

SAMANYOLU MERKEZİNDEKİ SÜPER KÜTLELİ KARADELİK ETRAFINDA YER ALAN YILDIZ VE GAZ DİSKLERİN EVRİMİ

Başak EKİNCİ

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Vezneciler/İstanbul
(eposta: baekinci@windowslive.com)*

Özet: Samanyolu merkezi, yakınlığı dolayısıyla galaktik merkezlerdeki fiziksel süreçleri yakın gelecekte başka bir galaksi merkezinde erişilebilir olmayacak bir ayrıntı düzeyinde çalışma fırsatı sunar. Son yıllarda yapılan gözlemler Samanyolu merkezinin çok yakın komşuluğunda 200'e yakın genç yıldızın var olduğunu ortaya çıkarmıştır. Fakat teorik beklentiler galaksi merkezindeki yaklaşık $4 \times 10^6 M_{\text{sun}}$ kütleli karadeliğin (SgrA*), yakın civarında yıldız oluşumuna olanak sağlamayacağı yönündedir. Gözlenen genç yıldızlardan bir kısmı merkeze 0.03-0.5 pc uzaklığındadır ve yaklaşık yarısı, 60 derecelik bir eğrilik sergileyen saat yönünde dönen disk (SY) sisteminde bulunur. SgrA* ve SY yıldız diski, merkezden yaklaşık 1.7-4 pc aralığında bulunan, ve yine eğrilığe sahip moleküller bir gaz diski tarafından çevrelenmektedir. Gaz diskin uzun zaman ölçeklerindeki evrimi halen güncel bir tartışma konusudur. Bu çalışmada moleküler gaz disk, aralarındaki kütle çekimsel etkileşim potansiyeli lineer olmayan halkalardan oluşan eğrilikli bir disk yapı olarak ele alınacak ve bu sistemin zaman evrimi, sayısal simülasyonlar yardımı ile incelenecektir.

1. Giriş

Samanyolu galaksi merkezi kütlesi $4 \times 10^6 M_{\text{sun}}$ olan (Gillessen ve diğ. 2009), bize en yakın süper kütleli karadeliği barındırdığından, bizim için eşsiz bir laboratuvar görevi görmektedir. Gökada merkezinin yaklaşık ilk 10 pc'i içerisinde yaşları birkaç milyar yıl olan yaşlı yıldızlar (Trippe ve diğ. 2008, Schödel ve diğ. 2009) ile, yaşları yaklaşık birkaç milyon yıl olan genç yıldızlar (Paumard ve diğ. 2001) ve bunları çevreleyen moleküler gaz disk (Becklin ve diğ. 1982) bulunmaktadır.

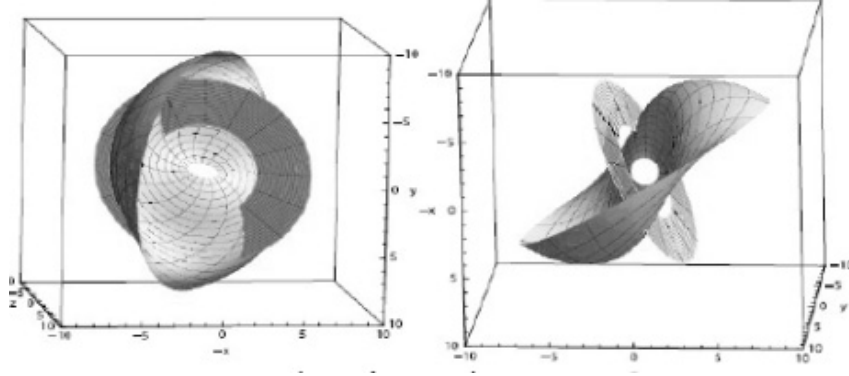
Samanyolunun ilk 0.5 pc içerisinde bulunan ve SgrA*'ın güçlü çekim etkisi ile oluşmasını beklemediğimiz genç yıldızlar, S yıldızları (Gillessen ve diğ. 2009) ve HeI (Genzel ve diğ. 2003, Levin ve diğ. 2003, Lu ve diğ. 2009, Bartko ve diğ. 2009) yıldızlarından oluşmaktadır. Merkezden yaklaşık 0.03 pc den daha içeride bulunan S yıldızları eş yönlü yörüngelere sahip yıldızlar iken, merkezden 0.03-0.5 pc uzaklığında bulunan HeI yıldızları eş yönlü yörüngelere sahip olmayan yıldızlardır.

