



Lokal Boşlukların Geç Evren Hubble Sabiti (H₀) Ölçümlerine Etkisinin Yoğunluk Kontrastına Dayalı Nicel Analizi

UAK
2026

Ali İlyas Göl¹

¹ Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

24. Ulusal Astronomi Kongresi, Atatürk Üniversitesi, 24-28 Ağustos 2026

Giriş

Evrenin genişleme hızını ifade eden Hubble sabiti (H_0), erken ve geç evren gözlemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir uyumsuzluk göstermektedir. Erken evrene dayalı Planck 2018 (CMB) ölçümleri yaklaşık **67–68 km s⁻¹ Mpc⁻¹**, geç evrene dayalı SH0ES ölçümleri ise yaklaşık **73 km s⁻¹ Mpc⁻¹** değeri vermektedir. Bu iki ölçüm arasındaki yaklaşık **%9** düzeyindeki fark, Hubble gerilimi (*Hubble tension*) olarak adlandırılmaktadır.

Bu gerilimi açıklamak amacıyla öne sürülen olası sistematiklerden biri, gözlemcinin bulunduğu çevredeki yerel düşük yoğunluklu bölgelerin (*local voids*) geç evren H_0 ölçümleri üzerindeki etkisidir. Yerel boşluklar, düşük kırmızıya kayma ($z \lesssim 0.1$) bölgesinde bulunan ve evrensel ortalamaya göre daha düşük madde yoğunluğuna sahip büyük ölçekli yapılardır. Bu yapılar, yoğunluk kontrastı (δ) ile tanımlanır.

$$\delta = \frac{\rho - \bar{\rho}}{\bar{\rho}}$$

Burada ρ yerel, $\bar{\rho}$ ise evrensel ortalama madde yoğunluğunu temsil eder.

Yöntem

Çalışma kapsamında 40'tan fazla yayın kronolojik olarak taranmış ve seçim ölçütlerini karşılayan 22 referans çalışmada raporlanan yerel yoğunluk ölçümleri kullanılarak **Master Void Database (Bkz. Tablo 1)** oluşturulmuştur.

Veri tabanı toplam 59 kayıt içermekte olup bunların 46'sı doğrudan raporlanan veya mevcut verilerden hesaplanabilen yoğunluk kontrastı (δ) değerine sahiptir.

δ değerleri, yerel yoğunluk değişimlerinin genişleme hızı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bağlı Hubble kaymasına ($\Delta H/H$) dönüştürülmüştür.

Bu dönüşümde önce lineer rejim yaklaşımı (**Denklem 1**), ardından büyüme oranı **f(Ω_m)** ile **ALTB modeli** üzerinden hesaplanan doğrusal olmayan yoğunluk düzeltmesini **$\Theta(\delta)$** içeren tam Marra et al. (2013) bağıntısı (**Denklem 2**) kullanılmıştır.

