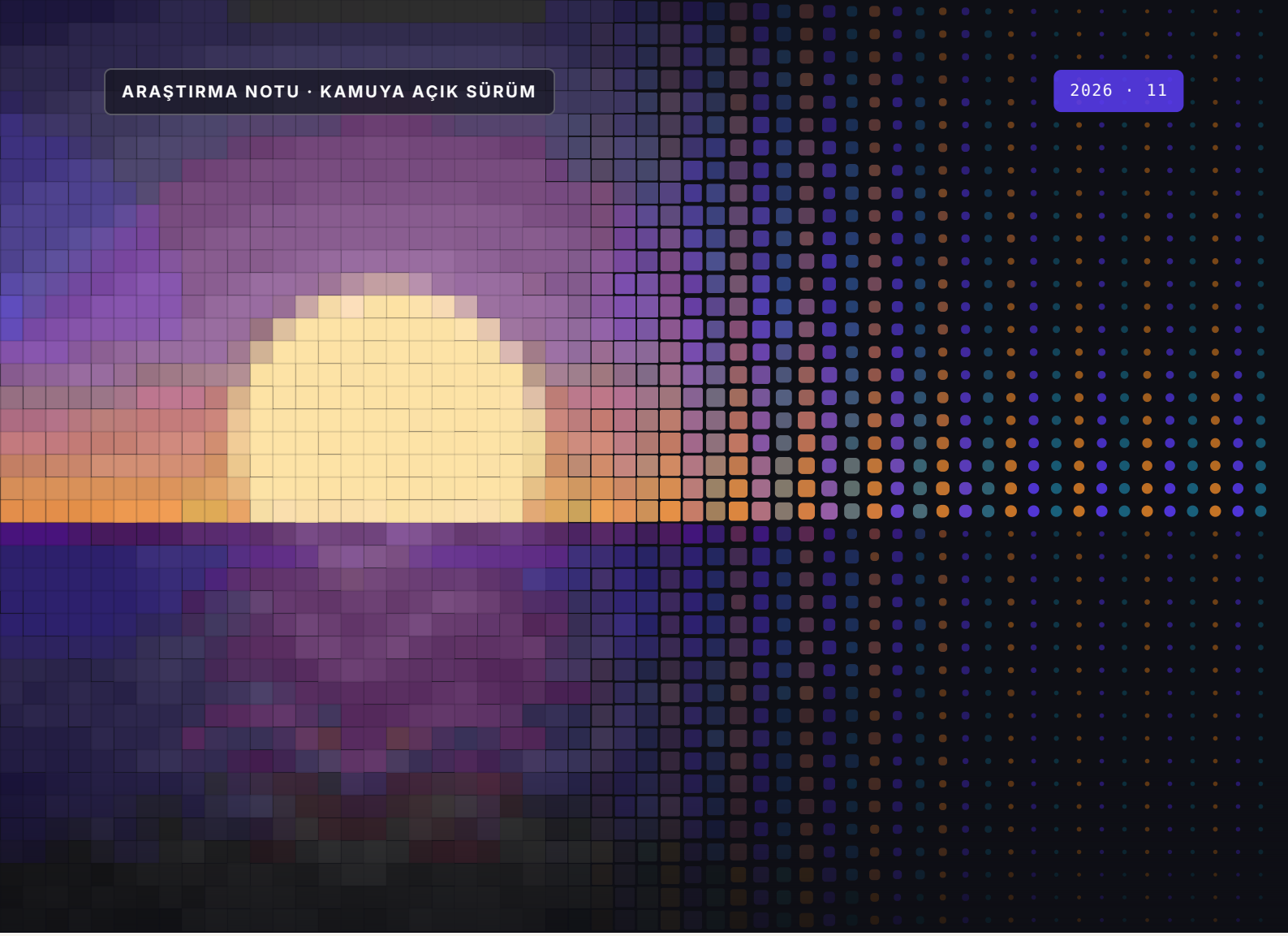


ARAŞTIRMA NOTU · KAMUYA AÇIK SÜRÜM

2026 · 11

ÖĞRENİLMİŞ SIKIŞTIRMA · OYNATMA × ÇİP

2026'da Nöral Kodlama

Kodeğin yerine değil, çevresinde kullanılıyor

Oynatma · Fotoğraf · Görüşmeler · Üretken yapay zeka · Oyunlar · Çip

SONUÇ

Sinir ağları, dünyadaki videoyu taşıyan kodeklerin iki ucunda da zaten çalışıyor. Uçtan uca nöral kodekler yalnızca kapalı döngülerde kullanılıyor; ana akım ekranlar ise H.267'yi bekliyor.

Tan Shuai

Teknolog ve kurucu · Yapay zeka araştırmacısı ve geliştiricisi

tanshuai.com · i@tanshuai.com

Veriler 12 Kasım 2026 itibarıyla
Tutarlar ABD doları cinsinden

İÇİNDEKİLER

İçindekiler

◆ **Yönetici özeti**
Zaten ana akımda, ama kodeğin çevresinde — 04

01 **Kapsam ve yöntem**
Burada "nöral kodlama" ne anlama geliyor ve konuya nasıl baktım — 07

02 **Oynatma ve video akışı**
Oynatma ve video akışı: iki uçta nöral, ortada standart — 09

03 **Fotoğraf ve görüntüler**
Fotoğraf ve görüntüler: kameranın içinde nöral, web'de klasik — 12

04 **Görüşmeler ve toplantılar**
Görüşmeler ve toplantılar: uçtan uca nöral kodeklerin gerçekten kullanıldığı yer — 13

05 **Üretken yapay zeka**
Üretken yapay zeka: kimsenin kodek demediği en büyük kullanım — 15

06 **Oyunlar ve grafik**
Oyunlar ve grafik: nöral yeniden oluşturma ana akımda, nöral varlıklar yeni başlıyor — 16

07 **Özel amaçlı bağlantılar**
Özel amaçlı bağlantılar: uydular, dronlar ve robotlar — 17

08 **Çip**
Çip açısından: enerji, hesaplama, bellek ve kesinlik — 18

09 **Standartlar ve patentler**
Standartlar ve patentler: nöral araçlar nerede lisanslanabilir hale geliyor — 22

10 **Parayı kim kazanıyor**
Parayı kim kazanıyor ve bir şirket nerede hamle yapabilir — 24

11 **İddialar ve kanıtlar**
Duyacağınız iddialar ve kanıtların söyledikleri — 26

12 **Yol işaretleri**
2027'den 2030'a izlenecekler — 27

13 **Açık sorular** — 28

◆ **Yazar hakkında**
Tan Shuai — 29

◆ **Kaynaklar** — 30

ŞEKİLLER

Şekiller

ŞEKİL 01 2026'da nöral kodlama nerede kullanılıyor 06

ŞEKİL 02 Sinir ağının kodeğe girdiği üç yol 08

ŞEKİL 03 Tamamlanmış bir standarttan ana akım ekranlara geçiş on yılın büyük bölümünü alıyor 10

ŞEKİL 04 Görüşmelerde nöral bir kodek donanımsal HEVC'yi %65–76 farkla geçiyor 14

ŞEKİL 05 Yığını tek bir şirket kontrol ettiğinde nöral yeniden oluşturma hızla yayılıyor 16

ŞEKİL 06 Çözülen piksel başına enerji: sabit işlevli kod çözücüler bir büyüklük mertebesi önde 19

ŞEKİL 07 Nöral bir araç piksel başına on binlerce MAC gerektiriyor; bütün bir nöral kod çözücü ise yüz binlerce 20

ŞEKİL 08 Ürünlerdeki iş bölümü: bit akışı için sabit işlevli donanım, pikseller için nöral motor 21

ŞEKİL 09 2026'da nöral kodlamadan kim para kazanıyor 24

Metindeki etiketler

- **tahmin** yazarın, atıf yapılan verilerden yaptığı hesap veya çıkarım
- **üretici beyanı** ürünü satan şirketin yayımladığı, bağımsız olarak doğrulanmamış veri
- **analiz** yazarın kanıtlara ilişkin yorumu

Bu metin İngilizce sürümün çevirisidir; iki metin arasında fark olduğunda İngilizce sürüm esas alınır.

Veriler 12 Kasım 2026 itibarıyla · Tutarlar ABD doları cinsinden

YÖNETİCİ ÖZETİ

Zaten ana akımda, ama kodeğin çevresinde

SONUÇ

Nöral kodlama 2026'da zaten ana akımda, ama standart kodeklerin yerine değil, onların çevresinde çalışıyor.

≈%75
mobil veri trafiğinde videonun payı, 2025 sonu (Ericsson)

1,26 milyar
akıllı telefon 2025'te sevk edildi; her biri videoyu sabit işlevli donanımda çözüyor

≈12×
yayımlanmış tek nöral kod çözücü çip tasarımının piksel başına enerjisi, DRAM dahil ölçülmüş bir HEVC kod çözücü çipine göre

≈22 TOPS
DCVC-RT sınıfı bir nöral kod çözücünün 1080p30'da gerektirdiği sürekli işlem gücü tahmin

%75,5
MLVC'nin görüşmelerde 360p'de donanımsal HEVC'ye göre bit hızı tasarrufu, Microsoft'un kendi test kümesinde üretici beyanı

2029 sonu
H.267 sürüm 1: nöral araçları her ekrana taşıması muhtemel ilk standart

Nerede kullanılıyor

Sinir ağları artık dünyadaki videonun neredeyse tamamını taşıyan kodeklerin iki ucunda çalışıyor. Girişte görüntüyü biçimlendiriyorlar: telefon kameralarındaki yapay zeka görüntü sinyal işlemcileri ve Netflix'in kodlama hattındaki nöral çözünürlük düşürücü. Çıkışta onu onarıyorlar: TV'lerde YouTube'un Super Resolution özelliği, Meta'daki süper çözünürlük ve yüzlerce sinir ağıyla tanıtılan TV işlemcileri. Aradaki bit akışı hâlâ AV1, HEVC, AVC veya VVC ve sabit işlevli donanımda çözülüyor. Hiçbir akış hizmeti TV'lere veya telefonlara nöral bir video formatı göndermiyor; bugün bir cihazda nöral bir video kod çözücü çalışıyorsa, tek bir şirketin kendi uygulamasının içinde çalışıyor.

Kapalı döngüler

Hem kodlayıcının hem kod çözücünün öğrenilmiş olduğu uçtan uca nöral kodekler yalnızca kapalı döngülerde kullanılıyor; yani iki ucu tek bir şirketin kontrol ettiği ve standart bir kodeğe geri dönülebilen yerlerde. Microsoft 2021'den beri tüm iki kişilik Teams ve Skype görüşmelerinde yapay zeka tabanlı bir ses kodeği çalıştırıyor; Temmuz 2026'da da şu anda eşler arası Teams görüşmelerinde devreye alınan nöral video kodeği MLVC'yi açık kaynak yaptı: MLVC, 360p'de aynı kalite puanı için donanımsal HEVC'den yaklaşık %75 daha az bit hızına ihtiyaç duyuyor. Her konuşma ve video üretim modeli, 12,5 Hz'lik konuşma tokenizer'larından 1:192 sıkıştırma oranlı video VAE'lerine kadar, öğrenilmiş bir kodek üzerinde çalışıyor. Nöral doku sıkıştırma bir AAA oyunla piyasaya çıktı. Bunlar gerçek kullanımlar ve tek bir ortak koşulları var: akışı başka hiç kimsenin çözmesi gerekmiyor.

Zamanlama

Nöral bit akışlarının kitlesel oynatımı bir standardı ve bir çip döngüsünü bekliyor. Nöral araçları taşıması muhtemel ilk standart, yani VVC'nin H.267 diyeceğim halefi, teklif çağrısını

Temmuz 2026'da yayımladı, yanıtları Ocak 2027'de değerlendiriyor ve ilk sürümü 2029 sonunda hedefliyor. AV1'in tamamlanmış spesifikasyondan Netflix izlemesinin %30'una ulaşması neredeyse sekiz yıl sürdü. Bu örüntüye göre ilk H.267 çipleri 2031 civarında gelir, ana akım kullanım da 2030'ların ortasında başlar tahmin. Bu arada ekranlara ulaşacak bir sonraki kodek, Mayıs 2026'da tamamlanan ve içinde nöral kod çözücü bulunmayan AV2; üç IP sağlayıcısı da üç hafta içinde AV2 kod çözücü müşterilerini duyurdu.

Çip

Nedeni çipte. Yayımlanmış tek nöral video kod çözücü çip tasarımı piksel başına 14,6 nJ gerektiriyor; bu, ölçülmüş bir HEVC kod çözücü çipinin DRAM dahil değerinin yaklaşık 12 katı, yalnızca çekirdeğinin ise yaklaşık 47 katı. Microsoft'un gerçek zamanlı araştırma kodeği DCVC-RT, kendi modül bazlı tablosundan yaptığım hesaba göre, çözülen piksel başına yaklaşık 175 bin çarp-topla işlemi, yani 1080p30 için kabaca 22 TOPS sürekli işlem gücü gerektiriyor tahmin: bir yapay zeka bilgisayarını tanımlayan 40 TOPS'un yaklaşık yarısı, tek bir video akışına harcanıyor. Nöral bir kod çözücünün ayrıca her cihazda bit düzeyinde aynı sonuçları üretmesi gerekiyor, aksi halde entropi kod çözme çöküyor. MLVC'nin NPU'lar arasında birebir aynı çözülebilmek için sıkıştırmadan ödün vermesinin ve 4K'da değil 540p'de çalışmasının nedeni bu.

Ticari boyut

Ticari açıdan para, bağımsız nöral kodekleri değil, standartları ve platformları izliyor. Platformlar nöral ön ve son işlemeden gelen tasarrufu kendinde tutuyor. IP sağlayıcıları her yeni standart için sabit işlevli kod çözücüleri, ayrıca görüntüleme için NPU'ları lisanslıyor. Patent havuzları cihaz başına tahsilat yapıyor: VVC için ABD ve diğer Bölge 1 pazarlarında telefon başına 0,50 dolar, 4K TV başına 1,00–1,50 dolar. En bilinen üç nöral kodek girişimini, WaveOne, iSIZE ve Deep Render'ı, Apple, Sony ve InterDigital satın aldı. Açık fırsatlar nöral ön ve son işlemede, kapalı döngü ürünlerde, sabit işlevli bir kodeği NPU ile birleştiren çiplerde ve bunların arasındaki değerlendirme ve standart çalışmalarında.