Galaktik merkezdeki sayıları 136 tane olan HeI yıldızlarının yarısına yakının yörüngesi gökyüzü düzleminde saat yönünde dönen yaklaşık 60° eğrilığe sahip bir disk oluştururken, bir kısmı ise bu eğrilikli diske hemen hemen dik ve gökyüzü düzleminde saat yönünün tersinde dönen başka bir disk oluşturur (Bartko ve diğ. 2009, 2010). Bu disklerin toplam kütlesi merkezlerinde yer alan kara deliğin kütesinin binde biri kadardır.

Galaktik merkezde oluşumunu beklemediğimiz HeI yıldızlarının oluşumu için son yıllarda ortaya atılan senaryolardan biri, Nayakshin ve diğ. (2005)'nin ortaya attığı kütle aktarım diski senaryosudur. Bu senaryoya göre, düşük açısal momentumlu bir bulut, SgrA* tarafından yakalanır ve yıldızlar, düzlemsel bir disk üzerinde yani şu an gözlemlendikleri

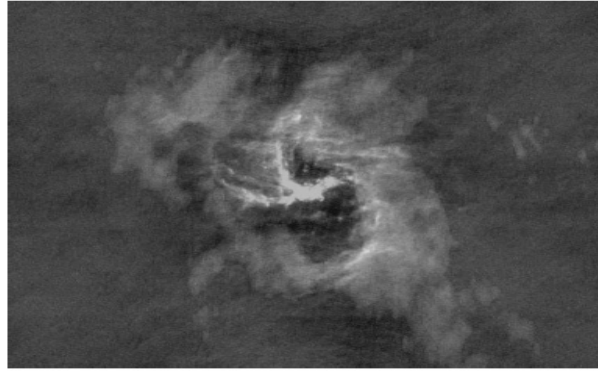
yerde oluşurlar. Yıldızlar düzlemsel bir disk üzerinde oluşurlar ise, bugünkü yörünge dağılımlarının da düzlemsel olması beklenir, fakat gözlemler şu an yıldızların çoğunun izlediği yörünge'nin 60° lik eğrilığe sahip disk oluşturduğunu göstermektedir. Cuadra ve diğ. (2008) 'nin yaptığı çalışma, düzlemsel bir disk üzerinde oluşan yıldızları bugün gözlemlendikleri eğime fırlatacak herhangi bir mekanizmanın olmadığını göstermiştir. Ulubay-Sıddıki ve diğ. (2012) ise bu probleme çözüm olarak yıldızların standart bir toplanma diskinden değil, yıldız oluşumu başlamadan önce eğrilik kazanmış özçekimsel bir diskten oluşmuş olabileceklerini önermiştir.

(Bartko ve diğ. 2009)



Şekil- 1: Eğrilikli genç yıldız disklerinin 3 boyutlu geometrilerinin farklı yönlerden gösterimi

Genç yıldız disklerini çevreleyen ve genç yıldız oluşumu için uygun ortam sağladığı düşünülen MGD, Becklin ve diğ. (1982) tarafından uzak kızılöte toz gözlemleri ile bulunmuştur.



(Wright ve diğ. 2001)

Şekil- 2 : Kırmızı ile gösterilen bölge 20° eğikliğe (Jackson ve diğ. 1993)

sahip MGD, iç kısımda yer alan parlak yeşil bölge ise iyonize olmuş mini spiral yapı.

MGD'nin birbirinden farklı zamanlarda çeşitli molekül gözlemleri yapılmış ve bu molekül gözlemleri sonucunda farklı değerlerde kütle ve yarıçap değerleri elde edilmiştir.