$$\frac{\Delta H}{H} = -\frac{\delta}{3}$$

Lineer Yaklaşım
Denklem 1

$$\frac{\Delta H}{H} = -\frac{\delta}{3} f(\Omega_m) \Theta(\delta)$$

Marra et al. (2013) bağıntısı
Denklem 2

Tablo 1

Çalışma	Fiziksel izleyici	Veri kökeni	nδ	δ aralığı	⟨δ⟩	⟨ΔH/H⟩ lineer	⟨ΔH/H⟩ tam Marra
Huang et al. (1996)	Parlaklık yoğunluğu	Türetilmiş	1	−0,500	−0,500	+16,67%	+9,77%
Busswell et al. (2003)	Galaksi sayımları	Türetilmiş	1	−0,250	−0,250	+8,33%	+4,59%
Frith et al. (2003)	Galaksi sayımları	Türetilmiş	1	−0,200	−0,200	+6,67%	+3,63%
Frith et al. (2005)	Galaksi sayımları	Gözlemsel	1	−0,240	−0,240	+8,00%	+4,40%
Frith, Shanks & Outram (2005)	Galaksi sayımları	Türetilmiş	1	−0,300	−0,300	+10,00%	+5,57%
Frith et al. (2006)	Galaksi sayımları	Türetilmiş	1	−0,250	−0,250	+8,33%	+4,59%
Keenan et al. (2013)	Parlaklık yoğunluğu	Hesaplanmış	6	[−0,342; +0,205]	−0,066	+2,21%	+1,29%
Whitbourn & Shanks (2014)	Galaksi sayımları	Gözlemsel	12	[−0,400; +0,030]	−0,126	+4,19%	+2,30%
Carrick et al. (2015)	Hız/yoğunluk yeniden kurulumu	Model	3	[−0,170; +0,030]	−0,043	+1,44%	+0,79%
Karachentsev & Telikova (2018)	Yerel madde yoğunluğu	Türetilmiş	2	[−0,667; −0,635]	−0,651	+21,70%	+13,35%
Böhringer et al. (2019)	X-ışını kümeleri	Gözlemsel	2	[−0,300; −0,200]	−0,250	+8,33%	+4,60%
Böhringer et al. (2020)	X-ışını kümeleri	Gözlemsel	2	[−0,300; −0,270]	−0,285	+9,50%	+5,27%
Haslbauer et al. (2020)	Parlaklık yoğunluğu	Türetilmiş	2	[−0,254; −0,172]	−0,213	+7,10%	+3,89%
Wong et al. (2022)	Galaksi sayımları	Gözlemsel	2	[−0,200; −0,130]	−0,165	+5,50%	+2,98%
Jia et al. (2025)	SN Ia/BAO yeniden kurulumu	Model	1	−0,500	−0,500	+16,67%	+9,77%
Futamase et al. (2026)	SN Ia/BAO yeniden kurulumu	Model	8	[−0,460; +0,110]	−0,076	+2,54%	+1,46%
GENEL — δ bulunan çalışmalar	Tüm izleyiciler	Tümü	46	[−0,667; +0,205]	−0,174	+5,81%	+3,30%

Bu yöntemler sonucunda, δ değeri belirlenebilen 14 çalışmaya ait 46 kayıt ortak bir çerçevede karşılaştırılabilir hâle getirilmiştir. **Tablo 1**'de çalışmalar; kullanılan fiziksel izleyici, veri kökeni, δ dağılımı ve lineer/Marra düzeltmeli $\Delta H/H$ çıkarımlarıyla birlikte özetlenmiştir.

Tablo 1'de **Veri kökeni** sütunu; doğrudan gözlemsel, yayımlanmış sonuçlardan türetilmiş, ham verilerden hesaplanmış veya model uyumundan **$\delta = \rho/\bar{\rho} - 1$** tanımı kullanılarak (*Keenan et al. 2013; Böhringer et al. 2020*) elde edilmiş δ değerlerini ifade eder. (*İlgili δ değerleri dağılımı için Şekil 2'ye bakınız.*)

Türetilmiş ve hesaplanmış değerler için kullanılan fiziksel izleyiciye özgü δ dönüşümleri aşağıda verilmiştir.

