BAĞIMSIZ ARAŞTIRMA · GENEL SÜRÜM

2026 · 11

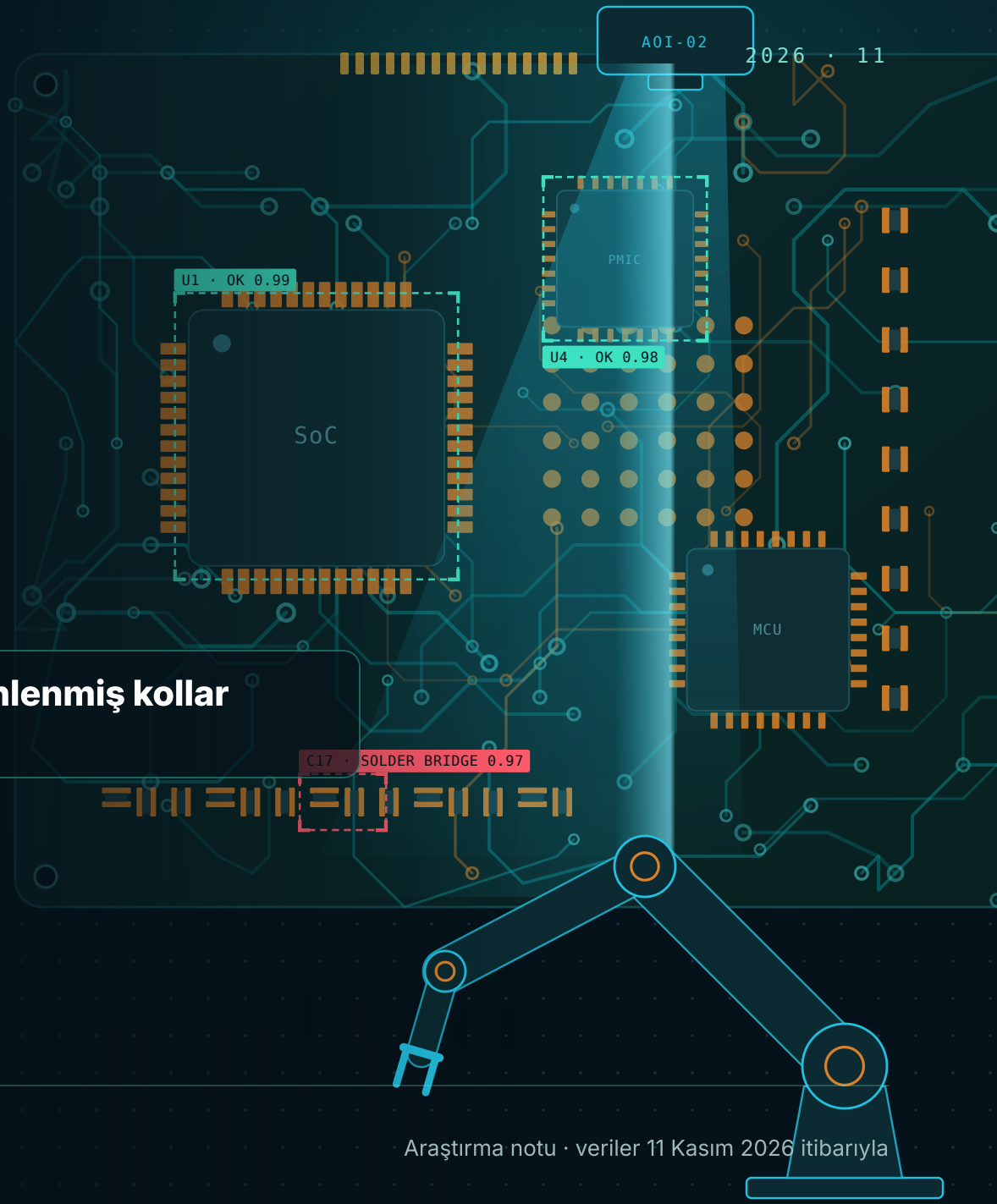
ELEKTRONİK ÜRETİMİ · AI DENETİM × ROBOTİK

SMT hattında AI:

2026'da maliyetini ne çıkarır

Elektronik fabrikalarında AI görsel denetim ve robot kolları

Anakara Çin · Tayvan · Güneydoğu Asya · Amerika Birleşik Devletleri



TEMEL BULGU

AI inceleme dar kapsamda yapmaya değer. Bedenlenmiş kollar bekleyebilir.

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

Araştırma notu · veriler 11 Kasım 2026 itibarıyla

Yapmaya değer, ama dar kapsamda, şimdi ve ortaklarla

TEMEL BULGU

2026'da olgun olan ve tesislerin ödeyeceği şey, AOI görüntüleri üzerinde AI inceleme ve niş denetim artı programlanmış robot makine beslemesidir; "kartlara bakan büyük bir model artı onları alan bedenlenmiş robotlar" değil.

0.46–0.65 yr

ABD, Tayvan ve Shenzhen'de hat başına 50 bin RMB ile AI inceleme geri ödeme süresi

≥95% · <20 PPM

Önde gelen bir EMS'nin kurum içi AI incelemesi: birinci sınıf EMS'ye satış için çıta

100–700 RMB M

Anakara Çin'de hizmet edilebilir üçüncü taraf retrofit pazarı, tek seferlik, ≈5 yıllık pencere

0 scores

Kasım 2026 amiral gemileri için endüstriyel kusur benchmark puanları

1.1–1.5 yr

Bir kobot makine besleme hücresinin geri ödemesi, iki vardiya

0.003–0.14 FTE

Bir ayıklama robot kolunun vardiya başına tasarruf ettiği iş gücü: maliyetini asla çıkarmaz

Kaynak: raporun yönetici özeti ve 4–5. Bölümleri; geri ödeme ve pazar rakamları yazarın tahminleridir.

Altı soru, altı yanıt

① Tesisler ne çalıştırıyor

3D SPI, reflow öncesi ve sonrası AOI'ler, örneklemeli X-ray, ICT/FCT. Her AOI'nin arkasında bir kişi inceleme yapar; takt ≈13–22 sn/kart.

② Teknoloji ne kadar ileri gider

Denetim, dedektör + AI inceleme + birkaç kişi olarak endüstriyel düzeydedir; hiçbir fiyata sıfır insan değil. Anakara: yerli modeller; Tayvan: müşteri karar verir; ABD: gümrük vergileri ve sertifikasyon.

③ Yerinde ve hava boşluklu

Pratik; sınırlar prosedüreldir. Hatta ≤100 W fansız bir kutu, sunucu odasında sunucular, varsayılan olarak 8-bit.

④ Öğretmen ve öğrenci

Denetim: frontier modeller ön etiketler, insanlar hükme bağlar, bir altın set kapı görevi görür. Kollar: öğretmenler hâlâ insan gösterimleri ve simülasyondur.

⑤ Maliyet ve geri ödeme

ABD, Tayvan ve Shenzhen'de AI inceleme bir yıl içinde; kobot besleme 1.1–1.5 yıl; Güneydoğu Asya 2–6 yıl; bir ayıklama kolu asla.

⑥ Şimdi mi, beklemek mi

Gerçek talep, kalabalık arz; OEM AI'sı ≈5 yıllık bir retrofit penceresi bırakır. Denetim şimdi, dar kapsamda; bedenlenmiş AI 2027–28 verilerinden sonra.

Kaynak: raporun yönetici özeti.

AI bugün fabrika zemininde nereye uyar

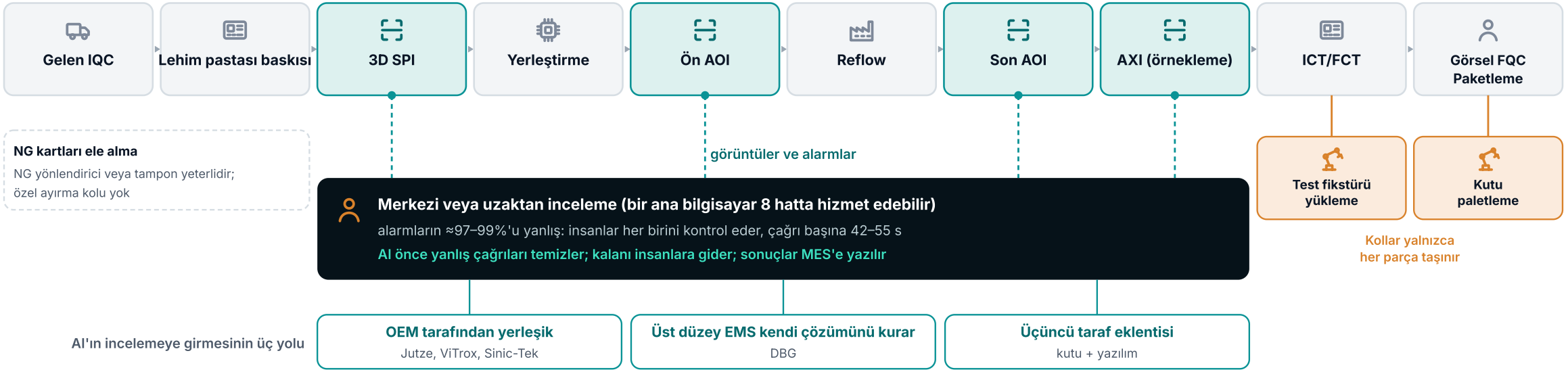


Kaynak: Yazarın modelinden geri ödeme (Bölüm 4); olgunluk ekseni yazarın yargısıdır.

