

# NETMETRİK Quality Framework (NQF) Metodolojisi

**Sürüm 2.0 — As-Built (Uygulanmış Sistem) Yayın tarihi:** 20 Haziran 2026 **Kurum:** NETMETRİK — Türkiye merkezli bağımsız internet ölçüm platformu

**Bu sürüm hakkında.** Bu doküman, NETMETRİK ölçüm motorunun *fiilen çalışan* (as-built) sürümünü tanımlar. Açıklanan her yöntem, üretimdeki ölçüm istemcisinde ( SpeedEngine ) uygulanmıştır ve kaynak kod üzerinden doğrulanabilir. Henüz uygulanmamış, planlanan teknikler §9 **Yol Haritası** bölümünde ayrı ve açıkça etiketlenmiştir; mevcut metodoloji gibi sunulmaz. Bu ayırım, "şeffaf ve doğrulanabilir" ilkemizin gereğidir.

## Özet

NETMETRİK Quality Framework (NQF), internet bağlantı kalitesini tek bir statik sayı yerine zamana bağlı bir ölçüm dağılımı olarak ele alan bir tüketici ölçüm metodolojisidir. Tamamen tarayıcı tabanlı bir istemci ile çalışır; HTTP/2 akışlı indirme ve WebSocket öncelikli yükleme taşıması kullanır. Bant genişliği, 15 saniyelik sabit süreli bir test boyunca toplanan örneklerin **P30–P90 budanmış ortalaması** (trimmed mean) ile raporlanır. Yanıt verebilirlik, RFC 9097 esinli **RPM (Responsiveness Per Minute)** metriğiyle yük altındaki gerçek gecikme üzerinden hesaplanır; bufferbloat, yük altındaki gecikme ile boştaki gecikme farkı olarak ölçülür. Sonuçlar ayrıca somut kullanım senaryolarına (4K video, bulut oyun, VoIP) eşlenir. Metodoloji, sektör referansı Speedtest.net (v2.11) ile aynı temel istatistiksel raporlama yaklaşımını paylaşacak şekilde kalibre edilmiştir; farklar §7'de açıkça belirtilmiştir.

## 1. Motivasyon

İnternet bağlantı kalitesini tek bir statik sayıyla ("100 Mbps") ifade etmek, modern ağların değişken davranışını yansıtmakta yetersiz kalır. Gerçek kullanıcı deneyimi; hızın zaman içindeki kararlılığına, yük altında gecikmenin nasıl davrandığına ve darboğazların nerede oluştuğuna bağlıdır.

NQF'in amacı, tüketiciye yalnızca "İnternetim ne kadar hızlı?" sorusunun değil; "Bağlantım ne kadar kararlı, yük altında ne kadar tepkisel ve bu hatla hangi dijital deneyimleri sorunsuz yaşayabilirim?" sorularının da yanıtını vermektir. NETMETRİK, Türkiye merkezli bağımsız bir ölçüm otoritesi olarak şeffaf ve yeniden üretilebilir bir metodoloji sunmayı hedefler.

## 2. Mevcut Yaklaşımların Değerlendirmesi

Yaygın ölçüm araçlarının her birinin belirgin tasarım tercihleri ve sınırlamaları vardır:

- Ookla (Speedtest.net):** Sektörün küresel referansı. Çoklu bağlantılı, kısa süreli, doyum odaklı bir ölçüm yapar. Raporlama metodolojisi (budanmış ortalama) bizim de temel aldığımız

yaklaşımıdır. Eleştirilen yönü, sonucu zirveye yakın bir noktaya yaklaştırma eğilimidir.

- **Cloudflare Speed Test:** 90. yüzdelik (p90) tabanlı gerçekçi bir raporlama ve RPM entegrasyonu sunar. Performansı yine tek bir özet değere indirger.
- **M-Lab (NDT):** Tekil-akış (single-stream) TCP analizi yapar. Bilimsel olarak muhafazakâr ancak modern çoklu-akış uygulamalarının gerçek performansını tam yansıtmaz.
- **Fast.com:** Netflix CDN odaklıdır; ISS'lerin CDN peering anlaşmaları sonuçları etkileyebilir (CDN-bias).

NQF, Ookla'nın kanıtlanmış istatistiksel raporlama temelini benimser; bunun üzerine yük altındaki yanıt verebilirliği (RPM, bufferbloat) ve kullanım senaryosu eşleşmesini birinci sınıf çıktı olarak ekler.