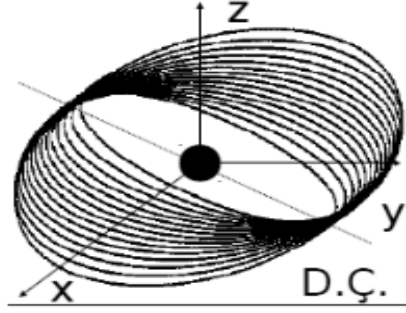
MGD'nin kütlesi $10^{4-6} M_{\text{sun}}$ (Genzel ve diğ. 1985; Christopher ve diğ. 2005) aralığında değerler alırken, iç yarıçapı 1.5- 2 pc (Wright ve diğ. 2001) , dış yarıçapı ise, 7-10 pc (Wright ve diğ. 2001) aralığında değerler almaktadır.

MGD'nin bu belirgin olmayan kütle ve yarıçap değerleri bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır, çünkü genç yıldız oluşumu için uygun bir ortam sağladığı düşünülen MGD'nin bu ortamı sağlayabilmesi için, kararlı bir yapıda olması gerekir. Kararlı bir yapıda olup olmadığı ise MGD'nin belirli kütle ve yarıçap değerlerinde belirlenebilir.

Bu çalışmada, MGD'nin farklı kütle değerleri için yapılmış olan yörünge evrimi simülasyonlarının sonuçları sunulacaktır.

2 . Eğrilikli disk modeli

Yaptığımız simülasyonlarda disk yapısı, birbirine eğimli ve çekimsel olarak etkileşen, dairesel, iç içe geçmiş halkalar olarak ele alınmıştır (Ulubay-Siddiki ve diğ. 2009). Böyle bir halkalar sisteminin 3 boyutlu şematik gösterimi Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil- 3: Halkalar sisteminin 3 boyutlu şematik gösterimi

Bahsi geçen halkalar sistemi için Lagrangien aşağıda verilmektedir.

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

Lagrangien denkleminde ilk iki terim hareketin kinetik enerji, son terim ise karadeliğin çekimi ve halkaların karşılıklı çekimsel etkileşimi sonucu oluşan potansiyel enerji terimini verir. m ve r sırası ile herhangi bir i halkasının kütle ve yarıçapını temsil etmektedir. Aşağıda halkalar için verilen hareket denklemlerinde, p_{ϕ_i} z -yönünde p_{θ_i} ise halkaların kesiştiği düğümler çizgisi etrafında momentum bileşenlerini vermektedir.

$$\begin{aligned} p_{\theta_i} &= \frac{m_i r_i^2}{2} \dot{\theta}_i, \\ p_{\phi_i} &= \frac{m_i r_i^2}{2} \dot{\phi}_i \sin^2 \theta_i + p_{\psi} \cos \theta_i, \\ \dot{p}_{\theta_i} &= \frac{m_i r_i^2}{2} \ddot{\phi}_i \sin \theta_i \cos \theta_i - \dot{\phi}_i p_{\psi} \sin \theta_i - \frac{\partial V(r_i, \theta_i, \phi_i)}{\partial \theta_i}, \\ \dot{p}_{\phi_i} &= - \frac{\partial V(r_i, \theta_i, \phi_i)}{\partial \phi_i}. \end{aligned}$$

Simülasyonlar boyunca integre edilen hareket denklemleri ve Lagrangien denkleminde yer alan (θ, ϕ, ψ) ise standart euler açıları olup θ , birbirlerine eğimli halkaların karşılıklı çekimsel etkileşimi sonucu ortaya çıkan presesyon hareketinin meydana geldiği düzleme eğiklik açısı. ϕ , azimutal açı ve ψ de herhangi bir parçacığın halka üzerindeki yeridir.

2.1 Model Parametreleri

Kullanılan modellerde merkezde yer alan karadeliğin kütlesi $4 \times 10^6 M_{\text{sun}}$ (Schodel ve diğ. 2002, Gillessen ve diğ. 2009) olarak alınmıştır. Diskin yüzey yoğunluğunun yaklaşık olarak $1/r^2$ ile değiştiği düşünülmüş, iç yarıçap 1.5 pc dış yarıçap ise 4 pc de sabit tutulmuştur. Simülasyon başlangıcında ($t=0$ anında), 20° 'lik eğrilige sahip olan MGD'ni oluşturan halkaların eğiklik açısı $-10^\circ - 10^\circ$ arasında değerler almış, yine $t=0$ anında her bir halkanın azimut açısı 0° olarak alınmış ve hareket denklemleri simülasyon boyunca 2.5×10^6 yıl boyunca evrimleştirilmiştir.

