

Eğri Toplanma Disklerinin Kararlılığı

Anahita YAVARI
Suzan DOĞAN

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ BÖLÜMÜ



Özet

Toplanma diskleri, merkezi bir gök cismi etrafında sarmal yörüngelerde dolan gazın oluşturduğu astrofiziksel yapılardır. Diskler, gezegen ve yıldız oluşumunda, beyaz cüce, nötron yıldızı ya da kara delik gibi sıkışık cisimler içeren çift sistemlerin evrimi ve dinamiğinde, merkezlerinde dev kütleli kara delikler barındıran etkin gökdağ özelelerinde kritik rol oynarlar. Çoğu durumda, toplanma diskleri eğri bir yapıya sahiptir. Çalışmanın amacı, eğri disklerin kararlılığını viskoz torklarla birlikte ele alarak irdelemek ve disklerin hangi koşullarda kararsız hale geldiğini anlamamıza yardımcı olmaktır.

1. Giriş

Toplanma diskleri, evrende yaygın olarak bulunan ve çeşitli ölçeklerde ortaya çıkan önemli astrofiziksel yapılardır. En küçük ölçekte, gezegenöncülü diskler, gezegen ve yıldız oluşumu süreçlerinde kilit rol oynar. Daha büyük ölçekte, çift sistemlerde (örneğin, kataklizmik değişenler ve X-ışın çiftlerinde) yoldaş bileşenden madde transferi sonucu oluşan diskler, çiftin evrimi ve dinamiği bağlamında önem kazanır. En büyük ölçekte ise, galaksiler ve özellikle aktif galaktik çekirdeklerde (Active Galactic Nuclei) süper kütleli kara delikleri saran diskler, evrendeki en büyük enerji kaynakları olarak bilinir (Balbus ve Hawley, 1998; Frank vd. 2002). Toplanma diskleri genellikle düzlemsel olmayan bir yapıdadır. Bazen oluşumları sırasında, bazen de evrimlerinin sonraki aşamalarında dış torklar nedeniyle eğrilik kazandıkları bilinmektedir. Diski oluşturan gaz halkaları, düz disklerde tek bir düzlemde yer alırken, eğri disklerde halkaların yönelimi radyal doğrultuda değişir. Bu çalışmada, eğri disklerin kararsızlık özellikleri incelenmiştir.

2. Kararsızlık Analizi

2.1. Temel Eşitlikler ve Dağılıma Bağntısı

Bu çalışmada, eğri disklerin evrimini betimleyen süreklilik eşitliği ve açılma momentunun korunumu eşitliğinden yola çıkılarak kararsızlık analizi uygulanmıştır (Ogilvie, 1999, 2000, 2013):

$$\frac{\partial}{\partial t} \Sigma + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} (Rv_R \Sigma) = 0$$
$$\frac{\partial}{\partial t} (\Sigma r^2 \Omega) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (v_r \Sigma r^3 \Omega) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (Q_1 \Sigma c_s^2 r^2 l) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (Q_2 \Sigma c_s^2 r^3 \frac{\partial l}{\partial r}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (Q_3 \Sigma c_s^2 r^3 l \times \frac{\partial l}{\partial r})$$

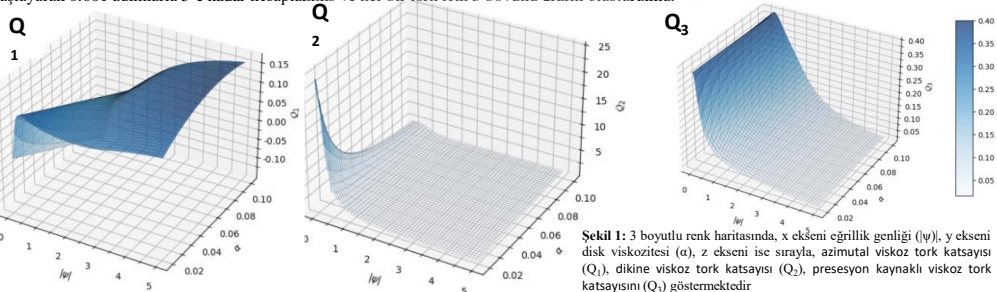
Burada eğrilik genliği ($|\psi| = r \frac{\partial l}{\partial r}$) ve Σ yüzey yoğunluğunu ifade etmektedir. Q_1 azimutal doğrultudaki viskoz tork katsayısını, Q_2 ise dikey doğrultudaki viskoz tork katsayısını temsil eder ve Q_3 eğik halkaların presesyondan kaynaklanan tork katsayısıdır ve diğerlerinin yanında ihmal edilebilecek düzeyde küçüktür. Eğri disk eşitliklerinin tedirgin edilmesi ve gerekli cebirsel işlemler sonucunda dağılıma bağntısı aşağıdaki gibi elde edilmiştir (Doğan, 2018):

$$s^3 - s^2 [aQ_1 - 2Q_2 + |\psi|(\alpha Q_1' - Q_2')] - s [2aQ_1Q_2 - Q_2^2 - Q_3^2 + |\psi|(\alpha Q_1Q_2' - Q_2Q_2' - Q_3Q_3')] - a [Q_1(Q_2^2 + Q_3^2) + |\psi|(Q_1Q_2Q_2' - Q_1'Q_2^2 + Q_1'Q_3^2 + Q_1Q_3Q_3')] = 0$$

Burada kararsızlığın büyüme oranları ($s = -\left(\frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{i\omega}{\Omega}$) ile ifade edilmiştir.