Soru	Değerlendirme	Temel rakamlar (kaynaklar bölümlerde)
① **Nöral kodlama bugün nerede büyük ölçekte kullanılıyor?**	Kodeğin çevresinde: kamera ISP'leri, kodlama tarafında çözünürlük düşürme, oynatmada süper çözünürlük. Uçtan uca yalnızca kapalı döngülerde: görüşmeler, oyun varlıkları, üretken yapay zeka tokenizer'ları	Mobil verinin ≈%75'i video; 2025'te sevk edilen 1,26 milyar telefon ve ≈200 milyon TV'nin hepsi videoyu sabit işlevli donanımda çözüyor; DLSS 4, 250+ oyun ve uygulamada
② **Nöral kodekler oynatmada AV1, HEVC ve VVC'nin yerini alacak mı? Ne zaman?**	Bir standart ve bir cihaz döngüsünden önce değil. İlk gerçekçi taşıyıcı H.267 ve muhtemelen klasik ve nöral araçları bir arada kullanacak	H.267 teklif çağrısı Temmuz 2026, değerlendirme Ocak 2027, sürüm 1 2029 sonu; ana akım 2030'ların ortası tahmin
③ **Çipte maliyeti ne?**	Bugünkü sabit işlevli kod çözmeye göre piksel başına bir büyüklük mertebesi daha fazla enerji; buna bellek trafiği ve bit düzeyinde aynılık şartı ekleniyor	Piksel başına 14,6 nJ (nöral), HEVC'de 1,19 (DRAM dahil); çözülen piksel başına ≈175 kMAC ≈ 1080p30'da 22 TOPS tahmin
④ **Standartlar ve patentler neye izin veriyor?**	Nöral son işleme filtreleri VVC akışlarında şimdiden bildirilebiliyor; JPEG AI bir ISO standardı; hangi nöral araçların lisanslanabilir hale geleceğine H.267 karar verecek	ECM (klasik) VVC'ye göre ≈%28; nöral döngü filtreleri 10–22+ kMAC/piksel ile %6–14; VVC ötesi çalışmalarda ByteDance'in 645 patent ailesi
⑤ **Parayı kim kazanıyor ve bir şirket nerede hamle yapabilir?**	Platformlar, IP sağlayıcıları, patent sahipleri. Salt nöral kodek girişimleri satın alındı. Hamle alanları: ön/son işleme, kapalı döngüler, kodek artı NPU çipleri, değerlendirme	VVC havuzu telefon başına 0,50 dolar; AV2 kod çözücü IP'si spesifikasyondan haftalar sonra lisanslandı; koşulları açıklanmayan üç satın alma

Soru	Değerlendirme	Temel rakamlar (kaynaklar bölümlerde)
⑥ **Hangi iddialara temkinle yaklaşılmalı?**	Eski kodeklere göre, düşük çözünürlükte, kod çözme maliyeti belirtilmeden ya da piyasaya çıkmış ürünler yerine demolardan aktarılan kazanımlar	MLVC: H.264'e göre %88 daha az ama donanımsal HEVC'ye göre %65–76 daha az; dokular: demoda %85 VRAM tasarrufu, piyasaya çıkan oyunda yaklaşık %30

ŞEKİL 01

2026'da nöral kodlama nerede kullanılıyor

Sinir ağları ana akım kodeklerin iki ucunda da zaten çalışıyor. Uçtan uca nöral kodekler yalnızca kodlayıcıyı ve kod çözücüyü tek bir şirketin kontrol ettiği yerlerde kullanılıyor.

	Standart bir kodeğin çevresinde ön işleme, iyileştirme, çözünürlük yükseltme	**Uçtan uca nöral kodek** öğrenilmiş kodlayıcı ve kod çözücü	**Bir standardın içinde** standart bir bit akışında veya API'de nöral araçlar
01 **Oynatma ve video akışı**	● BÜYÜK ÖLÇEKTE Netflix'te çözünürlük düşürme; YouTube ve Meta'da süper çözünürlük; TV'lerde yapay zeka ile yükseltme	● KULLANILMIYOR Hiçbir akış hizmeti nöral video formatı göndermiyor; TV'ler ve telefonlar standart kodekleri donanımda çözüyor	● STANDARTLAŞIYOR H.267 sürüm 1, 2029 sonunda bekleniyor; nöral araçlar adaylar arasında
02 **Fotoğraf ve görüntüleme**	● BÜYÜK ÖLÇEKTE Amiral gemisi telefonlarda yapay zeka ISP'leri; CES 2026'da IP olarak gösterilen tam nöral ISP	● DEMOLAR, PİLOTLAR JPEG AI bir ISO standardı: telefon demoları var, ürün yok	● KULLANILMIYOR Yaygınlaşan format klasik: JPEG XL, Chrome 155'te varsayılan olarak açık
03 **Görüşmeler ve toplantılar**	● BÜYÜK ÖLÇEKTE Alıcı tarafında süper çözünürlük ve nöral gürültü bastırma	● BÜYÜK ÖLÇEKTE 2021'den beri iki kişilik Teams görüşmelerinde nöral ses; MLVC video kodeği Teams'e yayılıyor	● SINIRLI KULLANIMDA Opus 1.5 isteğe bağlı, geriye uyumlu ML araçları ekliyor
04 **Üretken yapay zeka**	—	● BÜYÜK ÖLÇEKTE Her video ve ses modeli öğrenilmiş bir tokenizer kullanıyor, ör. 1:192'lik bir video VAE'si	—
05 **Oyunlar ve grafik**	● BÜYÜK ÖLÇEKTE Nöral çözünürlük yükseltme ve kare üretimi: tek başına DLSS 4 bile 250+ oyun ve uygulamada	● SINIRLI KULLANIMDA Nöral dokular bir AAA oyunla piyasaya çıktı; NVIDIA'nın SDK'sı betada	● STANDARTLAŞIYOR DirectX, shader'lar için matris işlemleri ekliyor (önizleme)
06 **Özel amaçlı bağlantılar: uydu, robot**	● DEMOLAR, PİLOTLAR Düşük bit hızlı akışların sunucu tarafında onarılması	● DEMOLAR, PİLOTLAR Araştırma ve pilot aşamasında kayba dayanıklı nöral kodekler	—

Kaynak: Raporda atıf yapılan şirket, standart ve geliştirici belgeleri; durum 12 Kasım 2026 itibarıyla. Satırlar, her alanın ulaştığı insan sayısına göre sıralanmıştır.

KAPSAM VE YÖNTEM

01 Burada “nöral kodlama” ne anlama geliyor ve konuya nasıl baktım

Sinir ağının kodeğe girdiği üç yol

“Nöral kodlama” üç farklı şeyi kapsıyor ve bu konudaki tartışmaların çoğu bunların birbirine karıştırılmasından doğuyor.

01 **Kodeğin çevresinde.** Bir ağ pikselleri kodlamadan önce veya kod çözmeden sonra işler ve bit akışı standart kalır. Örnekler: bir kameradaki yapay zeka görüntü sinyal işlemcisi (ISP), Netflix'in kodlayıcısından önce çalışan nöral çözünürlük düşürücüsü, bir TV'deki süper çözünürlük. Akışı her cihaz oynatabilir; ağ yalnızca giren veya çıkan içeriği değiştirir.

02 **Bir standardın içinde.** Ağ, standart bir kodekte bir araca dönüşür; örneğin her kod çözücünün çalıştırması gereken nöral bir döngü içi filtre veya çerçeve içi öngörücü. Bu yüzden tam olarak, genellikle tamsayı aritmetiğiyle tanımlanması gerekir. Daha hafif bir biçimi, bit akışının meta veride tanımladığı ve kod çözücülerin uygulamayı seçebileceği nöral bir son işleme filtresidir.

03 **Kodeğin yerine.** Hem kodlayıcı hem kod çözücü uçtan uca öğrenilmiştir. Bit akışı, yalnızca eşleşen ağın çözebileceği nicemlenmiş gizil değerlerden oluşur. Örnekler: Microsoft'un Teams'teki MLVC'si, ses modellerindeki konuşma tokenizer'ları, bir oyundaki nöral dokular.

ŞEKİL 02 **Sinir ağının kodeğe girdiği üç yol**

2026'da ürünlerde yer alanların çoğu standart bir kodeğin çevresinde çalışıyor. Standartların içindeki nöral araçlar tanımlanma aşamasında. Uçtan uca nöral kodekler kodeğin yerini yalnızca iki ucu tek bir şirketin kontrol ettiği yerlerde alıyor.



Kaynak: Yazarın bu rapordaki kaynaklardan yaptığı sentez; durum 12 Kasım 2026 itibarıyla.

Birinci tür kimseden izin istemez. İkincisi bir standart ister. Üçüncüsü iki ucun da kontrolünü ister. İnsanlara ulaşma sıraları da budur ve aşağıdakilerin çoğunu bu açıklıyor.

Araştırma gündemine göre değil, gerçek dünyaya göre sıralama

Araştırma makaleleri çoğunlukla üçüncü türü inceliyor, çünkü sıkıştırma rekorları orada. Bu rapor alanları ulaştıkları insan sayısına göre sıralıyor, çünkü paranın ve mühendisliğin nereye gideceğini belirleyen bu: önce oynatma ve video akışı, ardından fotoğraf, görüşmeler, üretken yapay zeka, oyunlar ve en sonda özel amaçlı bağlantılar (uydu, dron, robot). Ericsson'un 2025 sonu verilerine göre video, tüm mobil veri trafiğinin yaklaşık %75'ini oluşturuyor. Sektör 2025'te yaklaşık 1,26 milyar akıllı telefon (IDC) ve kabaca 196–209 milyon TV (TrendForce ve Omdia tahminleri) sevk etti. Bunların her biri videoyu sabit işlevli donanımda çözüyor.

Nasıl çalıştım

Bu, bir çipi ya da bir ürün planını incelediğim şekilde yürütülmüş bir masa başı araştırması. Standart belgelerini ve toplantı raporlarını (JVET, MPEG, JPEG, AOMedia, IETF), şirketlerin mühendislik bloglarını ve sürüm notlarını, çip makalelerini, patent havuzlarının ücret tarifelerini, ihracat kontrolü metinlerini ve basını okudum. Her rakamın tarihi belirtilmiştir. Bir rakamı, örneğin bir makalenin tablolarından piksel başına hesaplamayı, kendim türettiğimde bunu belirtiyor ve tahmin olarak işaretliyorum. Birincil bir kaynakla doğrulayamadığım iddialar üretici beyanı olarak işaretlenmiştir. Tutarlar ABD doları cinsindendir. Durum 12 Kasım 2026 itibarıyladır.

Elimden geldiğince benzeri benzerle karşılaştırıyorum, karşılaştıramadığım yerde de bunu belirtiyorum. Sıkıştırma kazanımları dört şey belirtilmeden pek bir anlam taşımaz: referans (neye göre kazanç), ölçüt (PSNR, VMAF veya bir izleyici paneli), içerik ve çözünürlük, ve kod çözmenin maliyeti. Bu dördü belirtildiğinde nöral kodeklerle ilgili anlaşmazlıkların çoğu ortadan kalkıyor.

BÖLÜM 02

02

OYNATMA VE VİDEO AKIŞI

Oynatma ve video akışı: iki uçta nöral, ortada standart

İzleyicilere ulaşan hâlâ standart bir bit akışı

En büyük video hizmetleri bir kodek geçişini tamamladı ve bir sonrakine başlıyor; ikisinde de nöral kod çözücü yok. Netflix Aralık 2025'te, izlemesinin yaklaşık %30'unun AV1 ile yapıldığını ve bunun AVC'den sonra en çok kullandığı ikinci kodek olduğunu bildirdi. AV1, TV'lere ancak donanımsal kod çözücülerle birlikte ulaştı: Netflix AV1'i 2019'da cihaz sertifikasyonuna ekledi, 2021 sonlarından itibaren TV'lere akışını başlattı ve 2021 ile 2025 arasında sertifikasyona sunulan büyük ekranlı cihazların %88'inin onu desteklediğini, bunların neredeyse tamamının 2023'ten bu yana geldiğini söylüyor. YouTube, 19 Mart 2026 itibarıyla izlenme süresine göre ağırlıklandırıldığında kataloğunun %90'ından fazlasının AV1'de sunulduğunu açıkladı.

Alliance for Open Media'nın AV1'in halefi olarak geliştirdiği AV2, 28 Mayıs 2026'da sürüm 1.0.0'a ulaştı; AOMedia'nın nesnel ölçümlerine göre AV1'den yaklaşık %30 daha iyi sıkıştırma sunuyor. YouTube, web'de AV2 akışlarını "en erken 2027 başında" başlatmayı planlıyor. Çipler hemen ardından geldi: Chips&Media Mayıs'ta donanımsal bir AV2 kod çözücüyü tamamladı ve Haziran'da adı açıklanmayan Kuzey Amerikalı bir büyük teknoloji şirketine lisansladı; Allegro DVT, 16 Haziran'a kadar AV2 kod çözücü IP'sini üç müşteriye teslim etmişti; VeriSilicon ise 10 Haziran'a kadar AV2 destekli bir video IP'sini birkaç müşteriye sunmuştu. AV2 klasik bir kodek: kazanımları uçtan uca bir ağdan değil, daha iyi bölümleme, öngörü, dönüşümler ve döngü içi filtrelerden (bunlardan biri "veri güdümlü" bir yönlendirmeli ayrıntı filtresi) geliyor.

Güncel ITU/ISO standardı olan VVC, ilk yayın yuvasını Brezilya'da buldu: ülkenin DTV+ (TV 3.0) sistemi, Dünya Kupası'na denk gelecek şekilde Haziran 2026'da ticari işletime geçti. Temmuz 2026 itibarıyla Brezilya'da satılan hiçbir TV'de yerleşik DTV+ alıcısı yoktu; ilklerinin 2026 sonları ile 2027 başı arasında gelmesi bekleniyor.

Kodlayıcıda: Netflix'in nöral çözünürlük düşürücüsü

Oynatmada nöral kodlamanın en temiz örneği 2022'den beri çalışıyor ve izleyicinin cihazının yapması gereken hiçbir şeyi değiştirmiyor. Netflix her yapımı birkaç çözünürlükte kodluyor; 4K ana kopyadan 1080p, 720p ve 540p üreten çözünürlük düşürme adımı geleneksel olarak Lanczos gibi sabit bir filtre kullanıyordu. Netflix bunun yerine, cihazdaki standart bir çözünürlük yükselticiden sonra görülen kaliteyi iyileştirmek üzere eğitilmiş küçük bir sinir ağı koydu: bir ön işleme bloğu ve ardından bir yeniden boyutlandırma bloğu. Netflix bunu doğrudan yerine takılabilen bir çözüm olarak tanımlıyor: kodlama tarafında da istemci tarafında da başka hiçbir değişiklik gerekmiyor, dolayısıyla "Netflix akışını destekleyen milyonlarca cihaz otomatik olarak bundan yararlanıyor". Netflix'in tercih testlerinde izleyicilerin yaklaşık %77'si nöral çözünürlük düşürücünün çıktısını seçti üretici beyanı. Netflix ölçeğinde maliyeti kabul edilebilir tutmak için "yalnızca birkaç sinir ağı katmanı yeterli oldu".

Akılda tutulması gereken örüntü bu. Ağ, hesaplamanın ucuz olduğu ve zamanlanabildiği veri merkezinde her yapım için bir kez çalışıyor ve çıktısı sıradan bir AV1 veya HEVC akışı.

Ekranda: uygulamada ve TV'de süper çözünürlük

Diğer uçta ağlar, kodeğin ve kaynağın kaybettiklerini onarıyor. YouTube 29 Ekim 2025'te TV uygulaması için Super Resolution özelliğini duyurdu: 1080p'nin altında, 240p ile 720p arasında yüklenen videoların çözünürlüğü makine

öğrenmesiyle HD'ye yükseltiliyor; açıklanan hedef 4K. Çözünürlüğü yükseltilmiş sürümler etiketleniyor, izleyiciler orijinale geri dönebiliyor, içerik üreticileri de bu özelliği devre dışı bırakabiliyor. Meta Ekim 2025'te video süper çözünürlüğünü hem yükleme sırasında sunucularında, Intel ile ortaklık içinde standart x86 CPU'larda, hem de oynatma sırasında istemcide nasıl çalıştırdığını anlattı ve ikisinin birbirini tamamladığını gördü. TV üreticileri aynısını çipte yapıyor: Samsung'un amiral gemisi 8K işlemcisi NQ8 AI Gen3, çözünürlük yükseltme için 768 sinir ağıyla tanıtılıyor.