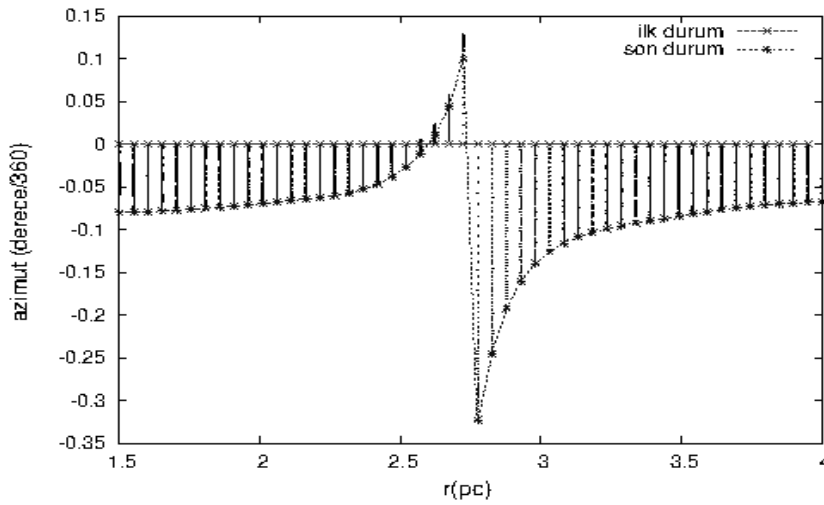
MGD için yukarıdaki parametrelerin 10^4 ve $10^5 M_{\text{sun}}$ kütle değerleri kullanılarak oluşturulan modellerinin simülasyon sonuçları aşağıda verilmektedir.

3. Tartışma ve Sonuç

$10^4 M_{\text{sun}}$ kütleli 1.5 - 4 pc yarıçap aralığındaki MGD

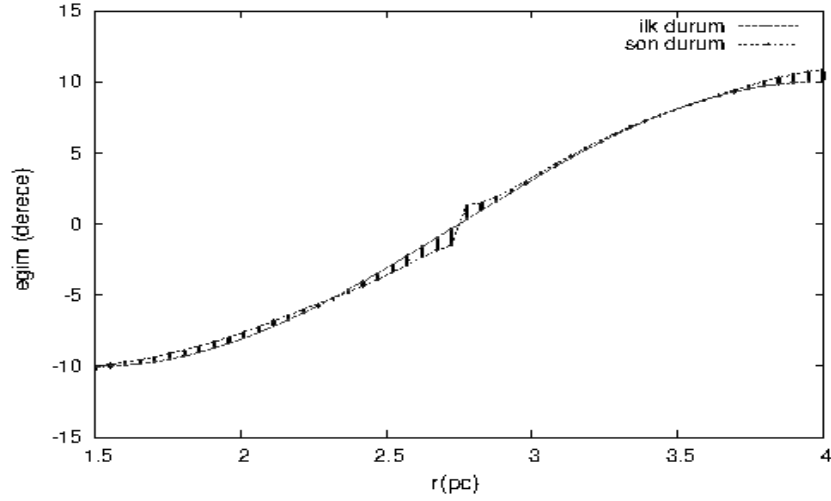
Şekillerde $10^4 M_{\text{sun}}$ kütleli 1.5 - 4 pc yarıçap aralığındaki MGD' nin zaman evrimi boyunca yarıçap-azimut profili (Şekil 4) ve yarıçap-eğim profili (Şekil 5) görülmektedir.

Grafiklerde ilk durum ($t=0$) kırmızı renkte, son durum ($t= 2.5 \times 10^6$ yıl) mavi renkte, simülasyonun çalıştırıldığı sürece değişim ise siyah renkte verilmiştir.