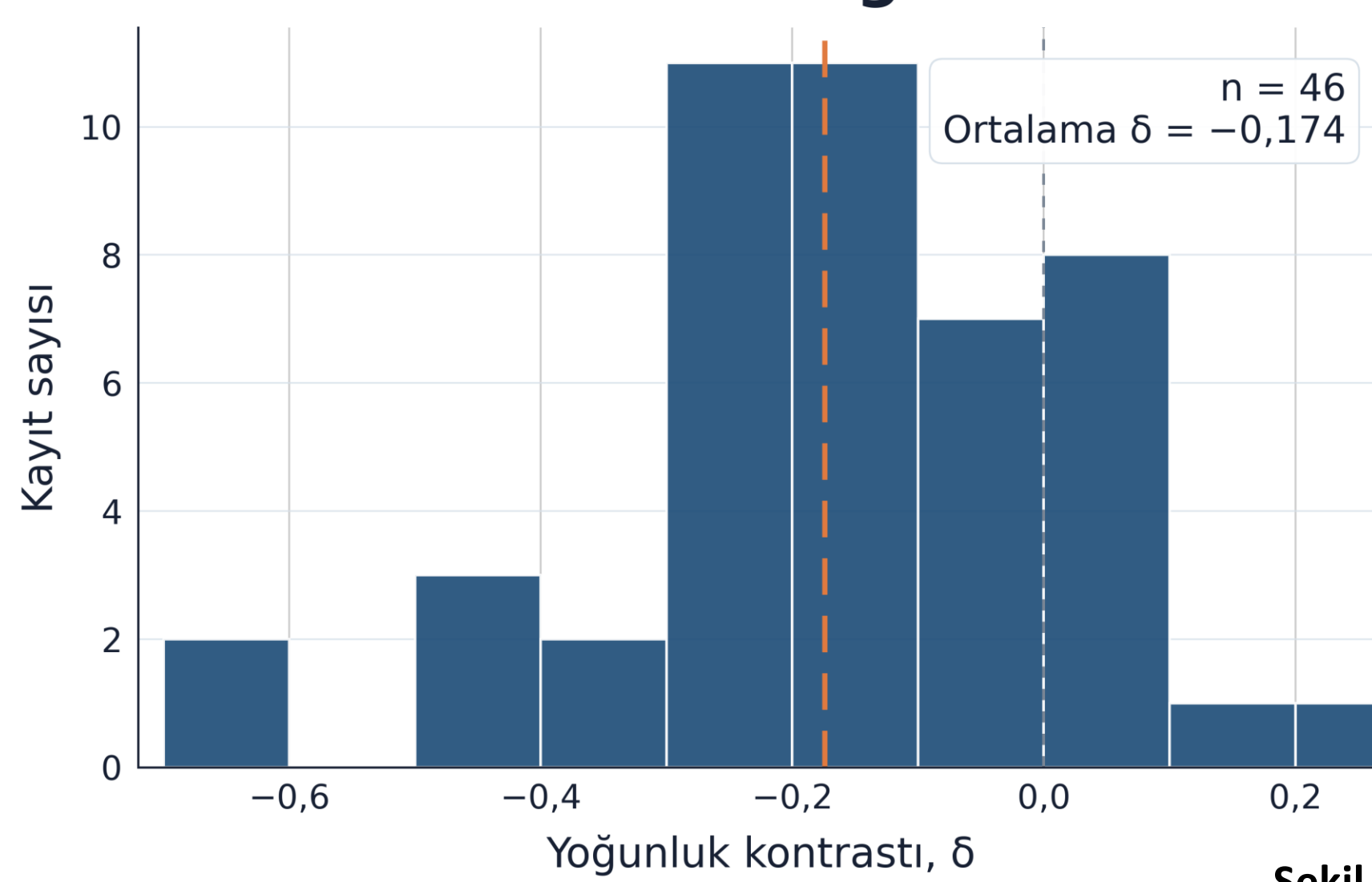
$$\delta = -D \quad \delta = \frac{n_{\text{loc}}}{n_{\text{ref}}} - 1$$

Yoğunluk eksikliği Galaksi sayısı

$$\delta = \frac{j_{K,\text{loc}}}{j_{K,\text{ref}}} - 1 \quad \delta = \frac{\Omega_{m,\text{loc}}}{\Omega_{m,\text{ref}}} - 1$$