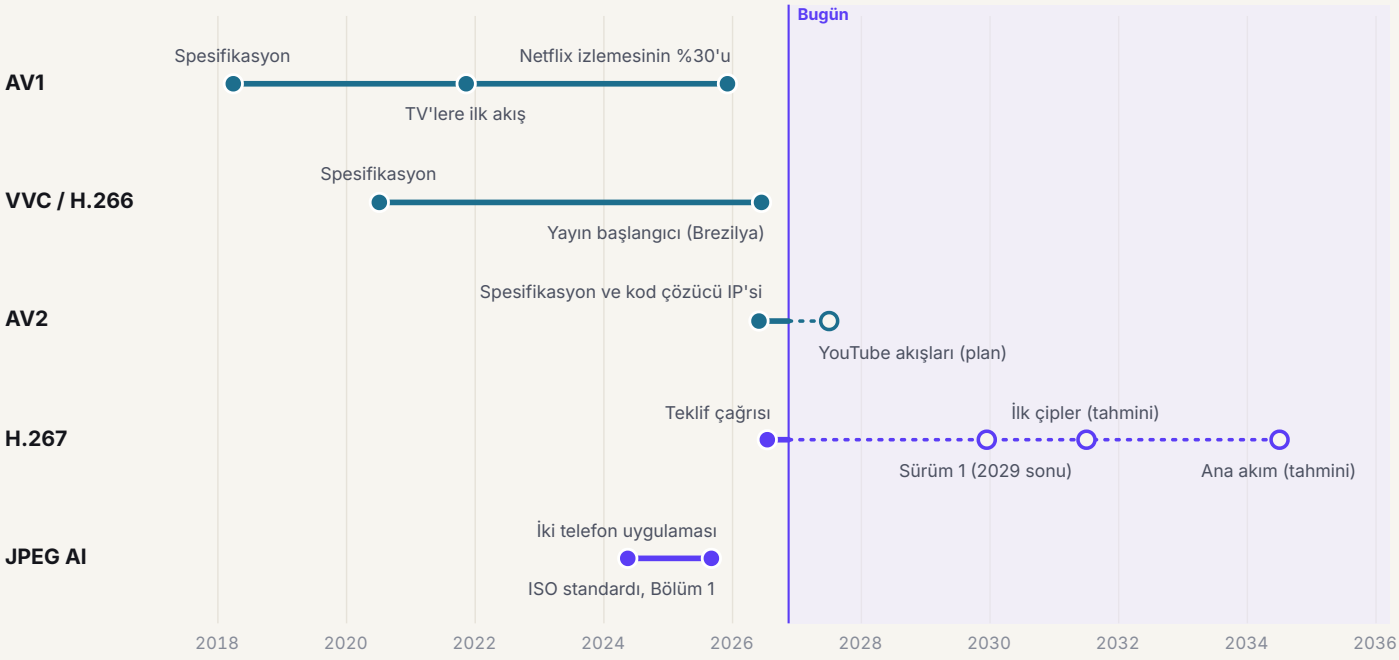
Ekonomi, ağın nerede çalıştığına göre değişiyor. Sunucu tarafında işleme, platforma dokunduğu her video için hesaplama maliyeti çıkarıyor. Cihaz tarafında işleme ise platforma hiçbir şeye mal olmuyor; alıcının zaten parasını ödediği bir NPU'yu kullanıyor. 2026'daki en büyük kazanımların ikisinden birden gelmesinin nedeni bu.

Neden hiçbir TV nöral bir bit akışı çözmüyor

Bir oynatma formatı onu oynatacak her cihazda çözülebilmelidir ve bu cihazlar yıllarca kullanılır. Bu da tamamlanmış bir standarttan ana akım ekranlara giden yolu klasik kodekler için bile yavaşlatıyor. AV1'in spesifikasyonu Mart 2018'de tamamlandı; dav1d yazılım kod çözücüsü birkaç ay içinde geldi; TV'ler 2021 sonlarından itibaren onu akış olarak almaya başladı; spesifikasyondan neredeyse sekiz yıl sonra, Aralık 2025'te Netflix izlemesinin yaklaşık %30'una ulaştı. VVC Temmuz 2020'de tamamlandı ve ilk yayın hizmetine Haziran 2026'da kavuştu.

ŞEKİL 03 **Tamamlanmış bir standarttan ana akım ekranlara geçiş on yılın büyük bölümünü alıyor**

Oynatma, cihazda donanımsal bir kod çözücü gerektirir. AV1'in tamamlanmış spesifikasyondan Netflix izlemesinin %30'una ulaşması neredeyse sekiz yıl sürdü; nöral araçlar taşıması muhtemel ilk standart 2029'un sonlarında bekleniyor.



Kaynak: Netflix Tech Blog (Aralık 2025); AOMedia; Allegro DVT; TV Technology; Brezilya'nın DTV+ sistemi üzerine Fraunhofer IIS; MPEG-155; JPEG komitesi; ISO. İçi boş işaretler hedefleri veya yazarın tahminlerini gösterir.

Nöral bir bit akışı, klasik kodeklerin uzun zaman önce çözdüğü iki sorunu ekliyor: piksel başına enerji ve bit düzeyinde aynı kod çözme. İkisi de 8. bölümde ele alınıyor. Birlikte düşünüldüğünde, bir standart ne inşa edileceğini tam olarak söylemeden hiçbir TV veya telefon üreticisinin her cihaza nöral bir video kod çözücü koymayacağı anlamına geliyorlar.

Bunu ne değiştirebilir: H.267

Nöral araçları her ekrana taşıyabilecek standart, ITU-T ve ISO/IEC'nin Joint Video Experts Team (JVET) bünyesinde ortaklaşa geliştirdiği VVC halefi. Adı kesinleşmedi; sektörün büyük kısmı gibi ben de ona H.267 diyeceğim.

JVET Ekim 2025'te bir kanıt çağrısına gelen yanıtları değerlendirdi: 16 şirket ve araştırma laboratuvarından beş yanıt, test edilen 20 kodek yapılandırması. Komite VVC'den daha iyi sıkıştırmaya dair kanıt buldu ve hem geliştirilmiş geleneksel teknolojiyi hem de sinir ağı teknolojisini "ilginç" olarak değerlendirdi. Nöral yaklaşımlar özellikle 8K HDR içerikte belirgin algısal kazanımlar, oyun içeriğinde ise daha küçük kazanımlar gösterdi. Yanıt verenlerden InterDigital, biri geleneksel Enhanced Compression Model (ECM) üzerine kurulu, diğeri VVC'nin üzerine yapay zeka araçları ekleyen iki tasarım sundu.

Resmi teklif çağrısı Temmuz 2026'daki Cenevre toplantısında yayımlandı. Ana başvuruların son tarihi Ekim 2026 sonuydu, ek bir paket Aralık ortasında bekleniyor ve yanıtlar Ocak 2027'de Brisbane'deki JVET toplantısında değerlendirilecek. JVET, 2027'nin ikinci yarısında ilk test modelini, 2029 sonuna kadar da standardın ilk sürümünü bekliyor ve bu çalışmayı "yeni bir standarda başlamak için muhtemelen bugüne kadar yapılmış en büyük çaba" olarak nitelendiriyor.

Klasik yol çıtayı yüksek tutuyor. Geleneksel sinyal işlemeyle kurulan ECM, rastgele erişim yapılandırmasında VVC'ye göre kabaca %28 tasarruf sağlıyor. JVET'in sinir ağı keşif çalışması, piksel başına 10 bin çarp-topla işlemiyle yaklaşık %6, 22 binle %8 ve yüksek karmaşıklıklı bir çalışma noktasında %14 tasarruf sağlayan döngü içi filtreler bildiriyor. Benim yorumum, H.267'nin büyük olasılıkla, kazanılan bitlerin kod çözücü maliyetine değdiği yerlerde birkaç nöral araçla desteklenen klasik bir çekirdek olacağı ve bunların kaç tane olacağını Ocak 2027 değerlendirmesinin göstereceği analiz.

Şimdiden bir köprü var. VVC ve HEVC akışları, kod çözücü tarafında uygulanacak nöral bir son işleme filtresini tanımlayan ek iyileştirme bilgisi (SEI) taşıyabiliyor; VVC'nin ve SEI standardının (VSEI) Ekim 2025'te tamamlanan yeni sürümleri bu mesajları genişletti. Bir akış, her kod çözücüyü çalıştırmaya zorlamadan kod çözmeden sonra hangi ağın çalıştırılacağını söyleyebiliyor.

Oynatma alanındaki şirketler için anlamı

Bugün kodeğin çevresinde işe yarayan ürünleri satışa sunun: hizmetler için kodlama tarafında ön işleme, TV ve set üstü kutu çipleri için son işleme blokları ve ayar. 2030'lardan önce üçüncü taraf cihazlarda çözülmesi gereken nöral bir bit akışı üzerine oynatma işi kurmayın. Çip üretiyorsanız, yakın vadeli gelir AV2 ve VVC kod çözücülerinden geliyor; nöral kısım bunların yanında iyileştirme için bir NPU yolu (8. bölüm).

BÖLÜM 03

FOTOĞRAF VE GÖRÜNTÜLER

03 Fotoğraf ve görüntüler: kameranın içinde nöral, web'de klasik

Kamera işlem hattı zaten nöral

Yeni bir amiral gemisi telefonla çekilen her fotoğraf, sıkıştırılmadan önce sinir ağlarından geçiyor. 2023'ten itibaren telefonlarda yer alan Qualcomm Snapdragon 8 Gen 2, fotoğraf ve video çekimi sırasında gerçek zamanlı anlamsal bölütleme yaparak yüzleri, saçları, gökyüzünü ve arka planları ayrı ayrı düzenleyen bir "Cognitive ISP" getirdi; bunu ön kamerada kullanan ilk telefon Samsung Galaxy S23 Ultra oldu. Ocak 2026'da Chips&Media ve Visionary.ai, CES'te ilk tam yapay zeka tabanlı ISP olarak nitelendirdikleri ürünü gösterdi: sabit işlevli bir ISP olmadan, tamamen bir NPU (Chips&Media'nın WAVE-N'i) üzerinde 16 bit kayan noktayla çalışan ve kablosuz olarak güncellenebilen uçtan uca bir görüntüleme işlem hattı. Visionary.ai'nin CEO'su, "Mevcut işlem hatları sabit işlevli bir ISP'ye nöral bloklar iliştiriyor. Biz geleneksel ISP'yi tamamen değiştiriyoruz," dedi. Ürün, fuarın ardından değerlendirme için üreticilere sunuldu.

Ardından sonuç, her cihazın açabildiği klasik formatlar olan JPEG veya HEIF olarak kaydediliyor. Örüntü oynatmadakiyle aynı: tek bir şirketin işlem hattının içinde nöral, sınırda standart.

JPEG AI: henüz ürünü olmayan, tamamlanmış bir nöral standart

JPEG AI, ISO/IEC ve ITU-T'nin ilk öğrenilmiş görüntü kodlama standardı (ISO/IEC 6048, ITU-T T.840). Çekirdek kodlama sistemini tanımlayan Bölüm 1, 2025'te yayımlandı. JPEG komitesi, piksel başına 7 ila 216 bin çarp-topla işlemi arasında değişen kod çözücü karmaşıklığında, VVC çerçeve içi kodlamaya göre %12,5 ile %27,9 arasında sıkıştırma kazanımları bildiriyor. Tasarımda birlikte eğitilmiş iki kodlayıcı ve üç kod çözücü var; böylece bir alıcı yalnızca tek bir kod çözücüyü uygulayıp yine de her akışı okuyabiliyor. Komite Mayıs 2024 itibarıyla iki akıllı telefon uygulaması bildirdi. Buna paralel olarak IEEE, Aralık 2024'te NPU'lar için tasarlanmış, sinir ağı tabanlı görüntü kodlamaya yönelik bir standart olan IEEE 1857.11-2024'ü yayımladı.

Kasım 2026 itibarıyla JPEG AI'ı varsayılan olarak yazan veya okuyan bir telefon kamerası, fotoğraf uygulaması ya da tarayıcı bulamadım.

Web'in onun yerine benimsediği: JPEG XL

2026'da gerçekten yaygınlaşan görüntü formatı klasik. Google, deneysel desteği kaldırmasından dört yıl sonra, 6 Ekim 2026'da Chrome 155'te Rust ile yazılmış, bellek açısından güvenli yeni bir kod çözücüyle JPEG XL kod çözmeyi varsayılan olarak etkinleştirdi. Safari 2023'ten beri JPEG XL'i çözebiliyor, Mozilla da aynı yönde ilerliyor. Google'ın gerekçeleri şunlar: JPEG'den daha iyi sıkıştırma, mevcut JPEG dosyalarının kayıpsız yeniden sıkıştırılması, HDR ve aşamalı kod çözme.

Bu ders genellenebilir. Her yerde açılması gereken bir format, her CPU'da çalışan ve bellek açısından güvenli hale getirilebilen hızlı, deterministik bir kod çözücüyle kazanır. Nöral bir görüntü kod çözücü ise bir NPU veya GPU'ya ve cihazlar arasında kesin aritmetiğe ihtiyaç duyar. Nöral kodlama, bir cihazın kendi işlem hattının içinde ve kodlamayı da kod çözmeyi de aynı şirketin yaptığı sistemlerde kazanır; örneğin sıkıştırılmış dosyayı hiç kimseye vermeyen bir bulut fotoğraf hizmetinde.

Görüntüleme alanındaki şirketler için anlamı

Para çekim işlem hattında: yapay zeka ISP'leri için IP, görüntülemeye göre boyutlandırılmış NPU'lar ve kamera üreticilerinin satın aldığı ayar işleri. Depolama ve dağıtım için öğrenilmiş bir görüntü kodeği bugün kapalı sistemlere özgü bir araç; üzerine bahis yapılacak bir format değil.

BÖLÜM 04

GÖRÜŞMELER VE TOPLANTILAR

04 Görüşmeler ve toplantılar: uçtan uca nöral kodeklerin gerçekten kullanıldığı yer

İlk adımı ses attı

Microsoft, yapay zeka destekli konuşma kodeği Satin'i Şubat 2021'de tanıttı ve Teams ile Skype'taki tüm iki kişilik görüşmelerde zaten kullanıldığını söyledi. Satin, 6 kbps'de 16 kHz'e kadar ses bant genişliğiyle süper geniş bantlı konuşma sunuyor; Skype'ın önceki kodeği Silk bu hızda dar bantlıydı. Tasarruf edilen bit hızı yedekliliğe harcanıyor, böylece görüşmeler paket kaybına daha iyi dayanıyor.

