

Gökada Merkezi'ndeki Nükleer Gaz Disk ve Genç Yıldız Disklerinin Modellenmesi

Başak Ekinci^{1*}, Ayşe Ulubay²

¹Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fizik Bölümü, Şişli, İstanbul

²İstanbul Üniversitesi, Fizik Bölümü, Vezneciler, İstanbul

Özet

Gökada merkezimiz, kütlesi yaklaşık $4 \times 10^6 M_{\odot}$ olan süper kütleli bir kara delik barındırmaktadır. Bu kara delik etrafında yaşları birkaç milyon yıl mertebesinde olan genç yıldız grupları ve bunları çevreleyen, çoğunlukla moleküler yapıda olan eğrilikli yapıya sahip Nükleer Gaz Disk (NGD) bulunmaktadır. Genç yıldızların hemen hemen yarısı gökyüzü düzleminde saat yönünde dönen eğrilikli bir disk oluşturmaktadır. Bu çalışmada yıldız disk ve NGD'nin ortak zaman evrimleri sayısal simülasyonlar yardımı ile, NGD'nin radyal genişliği ihmal edilmeden incelenerek, bu sistemlerin uzun zaman ölçeklerindeki yörünge davranışları, ve kararlılıkları araştırılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar ile NGD için literatürde karşımıza çıkan radyal genişlik değerlerinden hangilerinin diskin bugün gözlemlenen yapısı ile tutarlı olduğu incelenerek, yüzey yoğunluğu profilinin yarıçap boyunca sabit alındığı simülasyonların gözlemler ile tutarlı olmadığı sonucuna varılmıştır. NGD'nin, genç yıldız diskinin evrimi üzerindeki etkisinin hangi parametre değerlerinde baskın olduğunu belirleyerek önerdiğimiz yoğunluk, yarıçap gibi parametre değerleri, Gökada Merkezi'nde yer alan bu disk yapılarının oluşum mekanizmalarının incelendiği çalışmalarda kullanılabilirlerdir.

Anahtar Kelimeler: methods: Nümerik, Samanyolu, Galaksiler, Kozmoloji

1 Giriş

Samanyolu merkezindeki $4 \times 10^6 M_{\odot}$ süper kütleli kara delik etrafında yer alan genç yıldızlar S yıldızları ve Hel yıldızları olarak sınıflandırılmaktadır. S yıldızları kara deliğe 0.03 pc'ten daha yakın uzaklıkta yer almaktadır (Genzel et al. (1985)). Genç yıldızların Hel yıldızları adı verilen bir diğer kısmının ise kara delikten $\sim 0.03-0.5$ pc uzaklıkta, birbirine neredeyse dik, düzlemsel olmayan (eğrilikli) ve toplam kütleleri $\sim 0.001 M_{kd}$ civarında olan iki disk yapı üzerinde hareket ettiği düşünülmektedir (M_{kd} kara deliğin kütlesini temsil etmektedir). Bu iki disk yapıdan gözlemlerle iyi belirlenmiş biri gökyüzü düzleminde saat yönünde hareket ederken, varlığı halen tartışma konusu olan diğeri saat yönünün tersinde bir hareket sergilemektedir (Levin & Beloborodov (2003)). Hem beklenmeyecek derecede genç olmaları, hem de eğrilikli disk üzerinde düzenli yörünge hareketine sahip olmaları, Hel yıldızlarını son derece popüler bir araştırma konusu haline getirmiştir. Gökada Merkezi'ndeki (GM) genç yıldızları çevreleyen Nükleer Gaz Disk'in (NGD) iç yarıçapı merkezden 1.5 pc uzaklıkta yer alırken dış yarıçapının değeri hakkında farklı gözlemsel sonuçlar bulunmaktadır (Jackson et al. (1993)). NGD saat yönünde dönen yıldız diskine $70-90^\circ$ eğimlidir (Paumard et al. (2006)) ve yine yıldız diskleri gibi eğrilikli bir yapıya sahiptir (Genzel et al. (1985)). NGD'nin kütlesinin 0.0025-0.25 M_{kd} arasında yer aldığı düşünülmektedir (Genzel et al. (1985)). NGD'nin genç yıldızların oluşumu için uygun bir ortam sağlayabileceği ve merkezdeki genç yıldız nüfusunun artışına katkıda bulunabileceği düşünülse de, uzun zaman ölçeklerindeki kararlılığı halen bir tartışma konusudur (Jackson et al. (1993)).

