

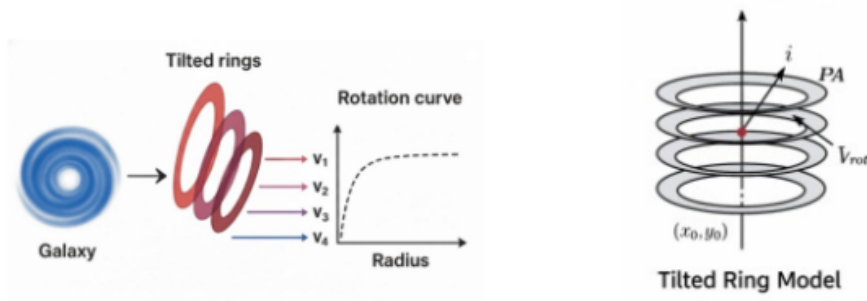
1. Giriş ve Amaç

Gökada kinematiğinde geleneksel iki boyutlu hız alanları, sınırlı uzaysal çözünürlük ve demet yayılması (*beam smearing*) nedeniyle sistematik hatalara açık olabilir [1]. Üç boyutlu yöntemler ise gözlemsel veri küplerini doğrudan modelleyerek bu etkileri azaltır.

- Erken-tür gökadalara düşük gaz yoğunluğu ve karmaşık dinamikleri, yüksek duyarlılık modelleme araçları gerektirir.
- Bu çalışmada 3D-Barolo ve TIRiFiC'in kinematik parametreleri ne ölçüde tutarlı çıktığı sınanmaktadır.
- İlk olarak geç-tür ESO 121-G6 referans küpüyle yöntem doğrulanmış, ardından H I bakımından zengin NGC 5631 incelenmiştir.

Eğik-Halka Modeli

Gökada diski; eğim (i), konum açısı (PA), dönme hızı (V_{rot}) ve kinematik merkezi (x_0, y_0) farklı olabilen eş merkezli halkalara ayrılır. Bu yaklaşım, diskteki bükülmeleri yarıçapa bağlı olarak temsil eder [2].

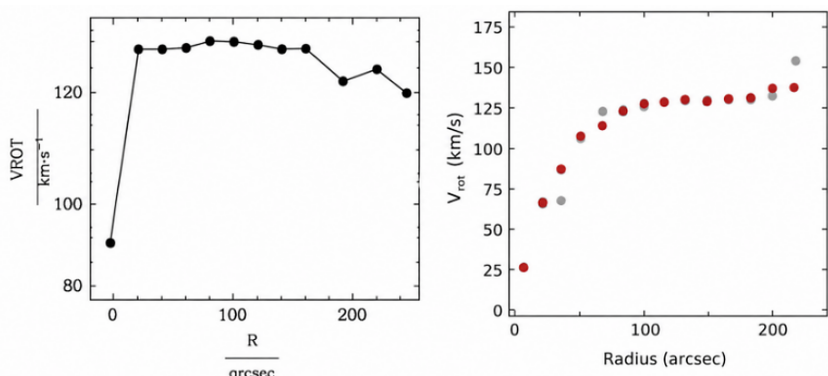


Şekil 1. Eğik-halka modelinin temel ilkesi. Solda gökada diskinin halkalara ayrılması ve halkaların dönme hızlarından elde edilen dönme eğrisi; sağda eğim, konum açısı, dönme hızı ve kinematik merkez parametreleri gösterilmektedir.