2.2. Viskoz Torklar

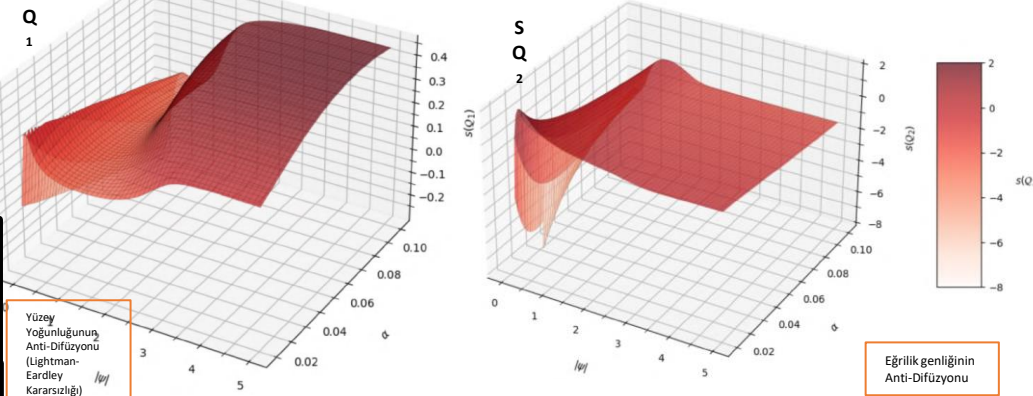
Dağılıma bağntısının sayısal çözümlerinin yapılabilmesi için öncelikle, üç viskoz tork katsayısının (Q_1, Q_2, Q_3) eğrilik ve viskozite ile olan değişimi hesaplanmıştır (Ogilvie, 1999, 2000). Disk viskozitesi (α) 0.01'den başlayarak 0.002 adımlarla 0.1'e kadar ve disk eğrilliği ($|\psi|$) 0'dan başlayarak 0.001 adımlarla 5'e kadar hesaplanmış ve her bir tork için 3 boyutlu grafik oluşturulmuştur.



Şekil 1: 3 boyutlu renk haritasında, x eksenini eğrilik genliği ($|\psi|$), y eksenini disk viskozitesi (α), z eksenini ise sırasıyla, azimutal viskoz tork katsayısı (Q_1), dikine viskoz tork katsayısı (Q_2), presesyon kaynaklı viskoz tork katsayısı (Q_3) göstermektedir.

2.3. Kararsızlığın Büyüme Oranları

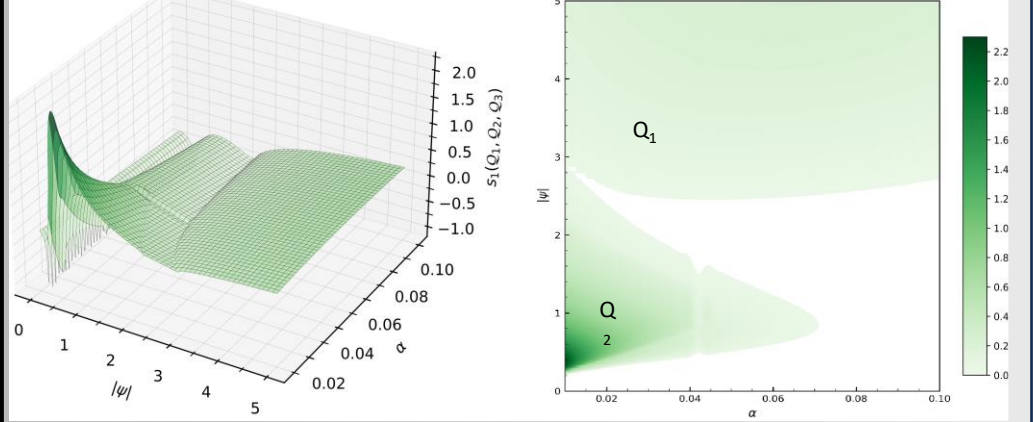
Dağılıma bağntısının yüksek çözünürlüklü nümerik çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bu çözümler kapsamında, disk viskozitesi ($0.01 < \alpha < 0.1$) ve disk eğrilliği ($0 < |\psi| < 5$) aralığında kararsızlığın büyüme oranları hesaplanmış ve üç boyutlu grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca, azimutal ve dikine viskoz tork bileşenlerinin kararsızlığın büyüme oranları üzerindeki etkileri ayrı ayrı irdelemiştir ve bu ilişkiler Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2b'de görüldüğü gibi, küçük eğrilikler (yani, $|\psi| \leq 2.5$) için Q_2 tork katsayısı baskın olarak ortaya çıkarken, Şekil 2a'de daha büyük eğrilikler (yani, $|\psi| \geq 2.5$) için Q_1 tork katsayısı baskın hale gelir.



