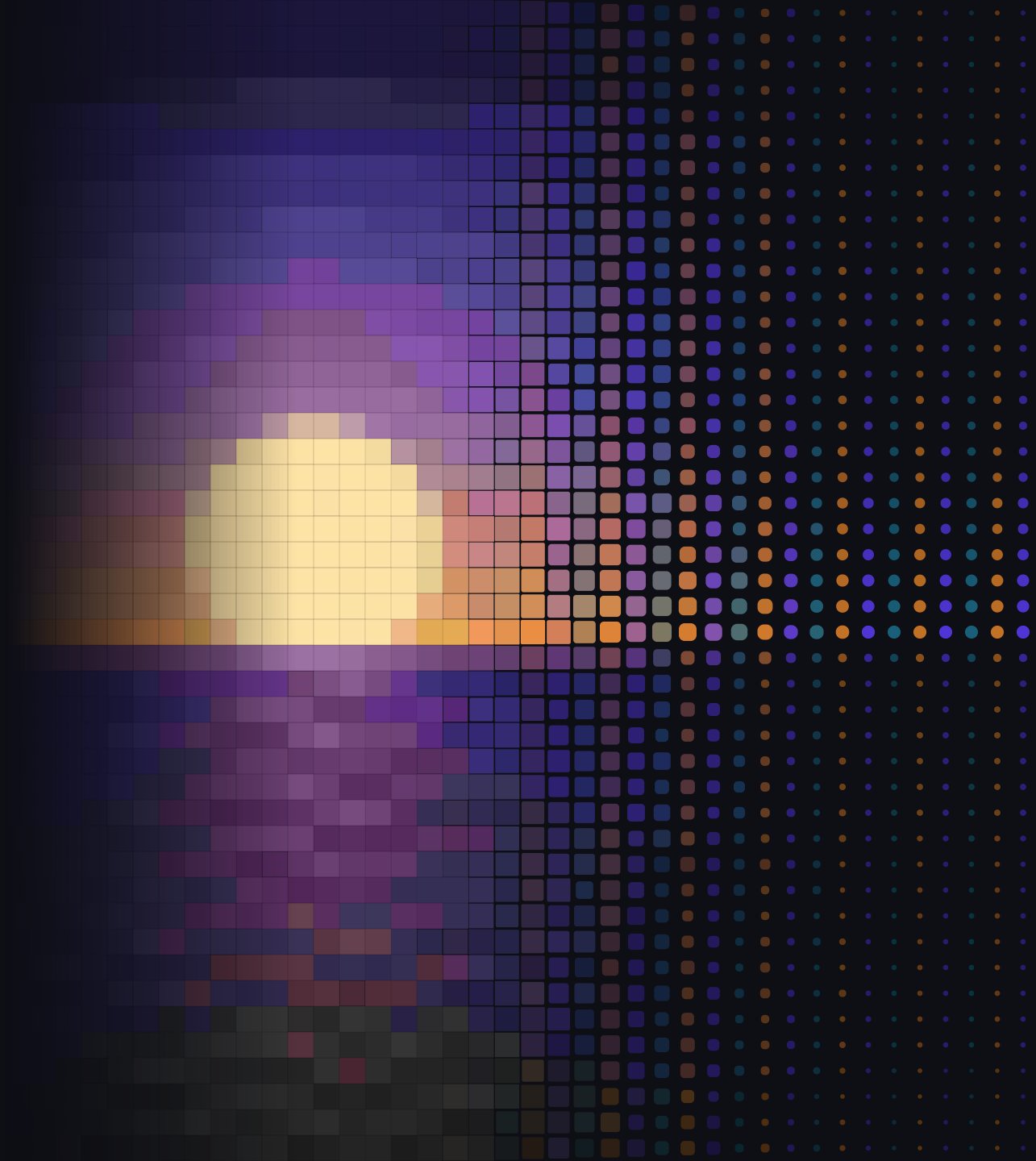
Araştırma notu · Kasım 2026

2026'da nöral kodlama

Kodeğin yerine değil, çevresinde

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

Tan Shuai
tanshuai.com · i@tanshuai.com



SONUÇ

Zaten ana akımda, ama kodeğin çevresinde

01 Sinir ağları standart kodeklerin iki ucunda ana akımda

Kamera ISP'leri, kodlama tarafında çözünürlük düşürme ve oynatmada süper çözünürlük. Aradaki bit akışı hâlâ AV1, HEVC, AVC veya VVC ve sabit işlevli donanımda çözülüyor.

02 Uçtan uca nöral kodekler yalnızca kapalı döngülerde

Görüşmeler, üretken yapay zeka tokenizer'ları ve bir AAA oyun: iki ucu tek bir şirket kontrol ediyor ve standart bir kodeğe geri dönebiliyor.

03 Ana akım ekranlarda nöral bit akışları H.267'yi bekliyor

Sürüm 1, 2029 sonunda bekleniyor; ilk çipler 2031 civarında, ana akım kullanım 2030'ların ortasında tahmin.