2. ESO 121-G6: Referans Küp Analizi

Dönme Eğrisi

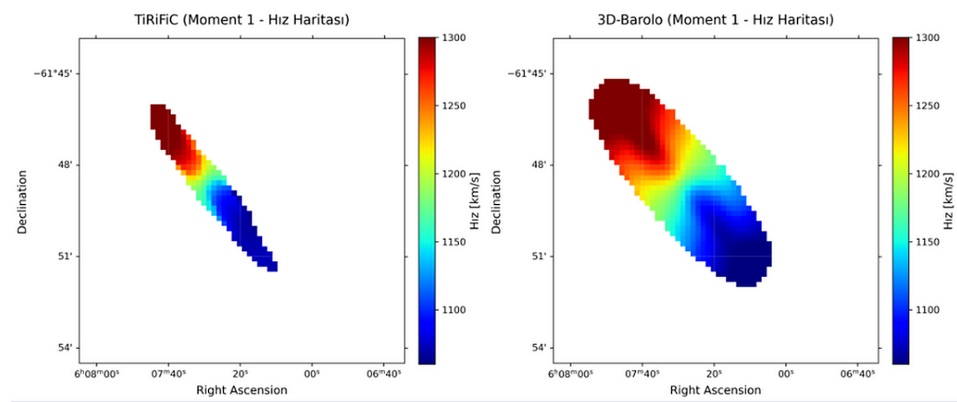
- En büyük hız:** yaklaşık 130 km s^{-1} .
- Uyum:** $50 < R < 160$ yay-saniye aralığında profiller büyük ölçüde üst üste binmektedir.
- Fark:** TIRiFiC dış disk sınırında daha dalgalı bir profil üretmektedir.



Şekil 2. ESO 121-G6 gökadasının TIRiFiC (sol) ve 3D-Barolo (sağ) ile elde edilen H I dönme hızı profillerinin karşılaştırması.

Hız Alanı (Moment 1)

Her iki yazılım da gökadanın dönme yönünü tutarlı biçimde modellemektedir. 3D-Barolo'nun demet yayılması etkisini hesaba katarak daha geniş bir disk üretmesi, gözleme fiziksel olarak daha yakın bir temsil sağlamaktadır.

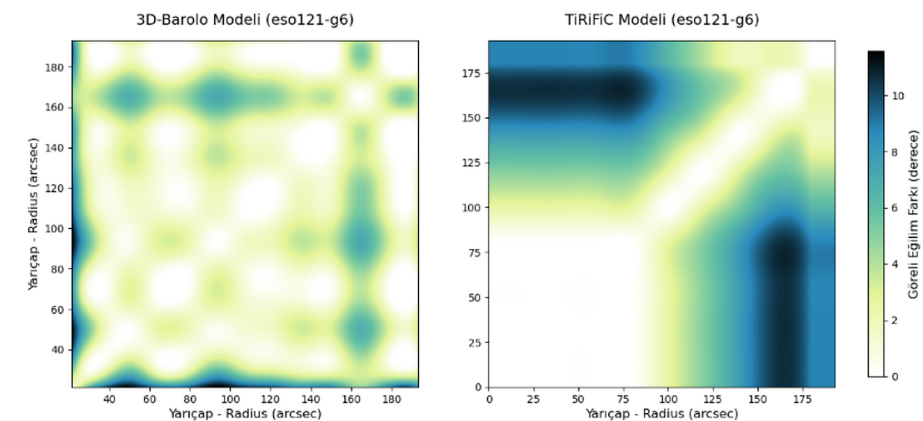


Şekil 3. ESO 121-G6 için TIRiFiC (sol) ve 3D-Barolo (sağ) kullanılarak modellenen iki boyutlu Moment 1 hız alanları.

