّفة بشكل أعمى ومُحكَّمة
3. **الأسابيع 2–4+:** وضع الظل، مع المقارنة لكل فئة
4. **الأسابيع 4–8:** تشغيل مُساعَد على الفئات الناجحة فقط
5. **ثم:** قبول كتابي، والتوسّع خطًا بخط، وإعادة التحقق عند كل تغيير

السلامة لا يُستخدم تعلّم الآلة داخل وظائف السلامة: يفرض الاتحاد الأوروبي تقييمًا من جهة مُخبرة اعتبارًا من 20 يناير 2027، ولن تستقر مسارات اعتماد AI قبل الفترة 2027–2029.

المصدر: الفصلان 6–7 من التقرير والملخص التنفيذي؛ ISO وIEC و UL وEUR-Lex وSAC وقواعد بيانات اللوائح الوطنية.

عن المؤلف

Tan Shuai

تقني ومؤسّس، مع أكثر من عشرين عامًا من الخبرة في الرقائق والأجهزة وبرمجيات الأنظمة، و20 براءة اختراع ممنوحة. أخذته أعماله عبر وادي السيليكون ونيويورك وشيكاغو وتايوان ومنطقة الخليج الكبرى (شنتشن وهونغ كونغ) وفيتنام وماليزيا، مع تركيز طويل على التصنيع المتقدم وسلاسل الإمداد. ويعمل اليوم باحثًا ومطوّرًا في مجال AI، مركّزًا على كيفية استخدام AI في أرضية المصنع.

التقرير الكامل (جميع الأشكال والجداول والمصادر) والمقال متاحان على tanshuai.com. ويرحّب بالنقاش مع العاملين في مجال AI في التصنيع: i@tanshuai.com