İnsanlar AOI'nin arkasında oturur. AI'nın girdiği yer orasıdır

Bir seri üretim SMT hattı

Takt ≈13–22 s/kart · hat başına 3–5 AOI



Kaynak: Kamuya açık dosyalar ve satıcı materyalleri (Huaqin, DBG, Sinic-Tek ve diğerleri); yazar tarafından derlendi.

AOI alarmlarının yaklaşık 97–99%'u yanlış çağrıdır

Her 100 AOI alarmı için

≈97–99 yanlış çağrı: kart aslında iyi

gerçek kusurlar 1–3

Bugün: insanlar her çağrıyı kontrol ediyor

her biri 42–55 s

yoğun bir hatta vardiya başına ≈448 yanlış çağrı

→ vardiya başına 5.2–6.8 h ≈ 1 tam zamanlı inceleyici

vaka kadrosu: vardiya başına 2

AI inceleme: yanlış çağrıları temizle, kalanı insanlara devret

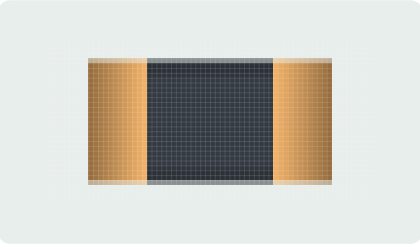
Yanlış çağrılar veya inceleme saatleri 60–90% azalır (satıcı iddiaları)

Üst-EMS dahili kıyaslama: işaretli parçaların ≥95%'ini kapsar, kaçak <20 PPM, insan incelemesi ≥85% azalır

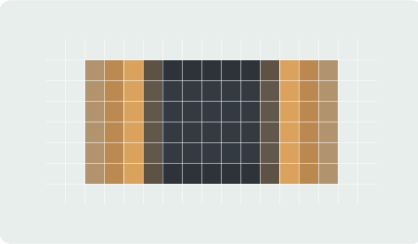
insanlara açıl-ve-geç, hat çalışmaya devam eder

Kaynak: Siemens vaka çalışması, iFactory (satıcı iddiası), DBG 2025 yıllık raporu; inceleme saatleri yazar tarafından tahmin edildi.

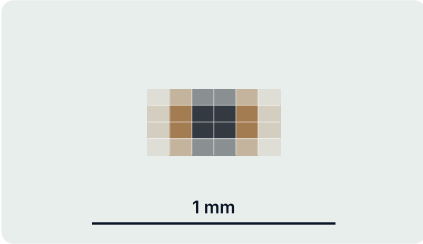
Genel amaçlı bir kamera AOI değildir



AOI: piksel başına 8–20 µm
0402 ≈ 100×50 px



300 mm panel üzerinde 4K kamera: ≈78 µm/px
0402, ≈13×6 px'e küçülür: yalnızca varlık ve kaba kayma için yeterli

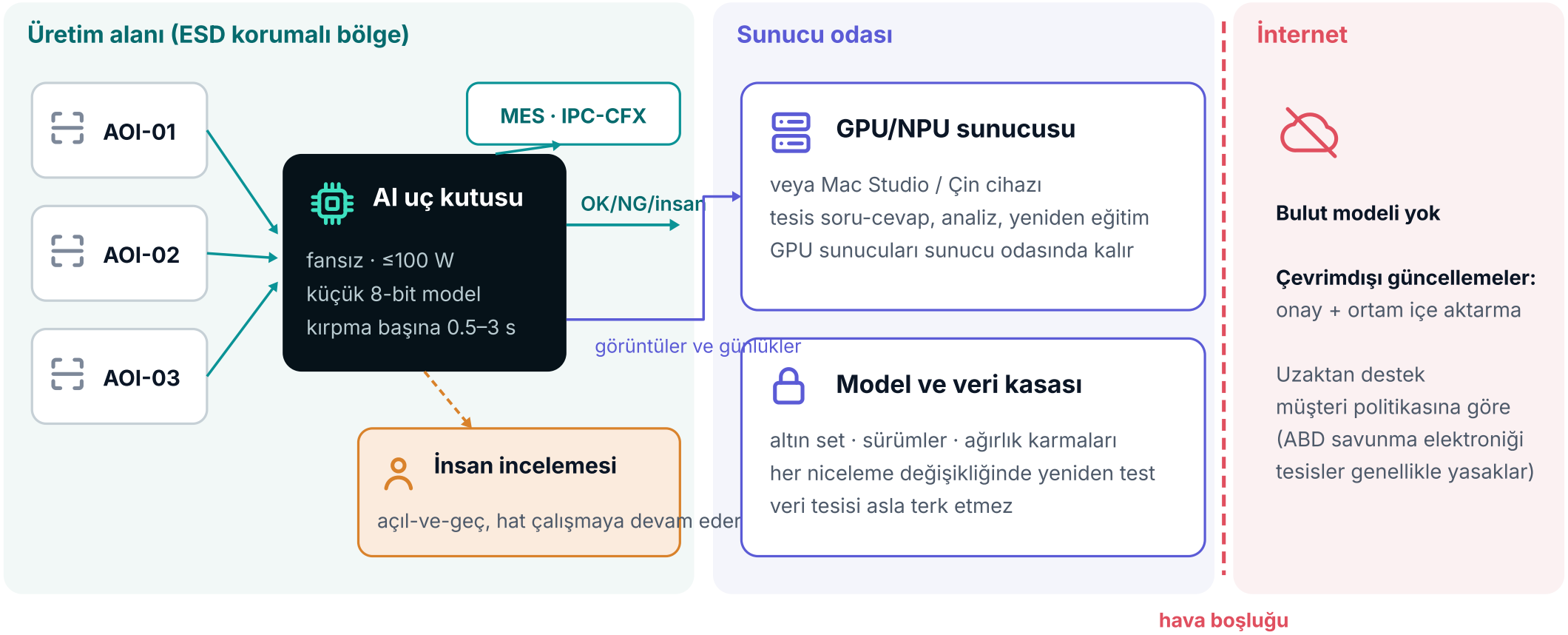


Bir 01005 üzerinde aynı kamera
≈5×3 px: fiilen görünmez

- **AOI:** piksel başına 8–20 µm, çok açılı çok renkli aydınlatma ve yapılandırılmış ışık
- **300 mm panel üzerinde 4K:** piksel başına ≈78 µm; bir 0402 ≈13×6 pikseldir, varlık için yeterli, lehim bağlantıları için değil
- **01005:** ≈5×3 piksel, fiilen görünmez
- **Yani:** AI, AOI'nin kendi görüntüleri üzerinde çalışır; optiklerin yerini almaz

Kaynak: Circuits Assembly; yazarın 300 mm panel ve 4K sensör için hesaplaması. Piksel ızgaraları açıklayıcıdır.