ESO 121-G6: Geometrik Karşılaştırma

Tiltogramlar — Disk Bükülmesi

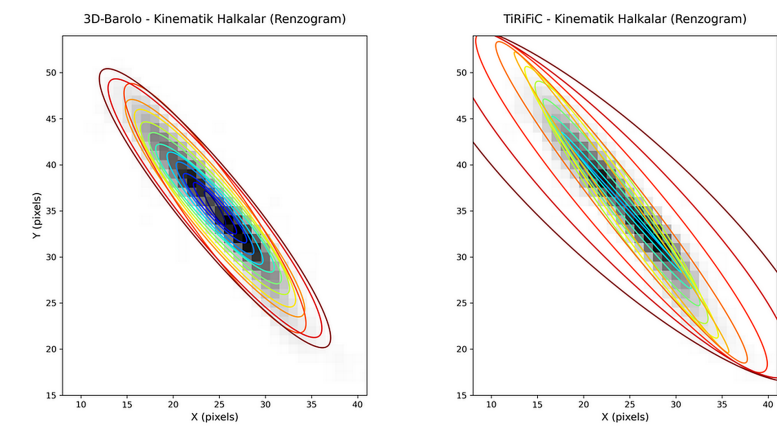
0–190 yay-saniye aralığındaki halkaların uzaysal bükülmesi incelenmiştir. Her iki model, merkez ile dış disk arasında yaklaşık $11\text{--}12^\circ$ genlikli orta düzey bir kinematik bükülmeye belirlemiştir. 3D-Barolo bağımsız halka uyumuyla yerel dalgalanmaları; TIRiFiC ise parametrik yapıyla daha düzgün küresel eğilimi öne çıkarır.



Şekil 4. ESO 121-G6 diskinin 0–190 yay-saniye aralığındaki kinematik bükülmesinin 3D-Barolo (sol) ve TIRiFiC (sağ) modelleriyle karşılaştırması.

İnklinogramlar — Disk Yönelimi

Moment 0 sütun yoğunluğu haritası üzerine yerleştirilen modeller, gözlenen gaz dağılımıyla uyumludur. Her iki yöntem de konum açısını yaklaşık $PA \approx 40^\circ$ bulmuştur. 3D-Barolo sinyalin güçlü olduğu iç diske odaklanırken TIRiFiC dış bölgelere parametrik ekstrapolasyon uygulamaktadır.

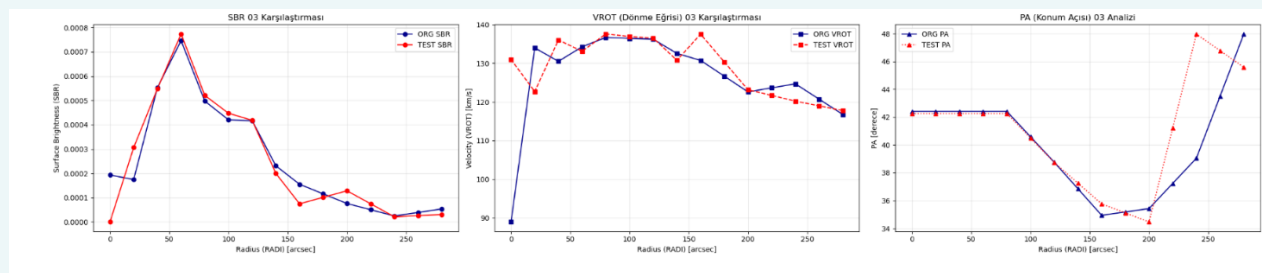


Şekil 5. ESO 121-G6'nın Moment 0 haritası üzerine yerleştirilen 3D-Barolo (sol) ve TIRiFiC (sağ) kinematik halkaları (renzogramlar).

3. FITS Analizi ve Model Doğrulaması

Yazılımın veri işleme başarısını sınamak için çıktı FITS dosyaları kanal kanal karşılaştırılmıştır. Yüzey parlaklığı (SBR), dönme hızı (V_{rot}) ve konum açısı (PA) profillerinde referans model ile test modeli yüksek uyum göstermektedir.

- SBR profilleri dar merkez bölgesi dışında tüm disk boyunca örtüşür.
- İç halkalardaki ilk hız düzeltmeleri demet yayılmasını önler.
- Özellikle $R < 200$ yay-saniye bölgesinde PA uyumu yüksektir.
- Artık haritalardaki sıfıra yakın değerler, modelleme çerçevesinin matematiksel olarak doğru çalıştığını gösterir.