≈%75

mobil veri trafiğinde videonun payı (2025 sonu)

1,26 milyar

akıllı telefon 2025'te sevk edildi; hepsi videoyu sabit işlevli donanımda çözüyor

≈12×

yayımlanmış tek nöral kod çözücü çip tasarımının piksel başına enerjisi, donanımsal bir HEVC kod çözücüye göre

Sinir ağının kodeğe girdiği üç yol



> Kodeğin çevresinde çalışmak kimseden izin istemez. Bir standardın içinde olmak bir standart ister. Kodeğin yerine geçmek iki ucun da kontrolünü ister.

NEREDE KULLANILIYOR

2026'da nöral kodlama nerede 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	—

Satırlar, her alanın ulaştığı insan sayısına göre sıralanmıştır.

İki uçta nöral, ortada standart

- **Kodlayıcıda**

  Netflix'in nöral çözünürlük düşürücüsü 2022'den beri hiçbir cihazı değiştirmeden çalışıyor; Netflix testlerinde izleyicilerin yaklaşık %77'si onu tercih etti üretici beyanı.

- **Ekranda**

  YouTube Super Resolution Ekim 2025'ten beri TV'lerde; Meta süper çözünürlüğü hem sunucularında hem telefonlarda çalıştırıyor.

- **TV'nin içinde**

  Samsung, NQ8 AI Gen3 işlemcisini çözünürlük yükseltme için 768 sinir ağıyla tanıtıyor.

BİT AKIŞI STANDART KALIYOR

%30

Netflix izlemesinde AV1'in payı (Aralık 2025)

%90+

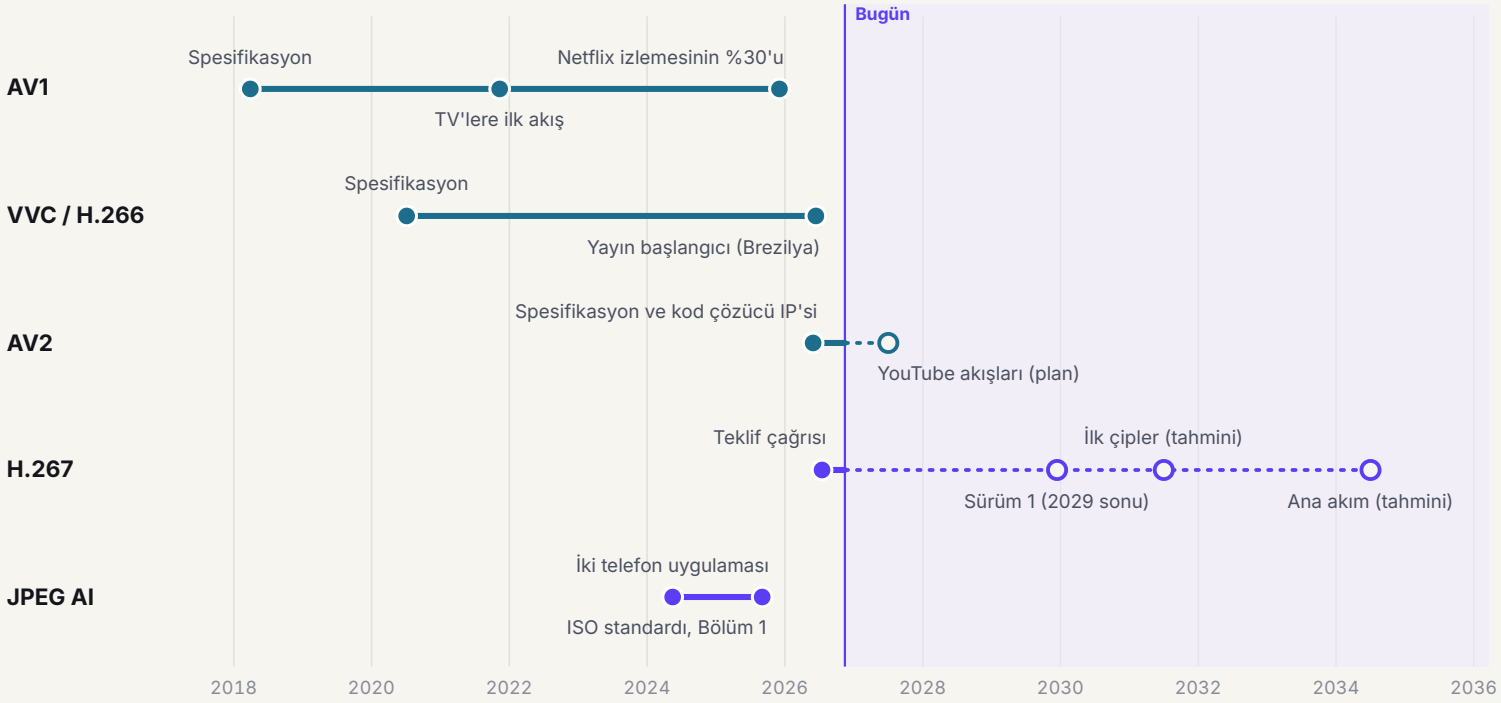
YouTube kataloğunun izlenme süresine göre AV1'de sunulan kısmı (Mart 2026)

3 hafta

AV2 sürüm 1.0.0'dan (28 Mayıs 2026) üç sağlayıcının kod çözücü IP müşterilerine kadar

ZAMANLAMA

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



AV1, spesifikasyondan (2018) Netflix izlemesinin %30'una (Aralık 2025) neredeyse sekiz yılda ulaştı. İçi boş işaretler hedefler veya benim tahminlerim.