Hava boşluklu bir dağıtım: kutu karar verir, sunucu odası yanıtlar



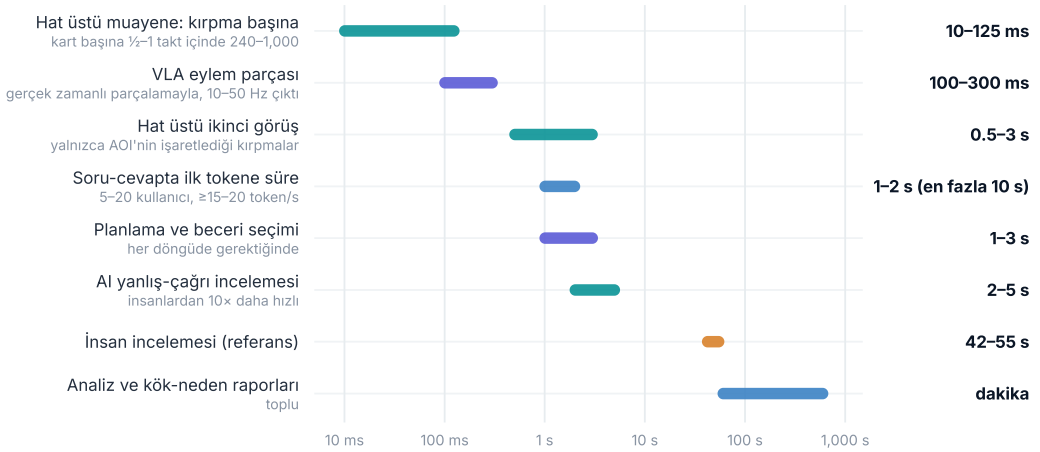
Kaynak: Yazarın sentezi (Bölüm 2).

Temiz ve ESD bölgeleri hesaplamanın nereye oturacağını belirler; hız sınırları kullanıma bağlıdır

Temizlik →

Sıradan SMT/PCBA alanı	Temiz oda ISO 7–8	Mini ortam ISO 5–6	Fab, ISO 5 veya daha temiz
ESD korumalı bölge (≈ISO 8) **BN 40–60%**	medikal, kamera modülleri, EV **temiz oda + ESD**	çıplak kalıp, tel bağlama, optik **mini ortam**	SEMI E78 ESD · E187/E188 siber **fab'a özel planlar**
Hat kenarı hesaplama AOI veya inceleme koltuğunun yanında fansız, topraklı metal kutu	**Hat kenarı hesaplama** Fansız, IP65/66 sızdırmaz, kolay silinir; ISO 14644-14 verisi isteyin	**Hat kenarı hesaplama** Yalnızca kamera ve ışıklar; hesaplama kutusu dışarıda	**Hat kenarı hesaplama** Yalnızca aletle bütünleşik, fab onaylı kontrolörler
GPU/NPU sunucusu Sunucu odası veya klimalı BT rafı	**GPU/NPU sunucusu** temiz odanın dışında, ağ bağlantılı	**GPU/NPU sunucusu** Sunucu odası	**GPU/NPU sunucusu** Alt temizoda sıvı soğutmalı raflar veya veri merkezi

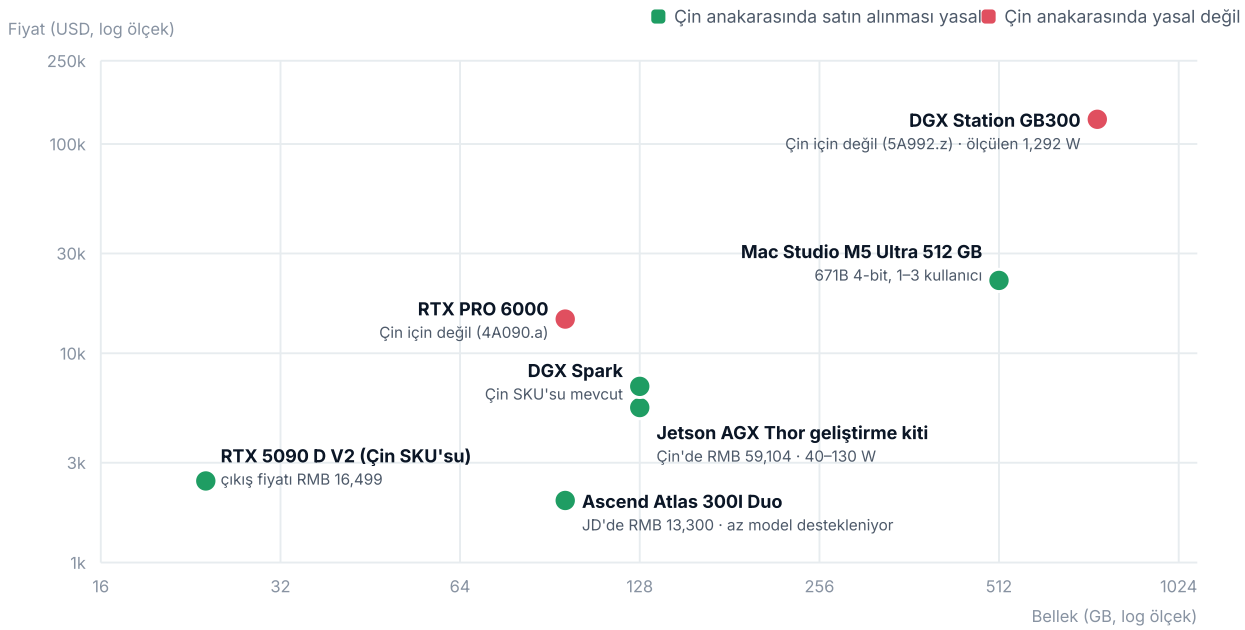
Görev başına izin verilen süre (log ölçek)



Kilit nokta Sıradan bir SMT salonu ESD korumalı bir alandır, sınıflandırılmış temiz oda değildir: topraklanmış metal bir kasa içindeki fansız bir kutu AOI'de veya inceleme koltuğunda durur ve GPU sunucuları asla hatta girmez.

Kaynak: ANSI/ESD S20.20, IEC 61340-5-1, ISO 14644, SEMI standartları ve satıcı materyalleri; yazar tarafından derlendi. Yazarın sentezi (Bölüm 1–2).

İhracat kuralları donanım kısa listesini benchmark'lardan önce belirler



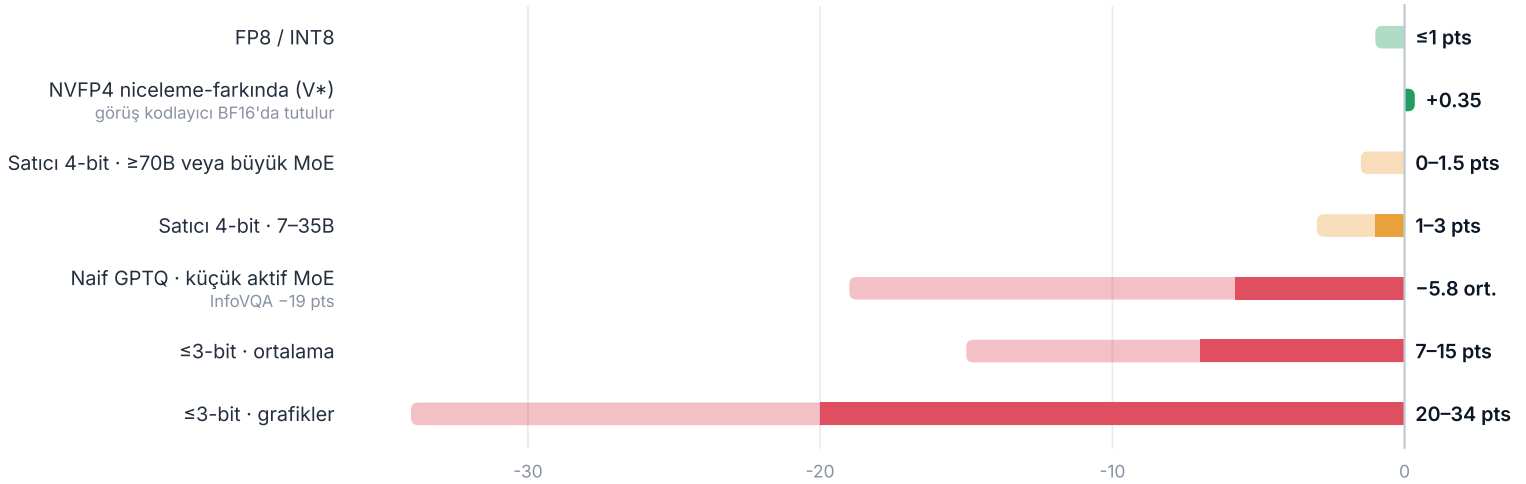
- **Jetson Thor:** 128 GB, 40–130 W; AOI kırpıntılarında 2–8B görüş modelleri, gerçek zamanlı 3B sınıfı VLA'lar; Çin'de RMB 59.104
- **Mac Studio 512 GB:** 1–3 kullanıcı için 4-bit'te DeepSeek 671B
- **DGX Station:** 5A992.z, anakara için değil; bir 743B model 32 kullanıcıya her biri ≈4 token/sn verir
- **Yerli hızlandırıcılar:** tam boyutlu çok kullanıcılı Soru-Cevap için iki adet sekiz kartlı Ascend sunucusu

Kaynak: NVIDIA ihracat sınıflandırmaları, Apple, RS China, JD.com ve inceleme fiyatları (Kasım 2026). StorageReview (Ağu ve Eki 2026); ServeTheHome. Tek kaynaklı bağımsız testler.

