

Gaz Gezegenlerin Yapısı ve Kimyasal Bileşimi Üzerine

Mutlu Yıldız¹  , Sibel Örtel² , Zeynep Çelik Orhan¹ , Tuğbanur Çakır Alsaç² 

¹ Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Bornova, 35100, İzmir, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, 35100, İzmir, Türkiye

Accepted: March 12, 2025. Revised: March 12, 2025. Received: November 29, 2024.

Özet

Gezegenlerin iç yapısını araştırırken neredeyse tek kısıtlama gezegenin yarıçapıdır. Gaz devleri basitçe belirli bir kütleyle ulaşan metal bir özeğe ve bu özeği çevreleyen bir gaz zarfa sahiptir. Yarıçapı etkileyen ancak belirsiz olan ana nicelikler, metal özeğin kütlesi, yoğunluğu ve zarfın kimyasal bileşimidir. Güneş Sistemi'ndeki gaz devler üzerine daha önce yaptığımız araştırmada, metal özeğin kütlesi ile gezegenin toplam kütlesi arasında bir ilişki elde etmiştik. Bu çalışmada gezegenin özek yoğunluğu ile toplam kütlesi arasında ilişki kurmayı ve aydınlatmanın yarıçap üzerindeki etkisini bulmayı hedefliyoruz. Gezegenlerin iç yapısını yapı denklemlerini çözerek sonlu farklar yöntemiyle sayısal olarak araştırıyoruz. İç yapı modellerini MESA evrim programını kullanarak elde ediyoruz. Kimyasal bileşimi hesaplarırken hidrojen ve helyum elementlerinin ayrıştığı ve ayrışmadığı tipik durumları göz önünde tutabiliriz. Bunun için birçok gezegenin içyapı modeli oluşturuldu. Gezegenin özek yoğunluğu ile toplam kütlesi arasında ilişki kurarak elde edilen modellerde, en fazla aydınlatılan gaz devlerin akılarına göre yarıçaplarının artmadığını gördük. Bu durumda, yarıçapın aydınlatma ile olan ilişkisi doğrudan değil dolaylı bir ilişki olmalı. Bu dolaylı etkilerin neler olabileceğini irdeliyoruz.

Abstract

The planetary radius is almost the only constraint used when studying the interior of planets. Gas giants have a metal core that reaches a certain mass and an envelope of gas surrounding the core. The main ambiguous quantities affecting the radius are the mass, density of the metal core and the chemical composition of the envelope. In our previous study on the gas giants in the Solar System, we obtained a relationship between the mass of the metal core and the total mass of the planet. In this study, we aim to establish a relationship between the core density of the planet and its total mass and to find the effect of irradiation on the radius. We investigate the internal structure of planets numerically by solving the structure equations using the finite difference method. We construct the interior models using the MESA evolution code. When computing the chemical composition, we consider two typical cases where hydrogen and helium are separated or not separated. For this purpose, interior models are constructed for numerous planets. In the models obtained by establishing the relationship between the planetary core density and its total mass, we found that the model radii of the most irradiated gas giants do not increase as the flux increases. In this case, the relationship between radius and irradiation must be indirect. We are investigating what these indirect effects might be.

Anahtar Kelimeler: planets and satellites: interiors - planets and satellites: gaseous planets - planets and satellites: fundamental parameters - planets and satellites: composition - exoplanets.

1 Giriş

Genelde gezegenlerin özellikle de dev gaz gezegenlerin yapısı ve kimyasal bileşimi önemli bir araştırma alanıdır. Gezegen bilim tabii çok heyecan verici bir gelişme kat ediyor. Gezegenlerin yapısı bir bakıma çok basittir bir bakıma da çok karmaşıktır. Bu karmaşıklığın bilimsel olarak üstesinden gelmek bir meydan okumayı gerektirir. Yakın zamanda, bilmediğimiz, heyecan verici gelişmelerin de gerçekleşmesi muhtemeldir.