Nöral araçların her ekrana ulaşıp ulaşmayacağını H.267 belirliyor

Ekim 2025
Kanıt çağrısı: 16 şirket ve laboratuvardan beş yanıt; nöral kazanımlar en belirgin biçimde 8K HDR'de

Temmuz 2026
Teklif çağrısı Cenevre'de yayımlandı

Ocak 2027
Yanıtlar Brisbane'de değerlendiriliyor

2027'nin ikinci yarısı
İlk test modeli

2029 sonu
Standardın 1. sürümü

≈%28
klasik ECM yolunun VVC'ye göre tasarrufu

%6–14
piksel başına 10 ila 22+ bin MAC'le nöral döngü içi filtrelerin tasarrufu

SEI
VVC akışları, kod çözücüde uygulanacak nöral son işleme filtresini şimdiden bildirebiliyor

Yorumum: kazanılan bitlerin kod çözücü maliyetine değdiği yerlerde birkaç nöral araçla klasik bir çekirdek analiz**.**

Kameranın içinde nöral, web'de klasik

- **Kamera**

  Qualcomm'un Cognitive ISP'si 2023'ten beri telefonlarda gerçek zamanlı bölütleme yapıyor; NPU'da çalışan tam bir yapay zeka ISP'si CES 2026'da gösterildi.

- **JPEG AI**

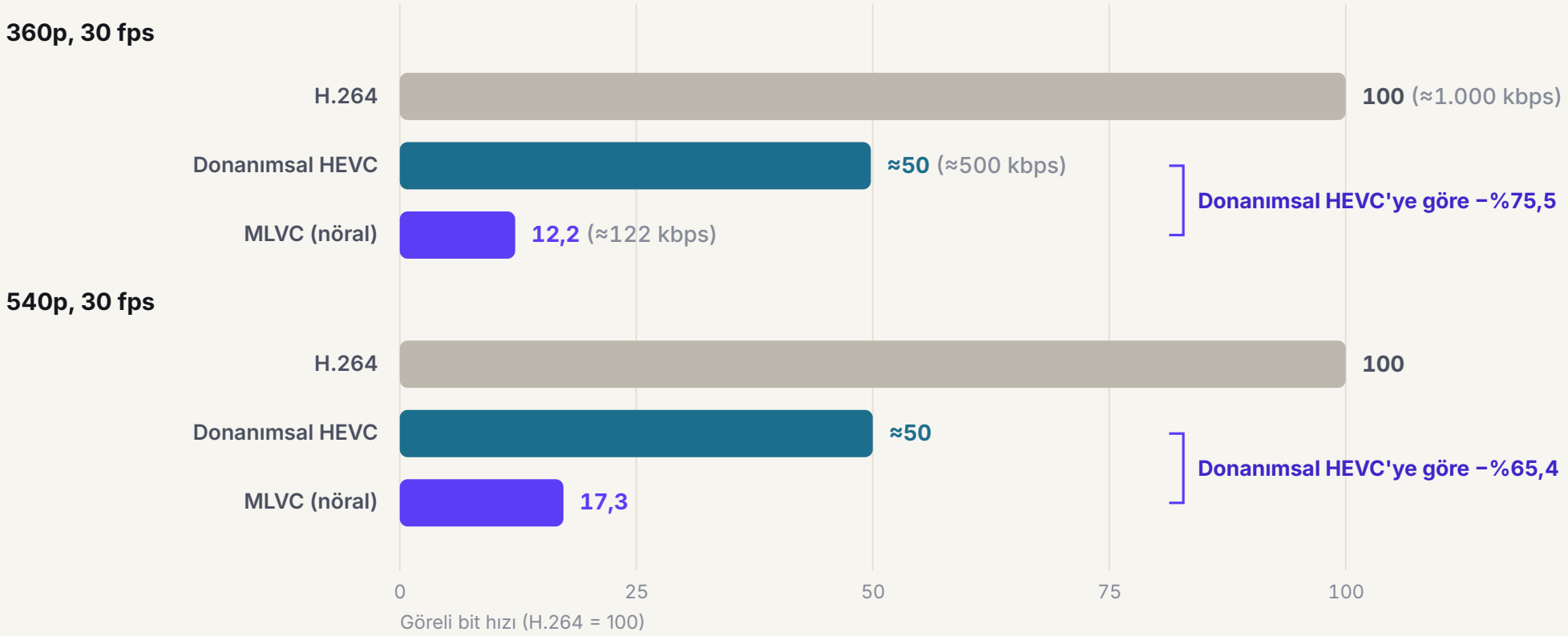
  2025'te yayımlandı: piksel başına 7 ila 216 bin MAC'le VVC çerçeve içi kodlamaya göre %12,5–27,9. Onu varsayılan olarak kullanan bir ürün bulamadım.