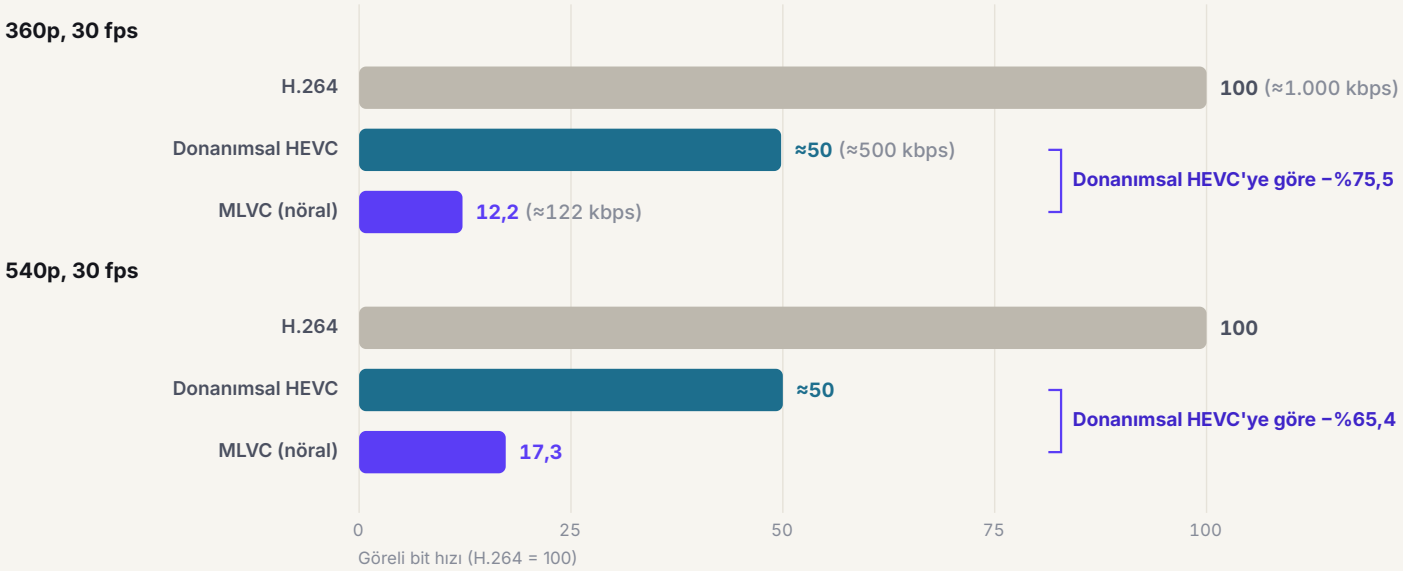
MLVC: gerçek görüşmelerde nöral bir video kodeği

Microsoft 24 Temmuz 2026'da makine öğrenmesi tabanlı video kodeği MLVC'yi; model kodu, eğitilmiş ağırlıkları, eğitim betikleri ve farklı NPU'ları hedefleyen dönüştürme araçlarıyla birlikte MIT lisansıyla açık kaynak olarak yayımladı. MLVC, Microsoft Research'ün 2021'den beri yayımladığı DCVC ailesinin ürün sürümü. Microsoft, MLVC'yi eşler arası görüşmeler için Teams'te canlı telemetri, A/B testleri ve yedek olarak geleneksel kodeklerle devreye aldığını söylüyor.

MLVC 540p ve 360p'de saniyede 30 karede çalışıyor; işi CPU ile NPU arasında bölerek Apple'ın Neural Engine'inde ve Qualcomm ile Intel NPU'larında NPU'nun en fazla yarısını kullanacak şekilde tasarlanmış. Microsoft'un kendi Video Conferencing Dataset'i üzerinde ITU-T P.910'a göre yapılan öznel testlerde, 360p'de H.264'ten %87,8, donanımsal HEVC'den %75,5; 540p'de ise sırasıyla %82,7 ve %65,4 daha az bit hızına ihtiyaç duydu üretici beyanı. Bu, 360p'de H.264'ün yaklaşık 1 Mbps gerektirdiği yerde kabaca 122 kbps demek.

ŞEKİL 04 **Görüşmelerde nöral bir kodek donanımsal HEVC'yi %65–76 farkla geçiyor**

Microsoft'un görüntülü konferans test kümesinde aynı kalite puanı için gereken bit hızı, H.264 = 100. MLVC, dizüstü bilgisayar ve telefon NPU'larında 540p30'a kadar, NPU'nun en fazla yarısını kullanarak çalışıyor.



Kaynak: Microsoft, MLVC duyurusu (24 Temmuz 2026): şirketin Video Conferencing Dataset'i üzerinde ITU-T P.910 öznel testleri. HEVC çubukları bildirilen tasarruflardan türetilmiştir. Üretici beyanları; bağımsız ölçüm değil.

Manşeti iki şey yumuşatıyor. %88, H.264'e göre; aynı dizüstü bilgisayarlarda zaten bulunan donanımsal HEVC'ye göre ise %65–76, ki bu hâlâ büyük. Ayrıca MLVC, kullanıma alınabilmek için sıkıştırmadan vazgeçti: bağımsız bir analiz, algısal olarak eğitilmiş bir DCVC-RT'nin aynı ölçütte %81,9, MLVC'nin ise %75,5 puan aldığını belirtiyor. Microsoft'un sahibi olmadığı donanımlarda birebir aynı çözmenin bedeli yaklaşık altı puan oldu.

Görüşmeler neden doğal yuva

Bir görüşme kapalı bir döngüdür. İki uç da aynı uygulamayı çalıştırır, görüşmenin başında neler yapabileceklerini müzakere eder ve görüşmenin ortasında standart bir kodeğe geri dönebilir. Çözünürlükler mütevazı, ağlar çoğu zaman zayıf; iki uçtaki dizüstü bilgisayarlar da artık, telefonların yıllardır olduğu gibi, NPU'larla geliyor. Microsoft yapay zeka bilgisayarları için çıtayı 40 TOPS'luk NPU olarak belirliyor; Apple'ın M4 Neural Engine'i ise 38 TOPS olarak derecelendiriliyor. Oynatmada nöral bir kodeği engelleyen koşulların hiçbiri burada yok.

Karşı örnekler: Opus ve MLow

Her görüşme platformu aynı seçimi yapmadı ve nedenleri öğretici.

WebRTC'de ve çoğu görüşme uygulamasında kullanılan açık ses kodeği Opus, derin öğrenmeyi 1.5 sürümünde (Mart 2024) ekledi; bu, sinyalin kendisini işlemek veya üretmek için ağların ilk kez kullanılmasıydı. Ama bunları seçenek olarak ekledi: bit akışında değişiklik gerektirmeyen kod çözücü tarafı iyileştirme (LACE ve NoLACE), nöral bir paket kaybı gizleme ve bir derin yedeklilik şeması (DRED); eski cihazlara yük olmasın diye hepsi varsayılan olarak kapalı. Opus 1.6 nöral bir bant genişliği genişletme ve üç kat daha küçük bir DRED modeli ekledi ve 2012 standardıyla tam uyumlu kalmayı sürdürüyor. Yaklaşım, "bir standardın içinde, isteğe bağlı ve geriye uyumlu".

Meta ise daha da geriye gitti. Haziran 2024'te bir ağ yerine klasik sinyal işlemeye dayanan düşük bit hızlı bir konuşma kodeği olan MLow'u başlattı; MLow şu anda tüm Instagram ve Messenger görüşmelerinde kullanılıyor ve WhatsApp'ta devreye alınıyor. Meta'nın gerekçesi cihazlarıydı: görüşmelerinin %20'den fazlası ARMv7 telefonlarda yapılıyor ve günde on milyonlarca WhatsApp görüşmesi on yaşından eski telefonlarda gerçekleşiyor.

Meta'nın yazdığına göre, kendi EnCodec'i de dahil olmak üzere nöral kodekler yalnızca pahalı telefonlarda güvenilir biçimde çalışıyor. MLow, %10 daha az işlem gücü kullanırken 6 kbps'de Opus'un yaklaşık iki katı kalite sunuyor.

Kullanıcıları amiral gemisi dizüstü bilgisayarlardan on yıllık telefonlara uzanan bir hizmet için belirleyici olan karmaşıklık bütçesi. Nöral kodekler önce kullanımdaki cihaz tabanının yeni olduğu ve sağlayıcının iki ucu da kontrol ettiği yerlerde kullanılıyor.

İletişim alanındaki şirketler için anlamı

Kurumsal konferans, telepresence, uzaktan destek, yayın besleme hatları ve özel ağlar, iki uç da sizinse, uçtan uca nöral bir kodeğin bugün ürün olabildiği yerler. Baştan üç şeyi planlayın: bir yedek kodek, desteklediğiniz her NPU'da kod çözme testleri ve bir üreticinin veri kümesi yerine kendi içeriğiniz üzerinde kalite değerlendirmesi.

BÖLÜM 05

ÜRETKEN YAPAY ZEKA

05 Üretken yapay zeka: kimsenin kodek demediği en büyük kullanım

Her ses ve video modeli öğrenilmiş bir kodek üzerinde çalışıyor

Uçtan uca nöral sıkıştırmanın en büyük kullanımı herhangi bir kodek standardında değil. Üretken yapay zekanın içinde. Bir konuşma modeli dalga biçimlerini doğrudan dinlemez ya da üretmez: öğrenilmiş bir ses kodeğinin ayrık token'larını okur ve yazar. Kyutai'nin 2024'te yayımladığı Mimi, konuşmayı saniyede 12,5 kare ve 1,1 kbps ile, yani herhangi bir telefon kodeğinden daha düşük bir hızda token'lara dönüştürüyor ve anlamsal ile akustik bilgiyi tek bir akışta birleştiriyor. Meta'nın 2022'de yayımladığı EnCodec de bir başka örnek; Meta'nın kendi mühendisleri daha sonra bu tür kodekleri düşük bit hızlarında mükemmel ama eski telefonlar için fazla ağır olarak nitelendirdi (4. bölüm).

Video üretimi de aynı şekilde işliyor. Bir difüzyon veya transformer modeli, öğrenilmiş bir video otokodlayıcısının (VAE) gizil uzayında üretim yapıyor ve VAE'nin kod çözücüsü sonucu piksellere dönüştürüyor. LTX-Video'nun VAE'si videoyu 1:192 oranında sıkıştırıyor: her gizil token, 128 kanallı olarak 8 kare boyunca 32×32 piksellik bir bloğu temsil ediyor. Kod çözücüsü son gürültü giderme adımını da gerçekleştiriyor; yani ayrıntıyı yalnızca yeniden oluşturmakla kalmıyor, kısmen de üretiyor.

Bunlar neden dağıtım formatı değil

Bu kodekler bir ses veya video modeline gelen her istekte çalışıyor, ama hiçbiri başka birinin çözdüğü bir format değil. Her modelin kendi gizil uzayı var; bit hızı denetimi, uygunluk testi ya da farklı bir kod çözücünün aynı görüntüyü üreteceğine dair bir güvence yok. Belirli bir bit hızında aslına uygunluk için değil, üretim kalitesi için tasarlanıyorlar ve veri merkezi GPU'larında çözülüyorlar. Başarıları, bir şirket kodlayıcıya, kod çözücüye ve donanıma sahip olduğunda öğrenilmiş sıkıştırmanın büyük ölçekte işe yaradığını gösteriyor.

Şirketler için anlamı

İki pratik nokta var. Birincisi, tokenizer verimliliği üretken video veya ses sunan herkes için doğrudan bir maliyet kalemi: tüm token'lar üzerinde dikkat hesaplayan bir transformer için işlem yükü token sayısından daha hızlı

büyür, dolayısıyla daha sıkıştırıcı bir gizil temsil üretim maliyetini orantıdan fazla düşürür analiz. Gizil tasarımı, entropi modellerini ve kod çözücü verimliliğini anlayan kodek mühendisleri üretken yapay zeka ekipleri için değerli. İkincisi, sınır kayıyor: standart kuruluşları insanlar yerine makineler için kodlama üzerinde çalışmaya başladı. MPEG'in Video Coding for Machines standardı (ISO/IEC 23888-2) 2026 başında taslak uluslararası standart aşamasına ulaştı ve 2026 sonlarında kesinleşmesi planlanıyor; JPEG AI ise en baştan hem insan izlemesine hem de bilgisayarlı görü görevlerine hizmet edecek şekilde tasarlandı.

BÖLÜM 06

OYUNLAR VE GRAFİK

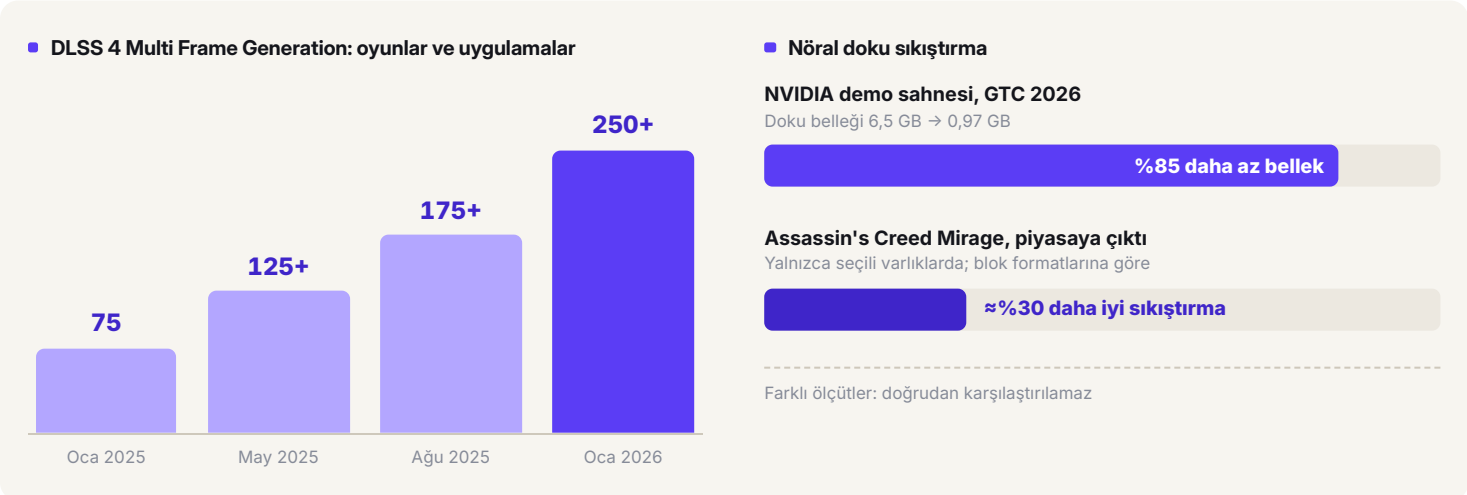
06 Oyunlar ve grafik: nöral yeniden oluşturma ana akımda, nöral varlıklar yeni başlıyor

Daha az piksel render edip gerisini bir ağa bırakmak

Gerçek zamanlı grafikte oyuncuların gördüklerinin çoğunu zaten bir ağ yeniden oluşturuyor. NVIDIA'nın DLSS teknolojisi daha az piksel ve daha az kare render ediyor ve gerisini üretmek için ağlar kullanıyor. Multi Frame Generation'lı DLSS 4, Ocak 2025'te 75 oyun ve uygulama desteğiyle çıktı; NVIDIA Mayıs 2025'e kadar 125'in, Ağustos'a kadar 175'in üzerinde oyun ve uygulama saydı, Ocak 2026'da ise sayı 250'yi aşmıştı ve NVIDIA aynı ay süper çözünürlük için ikinci nesil bir transformer modeli içeren DLSS 4.5'i duyurdu. Bu, adı dışında her şeyiyle bir kod çözücü: "bit akışı" düşük çözünürlüklü bir kare ile hareket verisinden oluşuyor ve ağ tam görüntüyü yeniden oluşturuyor.

ŞEKİL 05 **Yığını tek bir şirket kontrol ettiğinde nöral yeniden oluşturma hızla yayılıyor**

Sol: NVIDIA'nın DLSS 4 Multi Frame Generation özelliğini destekleyen oyun ve uygulamalar. Sağ: bir demo sahnesinde ve piyasaya çıkmış bir oyunda nöral doku sıkıştırma; oyun bunu çalışma zamanı maliyeti nedeniyle yalnızca seçili varlıklarda kullandı.



Kaynak: NVIDIA (Ocak 2025'ten Ocak 2026'ya; GTC 2026 demosu); Ubisoft La Forge (Şubat 2026). Üretici beyanları; iki doku rakamı farklı şeyleri ölçüyor.