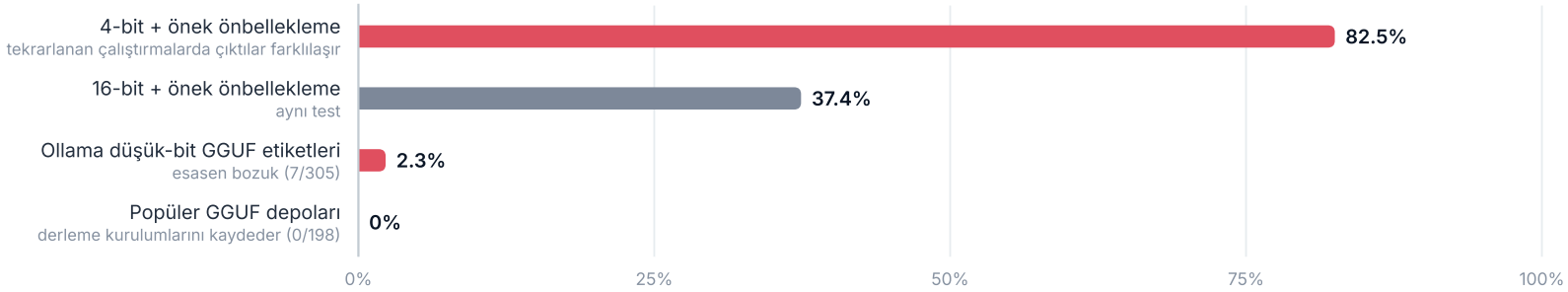
Niceleme: 8-bit güvenli, 4-bit tarife bağlı, 3-bit ve altı elenir

Doğruluk: 8-bit güvenli, 4-bit tarife bağlı, ≤3-bit elenir

Tam hassasiyete göre skor değişimi (puan)



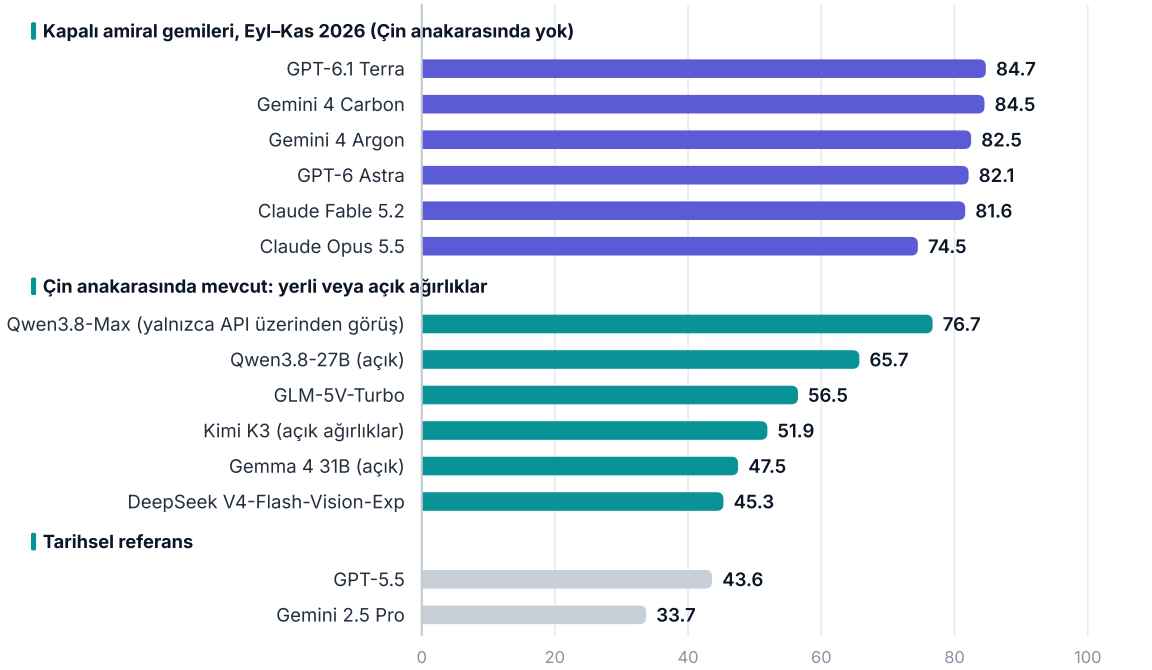
Mühendislik hataları niceleme hatasından ağır basar



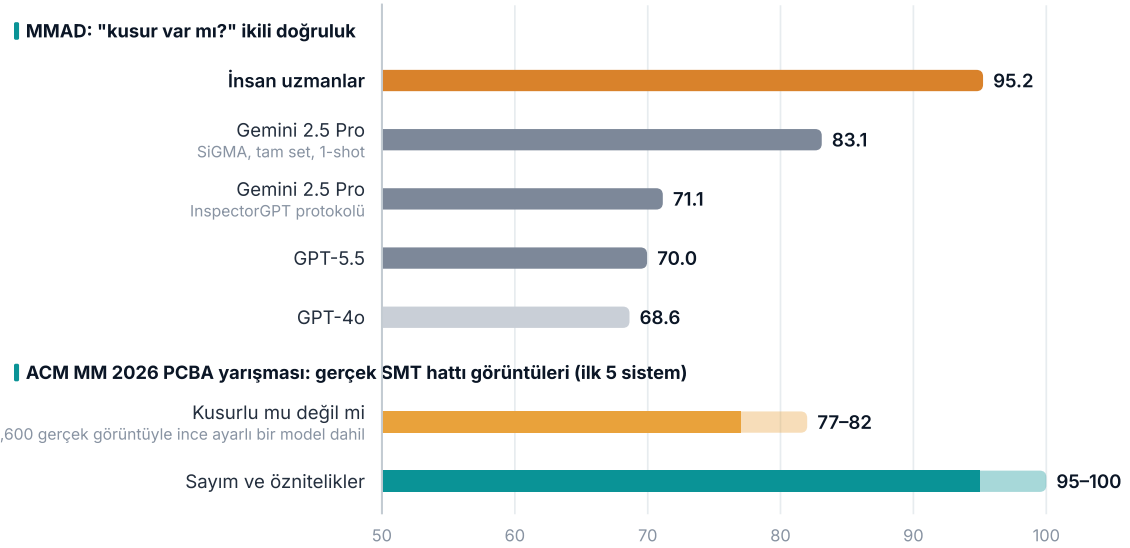
Kaynak: NVIDIA Nemotron model kartı, VLMQ, VEQ, arXiv 2609.05881, 2610.19498, 2609.04748 ve diğerleri.

Genel görüş bir nesilde ikiye katlandı; endüstriyel kusur puanları eksik

Roboflow genel algılama mAP@50



Doğruluk veya skor (%)



Endüstriyel kusur kıyaslamaları (MMAD, MVTec AD 2, VisA, Real-IAD, UniPCB): bu 2026 amiral gemileri için sıfır yayımlanmış sk

Genel algılama skorları bir nesilde ikiye katlandı, ama bu kusur yargısı değildir; kendi altın setinizde test edin

Kaynak: Roboflow Vision Evals; model sürüm notları; MMAD, MVTec AD 2 ve diğer kıyaslama sayfaları (11 Kas 2026 itibarıyla). MMAD; SiGMA; InspectorGPT; ACM MM 2026 PCBA yarışması.