- **Web**

  Chrome 155, 6 Ekim 2026'da JPEG XL'i varsayılan olarak açtı; kod çözücüsü Rust ile yazılmış ve bellek açısından güvenli.

> **Her yerde açılması gereken formatlar klasik kalıyor; nöral kodlama tek bir şirketin işlem hattında kazanıyor.**

Uçtan uca nöral kodekler görüşmelerde kullanılıyor



Satin 2021'den beri tüm iki kişilik Teams ve Skype görüşmelerinde çalışıyor. 24 Temmuz 2026'dan beri MIT lisansıyla açık kaynak olan MLVC, eşler arası Teams görüşmelerinde 540p30'a kadar, NPU'nun en fazla yarısını kullanarak devreye alınıyor **üretici beyanı**.

Her platform nöral kodlamaya geçmedi; nedenleri öğretici

STANDARDIN İÇİNDE, İSTEĞE BAĞLI

Opus 1.5 ve 1.6

Nöral iyileştirme, paket kaybı gizleme, derin yedeklilik ve bant genişliği genişletme; hepsi varsayılan olarak kapalı ve 2012 standardıyla tam uyumlu.

BİLİNÇLİ OLARAK KLASİK

Meta MLow (2024)

Meta görüşmelerinin %20'den fazlası ARMv7 telefonlarda, günde on milyonlarca WhatsApp görüşmesi de on yaşını aşmış telefonlarda yapılıyor. MLow, 6 kbps'de Opus'un yaklaşık iki katı kaliteyi %10 daha az işlemle sunuyor.

Belirleyici olan, sahadaki cihazların karmaşıklık bütçesi. Nöral kodekler önce cihazların yeni olduğu ve iki ucu tek sağlayıcının kontrol ettiği yerde kullanılıyor.

Kimsenin kodek demediği en büyük kullanım

- **Her yerde öğrenilmiş kodekler**

  Her ses ve video modeli, öğrenilmiş bir kodeğin token'larını veya gizil değerlerini okuyup yazıyor.

- **Dağıtım formatı değil**

  Her modelin kendi gizil uzayı var: bit hızı denetimi yok, uygunluk testi yok, ikinci bir kod çözücü yok.

- **Bir maliyet kalemi**

  Üretken video sunan herkes için daha sıkıştırıcı bir gizil temsil, üretim maliyetini orantıdan fazla düşürür analiz.

İKİ ÖRNEK

12,5 Hz · 1,1 kbps

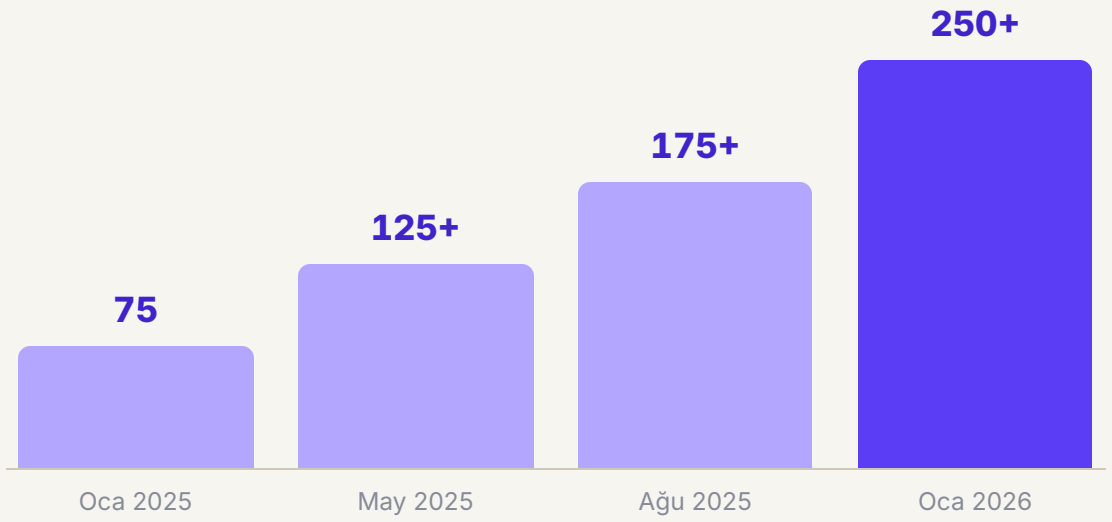
Kyutai'nin Mimi konuşma token'ları; her telefon kodeğinin altında

1:192

LTX-Video'nun video VAE'si: 8 kare boyunca 32×32 piksel için tek gizil token

Nöral yeniden oluşturma ana akımda; nöral varlıklar yeni başlıyor

DLSS 4 Multi Frame Generation: oyunlar ve uygulamalar



Nöral doku sıkıştırma

NVIDIA demo sahnesi, GTC 2026
Doku belleği 6,5 GB → 0,97 GB

%85 daha az bellek

Assassin's Creed Mirage, piyasaya çıktı
Yalnızca seçili varlıklarda; blok formatlarına göre

≈%30 daha iyi sıkıştırma

Farklı ölçütler: doğrudan karşılaştırılamaz

> DirectX Linear Algebra Nisan 2026'da genel önizlemeye girdi: her üreticinin GPU'sunda shader'ların içinde nöral kod çözme için tek bir kod yolu.