Nöral dokular seçici biçimde piyasaya çıktı

Dokular, GPU'ların donanımda çözdüğü sabit blok formatlarında (BCn) sıkıştırılır. Nöral doku sıkıştırma, bir dizi malzeme dokusunun yerine kompakt bir gizil temsil ve gerektiğinde tekselleri yeniden oluşturan küçük bir ağ

koyar. Ubisoft'un La Forge laboratuvarı Şubat 2026'da bunu 2023 tarihli Assassin's Creed Mirage oyununda, aynı görsel kalitede geleneksel formatlara göre yaklaşık %30 daha yüksek etkin sıkıştırmayla kullandığını anlattı üretici beyanı. Her yerde kullanılmadı: "kullanım çalışma zamanı performansıyla sınırlıydı", bu yüzden Ubisoft onu yüksek örnek sayısına ve ağır bellek baskısına sahip bir varlık alt kümesine uyguladı.

NVIDIA'nın GitHub'da beta aşamasındaki RTX Neural Texture Compression SDK'sı tavanı gösteriyor. GTC 2026'daki bir gösterimde, BCn ile 6,5 GB doku belleği kullanan bir villa sahnesi nöral dokularla 970 MB'a, yani %85 daha azına ihtiyaç duydu üretici beyanı. SDK iki yol sunuyor: yükleme sırasında BCn'ye çözmek, bu disk alanından ve indirme boyutundan tasarruf sağlar ama video belleğinden sağlamaz; ya da örnekleme sırasında çözmek, bu belleği kurtarır ama her karede shader süresine mal olur.

API geliyor

Grafik API'leri, nöral kod çözmenin shader'ların içinde ihtiyaç duyduğu matris işlemlerini ekliyor. Microsoft Şubat 2026'da Shader Model 6.9'u yayımladı; 2025'te önizlemesini sunduğu cooperative vector özelliği, daha sonraki bir shader modeli için birleşik bir doğrusal cebir tasarımına dahil edildi ve DirectX Linear Algebra Nisan 2026'da genel önizlemeye girdi. Bu her sürücüye girdiğinde, nöral bir doku kod çözücü tek bir kod yolundan her üreticinin GPU'sunda çalışabilecek.

Şirketler için anlamı

Oyunlar nöral kod çözmeyi kullanıyor, çünkü kapalı döngünün koşulları sağlanıyor: tek bir motor, tek bir varlık işlem hattı, GPU'da tensör donanımı ve bir yedek format. Açık iş alanları araçlarda, nöral malzemeleri kodlayan varlık işlem hatlarında, üreticiler arası çalışma zamanlarında ve hepsinden önemlisi, çözülen teksel başına enerji maliyetinin belirleyici olduğu mobilde.

BÖLÜM 07

07

ÖZEL AMAÇLI BAĞLANTILAR

Özel amaçlı bağlantılar: uydular, dronlar ve robotlar

Uçtan uca nöral kodlamanın kâğıt üzerinde en iyi uyduğu durumlar bunlar. Bağlantının iki ucunu tek bir sahip kontrol ediyor, bant genişliği kıt ve kayıplı, içerik ona göre eğitim yapılabilecek kadar dar ve algısal, hatta anlamsal açıdan aslına uygun bir görüntü çoğu zaman yeterli. Bu tür bağlantılar için kayba dayanıklı nöral kodekler aktif bir araştırma alanı; düşük bit hızlı akışların sunucu tarafında onarılması da kullanılıyor.

Tüketici videosuyla karşılaştırıldığında bunlar aynı zamanda küçük ve giderek daha fazla düzenlemeye tabi bir pazar analiz. Çin'de Ticaret Bakanlığı ile diğer iki kurumun 19 Ekim'de yayımlayıp 18 Kasım 2026'da yürürlüğe giren 2026/49 sayılı Duyurusu, dronlarla ilgili 13 ürün kategorisindeki ihracat kontrollerini revize ediyor. Sektör basınının aktardığına göre teknoloji maddelerinden biri, kısmen %75 anlamsal görüntü sıkıştırma ve 150 milisaniye içinde görüntü yeniden oluşturma gibi eşiklerle tanımlanan insansız kara platformlarını kapsıyor. Anlamsal sıkıştırmanın kendisi bir ihracat kontrolü parametresi haline geldi. ABD'de ise Federal İletişim Komisyonu, 22 Aralık 2025'te yabancı üretim dronları ve bunların kritik bileşenlerini Covered List'ine ekledi; böylece yeni yabancı modeller artık ekipman onayı alamıyor.

Sonuç: endüstriyel veya kamu müşterileri olan ve iki tarafta da ihracat mevzuatına uyumu yönetebilecek kapasiteye sahip uzman bir şirket için sağlam bir niş; ama ana akım bir pazar değil ve nöral kodlamanın büyük

ölçekte işe yarayıp yaramadığını öğrenmenin yeri de değil.

BÖLÜM 08

08

ÇİP

Çip açısından: enerji, hesaplama, bellek ve kesinlik

Kendi geçmişimin en çok önem taşıdığı bölüm bu. Arkamda, tam özel ASIC veri yolu tasarımı ve video kodek hızlandırıcıları gibi multimedya kamera çipi projeleri de dahil olmak üzere uzun yıllar süren fabless çip Ar-Ge'si ve yöneticiliği var; bir çip ekibinin yeni bir kodek hakkında sorduğu sorular BD-rate ile ilgili değildir. Sorular şunlardır: piksel başına kaç joule, piksel başına kaç bayt DRAM trafiği, kaç kapı ve dünyadaki her kod çözücü tam olarak aynı bitleri hesaplayabilir mi? Dördünde de 2026'daki nöral bir kod çözücü, donanımsal HEVC'nin ilk çiplerinden önceki konumunda: yazılımda umut verici, çipte pahalı.

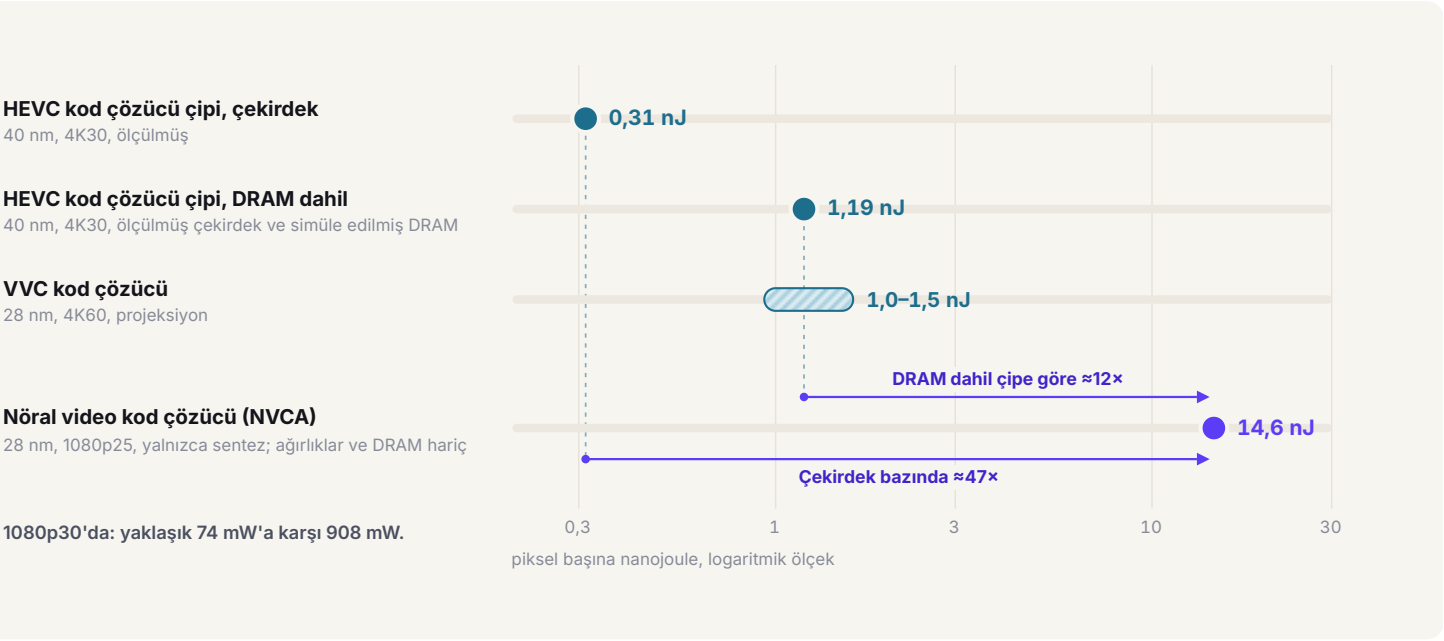
Piksel başına enerji: arada bir büyüklük mertebesi

Çip olarak tasarlanmış nöral kod çözücü sayısı az, bu yüzden karşılaştırma yayımlanmış bir avuç tasarıma dayanıyor. Klasik taraftaki referans MIT'nin HEVC kod çözücü çipi (Tikekar vd., ISSCC 2013 ve IEEE JSSC 2014): 40 nm, 1,77 mm², 200 MHz'de saniyede 30 kare 4K çözüyor. Çekirdeği 78 mW, yani piksel başına 0,31 nJ tüketiyor; simüle edilmiş DRAM gücüyle birlikte sistem piksel başına 1,19 nJ gerektiriyor. VVC için üretim rakamları şirketlere özel; Electronic Design'da 2026'da yayımlanan bir analiz, MIT çipini 28 nm'ye ölçekleyip VVC'nin daha yüksek karmaşıklığını uygulayarak, yaklaşık bir milyon kapılı bir 4K60 kod çözücü için piksel başına 1–1,5 nJ öngörüyor.

Nöral tarafta, Electronic Design'ın sayımına göre yayımlanmış tek uçtan uca nöral video kod çözücü ASIC tasarımı NVCA (Zhang vd., DATE 2024): TSMC 28 nm'de 5,01 milyon kapıyla sentezlenmiş; çip dışında duran ağırlıkları bu sayıya dahil değil. 760 mW'ta, yani piksel başına 14,6 nJ ile saniyede 25 kare 1080p çözüyor.

ŞEKİL 06 **Çözülen piksel başına enerji: sabit işlevli kod çözücüler bir büyüklük mertebesi önde**

Yayımlanmış tek nöral video kod çözücü çip tasarımı, piksel başına, ölçülmüş bir HEVC kod çözücü çipinin DRAM dahil yaklaşık 12 katı, yalnızca çekirdeğinin ise yaklaşık 47 katı enerji gerektiriyor. Nöral tasarımın kendi ağırlık ve DRAM trafiği hesaba katılmamıştır.



Kaynak: Tikekar vd., IEEE JSSC 2014 (MIT); NVCA, Zhang vd., DATE 2024 (arXiv 2312.10716); VVC aralığı Electronic Design'ın projeksiyonudur (2026). HEVC çipi daha eski bir üretim sürecindedir (40 nm; nöral tasarım 28 nm), bu da nöral tasarımı olduğundan iyi gösterir.

Bu, DRAM'iyle birlikte sayılan HEVC çipinin yaklaşık 12 katı, yalnızca çekirdeğinin ise yaklaşık 47 katı. Karşılaştırma NVCA'yı üç açıdan olduğundan iyi gösteriyor: HEVC çipi daha eski bir üretim sürecinde, NVCA'nın rakamı ağırlık ve DRAM trafiğini dışarıda bırakıyor ve NVCA ölçülmüş bir çip değil, bir sentez sonucu. 1080p30'da fark, yaklaşık 74 mW'a karşı kabaca 900 mW: kimsenin fark etmediği bir kod çözücüye karşı bir telefonun pil ve ısıl bütçesinde kendini belli eden bir kod çözücü.

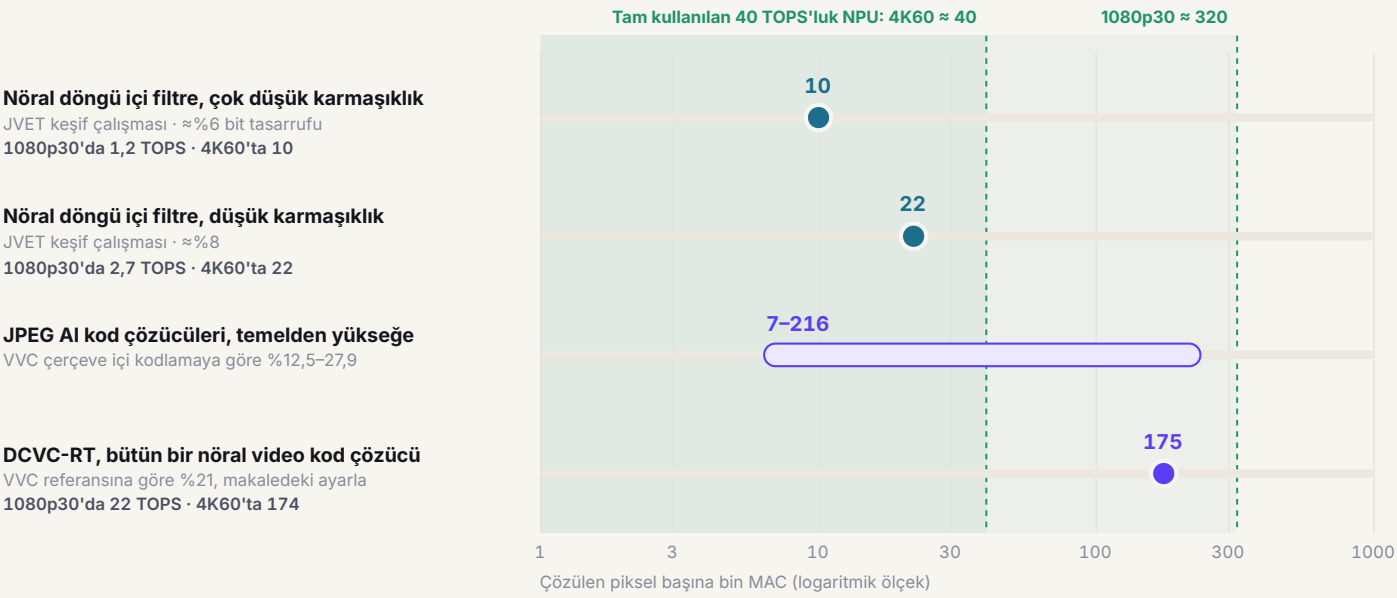
Piksel başına hesaplama: nöral bir kod çözücü NPU'dan ne istiyor

Bulduğum en hızlı yayımlanmış nöral video kodeği, Microsoft Research'ün DCVC-RT'si (Jia vd., CVPR 2025). Bir NVIDIA A100 GPU'da 1080p'yi saniyede 125 karede kodluyor ve 113 karede çözüyor; makalenin test ayarında VVC'nin referans kodlayıcısına göre %21 bit hızı tasarrufu sağlıyor ve farklı cihazların tutarlı biçimde çözebilmesi için tamsayı aritmetiği kullanıyor. Ek materyali her modülün karmaşıklığını listeliyor. Bir kod çözücünün çalıştırması gereken dört modülü (kod çözücü, öznitelik çıkarıcı, entropi modeli ve yeniden oluşturma) topladığımda, çözülen piksel başına yaklaşık 175 bin çarp-topla işlemi buluyorum tahmin.

1080p30'da bu, saniyede yaklaşık 11 trilyon çarp-topla işlemi, yani MAC başına iki işlemle, herhangi bir kullanım kaybından önce yaklaşık 22 TOPS demek; 4K60 bunun sekiz katını gerektiriyor tahmin. Ölçek vermek gerekirse, Microsoft yapay zeka bilgisayarlarını en az 40 TOPS'luk bir NPU ile tanımlıyor, Apple da M4'ün Neural Engine'ini 38 TOPS olarak derecelendiriyor. Bunlar tepe değerler ve cihazın yaptığı diğer her işle paylaşılıyor.