Frontier modeller ön etiketler, insanlar hükme bağlar, bir altın set kapı görevi görür

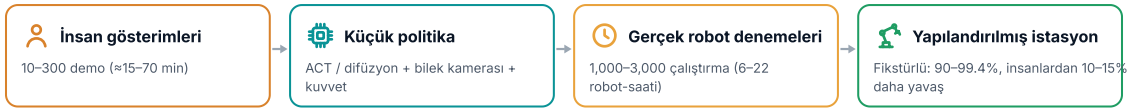
Muayene: öncü model ön etiketler, insanlar karar verir, altın set kapı tutar

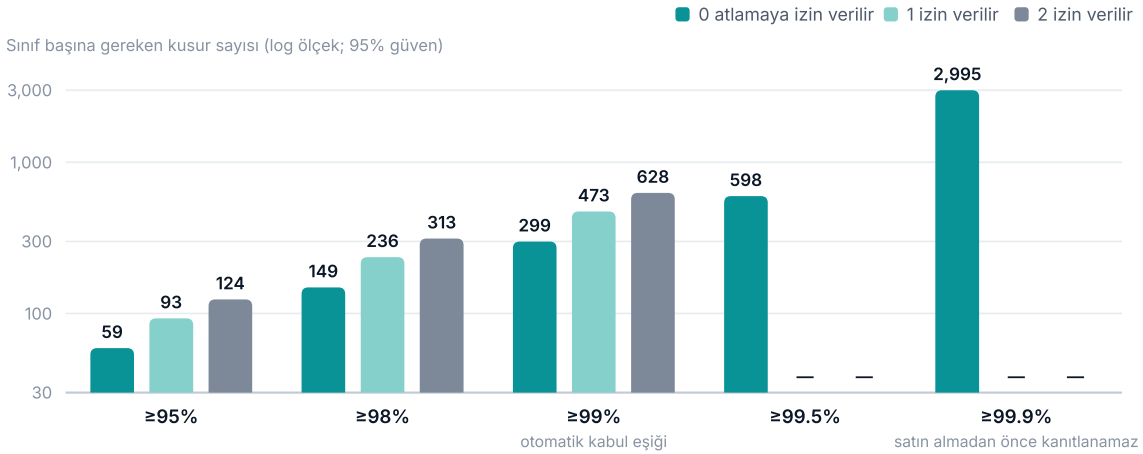


Öğretmen etiketlerini otomatik kabul etme eşiği

Sınıf başına: ≥299 kusur, sıfır atlama (95% güvende ≥99% geri çağırma), insan–insan uyumundan kötü olmayan anlaşma; aksi takdirde yalnızca ön etiketleme

Kollar: öğretmenler hâlâ insan gösterimleri, gerçek robot RL'i ve simülasyon Öncü modeller yalnızca çevrimdışı yardım eder: programlama ve geçişler

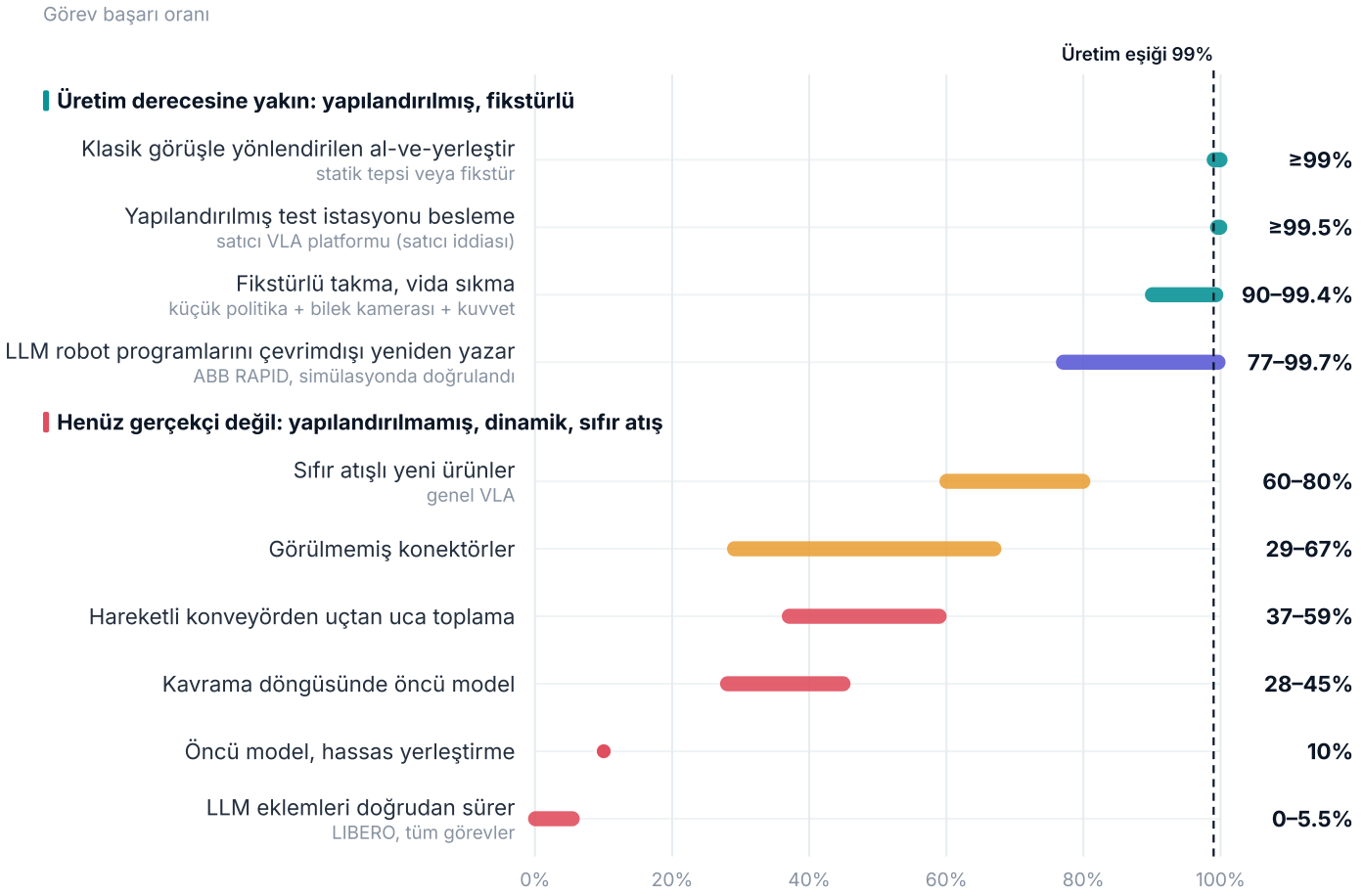


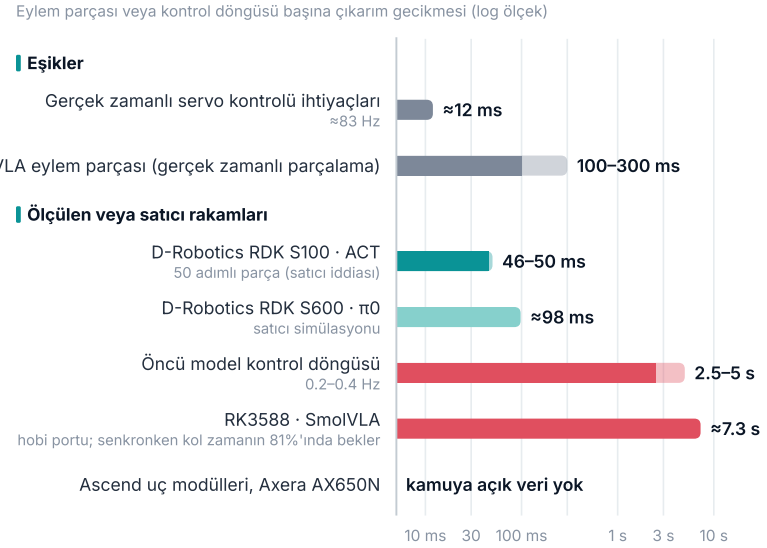


Kilit nokta Öğretmenin etiketlerini yalnızca ≥299 altın kusurda sıfır atlama olan bir sınıf için otomatik kabul edin (%95 güvenle %99 duyarlılık); kısa devreler, eksik parçalar ve polarite gibi kritik sınıflar daha fazlasına ihtiyaç duyar.

Kaynak: Yazarın sentezi (Bölüm 3); maliyetler ve örnek boyutları tahmindir. Tam binom güven aralıkları (95%).