Uydular, dronlar ve robotlar: en iyi uyum, küçük pazar

- **Neden uygun**

  İki ucu tek bir sahip kontrol ediyor, bant genişliği kıt ve içerik, ona göre eğitim yapılabilecek kadar dar.

- **Çin**

  18 Kasım'da yürürlüğe giren 2026/49 sayılı Duyuru dron ihracat kontrollerini revize ediyor; maddelerden biri anlamsal görüntü sıkıştırmayı eşik olarak kullanıyor.

- **ABD**

  FCC, yabancı üretim dronları ve bunların kritik bileşenlerini 22 Aralık 2025'te Covered List'ine ekledi.

> **İhracat mevzuatına uyum kapasitesi olan uzman bir şirket için sağlam bir niş; ana akım bir pazar değil.**

Piksel başına bir büyüklük mertebesi daha fazla enerji

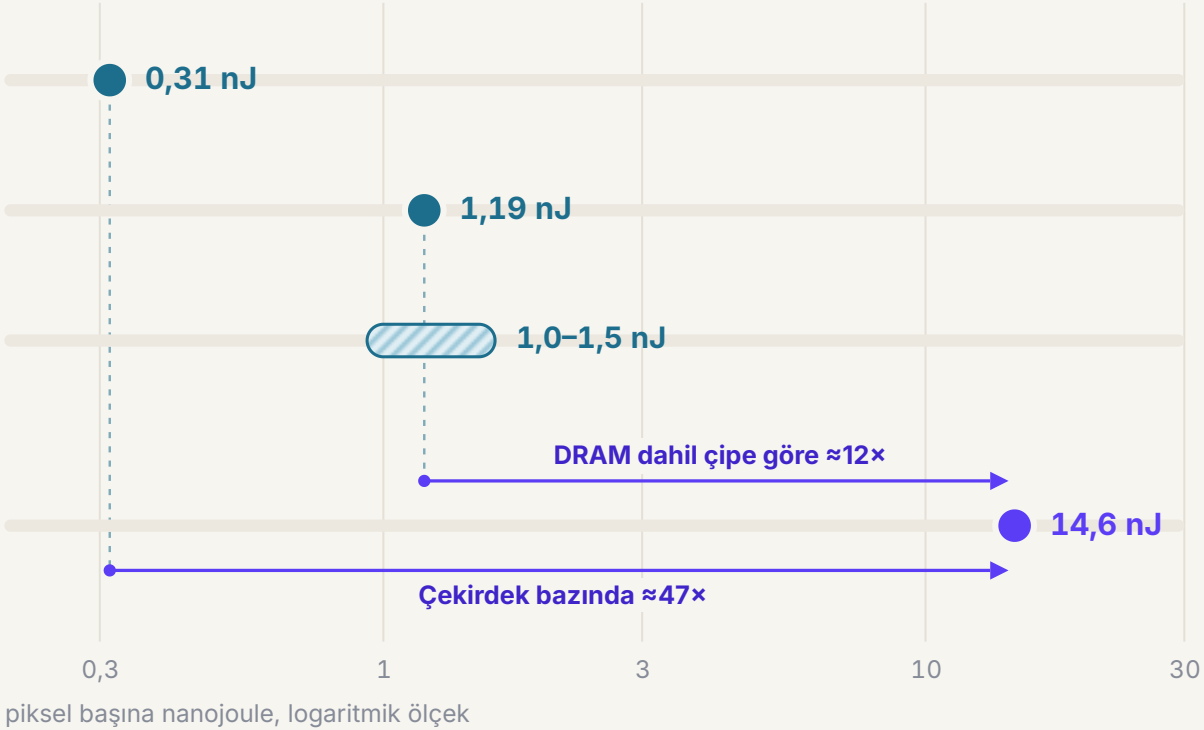
HEVC kod çözücü çipi, çekirdek
40 nm, 4K30, ölçülmüş

HEVC kod çözücü çipi, DRAM dahil
40 nm, 4K30, ölçülmüş çekirdek ve simüle edilmiş DRAM

VVC kod çözücü
28 nm, 4K60, projeksiyon

Nöral video kod çözücü (NVCA)
28 nm, 1080p25, yalnızca sentez; ağırlıklar ve DRAM hariç

1080p30'da: yaklaşık 74 mW'a karşı 908 mW.



1080p30'da: DRAM dahil HEVC çipi için yaklaşık 74 mW'a karşı NVCA için kabaca 900 mW. HEVC çipi daha eski bir üretim sürecinde, NVCA'da ağırlıklar ve DRAM hesaba katılmadı: karşılaştırma nöral tasarımı olduğundan iyi gösteriyor.