Günümüzde 5788 tane keşfedilmiş gezegen var (TEPCat: [Southworth 2011, NASA Exoplanet Archive](#)). Bunların büyük çoğunluğu gaz dev. Bunlardan verileri kaliteli olanlar az değil. Gezegenler nasıl bir yapıya sahip? Şu anki yapı aslında hem gezegen olduktan sonraki evrimsel süreci ama aynı zamanda diskin geçirdiği evrimin sonucunda bir işleyişi de temsil ediyor. Orada ne gibi süreçler gelişti? Ne oldu? Aslında bu birleşik bir şey. Hatta bir adım daha atarak şuradan şunu söyleyebiliriz ki,

yakın bir gelecekte bunu bizim göreceğimizi umuyorum, tek tek yıldızlara değil önce gezegenlerine bakacağız sonra yıldızların modellerini, iç yapılarını araştıracağız. Bu biraz iddialı gelebilir size ama buna ilişkin çok kuvvetli veriler var. Bu bakımdan yıldızları araştırıyorsak gezegenleri de araştırmak zorundayız. Gezegenlerin tabii dezavantajlı yanlarından birisi bir tane fiziksel yapıyı temsil eden veri var: yarıçap. Işıma gücüne ilişkin bir şey yok.

Yarıçapı ne belirler? Boyutları nelere bağlı? 1) Yarıçapı üzerinde etkili olan başat unsur aydınlatma akısı ([Guillot ve diğ. 1996; Burrows ve diğ. 2000; Fortney, Marley, & Barnes 2007; Weiss ve diğ. 2013; Yıldız ve diğ. 2014](#)). Barınak yıldızdan gelen akı. 2) Gel-git etkisi de yarıçap üzerinde etkili ([Storch & Lai 2014](#)). 3) Dönme özellikle bizim güneş sistemimizdeki gezegenlerin üzerinde ne kadar etkili olduğuna ilişkin hakikaten çok çarpıcı sonuçlar yakın zamanda elde edildi ([Yıldız ve diğ. 2024](#)). Şimdiye kadar gezegenler üzerinde yapılan araştırmalarda gezegenlerin dönme özellikleri hiç fark edilmemiş. Yıldızlar gibi olduğu varsayılıyor ama farklı

* mutlu.yildiz@ege.edu.tr

olduğunu görüyoruz. 4) Gezegenlerin kimyasal bileşimi yarıçap üzerinde etkili olabilir (Guillot ve diğ. 2006). Kimyasal bileşim hem gezegen olduktan sonra, özellikle yüksek aydınlatmalı gezegenlerde fotonla buharlaşma etkileşebileceği gibi diskteki evrimin bir sonucu olarak da kimyasal bileşim farklılaşmış olabilir. 5) Zamanla ısı soğuma (Nettelmann ve diğ. 2012). Beyaz cüceler gibi hızlıca, aslında eksponansiyel (üstel) bir şekilde, yarıçapında da bir küçülme, azalma görüyoruz.

Güneş sistemini araştırırken aslında diğer sistemlere taşıyabileceğiniz bilgi elde edebiliriz. Tersine de doğru çift yönlü işleyen bir araştırma sürecinden bahsetmek mümkündür. Dolayısıyla, biz de ilk önce Güneş sistemini inceledik. Nasıl güneş diğer yıldızların birim yıldızıysa bu gezegenler de sonuçta tüm gezegenlerin birim gezegenleri olarak nitelendirilebilir. Bu bakımdan Jüpiter özel bir öneme sahiptir. Günümüzde sadece gözlem değil aynı zamanda çok özel cihazlarla deney yapılıyor. Özellikle Juno verileri çok muhteşem ve sismik özelliklerinden titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılma dediğimiz parametreyi elde ediyoruz (Gaulme ve diğ. 2011; Durante ve diğ. 2022). Bu parametre ortalama yoğunluğun karekökü ile doğru orantılı, en azından yıldızlar için. Juno'nun ölçtüğü sıcaklık gradyeni var (Bolton ve diğ. 2017). Derinliğe bağlı sıcaklık değişimi.

Genel olarak gezegenlerde yarıçap-kütle ilişkisinden söz edebiliriz. Bir yanda yer boyutlarında karasal gezegenler varken diğer uçta Jüpiter boyutlarında gaz devler bulunmaktadır. Arada kalan gezegenler ise karasallarla devler arasında boyutlara sahip Neptünümüslerdir. Aydınlatma akısı en çok gaz devlerin yarıçapları üzerinde etkilidir.