Şekil 6. Test modeli ile özgün referans modelden elde edilen yüzey parlaklığı (SBR), dönme hızı (VROT) ve konum açısı (PA) profillerinin yarıçap boyunca karşılaştırması.

Çalışmanın Kısa Mesajı

Her iki araç genel dönme yapısını güvenilir biçimde ortaya koymaktadır. Ancak düşük sinyal-gürültü oranlı dış disklerde 3D-Barolo daha kararlı ve pratik çözümler sunar.

Kaynaklar, Destek ve İletişim

- [1] Di Teodoro ve Fraternali (2015), *MNRAS*, 451, 3021.
[2] Rogstad ve ark. (1974), *ApJ*, 193, 309.
[3] Józsa ve ark. (2007), *A&A*, 468, 731.
[4] Yıldız ve ark. (2020), *A&A*, 636, A8.

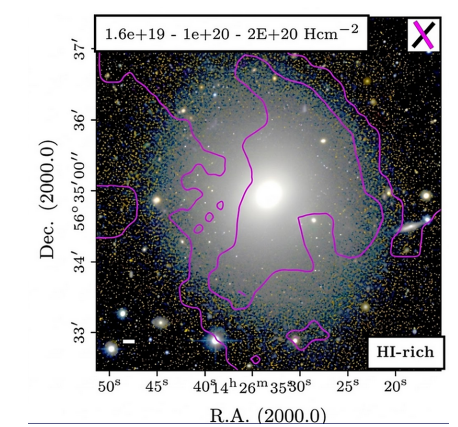
Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 124F480 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

İletişim: 4011730074@erciyes.edu.tr

4. NGC 5631: Bilimsel Bulgular

H I Gaz Dağılımı

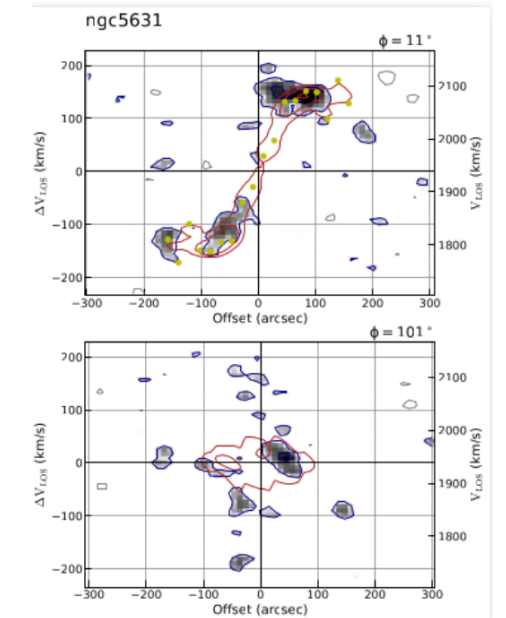
Mor konturlarla gösterilen nötr hidrojen, optik gövdenin ötesine uzanan geniş bir gaz dağılımı sergilemektedir [4].



Şekil 7. NGC 5631'in optik görüntüsü üzerine mor konturlarla bindirilen H I yoğunluğu haritası; gökadanın geniş ve gaz bakımından zengin yapısı görülmektedir.

Konum–Hız (PV) Diyagramları

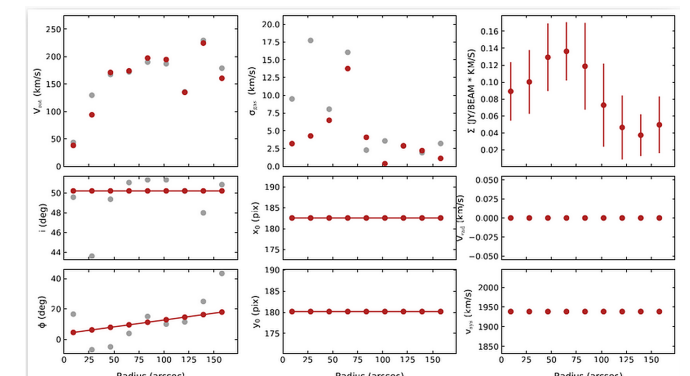
Ana ve küçük eksen boyunca çıkarılan diyagramlarda siyah konturlar gözlemsel H I hareketini, kırmızı çizgiler ve renkli zemin ise 3D-Barolo modelini temsil eder. Model, ana eksenindeki karakteristik S-biçimli kinematik yapıyı başarıyla izlemektedir.