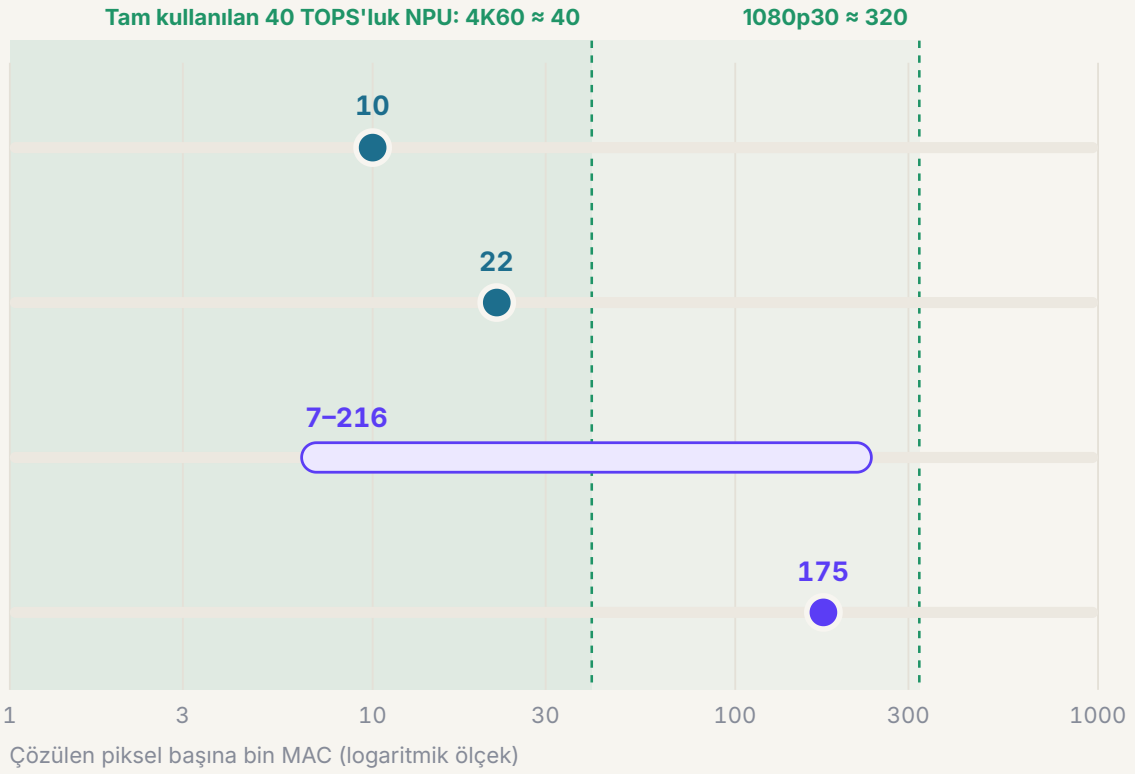
Nöral bir kod çözücü NPU'dan ne istiyor

Nöral döngü içi filtre, çok düşük karmaşıklık
JVET keşif çalışması · ≈%6 bit tasarrufu
1080p30'da 1,2 TOPS · 4K60'ta 10

Nöral döngü içi filtre, düşük karmaşıklık
JVET keşif çalışması · ≈%8
1080p30'da 2,7 TOPS · 4K60'ta 22

JPEG AI kod çözücüleri, temelden yükseğe
VVC çerçeve içi kodlamaya göre %12,5–27,9

DCVC-RT, bütün bir nöral video kod çözücü
VVC referansına göre %21, makaledeki ayarla
1080p30'da 22 TOPS · 4K60'ta 174



> DCVC-RT piksel başına yaklaşık 175 bin MAC gerektiriyor: tam kullanımda 1080p30'da yaklaşık 22, 4K60'ta 174 TOPS tahmin. Tam kullanılan 40 TOPS'luk bir NPU 4K60'ta yaklaşık 40 bine yetiyor.

Asıl sınırları bellek trafiği ve bit düzeyinde aynılık çiziyor

DRAM BASKIN

Önce bellek, sonra MAC

MIT'nin HEVC çipinde DRAM, sistem enerjisinin yaklaşık dörtte üçü: piksel başına 1,19 nJ'ün 0,88'i. Nöral kod çözücüler kareler arasında büyük öznitelik haritaları taşıyor; DCVC-RT'nin yazarları hızı aritmetiğin değil bellek G/Ç'sinin sınırladığını gördü.