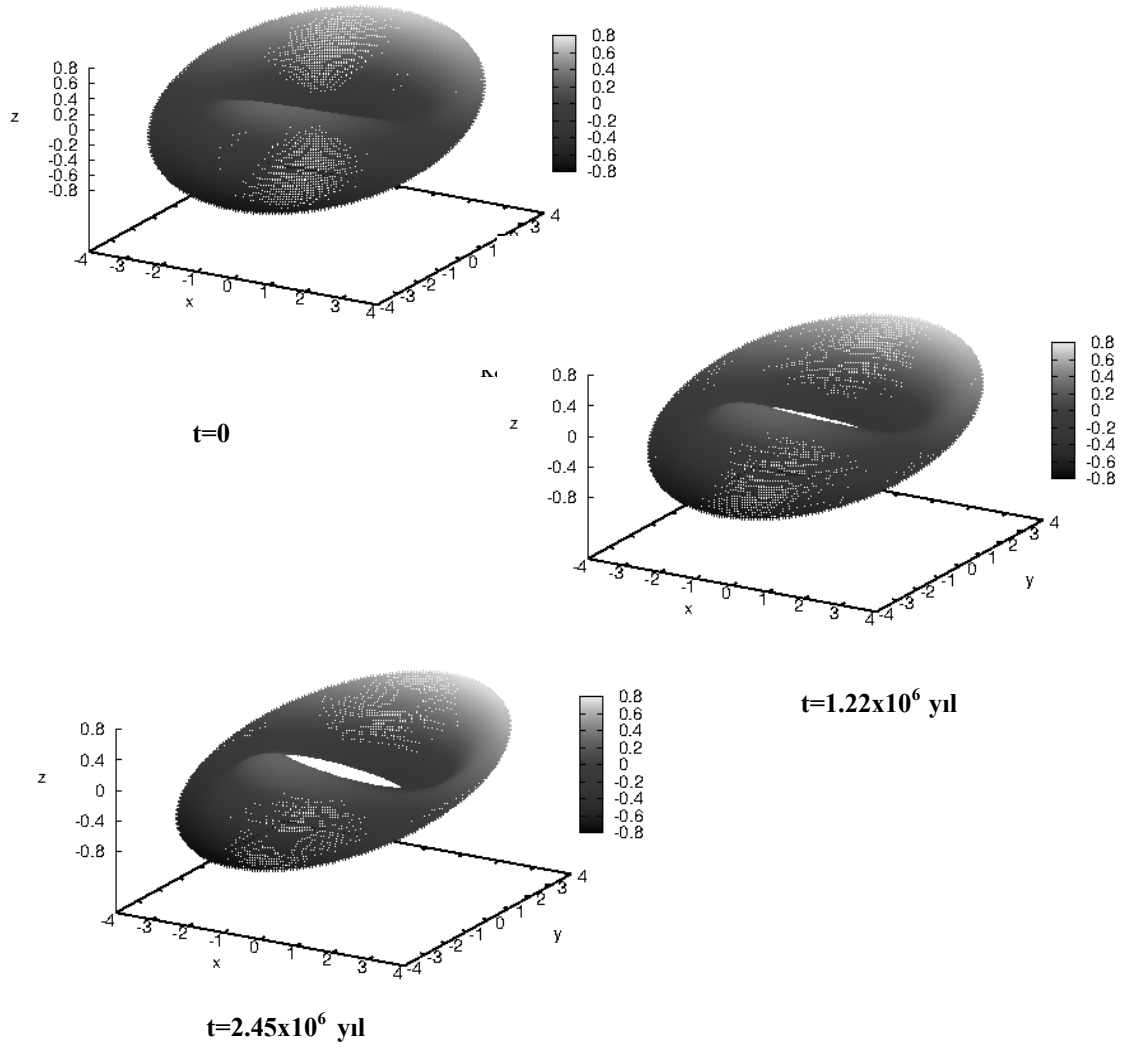


Şekil- 4: $10^4 M_{\text{sun}}$ kütleli 1.5 - 4 pc yarıçap aralığındaki MGD'nin simülasyonlar boyunca azimut profili, diskin iç ve dış kısımlarının 0.1 tur presesyon hareketini yaptığı görülmekte.