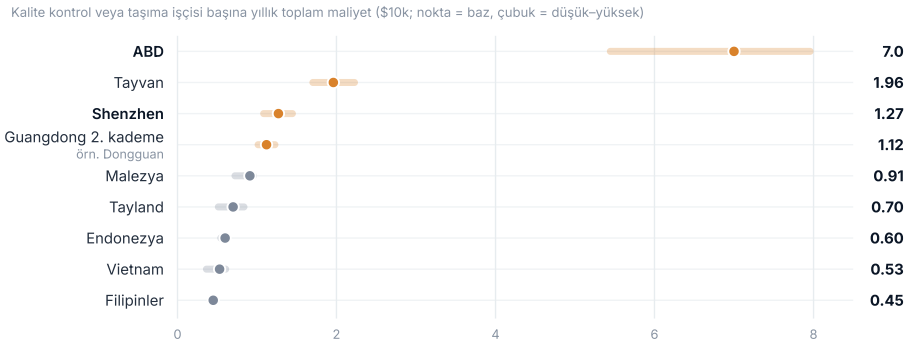
Robot öğrenciler: yalnızca istasyon yapılandırıldığında üretim derecesine yakın

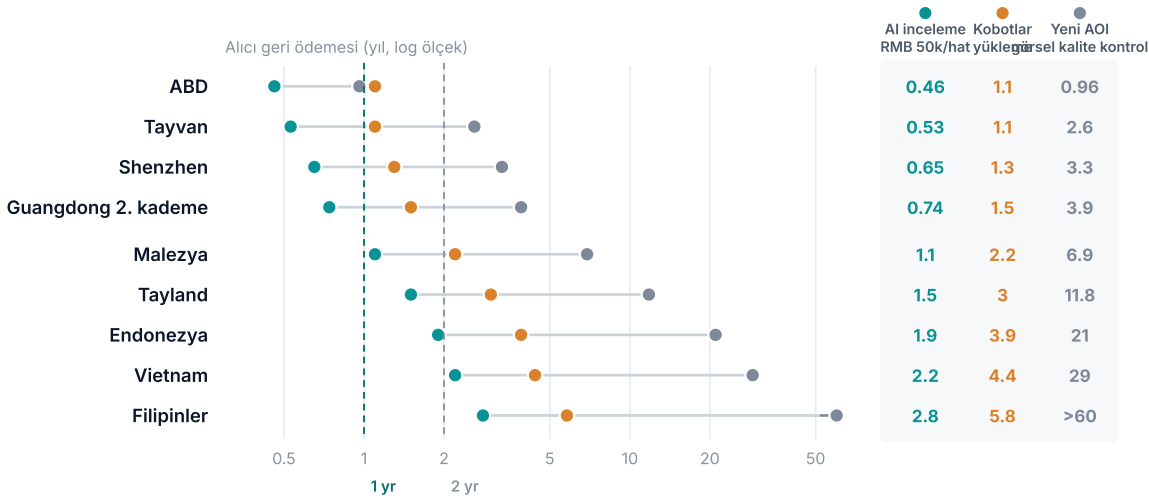




Kaynak: Bölüm 3'te atıf yapılan makaleler ve satıcı materyalleri; bazı rakamlar satıcı iddiasıdır. D-Robotics dokümantasyonu ve forum (satıcı rakamları); GitHub topluluk portları; Anthropic araştırması.

AI inceleme aylar içinde maliyetini çıkarır; makine besleme yaklaşık bir yılda



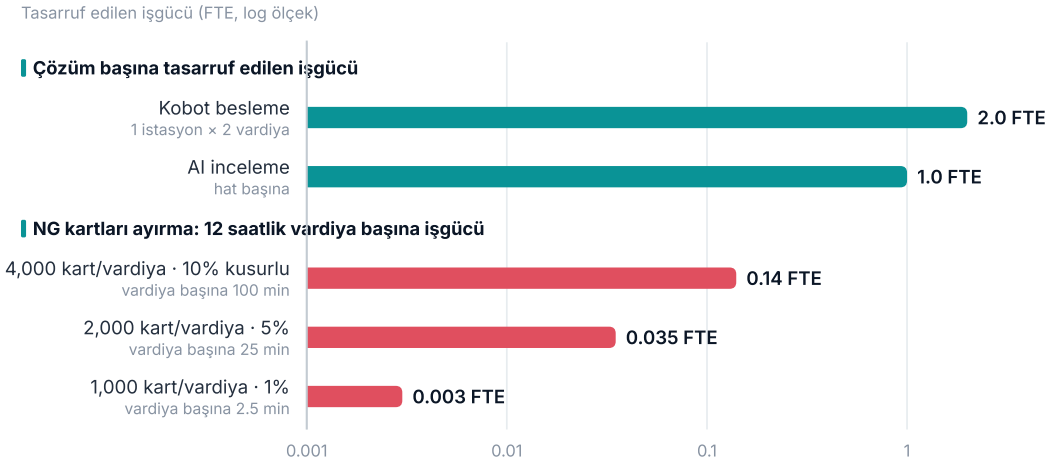


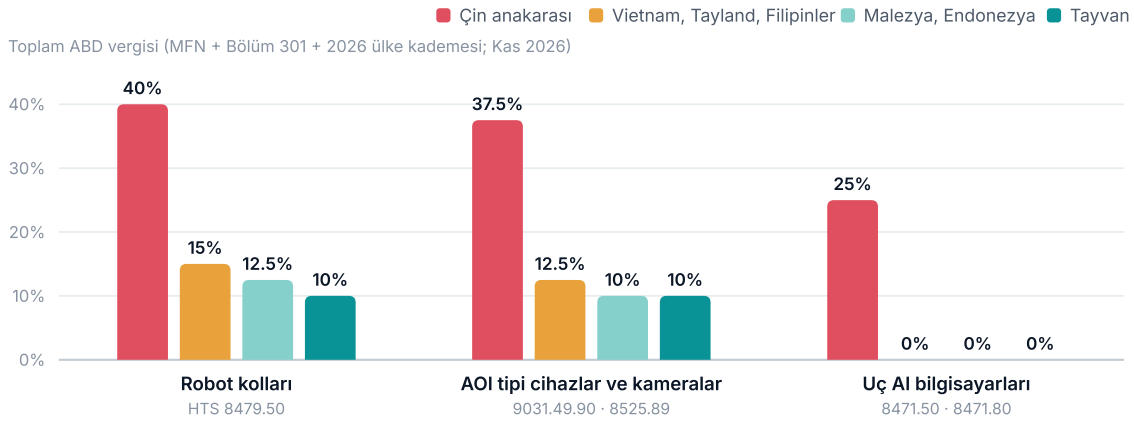
Sadece NG kartları ayırmak için bir robot kolu hiçbir yerde geri ödemez
İlk geçiş verimi 90%'ın üzerindeyken, ayırma vardiya başına yalnızca 0.003–0.14 FTE alır

Kilit nokta Hat başına 50.000 RMB ile AI inceleme ABD'de 0.46 yılda, Tayvan'da 0.53, Shenzhen'de 0.65 ve Vietnam'da 2.2 yılda maliyetini çıkarır; iki vardiyalı bir kobot besleme hücresi 1.1–1.5 yılda [estimates].

Kaynak: Shenzhen resmi ücret kılavuzu, Tayvan Çalışma Bakanlığı, JETRO, BLS; yazarın tahminleri. Yazarın modeli: hat başına RMB 50k AI inceleme kutusu; kobot besleme hücresi RMB 200k veya $140k, iki vardiya.

Bir ayıklama kolu maliyetini asla çıkarmaz; kolun üretildiği yer ABD vergisini değiştirir





Kilit nokta %90'ın üzerinde ilk geçiş veriminde, NG kartları ayıklamak vardiya başına bir kişinin 0.003–0.14'ünü alır, bu yüzden bir NG yönlendirici veya tampon işi görür; anakara yapımı bir kol ayrıca yaklaşık %40 birleşik ABD vergisi öder.

Kaynak: Yazarın tahminleri. USITC Uyumlaştırılmış Tarife Cetveli bölüm 99; Federal Register; USTR (Kasım 2026).