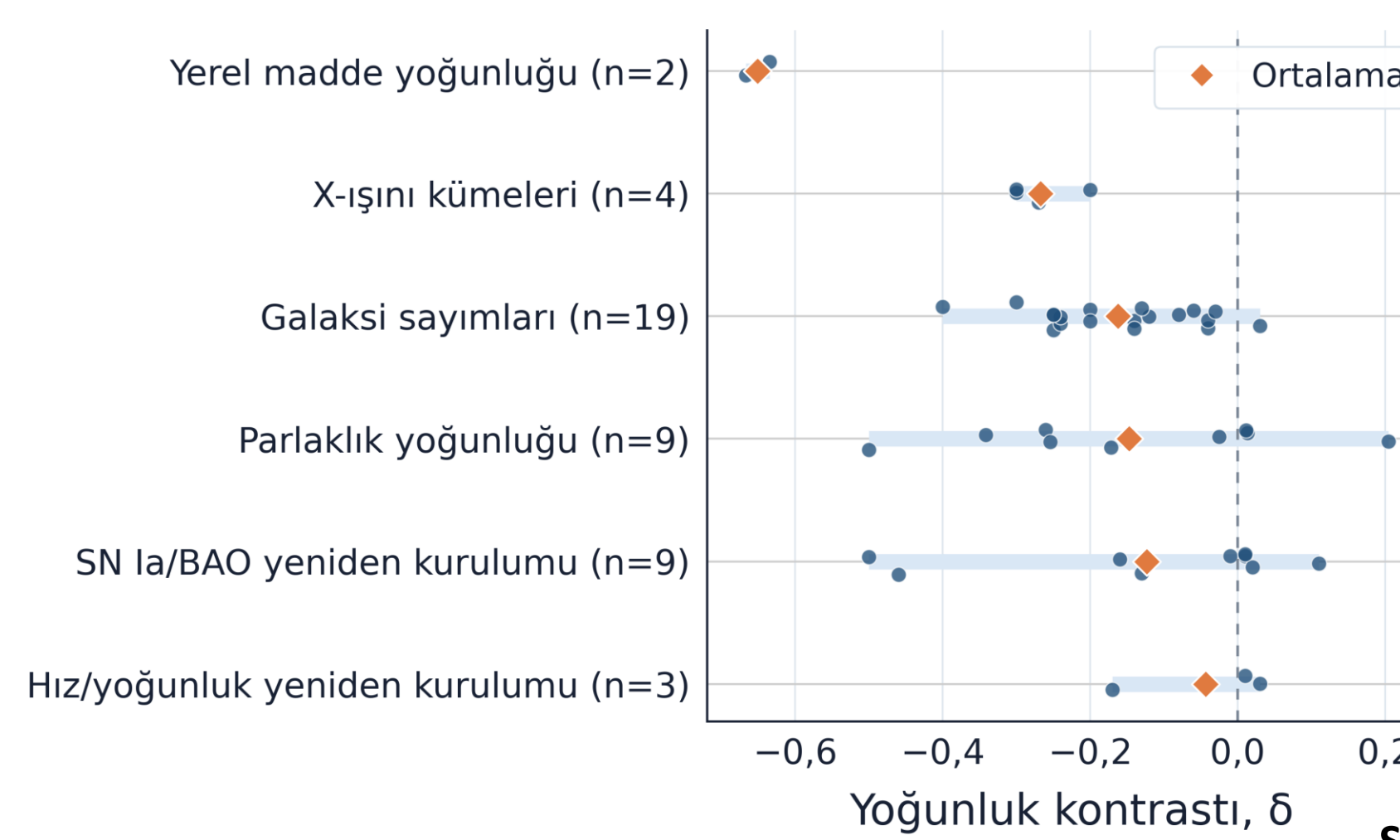
Parlaklık yoğunluğu Yerel madde yoğunluğu

Genel δ Dağılımı



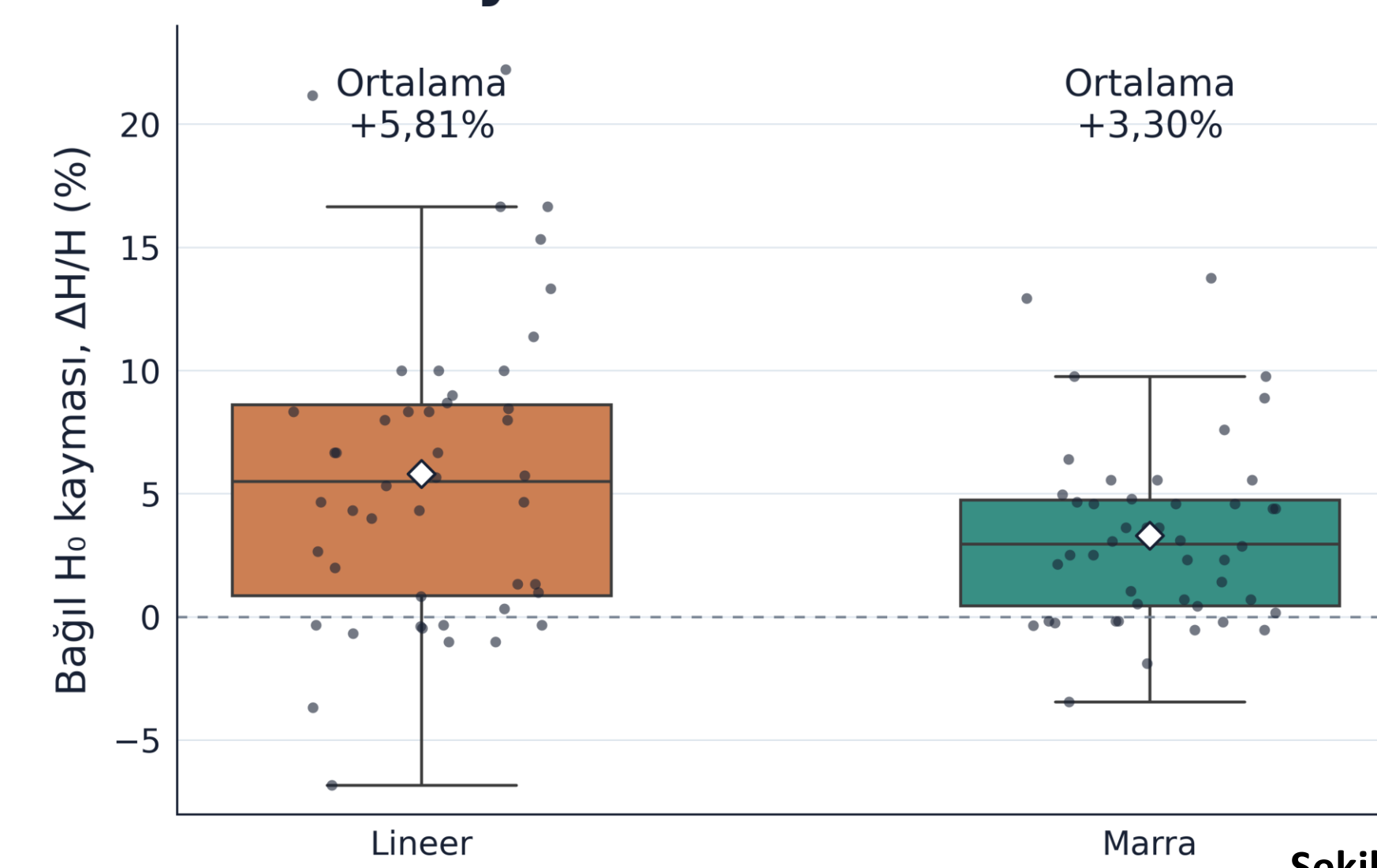
Şekil 1.