Şekil 2a: 3 boyutlu renk haritasında, azimutal viskoz tork katsayısının dikkate alındığında $s(Q_1)$ gösterilmektedir. Bu grafik, kararsızlık büyüme oranlarının, eğrilik genliği $|\psi|$ ve viskozite α 'ya bağlı olarak nasıl değiştiğini gösterir.

Şekil 2b: 3 boyutlu renk haritasında, dikine viskoz tork katsayısının dikkate alındığında $s(Q_2)$ çözümlerini gösterilmektedir. Bu grafik, kararsızlık büyüme oranlarının, eğrilik genliği $|\psi|$ ve viskozite α 'ya bağlı olarak nasıl değiştiğini gösterir.

Tüm tork katsayılarını dağılıma bağntısına dahil ettiğimizde, $s(Q_1, Q_2, Q_3)$ çözümünü elde etmiş oluruz. Şekil 3'da, elde ettiğimiz çözümleri eğrilik genliği ($0 < |\psi| < 5$) ve disk viskozitesi ($0.01 < \alpha < 0.1$) aralığında sunmaktayız. Düşük viskoziteli diskler, çok küçük eğriliklerde bile kararsız davranış sergiler. Herhangi bir viskozite değeri için her zaman disk kararsız kaldığı bir eğrilik değeri vardır. Şekil 3a'da görüldüğü gibi, düşük viskoziteli diskler, daha yüksek büyüme oranlarına sahip olmaktadır. Bu disklerde kararsızlık daha güçlüdür ve kritik eğrilige sahip olduklarında çok kısa zaman ölçeklerinde parçalanmaları beklenir.



Şekil 3a: 3 boyutlu renk haritasında x eksenini eğrilik genliği $|\psi|$, y eksenini viskozite α , z eksenini ise elde edilen tüm nümerik çözümleri $s(Q_1, Q_2, Q_3)$ göstermektedir. Düşük viskoziteli diskler, çok küçük eğrilik değerlerinde bile kararsızlık göstermektedir.

Şekil 3b: 2 boyutlu renk haritasında x eksenini viskozite (α), y eksenini eğrilik genliği ($|\psi|$) renk ölçeği kararsızlığın büyüme oranlarını $s(Q_1, Q_2, Q_3)$ göstermektedir. Her bir viskozite değeri için, disk kararsız hale geldiği bir eğrilik değeri mutlaka vardır.

3. Sonuçlar

Kararsızlığa ait en yüksek büyüme oranları, dikine viskoz torkların azimutal viskoz torka baskın olduğu ve eğrilikle keskin bir değişim gösterdiği bölgelerde gözlenmektedir. Düşük viskoziteli disklerde, akışkanın eğrilige gösterdiği dirence ilişkin zaman ölçeği ile içe doğru taşınımına ilişkin zaman ölçeği arasında önemli bir farklılık oluşur ve disk akışkanının radyal doğrultudaki iletişimi kısıtlanır. Bu diskler, kritik eğrilige sahip olduklarında çok kısa zaman ölçeklerinde parçalanma eğilimindedir. Parçalanma süreci, hem açılma momentumun doğrudan yitimine neden olması hem de halkalı yapılar sergileyen güncel disk gözlemleriyle ilişkilendirilmesi bakımından önem taşımaktadır.

REFERANSLAR

- Doğan, S., Nixon, C.J., King, A.R., and Pringle, J.E., 2018, Instability of warped discs, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 476(2), 1519–1531.
- Doğan, S., Nixon, C., King, A., and Price, D.J., 2015, Tearing up a misaligned accretion disc with a binary companion, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 449(2), 1251–1258.
- Ogilvie, G.I., 1999, The non-linear fluid dynamics of a warped accretion disc, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 304(3), 557–578.
- Ogilvie, G.I., 2000, An alpha theory of time-dependent warped accretion discs, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 317(3), 607–622.
- Pringle, J.E., 1996, Self-induced warping of accretion discs, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 281(1), 357–361.
- Frank, J., King, A., and Raine, D.J., 2002, Accretion Power in Astrophysics: Third Edition, Cambridge University Press.
- Balbus, S.A., ve Hawley, J.F., 1991, "A Powerful Local Shear Instability in Weakly Magnetized Disks. I. Linear Analysis", The Astrophysical Journal, 376, 214.