Şimdiye kadar Gökada Merkezi'nde yer alan NGD ve yıldız diskinin yörünge evrimlerinin ele alındığı çalışmalarda, bu

yapılar ayrı ayrı ele alınarak (Ulubay-Siddiki et al. (2013)), ya da NGD'nin radyal genişliği ihmal edilerek çalışılmıştır (Subr et al. (2008)).

Çalışmamızda, bahsedilen disk yapılarının ortak evrimini inceleyen diğer çalışmalardan farklı olarak, NGD'nin radyal genişliği göz önüne alınmıştır. Bahsi geçen sistemlerin uzun zaman ölçekli (birkaç milyon yıl) yörünge evrimleri farklı yüzey yoğunluğu profilleri için sayısal simülasyonlar yardımı ile incelenmiş, ayrıca uygun görülen parametreler için literatürde var olan en yeni gözlem sonuçları ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

2 Eğrilikli Disk Modeli

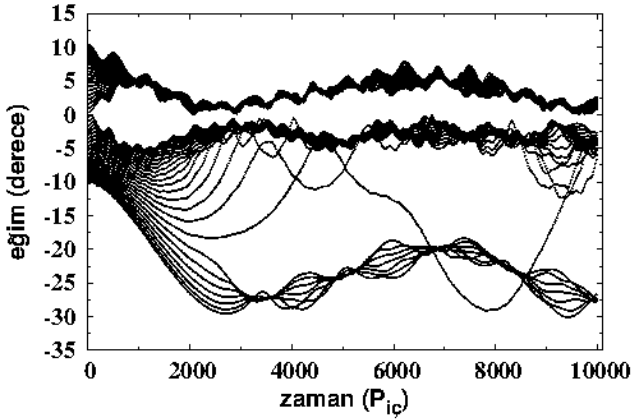
Bu çalışmada oluşturulan modellerde diskler (Ulubay-Siddiki et al. (2013); Arnaboldi & Sparke (1994)) çalışmalarında olduğu gibi iççe geçmiş, dairesel, birbirlerine eğimli ve çekimsel olarak etkileşen halkalar olarak ele alınmaktadır. Böyle bir halkalar sistemi için Lagranjiyen aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$L_i = \frac{m_i r_i^2}{4} (\dot{\theta}_i^2 + \dot{\phi}_i^2 \sin^2 \theta_i) + \frac{m_i r_i^2}{2} (\dot{\psi} + \dot{\phi}_i \cos \theta_i)^2 - V(r_i, \theta_i, \phi_i). \quad (1)$$

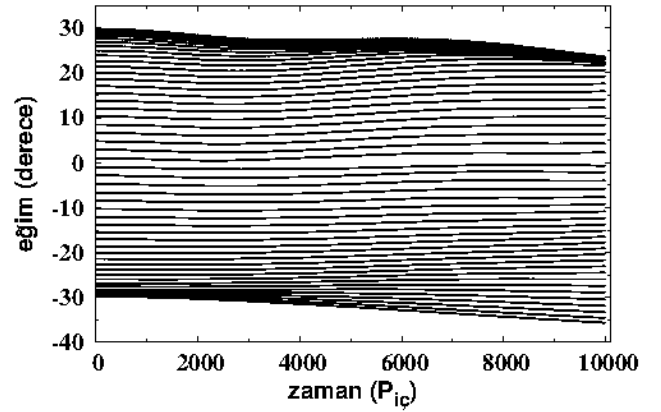
Bu denklemde ilk iki terim hareketin kinetik enerjisini verirken, son terim potansiyel enerjisini vermektedir. Kara delik etrafındaki her bir halka, kütlesi m , yarıçapı r ve Euler açıları (ϕ, ψ, θ) ile tanımlanır. Euler açılarından θ ; halkaların özçekiminden kaynaklanan presesyon hareketinin gerçekleştiği düzleme olan eğiklik açısı, ϕ ; azimutal açı ve ψ de her hangi bir parçacığın halka üzerindeki yeridir.