Fiziksel İzleyiciye Göre δ



Şekil 2.

H₀ Kayması: Lineer ve Marra



Şekil 3.

Sonuç

- İncelenen 46 δ kaydının 36'sı (**%78,3**) negatif yoğunluk kontrastına sahiptir. Değerler **−0,667** ile **+0,205** arasında değişmekte; ağırlıksız ortalama $\delta = -0,174$, medyan ise $\delta = -0,165$ olarak bulunmaktadır. (Bkz. Şekil 1)
- Ortalama bağlı H_0 kayması lineer yaklaşımda **+%5,81**, Marra et al. (2013) bağıntısında ise **+%3,30** olarak hesaplanmıştır. Doğrusal olmayan düzeltme, lineer yaklaşımın ortalama büyüklüğünü yaklaşık **%43 azaltmaktadır**. (Bkz. Şekil 3)
- Farklı fiziksel izleyiciler ve veri kökenleri aynı büyüklükte yoğunluk kontrastı üretmemekle birlikte, tüm kategorilerin dağılımları **negatif δ yönünde** merkezlenmektedir. Sonuçlar, yerel düşük yoğunluklu yapıların geç evren H_0 ölçümlerine birkaç yüzde düzeyinde sistematik katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte Marra-düzeltmeli ortalama etki, yaklaşık %9 düzeyindeki **Hubble gerilimini tek başına açıklamak için yeterli değildir**.

Sınırlılık

46 kayıt, δ değeri belirlenebilen 14 çalışmadan elde edilmiştir. Aynı çalışmadan birden fazla kayıt bulunması ve yöntemsel heterojenlik nedeniyle ortalamalar **bağımsız ölçümlere dayalı bir meta-analiz değil, betimleyici bir özet olarak değerlendirilmelidir**.

İletişim

golaliilyas@gmail.com

Kaynaklar

Planck Collaboration VI (2020), A&A, 641, A6
Riess et al. (2022), ApJL, 934, L7
Marra et al. (2013), Phys. Rev. Lett., 110, 241305
Keenan, Barger & Cowie (2013), ApJ, 775, 62
Whitbourn & Shanks (2014), MNRAS, 437, 2146
Carrick et al. (2015), MNRAS, 450, 317
Böhringer, Chon & Collins (2020), A&A, 633, A19
Haslbauer, Banik & Kroupa (2020), MNRAS, 499, 2845
Huang et al. (1997), ApJ, 476, 12

Busswell et al. (2004), MNRAS, 354, 991
Frith et al. (2003), MNRAS, 345, 1049
Frith, Shanks & Outram (2005), MNRAS, 361, 701
Frith, Metcalfe & Shanks (2006), MNRAS, 371, 1601
Karachentsev & Telikova (2018), Astron. Nachr., 339, 615
Wong et al. (2022), MNRAS, 511, 5742
Jia et al. (2025), ApJL, 979, L34
Futamase, Kojima & Tomonaga (2026), Phys. Rev. D, 113, 103515