Şekil 8. NGC 5631 için $\phi = 11^\circ$ ve $\phi = 101^\circ$ doğrultularında çıkarılan konum–hız diyagramları. Konturlar gözlemsel H I salınımı, kırmızı çizgiler 3D-Barolo modelini göstermektedir.

Kinematik ve Geometrik Profiller

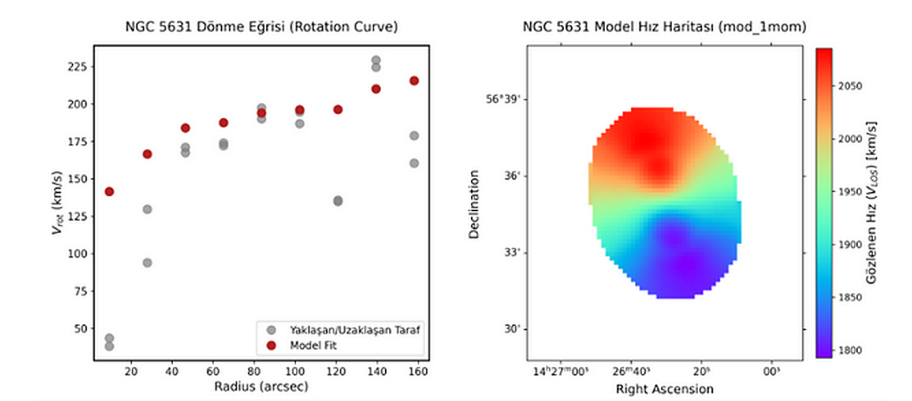
Dönme hızı, gaz hız dağılımı, yüzey parlaklığı, eğim, konum açısı, kinematik merkez, radyal hız ve sistemik hızın yarıçap boyunca değişimi birlikte değerlendirilmiştir.



Şekil 9. NGC 5631'in 3D-Barolo ile elde edilen dönme hızı, hız dağılımı, yüzey parlaklığı, eğim, konum açısı, merkez koordinatları, radyal hız ve sistemik hız profilleri.

Dönme Eğrisi ve Hız Haritası

- Model hızları yaklaşık 190 km s^{-1} düzeyinde yataylaşır.
- Yaklaşan ve uzaklaşan tarafların simetrik renk gradyanı, yaklaşık 1950 km s^{-1} sistemik hız çevresindeki dönmeyi gösterir.
- NGC 5631 için TIRiFiC modellemesi sürmektedir.



Şekil 10. NGC 5631'in 3D-Barolo ile elde edilen dönme eğrisi (sol) ve iki boyutlu Moment 1 hız haritası (sağ).

5. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

- Yazılım performansı:** TIRiFiC ve 3D-Barolo, dönme hızlarını ve genel hız gradyanlarını karşılıklı olarak tutarlı bulur.
- Uygun model seçimi:** Bağımsız halka uymu, yerel kinematik değişimleri yakalaması ve düşük S/N'li dış sınırlarda ekstrapolasyondan kaçınması nedeniyle 3D-Barolo daha güvenilir ve pratiktir.
- Gelecek hedefi:** FYL-2026-16135 numaralı BAP projesi kapsamında üç erken-tür gökadayı daha uygulanacaktır.
- Katkı:** Gaz bakımından fakir ve dinamik açıdan karmaşık erken-tür gökadalarda iki yazılımın güçlü ve zayıf yönleri sistematik olarak karşılaştırılmıştır.