## 3. Sistem Mimarisi

### 3.1. Test Sunucuları (NetmetrikServer)

Test yükü, Go ile yazılmış durumsuz (stateless) sunucular tarafından sağlanır. Sunucular yalnızca ölçüm trafiği üretir/tüketir, kullanıcı durumu tutmaz:

- `HEAD /ping` — RTT (gidiş-dönüş süresi) ölçümleri için.
- `GET /download` — İstemciye akışlı (streaming) test verisi gönderimi.
- `POST /upload` ve WebSocket yükleme kanalı — İstemciden gelen ikili (binary) verinin alınıp onaylanması.

### 3.2. Taşıma Katmanı (As-Built)

Uygulanmış sistem iki taşıma protokolü kullanır:

- **İndirme:** HTTP/2 (H2) üzerinden akışlı `GET`. H2'nin çoklama (multiplexing) yeteneği, tek bağlantı üzerinden çoklu eşzamanlı akışa olanak tanır.
- **Yükleme:** Öncelikli olarak **WebSocket** ikili çerçeveleri (binary frames); WebSocket kurulamazsa **HTTP/2 akışlı POST** yedeğine düşülür. Seçilen taşıma sonuç kaydında `transport_ul` alanıyla (`ws` veya `h2`) raporlanır.

Boştaki ve yük altındaki gecikme ölçümleri, indirme/yükleme trafiğiyle aynı H2 bağlantısı üzerinden çoklanmaktan kaçınmak için ayrı bir TCP bağlantısı (WebSocket prob, yoksa HTTP HEAD) üzerinden yapılır. Bu, yük altındaki gecikmenin H2 head-of-line etkileriyle bozulmasını önler.

## 4. Sunucu Seçimi ve Gecikme Ölçümü

### 4.1. Sunucu Seçimi

Yapılandırılmış test düğümleri paralel olarak (en çok 10 düğüm — Speedtest v2.11 varsayımı ile uyumlu) ölçülür. Her düğüm için birden çok örnek alınır ve düğümler **medyan RTT**'ye göre sıralanır; en düşük medyan RTT'ye sahip düğüm kazanan olarak seçilir. Test trafiğinin tamamı bu tek kazanan düğüme sabitlenir (single-host pinning).

## 4.2. Boştaki Gecikme (Unloaded Latency)

- Düşüm başına **5 örnek**, örnekler arası **50 ms** aralıkla alınır.
- Raporlanan **ping**, örneklerin **minimumudur** — bu, işletim sistemi zamanlama jitter'ını ayıklayarak hattın gerçek taban gecikmesini yansıtır.
- **Jitter**, ardışık örnekler arasındaki mutlak farkların ortalaması olarak hesaplanır.
- Ayrıca **IQM** (çeyrekler-arası ortalama, p25–p75) bir kararlılık ölçüsü olarak raporlanır.

## 4.3. Yük Altındaki Gecikme (Loaded Latency)

İndirme ve yükleme testleri sırasında, ısınma (ramp-up) aşamasından sonra **50 ms** aralıklarla sürekli gecikme örnekleri alınır. Hem indirme hem yükleme için ayrı ayrı yük altındaki gecikmenin medyanı ve IQM'i hesaplanır.

# 5. Bant Genişliği Ölçümü

Hem indirme hem yükleme testi **15 saniye sabit süre** ile çalışır.

## 5.1. İndirme (HTTP/2)

- **Başlangıç eşzamanlılığı:** 4 paralel akış.
- **Eşzamanlılık ayarı:** Ölçülen hıza göre `clamp(round(Mbps / 6), 4, 6)` formülüyle akış sayısı belirlenir (akış başına ~6 Mbps kapasite varsayımı; Speedtest v2.11 `calculateDesiredConnections` ile uyumlu). Tek-host topolojisinde üst sınır 6 akıştır.
- **Prob aşaması:** 1.0–2.0 s arası 1 saniyelik bir pencerede ön-ölçüm yapılır.
- **Isınma (ramp-up) ve atılan örnekler:** Prob + yerleşme süresi (~2.5–3.0 s) boyunca alınan örnekler, TCP yavaş-başlangıcı (slow-start) etkisini elemek için final hesabından **dışlanır**.
- **Örnekleme aralığı:** 500 ms.