ŞEKİL 07 **Nöral bir araç piksel başına on binlerce MAC gerektiriyor; bütün bir nöral kod çözücü ise yüz binlerce**

Piksel başına kod çözücü çarp-topla işlemleri, logaritmik ölçek; tam kullanılan 40 TOPS'luk bir NPU'nun 4K60'ta ve 1080p30'da karşılayabileceği miktarla karşılaştırmalı. Kazançlar farklı referanslara göredir ve doğrudan karşılaştırılamaz.



Kaynak: SC 29 başkanı aracılığıyla JVET (Nisan 2026); JPEG komitesi (2024); DCVC-RT, CVPR 2025 ek materyali, kod çözücü modüllerinin yazarca toplamı; Microsoft'un Copilot+ PC tanımı. Yazarın hesabı: MAC başına iki işlem, tam kullanım.

Şekil 7'deki merdiven, alanı okumanın yararlı bir yolu. JVET'in döngü içi filtreleri gibi piksel başına on binlerce MAC'e mal olan nöral araçlar (10 binde yaklaşık %6, 22 binde %8 tasarruf), gelecekteki bir standart kod çözücünün içinde makul görünüyor. JPEG AI, VVC çerçeve içi kodlamaya göre %12,5–27,9 için piksel başına 7 ila 216 bin MAC ile bu aralığın tamamına yayılıyor. Piksel başına birkaç yüz bin MAC'lik bütün bir nöral video kod çözücünün yeri ise kapalı bir döngüde, mütevazı çözünürlükte çalışan bir NPU. MLVC'nin durduğu yer tam olarak orası: NPU'nun en fazla yarısını kullanarak 540p30.

Asıl sınır çoğu zaman MAC'ler değil, bellek trafiği

DCVC-RT'nin yazarları hızı sınırlayanın aritmetik değil, "işlemsel maliyet" olduğunu gördü: bellek giriş ve çıkışı ile fonksiyon çağrılarının sayısı. Açık hareket modüllerini ve çok ölçekli işlemeyi büyük ölçüde bu nedenle kaldırdılar. NVCA'nın tasarımcıları, hareket ve artık özniteliklerinden kaynaklanan çip dışı bellek trafiğini azaltmak için özel bir veri akışı kurdu. Bir çip tasarımcısı bu örüntüyü tanır. MIT HEVC çipinde, DRAM bant genişliğini %67 azaltan bir önbelleğe rağmen DRAM sistem enerjisinin yaklaşık dörtte üçünü oluşturuyor (piksel başına 1,19 nJ'ün 0,88'i) analiz. Kareler arasında büyük, çok kanallı öznitelik haritaları tutan nöral bir kod çözücü, bellek sorununu iyileştirmiyor, kötüleştiriyor.

Kesinlik: her kod çözücü aynı bitleri hesaplamalı

Entropi kodlama ancak kod çözücünün olasılık modeli kodlayıcınınkiyle birebir eşleşirse çalışır. Klasik bir kodekte bu model bir tablo ya da küçük bir tamsayı kuralları kümesidir. Nöral bir kodekte ise bir ağdır ve iki cihaz arasında farklı bir hesaplama çekirdeğinden, farklı bir toplama sırasından ya da farklı bir NPU'dan kaynaklanan bir kayan nokta farkı, kod çözücünün yanlış sembolleri okumasına ve akışı o noktadan itibaren kaybetmesine yol açabilir.

Nöral bir kodeği ürüne koyan ya da standartlaştıran herkes bu sorunu mühendislikle ortadan kaldırmak zorunda kaldı. DCVC-RT, cihazlar arasında tutarlı kodlama için modelini tamsayılara dönüştürüyor. MLVC, platformlar arası

uyumsuzluğa dayanabilmek için ortak ölçekli bir hiperönsel tasarımı kullanıyor; bu da muhtemelen DCVC-RT'ye göre sıkıştırmadan ödün vermesinin nedenlerinden biri analiz. JVET'in sinir ağı keşif çalışması her ağı, 16 bit tamsayı çıkarımı yapan küçük bir kütüphane olan SADL üzerinden çalıştırıyor. JPEG AI gizil, artık ve piksel alanlarında uygunluk noktaları tanımlıyor. Bir çip ekibi için bu, HEVC'nin tamsayı dönüşümleriyle aynı disiplin: standart aritmetiği tam olarak tanımlamak zorunda; bu da ağ tasarımını kısıtlıyor ve üreticiye özgü kestirmeleri dışarıda bırakıyor.

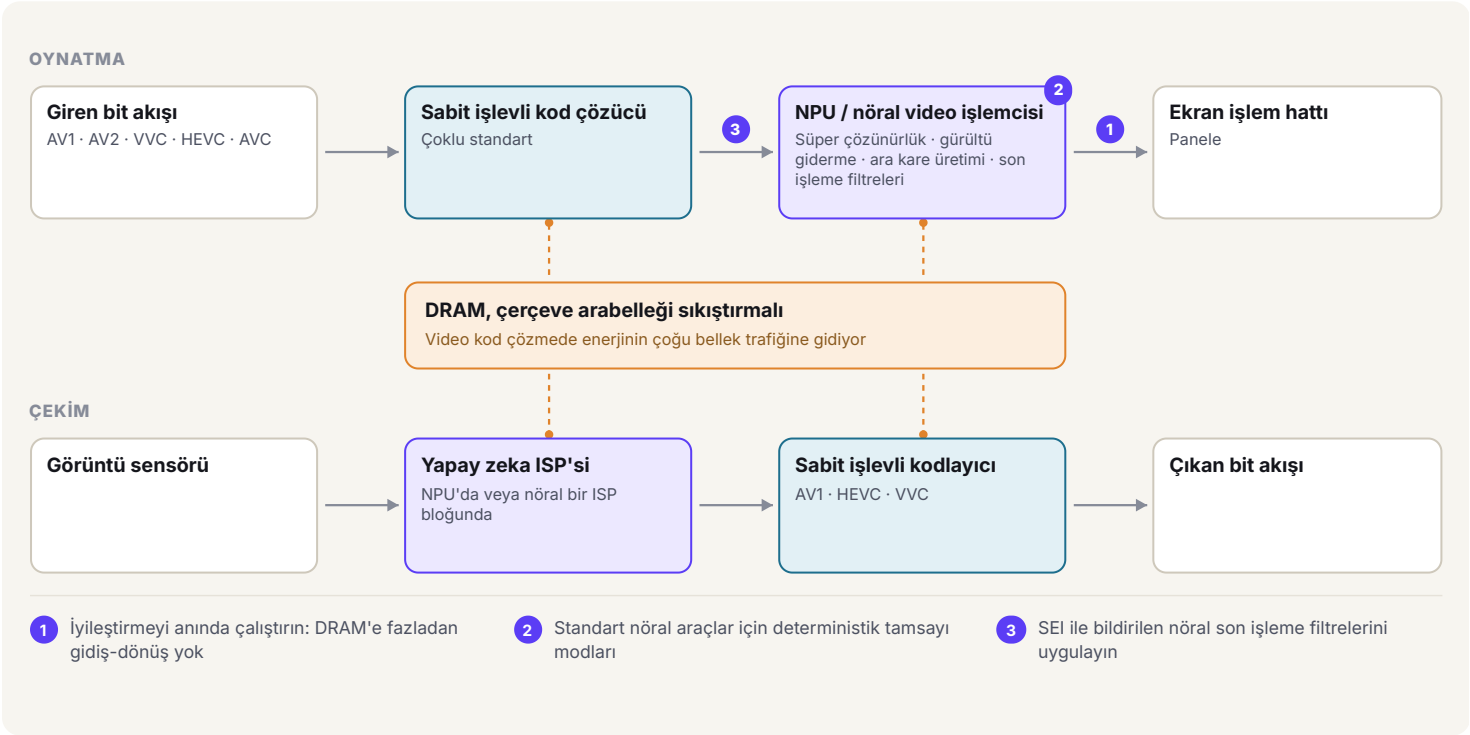
Engel alan değil; doğrulama ve kullanım ömrü

Öngörülen bir VVC kod çözücünün yaklaşık bir milyon kapısına karşı NVCA'nın 5 milyon kapısı büyük görünüyor; ama zaten birkaç TOPS'luk bir NPU taşıyan modern bir telefon veya TV SoC'sinde tasarımı belirleyen şey birkaç milyon kapı değil. Asıl para harcatan şeyler şunlar: bir uygunluk test takımına karşı doğrulama, programlanabilir bir kod çözücüyü cihazın ömrü boyunca yazılım güncellemeleri arasında doğru tutmak ve 4K60 HDR'de güç tüketimi. Bu maliyetler ancak bir standart neyin inşa edileceğini sabitlediğinde anlam kazanıyor.

Bugün kazanan mimari: sabit işlevli bir kodek artı NPU

ŞEKİL 08 **Ürünlerdeki iş bölümü: bit akışı için sabit işlevli donanım, pikseller için nöral motor**

2026 model bir medya SoC'si. Kodek bloğu her standardı piksel başına bir nanojoule'ün altında enerjiyle çözüyor; NPU ise ağların iyi yaptığı ve standartların kısıtlamadığı işleri üstleniyor. Asıl önemli maliyet DRAM trafiği.



Kaynak: Yazarın mimari görüşü; Tencent (Canghai V2), Chips&Media, Allegro DVT ve Samsung'un ürün açıklamalarına dayanır (2026).

2026'da satan çipler, sabit işlevli, çoklu standart bir kodeği yanındaki bir nöral motorla eşleştiriyor. Kodek bloğu AV1, AV2, VVC, HEVC ve AVC'yi piksel başına bir nanojoule'ün altında enerjiyle işliyor. Nöral motor ise ağların iyi yaptığı ve standartların kısıtlamadığı işleri üstleniyor: çekimde gürültü giderme ve ISP, ekranda süper çözünürlük, ara kare üretimi ve iyileştirme. İkisi çerçeve arabelleği sıkıştırmasını ve DRAM zamanlamasını paylaşıyor, çünkü önemli olan maliyet bellek trafiği.

Pazar bu iş bölümünü gösteriyor. Tencent'in 2019'dan beri şirket içinde geliştirdiği Canghai (沧海) video kodek ASIC'inden 100.000'den fazla birinci nesil çip, Tencent Cloud'da ve şirketin kendi canlı yayın, isteğe bağlı video ve bulut oyun hizmetlerinde kullanımda. Mayıs 2026'da ilk kez çalıştırıldığı ve yılın ikinci yarısında hizmete girmek

üzere seri üretime geçtiği duyurulan ikinci nesil, H.265 ve H.266'yı tek bir mimaride destekliyor; selefine göre sırasıyla %10'un ve %30'un üzerinde daha iyi sıkıştırma, yaklaşık iki kat işlem hacmi ve süper çözünürlük gibi çip üzerinde görüntü iyileştirme sunuyor. Chips&Media kodek IP'sini ve video odaklı bir NPU olan WAVE-N'i yan yana satıyor. Allegro DVT AV2 kod çözücüleri satıyor ve ilk nöral video işleme IP'sini ekledi. Samsung'un TV işlemcileri standart kod çözücüleri yüzlerce çözünürlük yükseltme ağıyla eşleştiriyor.

Ben olsam ne yapardım: role göre

SoC ve TV çipi ekipleri. Oynatmanız gereken her standart için, şimdiden AV2 ve yayının gerektirdiği yerlerde VVC dahil, sabit işlevli kod çözücüleri koruyun. NPU'yu ekran çözünürlüğünde ve kare hızında son işlemeye göre boyutlandırın ve kod çözücüden NPU'ya, oradan ekrana giden yolu, iyileştirme DRAM'e fazladan bir gidiş-dönüş eklemeyecek şekilde tasarlayın. Nöral son işleme filtresi SEI'sini destekleyin. NPU'da deterministik tamsayı modları sağlayın. H.267'yi 2029'da ya da sonrasında başlayacak bir tasarım olarak ele alın ve nöral araçları için bir miktar programlanabilirlik bırakın.

IP sağlayıcıları. Şimdiden AV2 ve VVC kod çözücüleri pazarlayın; yanında da nöral işlemenin bunların çevresinde ihtiyaç duyduğu parçaları: son işleme filtresi hızlandırıcıları, çerçeve arabelleği sıkıştırma ve uygunluk araçları.

Video platformları. Kodlayıcıda nöral ön işleme kendini ilk amorti eden yatırım, çünkü her yapım için bir kez çalışıyor ve cihazlardan hiçbir şey gerektirmiyor. Cihazların izin verdiği yerlerde istemci tarafında süper çözünürlük kullanın. Uçtan uca nöral kodekleri kontrol ettiğiniz kapalı döngülere saklayın.

BÖLÜM 09

STANDARTLAR VE PATENTLER

09 Standartlar ve patentler: nöral araçlar nerede lisanslanabilir hale geliyor

Standartların durumu

Standart	Kuruluş	Nöral içerik	Durum, Kasım 2026
H.267 (çalışma adı; VVC ötesi)	JVET (ITU-T ve ISO/IEC)	Açık. Klasik araçlar (ECM) ve nöral araçlar (döngü içi filtreler, çerçeve içi öngörü, süper çözünürlük) ikisi de aday	Teklif çağrısı Temmuz 2026; yanıtların değerlendirilmesi Ocak 2027; ilk test modeli 2027'nin ikinci yarısı; sürüm 1 2029 sonu
VSEI ile VVC ve HEVC	JVET	Nöral bir son işleme filtresi SEI meta verisinde tanımlanabilir; uygulamak kod çözücü için isteğe bağlı	Yürürlükte; mesajlar Ekim 2025 sürümlerinde genişletildi
AV2	AOMedia	Klasik araçlar, telifsiz	Sürüm 1.0.0, 28 Mayıs 2026; kod çözücü IP'si Haziran 2026'dan itibaren lisanslanıyor; YouTube web akışları 2027 başı için planlanıyor
JPEG AI	JPEG (ISO/IEC ve ITU-T)	İnsan ve makine görüsü için uçtan uca öğrenilmiş görüntü kodeği	Bölüm 1 2025'te yayımlandı; ikinci bir sürüm tartışılıyor; ürünlerde varsayılan destek bulunamadı

Standart	Kuruluş	Nöral içerik	Durum, Kasım 2026
IEEE 1857.11	IEEE	NPU'lar için tasarlanmış sinir ağı tabanlı görüntü kodlama	Aralık 2024'te yayımlandı
Video Coding for Machines	MPEG	İzlemek yerine makine analizi için kodlama	Taslak uluslararası standart 2026 başı; kesinleşmesi 2026 sonları için planlanıyor
Opus ML uzantıları	IETF	İsteğe bağlı derin yedeklilik, kod çözücü tarafı iyileştirme, bant genişliği genişletme	libopus 1.5 ve 1.6'da; derin yedeklilik standartlaştırılıyor

İki şey öne çıkıyor. Birincisi, nöral içerik standartlara çekirdekten önce kenarlardan giriyor: isteğe bağlı son işleme filtreleri, isteğe bağlı iyileştirme ve görüntü kodlama olarak; bunların hepsi ana kod çözme yolunu değiştirmeden bırakıyor. İkincisi, nöral araçları her ekranın kod çözme yoluna koyabilecek tek standart olan H.267'nin ilk sürümüne üç yıl var.