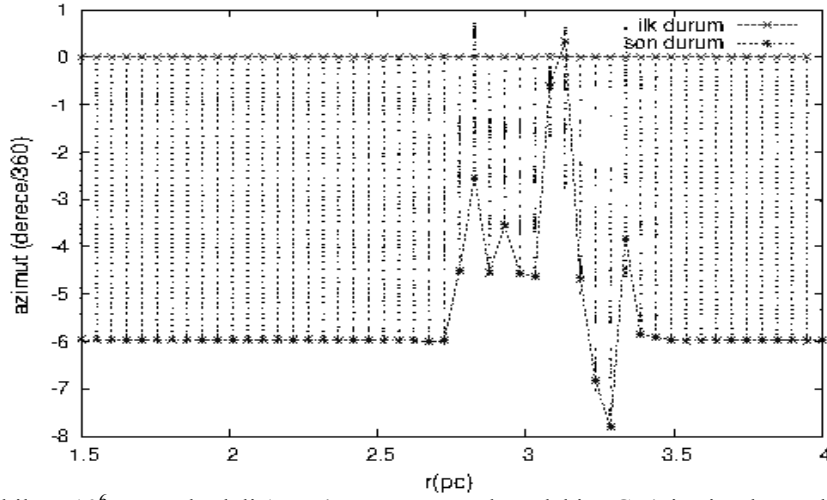
Şekil- 4'te diskin iç ve dış kısımlarının hemen hemen aynı 0.1 tur presesyon hareketini yaptığı, şekil- 5'te ise yapılan presesyon hareketine bağlı olarak eğim - yarıçap profilinin hemen hemen değişmeden kaldığı görülmektedir. Eğim yarıçap grafiğinde görülen bu küçük değişim bize diskin zaman evrimi boyunca kararlı bir şekilde hareketine devam ettiğini göstermektedir. Şekil-6'da simülasyonların farklı zamanlarında elde edilmiş 3 boyutlu görünümeler gösterilmektedir. Bu grafiklerden de görülmektedir ki, disk zaman evrimi boyunca kararlı yapısını korumakta ve parçalanmadan hareketine devam etmektedir. (Diskin 3 boyutlu görünümünde renk ölçeği diskin yüksekliğini vermektedir).



Şekil- 5: 10^4 Msun kütleli 1.5 - 4 pc yarıçap aralığındaki MGD'nin simülasyonlar boyunca eğim profili, diskin eğimi hemen hemen değişmeden kalmakta.