Makalenin devamı şu şekilde düzenlenmiştir: §2'de diskte gezegen oluşumu anlatılıyor. Gezegenlerin yarıçapını etkileyen dönme, kimyasal bileşim ve özek kütlesi §3'te anlatılıyor. Gezegen verilerine ilişkin bilgiler §4'te veriliyor. §5'te MESA evrim koduyla gezegen modelleme anlatılıyor. Dev gaz gezegenlerin modelleri ve sonuçları §6'da sunuluyor. Son olarak §7'de çalışma hakkında yapılan yorumlar yer alıyor.

2 Diskte Gezegen Oluşumu

Diskteki evrimin nasıl çalıştığı oldukça karmaşık bir iş. Kuram olarak işi zorlaştıran birtakım şeyler var. Gezegen bilim aslında şöyle ilerliyor: ne olamaz? Seçenekler elene elene gittiği için bunun teorisini ortaya net bir şekilde yıldızlarda olduğu gibi ortaya çıkarmak da çok kolay bir iş değil. O bakımdan biraz daha zor bir süreç. Genel kabul gören şey şudur (Henning & Semenov 2013): önce tozlar oluşuyor, tozlar birleşerek taşları, kent ölçeğinde kayalıkları oluşturuyor ve birleşmeler devam ediyor. 10 $M_{\odot}$ bir özek oluştuğu zaman bu hızlıca diskte gaz kütleyi toplamaya başlıyor ve dolayısı ile dev gaz gezegenleri oluşturuyor. Karasal gezegenler oluştuğu zaman toplayabileceği bir gaz kalmıyor. Dolayısıyla onlar da karasal gezegen olarak kalıyor. Genel kabul bu ama ne kadar geçerli olduğunu tespit etmek için her bir evrenin ayrı ayrı tartışılması gerekir. Her özellik yine de geneli yansıtmak zorunda değil tabii.

Gezegenlerin yapısına ilişkin fiziksel olarak en önemli belirsizlik ise hal denklemi maalesef (Saumon, Chabrier, & van Horn 1995; Chabrier & Debras 2021). Çünkü yıldızları, özellikle büyük kütleli yıldızları düşünecek olursak ortam ideal gaz denklemine çok yakın bir özelliğe sahip. Normal yıldızlar için, yozlaşma (degeneracy) olmadığı sürece ideal gaz denklemi çok iyi çalışır. Niye? İdeal gaz denklemine göre parçacıkların alanı yok. Alansız parçacıklar sadece çarpışırlar. İdeal olan bu. Gezegenlere bakacak olursak, bizzat üzerinde

bulduğumuz gezegen açısından da, tam tersine parçacıklar birbirinin alanlarına hapsedilmiş durumda. Sıvı ve katılara bu gözle bakalım. Sıvı ve katı zaten moleküller yapıdadır. Atomlar birbirinin alanına hapsedilmiş durumda ve fiziksel olarak bunu tanımlamak çok çok zordur. Çok karmaşık fiziksel süreçlerle karşı karşıyayız ve çok zor ilerliyoruz bu bakımdan. Burada modelleme açısından ya da yapının fiziği açısından en önemli zorluk hal denklemidir. Gezegenlerin diskteki evrimin bir ürünü olduğundan bahsettik. Fotonla buharlaşma da önemli bir etken.

3 Gezegenlerde yarıçapı etkileyen faktörler

3.1 Aydınlatma

Gezegen yarıçapı üzerinde özellikle gaz devler için en çok etkili olan etki aydınlatmadır. Belirli bir aydınlatma değerine kadar yarıçap ya hiç ya da çok az artmamaktadır. Bu kritik değeri aşan aydınlatma enerjisi söz konusu olduğunda yarıçap çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu konu en çok araştırılan etkilerin başında gelmektedir. Isıtmanın çok olduğu durumda sıcaklık ve dolayısıyla basınç yüksek olacağından kütle çekim kuvvetine karşı üstünlük sağlayan basınç kuvveti gezegeni daha büyük yarıçapa zorlayacaktır. Bu çalışmada bu etkinin tam da böyle çalışıp çalışmadığı test edilmekte ve elde edilen ilk sonuçlar sunulmaktadır.