Patentlerde kim konumlanmış

Standart araçlar lisanslanabilir patentlere dönüşüyor; dolayısıyla H.267 süreci aynı zamanda bir patent yarışı ve nöral araçlar da bu yarışın parçası. GreyB'nin 3.916 VVC ötesi patenti kapsayan 2025 tarihli patent haritası, 645 patent ailesi ve 251 JVET katkısıyla ByteDance'i en öne koyuyor; 20'den fazla patent ailesine sahip Xiaomi ile Xidian Üniversitesi gibi üniversite–sanayi ortaklıklarına da dikkat çekiyor. MLex, Mart 2026'da Tencent, Alibaba ve ByteDance'in video kodek patent havuzlarında aktif katılımcılar olarak öne çıktığını bildirdi. Mayıs 2026'da Sauvegarder Investment Management, Alibaba'dan AV1, AV2 ve Video Coding for Machines'i kapsayan 126 video kodek patent varlığı satın aldı. InterDigital'in Ekim 2025'te Deep Render'ı satın alması, Deep Render'ın yapay zeka tabanlı video kodlama patentlerini InterDigital'in portföyüne ekledi.

Cihaz başına para, havuzların ücret tarifelerinde kolayca görülüyor. Access Advance'in VVC ücretleri (1 Temmuz 2026 itibarıyla, kurallara uyan ve markasını kullanan lisans alanlar için) ABD, AB ve Japonya gibi Bölge 1 pazarlarında cep telefonu, tablet veya dizüstü bilgisayar başına 0,50 dolar, Bölge 2'de 0,25 dolar; 4K TV'ler için Bölge 1'de fiyata göre 1,00 ila 1,50 dolar; yıllık şirket başına üst sınır ise 75 milyon dolar. AV1 ve AV2, AOMedia üyeleri açısından telifsiz. H.267 ne içerirse içersin, araçları aynı şekilde fiyatlandırılacak; nöral kodlama patentlerine sahip şirketlerin şimdi JVET'e katkı yapmasının nedeni bu analiz.

BÖLÜM 10

PARAYI KİM KAZANIYOR

10 Parayı kim kazanıyor ve bir şirket nerede hamle yapabilir

2026'da para

ŞEKİL 09 **2026'da nöral kodlamadan kim para kazanıyor**

Para, standartları ve platformları izliyor. Uçtan uca bir nöral video kodeğini lisanslayarak geçimini sağlayan bağımsız bir şirket bulamadım.

ŞİMDİ KAZANIYOR

Platformlar

Tasarruf onlarda kalıyor

Netflix'in nöral çözünürlük düşürücüsü; YouTube ve Meta'da süper çözünürlük; Microsoft MLVC'yi MIT lisansıyla açık kaynak yaptı

ŞİMDİ KAZANIYOR

Cihaz ve çip üreticileri

Farklılaşma satıyor

Kamera ISP'leri; TV'lerin çözünürlük yükseltme işlemcileri; Tencent'in kendi Canghai kodek çipleri

ŞİMDİ KAZANIYOR

IP sağlayıcıları

Her yeni standardı lisanslıyor

Chips&Media, Allegro DVT ve VeriSilicon, spesifikasyondan sonraki üç hafta içinde AV2 kod çözücü müşterileri duyurdu

ŞİMDİ KAZANIYOR

GPU üreticileri

Platform bağımlılığı yaratıyor

250+ oyun ve uygulamada DLSS 4; nöral doku SDK'sı betada

CİHAZ BAŞINA

Patent sahipleri ve havuzlar

Cihaz başına tahsil ediyor

VVC: telefon başına 0,50 dolar, 4K TV başına 1,00–1,50 dolar; 2029'dan sonra H.267 araçları

SATIN ALINARAK ÇIKIŞ

Nöral kodek girişimleri

Satın alındı

WaveOne → Apple (2023); iSIZE → Sony (2023); Deep Render → InterDigital (2025)

Kaynak: Raporda atıf yapılan şirket ve patent havuzu açıklamaları; durum 12 Kasım 2026 itibarıyla. Havuz ücretleri: Access Advance, VVC, Bölge 1, uyumluluk ve marka kullanımı koşuluyla, 1 Temmuz 2026 itibarıyla.

Tasarruf platformlarda kalıyor. Netflix, YouTube, Meta, Microsoft ve Tencent nöral işlemeyi şirket içinde geliştiriyor ve faydayı daha düşük bant genişliği, daha az depolama ve bit başına daha iyi kalite olarak kendilerinde tutuyor. Benimsenmeye yardımcı olduğunda kodu ücretsiz veriyorlar: Microsoft MLVC'yi MIT lisansıyla yayımladı.

Cihaz ve çip üreticileri farklılaşma satıyor. Kamera ISP'leri ve TV görüntü işlemcileri, sinir ağlarının her kullanıcıya dokunduğu yerler ve özellik olarak satılıyorlar: Qualcomm'un Cognitive ISP'si, Samsung'un çözünürlük yükseltme işlemcileri.

IP sağlayıcıları her yeni standart için kod çözücü, ayrıca NPU satıyor. AV2 spesifikasyonundan sonraki üç hafta içinde Chips&Media, Allegro DVT ve VeriSilicon'un üçü de AV2 kod çözücü müşterileri duyurdu. Aynı sağlayıcılar artık kodeklerin yanında nöral işleme blokları da satıyor.

GPU üreticileri platform kuruyor. DLSS ve nöral doku sıkıştırma, NVIDIA'nın tensör donanımını oyunların yapılış biçiminin bir parçası haline getiriyor.

Patent sahipleri cihaz başına tahsilat yapıyor; VVC ve HEVC için havuzlar aracılığıyla, 2029'dan sonra da H.267 için.

Nöral kodek girişimleri satın alındı. WaveOne 2023'te Apple'a, iSIZE 2023'te Sony Interactive Entertainment'a, Deep Render ise 2025'te InterDigital'e geçti; hepsi açıklanmayan koşullarla. Her durumda ekibi ve patentleri bir platform ya da bir lisans veren satın aldı. 2026'da uçtan uca bir nöral video kodeğini lisanslayarak geçimini sağlayan bağımsız bir şirket bulamadım.

Bir şirket nerede hamle yapabilir

Hamle	Kim satın alır	Neden şimdi	Ana risk
Kodlayıcıda nöral ön işleme (çözünürlük düşürme, gürültü giderme, yapım başına ayar)	Video akış ve kullanıcı videosu platformları, yayıncılar	Cihaz değişikliği gerekmiyor; Netflix'te kanıtlandı	Büyük platformlar kendileri geliştiriyor
Ekran tarafında iyileştirme IP'si ve ayarı (süper çözünürlük, ara kare üretimi, görüntü kalitesi)	TV, set üstü kutu ve telefon çipi üreticileri	NPU'lar zaten cihazlarda; görünür farklılaşma	Metalaşma; çip üreticilerinin kendi ekipleri
Kapalı döngü nöral kodekler (konferans, uzaktan operasyonlar, özel hatlar)	Kurumsal iletişim, endüstriyel ve telepresence sağlayıcıları	MLVC uygulanabilirliği kanıtlıyor ve kodu açık	İki ucu da kontrol etmelisiniz; NPU parçalanması
Kodek artı NPU çipi veya IP'si (AV2, VVC ve son işleme)	SoC üreticileri	AV2 döngüsü başlıyor	Güçlü yerleşik oyuncular
Değerlendirme, uygunluk ve deterministik çıkarım araçları	Ürünlerinde nöral araç kullanan herkes	Bit düzeyinde aynılık kesin bir şart	Paketlenmezse küçük bir pazar
H.267'ye standart katkıları	Lisans verenler, büyük platformlar	Yanıtlar Ocak 2027'de değerlendiriliyor	Uzun, maliyetli, belirsiz

Çoğu şirket için 2027'de gelir elde edilebilecek yer ilk iki satır. Üçüncüsü, odaklı bir ürün şirketi için en ilginç olanı. Sonuncusu ise sabır ve bir lisanslama stratejisi gerektiriyor.

BÖLÜM 11

11

İDDİALAR VE KANITLAR

Duyacağınız iddialar ve kanıtların söyledikleri

İddia	Kanıtlar ne diyor
"Nöral kodekler VVC'yi şimdiden geçiyor."	Laboratuvarda, evet. DCVC-RT, makalesindeki ayarda 1080p'de VVC'nin referans kodlayıcısına göre %21, JPEG AI ise VVC çerçeve içi kodlamaya göre %12,5–27,9 tasarruf sağlıyor. Kod çözücü piksel başına yaklaşık 175 bin MAC'e, yani bir NPU'nun enerjisine mal oluyor; sabit işlevli donanımda ise bu, bir nanojoule'ün altında.
"Yapay zeka kodekleri birkaç yıl içinde H.26x ve AV1'in yerini alacak."	Oynatmada değil. Nöral araçları taşıyabilecek ilk standart 2029 sonunu hedefliyor; çipler 2031 civarında, ana akım kullanım 2030'ların ortasında gelir tahmin. Şu anda gelen kodek, AV2, klasik.
"MLVC bant genişliğini %88 azaltıyor."	Microsoft'un kendi test kümesinde, 360p'de H.264'e göre. Donanımsal HEVC'ye göre ise, Microsoft'un iki ucu da kontrol ettiği görüşmelerde, 360p'de %75,5, 540p'de %65,4.
"Nöral dokular video belleğini %85–96 azaltıyor."	Gösterim sahnelerinde. Piyasaya çıkan oyun yaklaşık %30 etkin sıkıştırma kazandı ve çalışma zamanı maliyeti nedeniyle nöral dokuları yalnızca seçili varlıklarda kullandı.
"JPEG AI bir ISO standardı, dolayısıyla kameralar ve tarayıcılar onu benimseyecek."	Ürünlerde varsayılan destek bulamadım. Web'in 2026'da benimsediği format, Chrome 155'teki JPEG XL, klasik.
"Nöral kod çözme telefonlar için fazla pahalı."	Kısmen doğru. MLVC, 540p30'u bir NPU'nun yarısıyla çözüyor; DCVC-RT sınıfı bir modelle 4K60 ise 175 TOPS civarında sürekli işlem gücü gerektirir tahmin.
"Uydu ve dron bağlantıları nöral video için büyük pazar."	Teknik olarak en iyi uyum, ama küçük ve Pasifik'in iki yakasında da giderek daha fazla ihracat kontrolüne tabi.
"Büyük platformlar bir girişimden nöral kodek lisanslayacak."	Kendi kodeklerini geliştirdiler (Netflix, Microsoft, Tencent) ya da girişimi satın aldılar (Apple, Sony, InterDigital).

Basit bir test, sunumların çoğunu çözmeye yetiyor: referansı, ölçütü, çözünürlüğü ve kod çözme maliyetini sorun. Bu dördünü de belirtemeyen bir iddia bir araştırma sonucudur, ürün değil.

BÖLÜM 12

12

YOL İŞARETLERİ

2027'den 2030'a izlenecekler

Ne zaman	Yol işareti	Neden önemli
Ocak 2027	JVET, H.267 yanıtlarını Brisbane'de değerlendiriyor	En iyi yanıtların kaçının nöral araçlara dayandığı ve piksel başına hangi maliyetle
2027 başı	YouTube'un ilk AV2 web akışları; duyurulan SoC'lerde AV2 kod çözücüler	Bir sonraki klasik döngü, 2030 civarına kadar cihaz bütçelerini belirliyor
2027'nin ikinci yarısı	H.267'nin ilk test modeli	Nöral araçların çekirdek tasarımda mı, yoksa yalnızca keşif çalışmasında mı olduğu
2027	MLVC'nin eşler arası Teams görüşmelerinin ötesine geçmesi; açık kodu benimseyen diğer sağlayıcılar	Açık bir nöral kodeğin, sahibinin dışındaki ilk sınavı
2027–2028	JPEG AI'ı varsayılan olarak yazan veya okuyan ilk ürün	Şirket sınırlarını aşan ilk nöral format
2027–2028	Dağıtılan sürücülerde DirectX Linear Algebra; daha fazla oyunda ve mobilde nöral dokular	Grafikte üreticiler arası nöral kod çözme
Sürekli	Telefonlarda ve PC'lerde NPU bütçeleri	Yaklaşık 100 TOPS sürekli performansta, DCVC-RT sınıfı bir 1080p30 kod çözücü NPU'nun yarısı yerine yaklaşık beşte birini kullanır analiz
2029 sonu	H.267 sürüm 1	Ana akım oynatmada nöral araçlar için çip döngüsünün başlangıcı

BÖLÜM 13

13 AÇIK SORULAR

Açık sorular

Bu rapordaki birkaç sorunun henüz kamuya açık bir yanıtı yok ve teknik olarak en ilginç bulduklarım da onlar.

Büyük ölçekte kesinlik. Nöral bir kod çözücü, sıkıştırma avantajının çoğundan vazgeçmeden önce farklı üreticilerin NPU'larında bit düzeyinde aynı sonuç veren, yalnızca tamsayılı aritmetiğe ne kadar yaklaşabilir? MLVC'nin altı puanlık ödünleşimi bir veri noktası; bir standardın genel bir yanıta ihtiyacı var.

Önce bellek, sonra MAC. Nöral son işleme, donanımsal bir kod çözücü ile ekran arasında anında çalıştığında piksel başına DRAM trafiği açısından neye mal olur ve çalışma kümesi ne kadar küçültülebilir?

H.267'de nöral bir aracın bedeli. Nöral bir döngü içi filtre, bir 4K60 kod çözücüde piksel başına kaç MAC'te ve kaç nanojoule'de kazandırdığı bitlerin bedelini karşılamaz hale gelir?

Görüşmelerin ötesinde kapalı döngüler. Bulut fotoğraf depolamadan oyun akışına, robotlardan özel yayın besleme hatlarına kadar başka hangi kapalı sistemler, H.267 gelmeden uçtan uca nöral kodekleri benimseyebilir?

Üreten kod çözücüler. Bir kod çözücü, video VAE'lerinin zaten yaptığı gibi ayrıntıyı yeniden oluşturmak yerine ürettiğinde, aslına uygunluk nasıl ölçülmeli ve tanımlanmalı?

Bunlar, önümüzdeki yıllarda teknik görüş alışverişi ve teknik iş birliği yoluyla birlikte keşfedebileceğimiz alanlar: i@tanshuai.com.

Bu raporun sınırlılıkları

Bu, 12 Kasım 2026'ya kadarki kamuya açık belgelere dayanan bir masa başı araştırması. Bu sürüm için birincil görüşmeler ya da bağımsız ölçümler yapmadım. MLVC'nin bit hızı tasarrufları ve nöral doku sıkıştırma oranları gibi bazı temel rakamlar, üreticilerin veya yazarların kendi test kümelerine dayanan beyanlarıdır; bu şekilde etiketlenmişlerdir. DCVC-RT için yaptığım hesaplama tahminleri, yazarlarının yayımladığı modül bazlı rakamları topluyor ve kullanım kayıplarını göz ardı ediyor; bu yüzden gerçek NPU yükü daha yüksek olacaktır. Enerji karşılaştırması, farklı üretim süreçlerindeki birkaç yayımlanmış tasarıma dayanıyor; üretimdeki VVC ve AV2 kod çözücülerinin rakamları şirketlere özel. Standart takvimleri komitelerin kendi hedefleri. 2029 sonrasındaki H.267 tarihleri, AV1 ve VVC geçmişinden yaptığım tahminlerdir.

Yazar hakkında

Tan Shuai, çip, donanım ve sistem yazılımı alanlarında yirmi yılı aşkın deneyime ve 20 tescilli patente sahip bir teknolog ve kurucu. Arkasında, tam özel ASIC veri yolu tasarımı ve video kodek hızlandırıcıları gibi multimedya kamera çipi projeleri de dahil olmak üzere uzun yıllar süren fabless çip Ar-Ge'si ve yöneticiliği var; bu raporun merceği de bu: piksel başına enerji, bellek trafiği ve bir standardın bir kod çözücünün çipte neyi sabitlemesine izin verdiği. Çalışmaları onu Silikon Vadisi, New York, Chicago, Tayvan, Büyük Körfez Bölgesi (Shenzhen ve Hong Kong), Vietnam ve Malezya'ya götürdü. Bugün yapay zeka araştırmacısı ve geliştiricisi olarak çalışıyor.