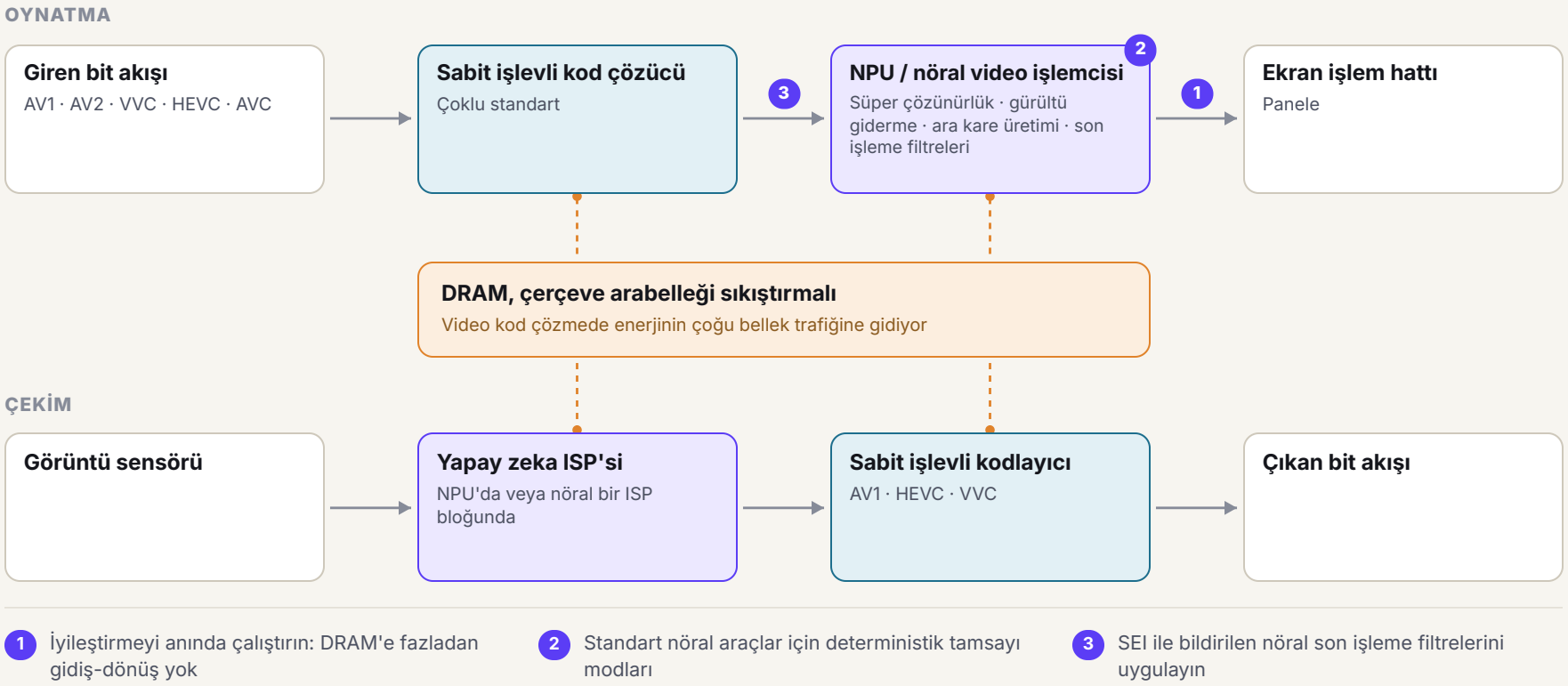
KESİNLİK

Her kod çözücü aynı bitleri hesaplamalı

İki cihaz bir olasılığı farklı hesaplarsa entropi kod çözme bozulur. Çözümler: tamsayı modeller (DCVC-RT), ortak ölçekli hiperönsel (MLVC), 16 bit tamsayı çıkarım (JVET'in SADL'si), uygunluk noktaları (JPEG AI).

Bir çip ekibi için bu, HEVC'nin tamsayı dönüşüm disiplininin tekrarı: standart aritmetiği tam olarak tanımlamalı.

Ürünlerdeki iş bölümü: sabit işlevli bir kodek artı NPU



> Tencent'in Canghai çipleri: 100.000'den fazla birinci nesil çip kullanımda; ikinci nesil H.266 ve çip üzerinde süper çözünürlük ekliyor. Chips&Media ve Allegro DVT, kodek IP'si ile nöral video IP'sini yan yana satıyor.

Ben olsam ne yapardım: role göre

SoC ve TV çipi ekipleri

- Oynatmanız gereken her standart için sabit işlevli kod çözücüler; şimdi AV2
- Ekran çözünürlüğünde iyileştirmeye göre boyutlanmış, DRAM'e fazladan gidip gelmeyen bir NPU
- Nöral son işleme filtresi SEI'si ve deterministik tamsayı modları
- H.267: 2029 veya sonrasında tasarım başlangıcı

IP sağlayıcıları

- Şimdi AV2 ve VVC kod çözücüler
- Son işleme filtresi hızlandırıcıları ve çerçeve arabelleği sıkıştırma
- Nöral işleme için uygunluk araçları

Video platformları

- Kodlayıcıda nöral ön işleme kendini ilk amorti eden yatırım
- Cihazlar elverdikçe istemci tarafında süper çözünürlük
- Uçtan uca nöral kodekler yalnızca kontrol ettiğiniz kapalı döngülerde

Nöral araçlar nerede lisanslanabilir hale geliyor

Standart	Nöral içerik	Durum, Kasım 2026
H.267 (çalışma adı)	Açık: klasik (ECM) ve nöral araçların ikisi de aday	Yanıtlar Ocak 2027'de değerlendiriliyor; sürüm 1 2029 sonunda
VSEI ile VVC ve HEVC	SEI'de tanımlı nöral son işleme filtresi; kod çözücüye isteğe bağlı	Yürürlükte; Ekim 2025'te genişletildi
AV2	Klasik, telifsiz	Sürüm 1.0.0, 28 Mayıs 2026; YouTube web akışları 2027 başına planlanıyor
JPEG AI	Uçtan uca öğrenilmiş görüntü kodeği	Bölüm 1 2025'te yayımlandı; varsayılan ürün desteği bulunamadı
IEEE 1857.11	NPU'lar için tasarlanmış nöral görüntü kodlama	Aralık 2024'te yayımlandı
Video Coding for Machines	İzlemek yerine makine analizi için kodlama	Taslak uluslararası standart, 2026 başı
Opus ML uzantıları	İsteğe bağlı ve geriye uyumlu	libopus 1.5 ve 1.6'da