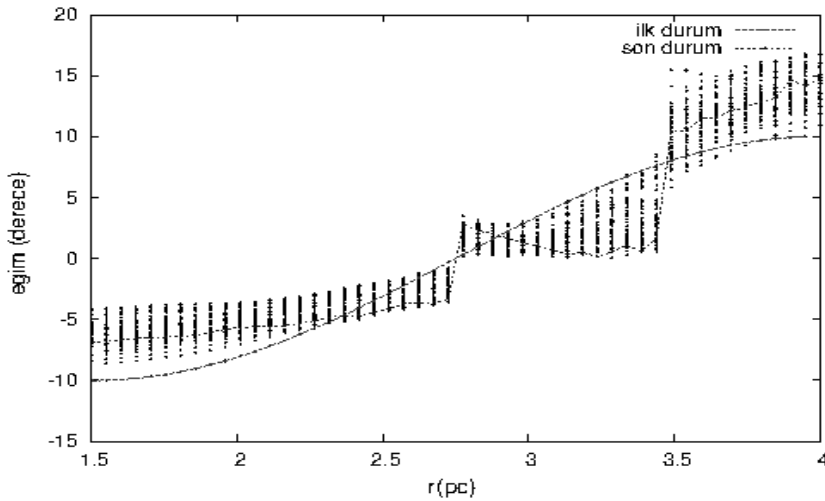


Şekil- 6: Disklerin belirli zamanlarda elde edilen 3 boyutlu görünümü

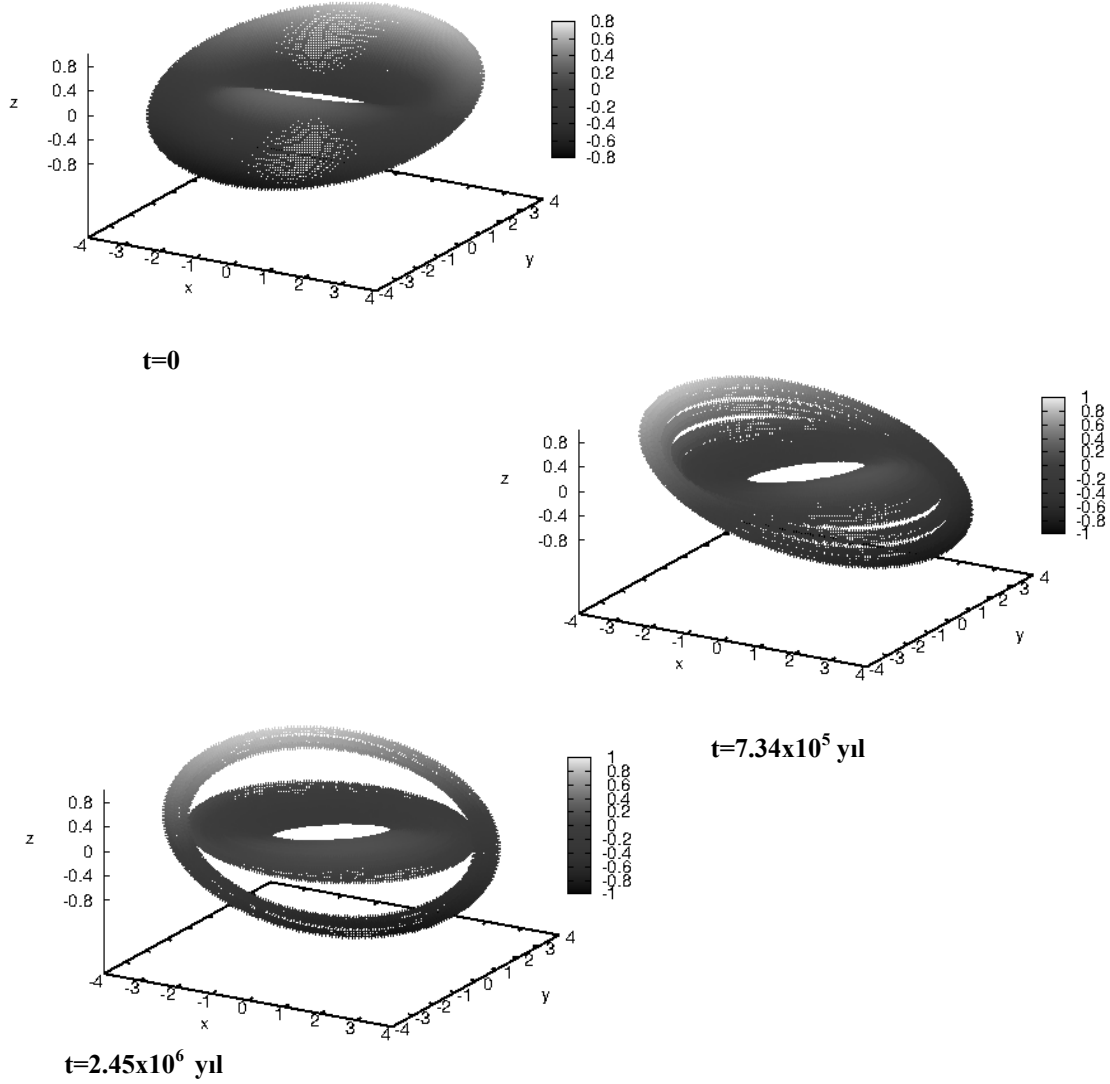
$10^6 M_{\text{sun}}$ kütleli 1.5 - 4 pc yarıçap aralığındaki MGD

Şekil- 7: $10^6 M_{\text{sun}}$ kütleli 1.5 - 4 pc yarıçap aralığındaki MGD'nin simülasyonlar boyunca azimut profili, diskin iç ve dış kısımlarının 6 tur presesyon hareketini yaptığı görülmektedir.