Teknik tartışma için: i@tanshuai.com · tanshuai.com

Notlar ve sorumluluk reddi

Bu rapor, 12 Kasım 2026'ya kadar erişilebilen kamuya açık belgelere dayanan bağımsız bir masa başı araştırmasıdır. Yalnızca bilgi amaçlıdır; yatırım, hukuk veya mühendislik tavsiyesi değildir. Ürünler, standart takvimleri, patent havuzu ücretleri ve ihracat kuralları değişir; güvendiğiniz her bilgiyi birincil kaynağından doğrulayın. üretici beyanı, tahmin veya analiz olarak işaretlenen rakamlar bu doğrultuda okunmalıdır. Şirket ve ürün adları sahiplerine aittir ve yalnızca tanımlama amacıyla kullanılmıştır; hiçbir şirket bu raporu incelemedi ya da sponsorluğunu üstlenmedi.

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

Kaynaklar

Tümüne 3 Kasım ile 12 Kasım 2026 arasında erişildi. Bölümlere göre gruplandırılmıştır.

Trafik, cihazlar ve kapsam

- Ericsson, *Mobility Report*, Haziran 2026 (2025 sonunda video, mobil veri trafiğinin yaklaşık %75'i): https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/june-2026 ; özet: https://telecomlead.com/5g/ericsson-mobility-report-2026-global-mobile-data-traffic-to-reach-515-eb-by-2031-as-india-leads-smartphone-data-consumption-126290
- IDC, dünya genelinde akıllı telefon sevkiyatları, 2025 4. çeyrek ve tüm yıl (1,26 milyar), 13 Ocak 2026: https://www.idc.com/resource-center/press-releases/q425mobilephonetop5/
- TrendForce, 2025 TV sevkiyat öngörüsü (195,71 milyon): https://iconnect007.com/article/146406/early-shipments-by-tv-brands-push-global-1h25-volume-up-2-but-raise-concerns-for-secondhalf-peak-season/146403/ein ; Omdia, 2025 TV öngörüsü (208,7 milyon): https://iconnect007.com/article/145954/omdia-forecasts-flat-tv-shipments-in-2025-but-mini-led-poised-for-explosive-growth-at-829/145951/ein

Oynatma ve video akışı

- Netflix Technology Blog, "AV1 — Now Powering 30% of Netflix Streaming", Aralık 2025: https://netflixtechblog.com/av1-now-powering-30-of-netflix-streaming-02f592242d80
- Netflix Technology Blog, "For your eyes only: improving Netflix video quality with neural networks", Kasım 2022: https://netflixtechblog.com/for-your-eyes-only-improving-netflix-video-quality-with-neural-networks-5b8d032da09c
- AOMedia, AV2 Bitstream and Decoding Process Specification v1.0.0, 28 Mayıs 2026: https://av2.aomedia.org/v1.0.0/index.html ; "AV2: What the Final Specification Means for Implementers": https://aomedia.org/blog%20posts/AV2-What-the-Final-Specification-Means-for-Implementers/
- TV Technology, "YouTube to Commence AV2 Streaming in 2027" (YouTube kataloğunda AV1'in payı): https://www.tvtechnology.com/platform/streaming/youtube-to-commence-av2-streaming-in-2027
- Google Research, "The in-loop filtering pipeline in AV2", 2026: https://research.google/pubs/the-in-loop-filtering-pipeline-in-av2/
- Fraunhofer IIS, "The Future of Broadcast in Brazil" (DTV+ ticari işletimi, Haziran 2026): https://mpegh.com/brazil/ ; CartaCapital, TV'lerdeki alıcılar üzerine: https://www.cartacapital.com.br/?p=628337 ; Olhar Digital, TV 3.0'da VVC üzerine: https://olhardigital.com.br/2026/05/01/pro/em-breve-a-tv-aberta-vai-mudar-no-brasil/
- 9to5Google, "YouTube adds AI-upscaled 'Super Resolution' for low-quality videos", 29 Ekim 2025: https://9to5google.com/2025/10/29/youtube-ads-ai-upscaled-super-resolution-for-low-quality-videos/
- Meta, "How Meta Deployed Super Resolution at Scale to Transform Video Quality", @Scale, 16 Ekim 2025: https://atscaleconference.com/how-meta-deployed-super-resolution-at-scale-to-transform-video-quality/
- Samsung, 8K TV'lerin öne çıkan özellikleri (NQ8 AI Gen3, 768 sinir ağı): https://www.samsung.com/us/tvs/8k-tv/highlights/

Fotoğraf ve görüntüler

- Qualcomm, "Meet the Snapdragon 8 Gen 2 Super Cameras" (Cognitive ISP): https://www.qualcomm.com/news/onq/2023/07/meet-the-snapdragon-8-gen-2-super-cameras
- Chips&Media ve Visionary.ai, tam yapay zeka tabanlı ISP, 5 Ocak 2026: https://www.edge-ai-vision.com/2026/01/chipsmedia-and-visionary-ai-unveil-the-worlds-first-ai-based-full-image-signal-processor-redefining-the-future-of-image-quality/ ; PetaPixel röportajı: https://petapixel.com/2026/01/18/a-look-at-the-worlds-first-full-ai-based-image-signal-processor
- JPEG komitesi, 103. toplantı basın bülteni (JPEG AI kazanımları, karmaşıklık, akıllı telefon uygulamaları): https://jpeg.org/items/20240507_press.html
- G. J. Sullivan, ISO/IEC JTC 1/SC 29'a giriş, Nisan 2026 (JPEG AI'ın durumu; ECM ve NNVC rakamları): https://www.mpeg.org/introduction-to-iso-iec-jtc-1-sc-29-coding-of-audio-picture-multimedia-and-hypermedia-information-the-world-of-jpeg-and-mpeg/
- IEEE 1857.11 çalışma grubu (sinir ağı tabanlı görüntü kodlama): https://sagroups.ieee.org/fvc
- Chrome 155 ve JPEG XL, 6 Ekim 2026: https://xenospectrum.com/en/chrome-155-jpeg-xl-rust/

Görüşmeler ve toplantılar

- Microsoft, "Satin: Microsoft's latest AI-powered audio codec for real-time communications", 17 Şubat 2021: https://techcommunity.microsoft.com/t5/microsoft-teams-blog/satin-microsoft-s-latest-ai-powered-audio-codec-for-real-time/ba-p/2141382
- Microsoft, "Announcing the Open-Source Release of ML Video Codec (MLVC)", 24 Temmuz 2026: https://techcommunity.microsoft.com/blog/linuxandopensourceblog/announcing-the-open-source-release-of-ml-video-codec-mlvc/4539875 ; kod: https://github.com/microsoft/mlvc
- Streaming Learning Center, "Microsoft MLVC: Interoperability, Power Realities, and the Neural Compression Patent Landscape": https://streaminglearningcenter.com/articles/microsoft_mlvc.html ; iReplay analizi: https://ireplay.tv/blog/mlvc-microsoft-neural-video-codec-open-source-streaming/
- Opus 1.5 sürüm notları: https://opus-codec.org/demo/opus-1.5 ; Opus 1.6: https://opus-codec.org/demo/opus-1.6

- Meta Engineering, "MLow: Meta's low bitrate audio codec", 13 Haziran 2024: https://engineering.fb.com/2024/06/13/web/mlow-metas-low-bitrate-audio-codec/
- Microsoft, Copilot+ PC'ler (40+ TOPS NPU): https://www.microsoft.com/en-us/windows/copilot-plus-pcs ; Apple, M4 duyurusu (38 TOPS Neural Engine): https://www.apple.com/newsroom/2024/05/apple-introduces-m4-chip/

Üretken yapay zeka

- Kyutai, Mimi model kartı (12,5 Hz, 1,1 kbps): https://huggingface.co/kyutai/mimi
- Lightricks, "LTX-Video: Realtime Video Latent Diffusion" (1:192 video VAE'si): https://arxiv.org/abs/2501.00103
- MPEG 153. toplantı basın bülteni (DIS aşamasında Video Coding for Machines): https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2026/03/press_release_153.pdf

Oyunlar ve grafik

- NVIDIA, DLSS 4'ün yaygınlaşması: lansman ve Computex 2025 (75 ve 125+): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/125-dlss-4-multi-frame-gen-games-more-announced-computex-2025/ ; Gamescom 2025 (175+): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/gamescom-2025-dlss-4-full-ray-tracing-game-announcements/ ; CES 2026 (250+, DLSS 4.5): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/dlss-4-rtx-path-tracing-game-announcements-ces-2026/
- Ubisoft La Forge, "Shipping Neural Texture Compression in Assassin's Creed Mirage", Şubat 2026: https://www.ubisoft.com/en-us/studio/laforge/news/415slmB3ZGzv8d2LhO9QT/shipping-neural-texture-compression-in-assassins-creed-mirage
- TweakTown, NVIDIA'nın GTC 2026 nöral doku demosu üzerine (6,5 GB'tan 970 MB'a): https://www.tweaktown.com/news/110886/nvidias-neural-texture-compression-cuts-vram-usage-from-6-5gb-down-to-970mb/index.html
- Microsoft DirectX blogu, Shader Model 6.9'un kararlı sürümü, 26 Şubat 2026: https://devblogs.microsoft.com/directx/shader-model-6-9-retail-and-more/ ; cooperative vector üzerine: https://devblogs.microsoft.com/directx/shader-model-6-9-and-the-future-of-cooperative-vector/ ; GDC 2026 planları: https://windowsreport.com/microsoft-showcases-neural-rendering-and-dxr-2-0-plans-for-directx-at-gdc-2026/

Özel amaçlı bağlantılar

- Global Trade Alert, Çin'in 2026/49 sayılı Duyurusu üzerine: https://globaltradealert.org/intervention/161396-china-government-revises-export-controls-on-drone-related-items ; DroneXL: https://dronexl.co/2026/10/19/china-drone-export-controls-motors-props-november-18/ ; Army Recognition (insansız kara platformu eşikleri): https://www.armyrecognition.com/news/army-news/2026/china-tightens-drone-export-controls-raising-supply-chain-risks-for-the-us-europe-and-ukraine
- DroneLife, FCC'nin yabancı üretim dronları ve bileşenlerini Covered List'e eklemesi, 22 Aralık 2025: https://dronelife.com/2025/12/22/fcc-adds-foreign-made-drones-and-components-to-covered-list-citing-national-security-risks/

Çip

- M. Tikekar vd., "A 249-Mpixel/s HEVC Video-Decoder Chip for 4K Ultra-HD Applications", IEEE JSSC 2014: https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/93876 ; MIT çip sayfası (4K30'da 78 mW): https://eecsg.mit.edu/chips/hevc-video-decoder-for-4k-ultra-hd-applications/
- S. Zhang vd., NVCA, DATE 2024: https://arxiv.org/abs/2312.10716
- Electronic Design, "Why Traditional VVC Will Outlive the Neural-Codec Hype on Silicon", 2026: https://www.electronicdesign.com/home/article/55414955/why-traditional-vvc-will-outlive-the-neural-codec-hype-on-silicon
- Z. Jia vd., "Towards Practical Real-Time Neural Video Compression" (DCVC-RT), CVPR 2025: https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2025/html/Jia_Towards_Practical_Real-Time_Neural_Video_Compression_CVPR_2025_paper.html ; ek materyal (modül bazlı karmaşıklık): https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2025/supplemental/Jia_Towards_Practical_Real-Time_CVPR_2025_supplemental.pdf
- NNVC ve SADL tamsayı çıkarım kütüphanesi: https://arxiv.org/abs/2309.05846
- Tencent Canghai V2, 27 Mayıs 2026 (10jqka üzerinden Shanghai Securities News): https://stock.10jqka.com.cn/20260527/c677016020.shtml ; özelliklerin özeti: https://www.besthub.dev/articles/tencent-s-canghai-v2-chip-enters-mass-production-what-the-new-capabilities-mean-for-video-encoding-bcfc18dbfa29
- Chips&Media AV2 kod çözücü IP'si, 12 Mayıs 2026: https://www.design-reuse.com/news/202530501-chips-media-completes-development-of-next-gen-av2-hw-decoder-ip/ ; AV2 lisansı, 17 Haziran 2026: https://www.edge-ai-vision.com/?p=58270
- Allegro DVT, AV2 kod çözücü IP'si, 16 Haziran 2026: https://www.edge-ai-vision.com/2026/06/allegro-dvts-pulsar-decoder-ip-adds-support-for-av2-video-codec/
- VeriSilicon, AV2 destekli VC9800D, 10 Haziran 2026: https://www.businesswirechina.com/en/news/63176.html

Standartlar ve patentler

- MPEG 155. toplantı basın bülteni (VVC ötesi için ortak teklif çağrısı), 5 Ağustos 2026: https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2026/08/ag3w254SN26474Press-Release-MPEG155.pdf
- MPEG 152. toplantı basın bülteni (kanıt çağrısı sonuçları; VVC ve VSEI sürümleri), 30 Ekim 2025: https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2025/11/Press-Release-MPEG152.pdf ; ACM SIGMM MPEG köşesi: https://records.sigmm.org/2025/12/09/mpeg-column-152nd-mpeg-meeting/
- Streaming Media, "AI Helps InterDigital Reach Beyond VVC in Race to Develop Next-Gen Codec": https://www.streamingmedia.com/Articles/News/Online-Video-News/AI-Helps-InterDigital-Reach-Beyond-VVC-in-Race-to-Develop-Next-Gen-Codec-171971.aspx

- GreyB, VVC ötesi (H.267) patent haritası: https://greyb.com/blog/exclusive-video-codec-landscape/ ; AV2 lisanslaması ve Alibaba portföy satışı üzerine: https://greyb.com/blog/av2-licensing/
- MLex, "Fragmented codec licensing exposes need for clearer rules for Chinese tech majors", 27 Mart 2026: https://www.mlex.com/mlex/articles/2458402/fragmented-codec-licensing-exposes-need-for-clearer-rules-for-chinese-tech-majors
- Access Advance, 1 Temmuz 2026 itibarıyla MCBA ve VVC Advance telif ücretleri: https://accessadvance.com/wp-content/uploads/2025/07/MCBA-Program-Overview-September-2026.pdf

Para ve şirketler

- InterDigital, Deep Render'ı satın alıyor, 30 Ekim 2025: https://www.advanced-television.com/2025/10/30/interdigital-acquires-deep-render
- TechCrunch, "Apple acquired a startup using AI to compress videos", 27 Mart 2023: https://techcrunch.com/2023/03/27/apple-acquired-a-startup-using-ai-to-compress-videos
- Neowin, "Sony acquires AI video startup iSIZE", Kasım 2023: https://www.neowin.net/news/sony-acquires-ai-video-startup-isize-to-enhance-playstation-streaming/

ÖĞRENİLMİŞ SIKIŞTIRMA · OYNATMA × ÇİP

2026'da Nöral Kodlama

Kodeğin yerine değil, çevresinde kullanılıyor

Bu rapordaki her temel rakamın kaynağı ve tarihi belirtilmiştir. Yazarın kendisinin türettiği rakamlar tahmin, yalnızca satıcı şirketin bildirdiği rakamlar üretici beyanı olarak işaretlenmiştir.

Tan Shuai

Teknolog ve kurucu · Yapay zeka araştırmacısı ve geliştiricisi

tanshuai.com · i@tanshuai.com

KAMUYA AÇIK SÜRÜM · Veriler 12 Kasım 2026 itibarıyla