Gerçek ama küçük: 16.000 hizmet edilebilir hat, ≈320 M RMB tek seferlik, beş yıllık bir pencere

Çin SMT hatları

40,000 satır

35k–46k

× 80% × 50%

henüz AI yok: 75–85%
erişilebilir: 40–60%

Hizmet verilebilir

16,000 satır

10.5k–23.5k

× RMB 20k

RMB 10–30k tek seferlik

Tek seferlik pazar

RMB 320M

RMB 105–705M

÷ ≈5 yıl

yılda 8–12% küçülür

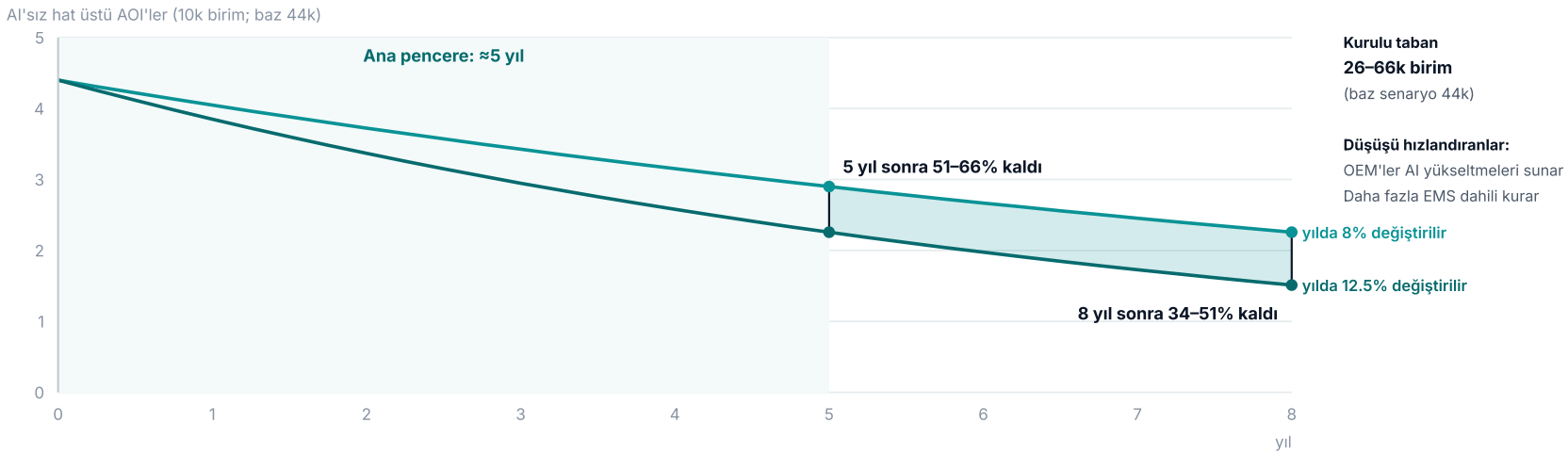
5 yıllık pencere

RMB 64M/yr

RMB 21–141M

3 yılda hizmet verilebilir hatların 2–5%'ini kazanan yeni bir oyuncu: ≈320–800 hat, yılda ≈RMB 2–5M

Abonelik olarak (hat başına yılda RMB 5k): RMB 1.6–4M tekrarlayan, IDC'nin Çin endüstriyel AI kalite kontrol tahmininin yalnızca 0.3–2.3%'ü



Kaynak: NVR (2020 baz); yazarın tahminleri. Yazarın tahminleri; kurulu taban ve paylar bağımsız olarak doğrulanmadı.

İnceleme kaması kuşatılmış durumda; marj ürünleştirilmiş donanımda yatıyor

Üst düzey EMS kendi çözümünü kurar

DBG (2025): işaretli parçaların ≥95%'ini kapsar
kaçak <20 PPM, insan incelemesi −85%
bu, 1. kademe EMS'ye satış için eşik

OEM'ler tarafından AOI'ye gömülü AI

Jutze AI 3D AOI üretimde, "muayenede insan incelemesini kaldırır"
ViTrox V510Ai; Sinic-Tek, Tencent ile birlikte geliştiriyor
Yeni makineler AI ile gelir; eskiler yükseltme gerektirir

Üçüncü taraf AI incelemesi

mevcut AOI'ye bağlanan kutu + yazılım

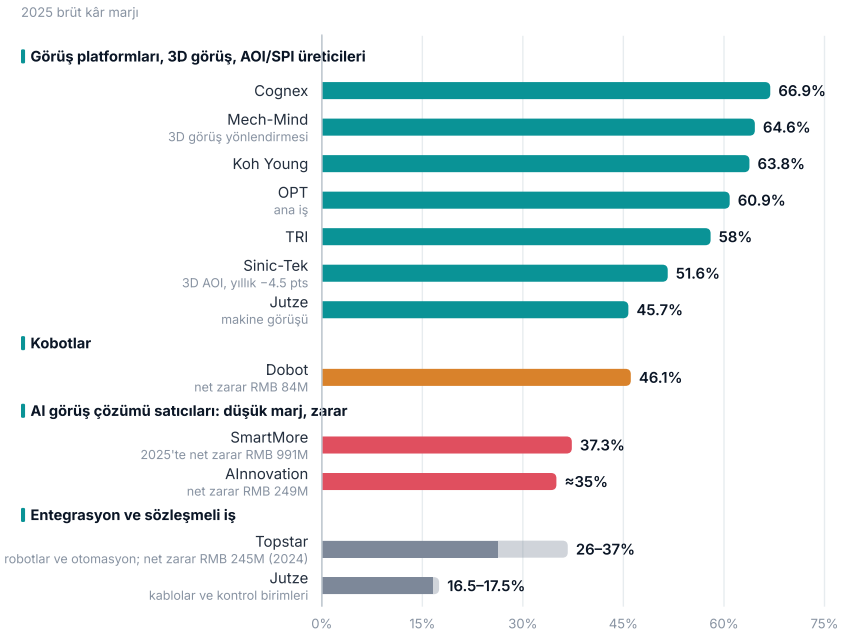
Platform satıcıları

Hikvision Guanlan ve SmartMore IndustryGPT satışta
önde gelen AI satıcısı: 2025 geliri RMB 1.086B
net zarar RMB 991M: fiyat savaşı

Üçüncü taraflara kalan

Eski veya karışık markalı AOI'li ve OEM AI yükseltmesi olmayan orta ölçekli EMS (≈10–40 hat)

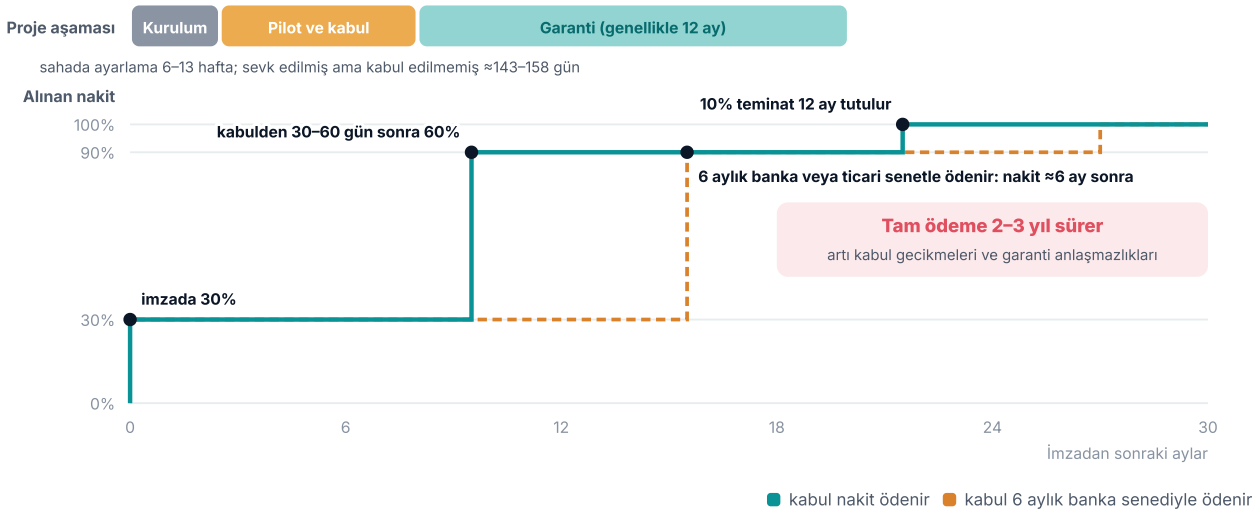
AOI'nin zayıf kapsadığı nişler: THT ve elle lehimleme, konformal kaplama, kablolar/konektörler/FPC, son görünüm ve vidalar

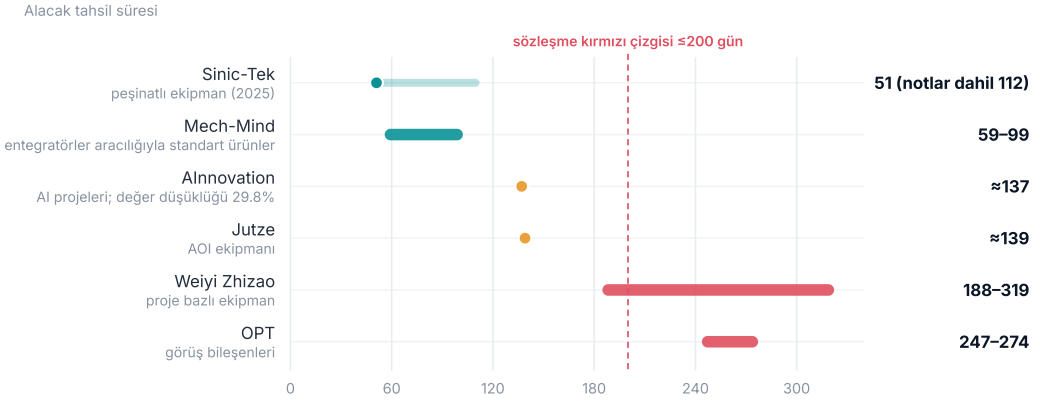


Kanıt Önde gelen AI görüş satıcısının 2025 geliri 1.086 milyar RMB ve net zararı 991 milyon RMB oldu; en yakın listelenmiş muadilin 3C geliri Ocak–Mayıs 2026'da yıllık bazda %79.9 düştü.