## 5.2. Yükleme (WebSocket öncelikli, HTTP/2 yedekli)

### Birincil — WebSocket çoklu soket:

- **4 paralel soket** üzerinden ikili çerçeveler gönderilir (Speedtest'in 4 paralel POST davranışıyla uyumlu).
- **Yığın (chunk) boyutu:** 64 KB; geri-basınç (backpressure) `bufferedAmount` üzerinden, hedef tampon 4 MB.
- **Toplama:** Sunucu tarafı kümülatif bayt raporlarından türetilen deltalar, **250 ms** çözünürlüklü duvar-saati (wall-clock) kovalarına yazılır. Duvar-saati kovalama, sunucu raporlama gecikmelerinin ölçümü şişirmesini önler.

### Yedek — HTTP/2 akışlı POST:

- Akış başına 32 KB yığın (H2 başlangıç akış penceresi ~64 KB sınırının altında kalır, WINDOW\_UPDATE tıkanmasını önler).
- Yüksek bant-genişliği-gecikme çarpımı (high-BDP) rejiminde daha yüksek akış sayısına ölçeklenir.

### 5.3. İstatistiksel Toplama ve Raporlama

Hem indirme hem yükleme için raporlanan değer iki adımda hesaplanır:

- Kovalama (bucketize → 20 kova):** Yüksek frekanslı örnekler (~50–500 ms) 20 kovaya indirgenir (~750 ms etkin çözünürlük). Bu, TCP-cwnd kaynaklı mikro dalgalanmaların budama adımını aşırı etkilemesini önler ve Speedtest'in kendi raporlama çözünürlüğüne yaklaşır.
- P30–P90 budanmış ortalama (trimmed mean):** Kovalanmış örnekler sıralanır; alt **%30** (yavaş-başlangıç ve cwnd dipleri) ve üst **%10** (burst kredisini sıçramaları) atılır; geriye kalan orta **%60**'in aritmetik ortalaması raporlanan hız olarak alınır.

Örnek sayısı 5'in altındaysa (bozulmuş ölçüm) medyana geri düşülür — bu bir kalibrasyon değil, hata-toleransı davranışıdır. Bağlamsal değerler olarak ham **medyan** ve **zirve (peak)** de hesaplanır.

**Tasarım gerekçesi.** Üst banda yakın raporlama (ör. top-%30 ortalaması) burst kredisini yakalayıp hattın fiziksel limitinin üzerinde değer üretebilir. P30–P90 budaması spike'ları keser ve kümülatif bayt sayacıyla yakınsayan, *sürdürülebilir* orta bandı verir.

## 6. Yük Altında Yanıt Verebilirlik

### 6.1. Bufferbloat

Bufferbloat, hat doluyken eklenen kuyruklama gecikmesidir ve şöyle hesaplanır:

```
worstLoaded = max(loadedDownload, loadedUpload)
bufferbloat = max(0, worstLoaded - unloadedPing)
```

### 6.2. RPM (Responsiveness Per Minute) — RFC 9097 esinli

NQF'in tüketici tarafındaki başlıca yanıt-verebilirlik skoru RPM'dir. Hat tam yük altındayken bir dakikada gerçekleştirilebilecek tam gidiş-dönüş sayısını temsil eder ve en kötü durum (worst-case) yük altındaki gecikme üzerinden hesaplanır:

```
RPM = min( round( 60000 / max(loadedLatencyMs, 10) ), 2000 )
```

Taban (10 ms) sifıra bölünmeyi önler; tavan (2000 RPM) ~30 ms ve altı yük-altı gecikmeyi temsil eder. Yüksek RPM akıcı, anında tepki veren bir bağlantıyı; düşük RPM (ör. <200) ciddi bufferbloat'ı işaret eder.

## 7. Speedtest.net (v2.11) ile Kalibrasyon ve Farklar

NQF motoru, sektör referansı Speedtest.net v2.11 ile aynı temel istatistiksel raporlama yaklaşımını paylaşacak şekilde kalibre edilmiştir. Dürüstlük adına, paylaşılan ve ayrışan noktalar aşağıda açıkça listelenmiştir.

### Paylaşılan (kalibre):

- 15 saniyelik sabit test süresi (indirme ve yükleme).
- P30–P90 budanmış ortalama ile raporlama.
- İndirme eşzamanlılık formülü `clamp(round(Mbps/6), 4, 6)`.
- Paralel ölçülen düğüm üst sınırı 10; ping örnek aralığı 50 ms.