645

ByteDance'in VVC ötesi patent aileleri (GreyB, 2025)

$0,50 · $1,00–1,50

Bölge 1'de telefon ve 4K TV başına VVC havuz ücreti

$0

AOMedia üyelerinin AV1 ve AV2 için aldığı telif ücreti

PARAYI KİM KAZANIYOR

Para, standartları ve platformları izliyor

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)

> En bilinen üç nöral kodek girişimini, WaveOne, iSIZE ve Deep Render'ı, Apple, Sony ve InterDigital satın aldı.

NEREDE HAMLE YAPILABİLİR

Altı hamle ve her birinin riski

Hamle	Kim satın alır	Neden şimdi	Ana risk
Kodlayıcıda nöral ön işleme	Video akış ve kullanıcı videosu platformları, yayıncılar	Cihaz değişikliği yok; Netflix'te kanıtlandı	Büyük platformlar kendileri geliştiriyor
Ekran tarafında iyileştirme IP'si ve ayarı	TV, set üstü kutu ve telefon çipi üreticileri	NPU'lar zaten cihazlarda	Metalaşma; şirket içi ekipler
Kapalı döngü nöral kodekler	Kurumsal iletişim, endüstriyel ve telepresence sağlayıcıları	MLVC işe yaradığını kanıtlıyor ve kodu açık	İki ucu da kontrol etmelisiniz; NPU parçalanması
Kodek artı NPU çipi veya IP'si	SoC üreticileri	AV2 döngüsü başlıyor	Güçlü yerleşik oyuncular
Değerlendirme, uygunluk ve deterministik çıkarım	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

DUYACAĞINIZ İDDİALAR

Bir iddia dört şeyi belirtmedikçe ona temkinle yaklaşın

İddia	Kanıtlar ne diyor
"Nöral kodekler VVC'yi şimdiden geçiyor."	Laboratuvarda. DCVC-RT, VVC'nin referans kodlayıcısına göre %21 tasarruf sağlıyor; kod çözücüsü piksel başına yaklaşık 175 bin MAC ister.
"Yapay zeka kodekleri birkaç yıl içinde H.26x ve AV1'in yerini alacak."	Oynatmada değil: H.267 sürüm 1 2029 sonunda, çipler 2031 civarında tahmin. Şu anda gelen kodek, AV2, klasik.
"MLVC bant genişliğini %88 azaltıyor."	360p'de H.264'e göre. Donanımsal HEVC'ye göre: Microsoft'un kendi test kümesinde 360p'de %75,5, 540p'de %65,4.
"Nöral dokular video belleğini %85–96 azaltıyor."	Demo sahnelerinde. Piyasaya çıkan oyun, yalnızca seçili varlıklarda, yaklaşık %30 kazandı.
"JPEG AI bir ISO standardı, dolayısıyla kameralar ve tarayıcılar onu benimseyecek."	Ürünlerde varsayılan destek bulunamadı. Web, klasik bir format olan JPEG XL'i benimsedi.

Referansı, ölçütü, çözünürlüğü ve kod çözme maliyetini sorun. Bu dördünü de belirtemeyen bir iddia bir araştırma sonucudur, ürün değil.

NEYİ İZLEMELİ

İzlenecekler ve açık sorular

YOL İŞARETLERİ

Ocak 2027	H.267 yanıtlarının değerlendirmesi: kaçı nöral araçlara dayanıyor, piksel başına maliyeti ne
2027 başı	YouTube'un ilk AV2 web akışları; duyurulan SoC'lerde AV2 kod çözücüler
2027'nin ikinci yarısı	H.267'nin ilk test modeli
2027	MLVC, eşler arası Teams görüşmeleri dışında
2027–2028	JPEG AI'ı varsayılan olarak kullanan ilk ürün
2029 sonu	H.267 sürüm 1 çip döngüsünü başlatıyor

AÇIK SORULAR

01 Büyük ölçekte kesinlik: farklı üreticilerin NPU'larında bit düzeyinde aynı tamsayı kod çözme, hangi sıkıştırma kaybıyla?

02 Önce bellek, sonra MAC: nöral son işlemenin piksel başına DRAM trafiği

03 Nöral bir aracın H.267'de kendini amorti etmeyi bıraktığı piksel başına maliyet

04 Görüşmeler dışında hangi kapalı döngüler uçtan uca nöral kodekleri ilk benimseyecek

05 Kod çözücü ayrıntı ürettiğinde aslına uygunluk nasıl ölçülmeli

Bunlar, teknik görüş alışverişi ve teknik iş birliği yoluyla birlikte keşfedebileceğimiz alanlar.

i@tanshuai.com · tanshuai.com