Şekil-7 'de yarıçap – azimut profilinden diskin iç ve dış kısımlarının hemen hemen aynı 6.tur presesyon hareketi yaptığı görülmekte, bu presesyon hareketinin etkisine eğim-yarıçap profilin (Şekil- 8) den baktığımızda diskin 3 parçaya ayrıldığını görmekteyiz. Yine diskin 3 boyutlu zaman evrimine bakıldığında diskin yörünge hareketi boyunca kararlı yapıda kalmayıp bölündüğü gözlenmektedir.(Şekil- 9)



Şekil- 8: $10^6 M_{\text{sun}}$ kütleli 1.5 - 4 pc yarıçap aralığındaki MGD'nin simülasyonlar boyunca eğim profili, diskin 3 parçaya bölündüğü görülmektedir..



Şekil- 9: Disklerin belirli zamanlarda elde edilen 3 boyutlu görünümü

Bu çalışmada, Galaksi Merkezi'nde bulunan merkezi gaz diskin, farklı kütle değerleri ve sabit yarıçap aralığı için yörünge evrimi incelenmiştir. Yaptığımız simülasyonlarda, diskin kütlesi arttıkça presesyon miktarının diskin kütlesiyle yaklaşık doğru orantılı olarak arttığı buna bağlı olarak düşük kütleli modelde, diskin kararlı bir şekilde hareketine devam ettiği, yüksek kütlelerde ise diskin farklı bölgelerinin farklı oranlarda presesyon yapması nedeniyle parçalara ayrıldığı gözlemlendi.

4.Kaynaklar

BECKLIN E. E., Far-infrared observations of Sagittarius A - The luminosity and dust density in the central parsec of the Galaxy, Journal of Physics Conference Series, 258, 135-142, (1982).

GENZEL, R., Crawford, M. K., The Neutral-Gas Disk around the Galactic Center ApJ. , 297, 766, (1985).

JACKSON J. M., ve diğ., Neutral gas in the central 2 parsecs of the Galaxy , ApJ , 402, 173-184 , (1993).

WRIGHT M.C.H., ve diğ., Molecular Tracers of the Central 12 Parsecs of the Galactic Center, ApJ, 551, 254-268, (2001).

SCHÖDEL R., A star in a 15.2-year orbit around the supermassive black hole at the centre of the Milky Way, Nature, 419, 694-696, (2002).

GENZEL R., ve diğ., 2003, The Stellar Cusp around the Supermassive Black Hole in the Galactic Center ,ApJ, 594, 812-832,(2003).

LEVIN Y., Beloborodov A. M., Stellar Disk in the Galactic Center A Remnant of a Dense Accretion Disk?, ApJ, 590, L33-L36 , (2003).

NAYAKSHIN S., Cuadra., A self-gravitating accretion disk in Sgr A* a few million years ago: Is Sgr A* a failed quasar?, Astronomy and Astrophysics, 437, 437-445 , (2005).

CHRISTOPHER., ve diğ., HCN and HCO⁺ Observations of the Galactic Circumnuclear Disk, ApJ , 622, 346, (2005).

Lu J. R., ve diğ., Galactic Center Youth: Orbits and Origins of the Young Stars in the Central Parsec Journal of Physics: Conference Series, 54, 279-287, (2006).

PAUMARD T., ve diğ., The two young star disks in the central parsec of the Galaxy: properties, dynamics, and formation Journal of Physics: Conference Series, 54, 199-207, (2006).

CUADRA ve diğ., Stellar dynamical evidence against a cold disc origin for stars in the Galactic Centre, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 388, L64-L68,(2008).

BARTKO ve diğ., Evidence for Warped Disks of Young Stars in the Galactic Center, ApJ, 697, 1741-1763, (2009).

GILLESSEN S., Monitoring Stellar Orbits Around the Massive Black Hole in the Galactic Center, ApJ, 692, 1075-1109, (2009).

ULUBAY-SIDDIKI., ve diğ., Self-gravitating warped discs around supermassive black holes, MNRAS, 398, 535-547, (2009).

BARTKO ve diğ., An Extremely Top-Heavy Initial Mass Function in the Galactic Center Stellar Disks, ApJ, 708, 834-840, (2010).

ULUBAY-SIDDIKI., ve diğ., (2012) , MNRAS'a gönderildi.