Çalışmamızda, denklem 1'de verilen Lagranjiyenden elde edilen hareket denklemleri NGD ve yıldız diskinden oluşan sistem için integre edilerek bu sistemlerin zaman evrimi incelenmiştir.

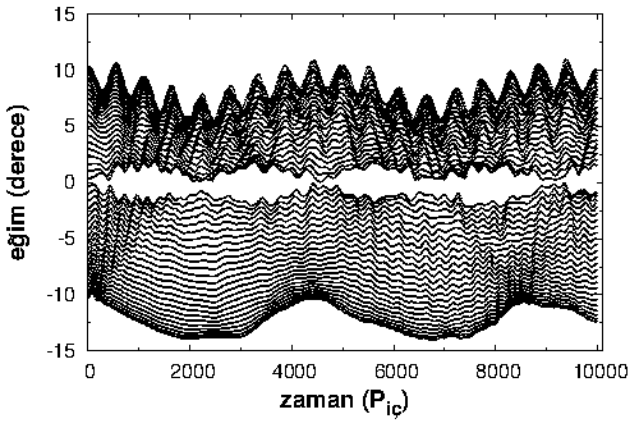
* baekinci@gmail.com



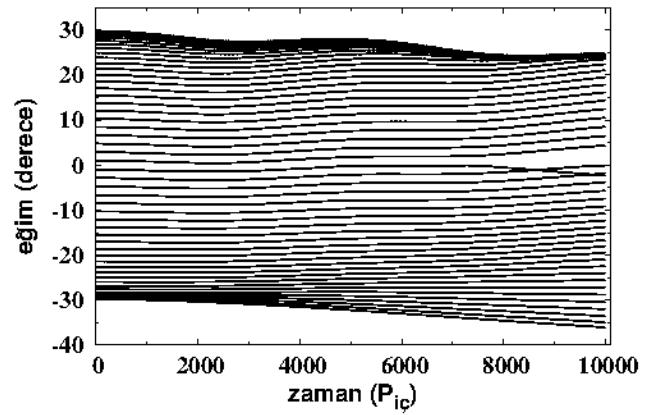
Şekil 1. NGD'nin yüzey yoğunluğunun sabit alındığı model için NGD'nin eğrilik açısının zamana göre değişimi. Zaman evriminin sonunda NGD'nin 3 parçaya ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 3. NGD'nin yüzey yoğunluğunun sabit alındığı model için yıldız diskin eğrilik açısının zamana göre değişimi. Yıldız diskinin zaman evrimi boyunca hemen hemen değişmeden kaldığı görülmektedir.



Şekil 2. NGD'nin yüzey yoğunluğunun $1/r$ alındığı model için NGD'nin eğrilik açısının zamana göre değişimi. Zaman evriminin sonunda NGD'nin ilk durumunu hemen hemen koruduğu görülmektedir.



Şekil 4. NGD'nin yüzey yoğunluğunun $1/r$ alındığı model için yıldız diskin eğrilik açısının zamana göre değişimi. Yıldız diskin zaman evrimi boyunca hemen hemen değişmeden kaldığı görülmektedir.