Kaynak: Jutze, Sinic-Tek ve DBG yıllık raporları; Hikvision ve SmartMore kamu materyalleri; yazar tarafından derlendi. 2025 yıllık raporları veya izahnameler.

Alıcılar 30/60/10 öder; tam ödeme iki ila üç yıl sürer





Kilit nokta %30'u siparişle gelir, %60'ı yaklaşık dört ila dokuz ay sonra ve son %10'u yaklaşık 16–21 ay sonra; büyük bir EMS'de ilk pilottan tam ödemeye kadar iki ila üç yıl sürebilir [estimate].

Kaynak: Sinic-Tek soruşturma yanıtı, Mech-Mind, GKG, JT ve diğer dosyalar; olağan koşullar için şema, zamanlama tahmini. Şirket dosyaları; alacaklar (sözleşme varlıkları dahil) ÷ gelir × 365.

Çevrimdışı planlayın, küçük politikalarla hareket edin, hareket ve güvenliği deterministik tutun

Katman	Ne yaptığı ve kanıtın ne kadar ileri gittiği	Zaman ölçeği · kim sahibi
Planlama L4	**Öncü modeller (çevrimdışı)** robot programlarını çevrimdışı yaz veya değiştir, geçişler, arızaları açıkla ABB RAPID programlarını 77–99.7% oranında yeniden yazar, simülasyondan sonra devreye alınır Kontrol döngüsü yalnızca 0.2–0.4 Hz: gerçek zamanın dışında kalır	saniyeden dakikaya Model devleri
Beceriler / politika L3	**ACT, difüzyon politikaları, küçük VLA'lar** Fikstürlü, yapılandırılmış istasyonlar 90–99.4% Uç çipleri: Jetson Thor, D-Robotics RDK, Ascend, Rockchip	eylem parçaları 100–300 ms Çip satıcıları · robot üreticileri
Hareket kontrolü L2	**Robot kontrolörü** yörüngeler, servo, kuvvet kontrolü, çarpışma kontrolleri deterministik kod; öğrenilmiş politikalar yalnızca hedef belirler	milisaniye (gerçek zaman >83 Hz gerektirir) Robot üreticileri
Güvenlik L1	**Güvenlik PLC'si, tarayıcılar, kuvvet ve hız sınırları** ISO 10218-1/-2:2025 ve yerel kurallara göre sertifikalı Güvenlik fonksiyonlarında ML yok: AB onaylı kuruluş incelemesi 20 Oca 2027'den itibaren	sert gerçek zaman Sertifikalı robot + entegratör

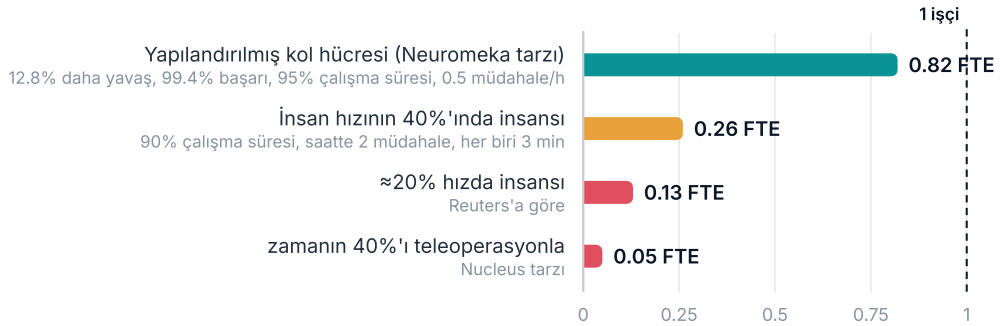
Küçük firmalar entegrasyon ve algılama donanımında kazanır: öğrenilmiş algıyı ve küçük politikaları sertifikalı robot hücrelerine, her seferinde bir istasyona yerleştirin

	Başarı oranı	Takt	Müdahaleler / teleç	Çalışma süresi / arızalar	Seri üretim
Figure 02 @ BMW	yalnızca hedef >99%/vard	yalnızca hedef 84 s	yalnızca hedef 0/vardiya	yok	1,250 h
Agility Digit @ GXO	yok	yok	yok	yok	100,000 kutu
Apptronik Apollo @ Mercedes	yok	yok	yok	yok	yok
Agile ONE @ Audi	yok	yok	yok	yok	yok
Nucleus (adı belirtilmeyen tesis)	yok	yok	≈40% teleoperasyon*	yok	≈2 h video
AgiBot G2 @ Longcheer	99.99%	adım başına 18–20 s	yok	bir arıza, 2 min	64+ h
Neuromeka hibrit hücre	322/324	12.8% daha yavaş	yok	yok	324 döngü
π0.6 @ müşteri sahası	—	—	96.4% otonom	yok	1 vardiya

* yöntem açıklanmadı

Açıklanan (çoğunlukla satıcı iddiaları) · yalnızca hedefler · yok

Robot başına vardiyada net ikame edilen işgücü



Kaynak: yazarın sentezi (Bölümler 3, 6) ve tahminler; ISO 10218:2025; AB Makine Yönetmeliği; BMW, Figure, Agility, Mercedes-Benz ve diğerlerinden kamuya açık materyal.

Dar kapsamda inşa edin, tesisin kendi görüntüleriyle kanıtlayın, sonra ölçeklendirin

İnşa et	Eski veya karışık markalı AOI'lere sahip orta ölçekli EMS için AOI görüntüleri üzerinde AI inceleme ve kusur sınıflandırma; AOI'nin zayıf kapsadığı denetim; her parçanın elle taşındığı kobot hücreleri
İnşa etme	Genel bir AI-artı-kol platformu; birincil denetçi olarak bir LLM; SMT hattında ayıklama kolu; insansılar ve hizmet olarak robotlar; kontrol döngülerinde veya güvenlik işlevlerinde frontier modeller

Pilot

1. **Hafta 0–2:** veri anlaşması, kusur sınıfları, temel durum
2. **Hafta 1–4:** altın set, kör etiketlenmiş ve hükme bağlanmış
3. **Hafta 2–4+:** gölge modu, sınıf bazında karşılaştırılmış
4. **Hafta 4–8:** yalnızca geçen sınıflarda yardımlı çalışma
5. **Ardından:** yazılı kabul, hat hat ölçekleme, her değişiklikte yeniden doğrulama

Güvenlik Güvenlik işlevlerinin içinde makine öğrenimi olmaz: AB, 20 Ocak 2027'den itibaren onaylanmış kuruluş değerlendirmesi gerektirir ve AI sertifikasyon yolları 2027–2029'dan önce netleşmez.

Kaynak: raporun 6–7. Bölümleri ve yönetici özeti; ISO, IEC, UL, EUR-Lex, SAC ve ulusal düzenleme veritabanları.

YAZAR HAKKINDA

Tan Shuai

Teknolog ve kurucu, çipler, donanım ve sistem yazılımı alanlarında yirmi yılı aşkın deneyim ve 20 tescil edilmiş patent ile. Çalışmaları onu Silikon Vadisi, New York, Chicago, Tayvan, Büyük Körfez Bölgesi (Shenzhen ve Hong Kong), Vietnam ve Malezya'dan geçirdi; ileri üretim ve tedarik zincirlerine uzun süreli bir odakla. Bugün bir AI araştırmacısı ve geliştiricisi olarak çalışıyor ve AI'nın fabrika zemininde nasıl kullanıldığına yoğunlaşıyor.

Tam rapor (tüm şekiller, tablolar ve kaynaklar) ve makale tanshuai.com adresindedir. Üretimde AI üzerinde çalışan kişilerle görüşmelerden memnuniyet duyar: i@tanshuai.com