### Ayrışan (tasarım tercihi):

- **Yükleme taşıması:** NQF WebSocket-öncelikli (H2 yedekli); Speedtest varsayılan olarak HTTP POST (XHR) kullanır.
- **Sunucu topolojisi:** NQF tek-host sabitleme (yeniden üretilebilirlik için); Speedtest çoklu sunucu kullanabilir.
- **Yığın boyutları:** Taşıma katmanı ayarları (64 KB WS / 32 KB H2) Speedtest'in yığın boyutlarından farklıdır.

Bağımsız üç-koşu karşılaştırmasında indirme hızı sapması  $\pm 0,2$  düzeyinde ölçülmüştür. Tam karşılaştırma verisi bu dokümanın eki olarak yayımlanır.

## 8. Uygulama Kapasite Eşlemesi

Ham metrikler somut kullanım senaryolarına eşlenir. Uygulanmış eşikler:

Senaryo	Koşul
4K Video Akışı	İndirme > 25 Mbps
Bulut Oyun (Cloud Gaming)	RPM > 800 <b>ve</b> İndirme > 30 Mbps <b>ve</b> ping < 40 ms
Görüntülü Görüşme (VoIP)	RPM > 200 <b>ve</b> ping < 150 ms

Bu profil, soyut bir sayı yerine "bu hatla neyi sorunsuz yapabilirim?" sorusuna doğrudan yanıt verir.

## 9. Sınırlamalar

- Ölçüm tarayıcı katmanından yapılıdır; tarayıcı/OS zamanlaması ve cihaz CPU yükü üst sınırı etkileyebilir. Minimum-RTT ping seçimi ve örnek budaması bu etkileri kısmen azaltır.
- Tek-host sabitleme, seçilen düğümün tam kapasiteyi karşıladığı varsayımına dayanır.
- Gigabit ve üzeri hatlarda tek-host + 6-akış üst sınırı bir tavan oluşturabilir; bu, sunucu kapasitesinin yükseltilmesiyle (round-robin değil) ele alınır.
- RPM ve bufferbloat, ölçüm anındaki ağ koşullarını yansıtır; günün farklı saatlerinde değişebilir.

## 10. Yol Haritası / Gelecek Çalışma (Henüz Uygulanmadı)

**Önemli.** Bu bölümdeki yöntemler mevcut üretim motorunda **uygulanmamıştır**; tasarım hedefleridir. Yukarıdaki §3–§8 ile karıştırılmamalıdır.

- **Dağılım modellemesi:** Hız zaman serisi için çekirdek yoğunluk tahmini (KDE) ve bimodalite tespiti (Hartigan dip testi) ile trafik şekillendirme/QoS imzalarının yakalanması.
- **Spektral analiz:** Yapısal dalgalanmaların Welch periodogramı ile incelenmesi.
- **Yol ayrıştırma (Path Decomposition):** DNS/TCP/TLS/TTFB zamanlamalarından darboğaz katmanının (Wi-Fi, modem, yerel santral, peering) kestirimi.
- **HTTP/3 + QUIC taşıması:** UDP tabanlı, o-RTT destekli birincil taşıma katmanı.
- **Z-score tabanlı aykırı değer yönetimi:** Arka plan etkinliğiyle bozulan testlerin istatistiksel işaretlenmesi.
- **Native istemciler (iOS/Android):** Ham TCP/UDP soketleriyle daha yüksek doğruluk.
- **Açık veri ve IETF taslağı:** Anonimleştirilmiş çeyreklik veri setleri ve metodolojinin Internet-Draft olarak sunulması.

## 11. Kaynakça

---

1. C. Paasch, R. Meyer, S. Cheshire, J. Iyengar, "Responsiveness under Working Conditions," RFC 9097, IETF, 2021.
  2. Ookla, "Speedtest.net measurement methodology," (v2.11 web istemcisi, gözlemlenen davranış).
  3. Cloudflare, "Test your Internet speed – methodology."
  4. M-Lab, "NDT (Network Diagnostic Tool) methodology."
- 

*Bu doküman canlı bir referanstır ve motor geliştikçe güncellenir. As-built bölümlerinde (§3–§8) açıklanan her yöntem, yayın tarihindeki üretim kaynak koduyla doğrulanabilir.*