3 Simülasyon Sonuçları

Simülasyon sonuçlarını gösterirken her bir grafikte x eksenini yıldız diskin en içte yer alan halkasının yörünge zamanı cinsinden simülasyon süresini verirken y eksenini eğrilik açısını vermektedir. NGD ve yıldız diskin ortak yörünge evrimlerini birçok farklı parametre değeriyle araştırdık, burada sadece iki modelin sonuçlarını göstermekteyiz. Burada yer alan her iki modelde de iç yarıçapı 1.5 pc'te yer alan NGD'nin dış yarıçapı 4 pc, kütlesi $0.25 M_{kd}$ ve başlangıç eğriliği 20° 'dir. Yarıçap aralığı 0.03-0.5 pc'te yer alan yıldız diskin kütle değeri $0.00134 M_{kd}$ yoğunluk profili $1/(r^{1.4})$ ile değişmektedir.

Şek. 1 ve Şek. 2'te sırasıyla NGD'nin yüzey yoğunluğunun sabit olduğu ve $1/r$ şeklinde değiştiği modeller için eğrilik açısının zamana göre değişim grafikleri görülmektedir. Şek. 1'te NGD'nin yüzey yoğunluğunun sabit olduğu durumda, başlangıçta 20° eğriliğe sahip NGD'nin dağıldığını, yüzey yoğunluğunun $1/r$ ile değiştiği Şek. 2'te kararlı bir şekilde evrimine devam ettiği görülmektedir.

Şek. 3 ve Şek. 4'da sırasıyla NGD'nin yüzey yoğunluğunun

sabit olduğu ve $1/r$ şeklinde değiştiği durumda yıldız diskin eğrilik açısının zamana göre değişim grafikleri görülmektedir. Her iki durumda da yıldız diskin en dış kısmını ve en iç kısmını oluşturan halkaların bir kısmının eğriliğinin çok az değiştiği görülmektedir.

Sonuçta, NGD'nin yüzey yoğunluğunun sabit alındığı durumda, NGD'nin zaman evriminin sonunda toplam eğrilik açısının 20° 'den fazla olduğu, gözlemlerle uygun olmayan durumu görüyor ve yüzey yoğunluğu profilinin yarıçap boyunca sabit alındığı simülasyonların gözlemler ile tutarlı olmadığı sonucuna varıyoruz. NGD'nin yüzey yoğunluğunun $1/r$ alındığı durumun ise (Genzel et al. (1985)) yaptığı gözlemsel çalışma ile uyumlu, dağınık olmayan (kararlı) bir yapı gösterdiğini görmekteyiz.

Yine yukarıda verilen parametre değerleriyle, genç yıldız diskinin yörünge davranışına baktığımızda, NGD'nin genç yıldız diski üzerinde etkisinin alınmadığı durum (Ulubay-Siddiki et al. (2013)) ile etkisinin göz önüne alındığı durum arasında farklılık olduğunu, yani NGD'nin genç yıldız diskinin yörünge evrimini etkilediği sonucunu çıkartıyoruz.

Kaynaklar

- Arnaboldi M., Sparke L. S., 1994, *AJ*, 107, 958
Bartko H., et al., 2009, *ApJ*, 697, 1741
Genzel R., Crawford M. K., Townes C. H., Watson D. M., 1985, *ApJ*, 297, 766
Jackson J. M., Geis N., Genzel R., Harris A. I., Madden S., Poglitsch A., Stacey G. J., Townes C. H., 1993, *ApJ*, 402, 173
Levin Y., Beloborodov A. M., 2003, *ApJL*, 590, L33
Paumard T., et al., 2006, *ApJ*, 643, 1011
Subr L., Schovancova J., Kroupa P., 2008, preprint ([arXiv:0812.1567](https://arxiv.org/abs/0812.1567))
Ulubay-Siddiki A., Bartko H., Gerhard O., 2013, *MNRAS*, 428, 1986
Wright M. C. H., Coil A. L., McGary R. S., Ho P. T. P., Harris A. I., 2001, *ApJ*, 551, 254

Erişim:

O42-1215: [UAK-2015 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).