3.2 Gezegenlerde dönme

İki boyutlu yıldız modelleri (Roxburgh 2004; Rieutord & Espinosa Lara 2013) ile Güneş Sistemi'ndeki dev gaz gezegenlerini ekvator yarıçapı bölü kutup yarıçapına karşı dönme parametresi (merkez kaç ivmesi bölü kütle çekim ivmesi) grafiğinde kıyasladığımızda bu iki grubun ayrıştığını görüyoruz. Nasıl kutup ve ekvator yarıçapları birbirinden farklılaşıyor. Gezegenlerde nasıl fark ediliyor? Burada artış nasıl meydana geliyor? Mars, Yer ve diğer katı gezegenler de gaz gezegenlerle aynı safta yer tutuyor. Yıldız modellerinde kutup yarıçapının dönme hızı ile değişmediğini tespit ediyoruz. Gezegenlerde ise muhtemelen kutup yarıçapı dönme hızına bağlı olmak üzere azalıyor. Bu nedenle, gezegenlerde ekvator yarıçapı bölü kutup yarıçapı oranı yıldızlara göre daha fazla artmaktadır. Durumu şöyle de açıklayabiliriz; gezegen hızlı döndükçe ekvator kısmı şişer ve dolayısıyla ekvator yarıçapı artar. Bu artış için gerekli malzeme kutup bölgesinden sağlanır ve dolayısıyla kutup yarıçapı azalır.

3.3 Gezegenlerin kimyasal bileşimi ve özek kütlesi

Kimyasal bileşimden kısaca bahsetmekte yarar var. Y_0 yıldız oluşurken başlangıç helyum bolluğu, Z_0 ise ağır element bolluğu olsun. Bu durumda başlangıç hidrojen bolluğu:

$$X_0 = 1 - Y_0 - Z_0. \quad (1)$$

1) Diskin herhangi bir bölgesinde ortamdaki sadece hidrojen kaybediliyorsa o zaman kayıp sonrasındaki Y/X oranı Y_0/Z_0 oranı ile aynıdır. O zaman gezegenin zarfında bir kompozisyon farklılaşması varsa $Y_X/Z_X = Y_0/Z_0$ olacak. Buradan,

$$Y_X = Y_0 Z_X / Z_0 \quad (2)$$

olur. 2) Eğer Hidrojen ve Helyum birlikte kaybediliyorsa o zaman da şu açıklama geçerli; hidrojen ve helyumun oranları kütlece değişmemiş olması lazım: $Y_{XY}/X_{XY} = Y_0/X_0$. Bu durumda,

$$Y_{XY} = Y_0(1 - Z_{XY})/(1 - Z_0). \quad (3)$$

Bu iki ilişki $Y-Z$ grafiğinde iki ayrı çizgi şeklindedir (bkz. Yıldız ve diğ. 2024, şekil 7-8). $Y-Z$ grafiğindeki bu çizgilerden ilki yüksek ve pozitif bir eğime sahipken ikincisi çok daha düşük ve negatif bir eğime sahiptir. Burada, modellerimizin bünyevi kimyasal bolluğunu bu diyagrama yerleştirdiğimizde hangi çizgiye yakın olması gerektiğini sorabiliriz. Sadece karasal gezegenleri düşündüğümüzde bile bu soruya net bir yanıt buluyoruz. Karasal gezegenler esas olarak hidrojen ve helyumsuzdur. Demek ki hidrojen ve helyum birlikte kaybediliyor. O halde bizim yaptığımız modeller ikinci çizgi hattını izlemelidir. Ancak, özellikle aydınlatmanın çok yüksek olduğu sıcak gaz devlerde yüksek enerjili fotonlar hidrojen atomu üzerinde daha fazla etkili olacağından, az da olsa, bir miktar sapma beklenebilir.

Bu iki kimyasal evrim işleyişi aynı zamanda iki farklı özek yapısına işaret etmektedir. Eğer sadece hidrojen kaybedilmişse Jüpiter modelinin özek kütlesi sıfır, hidrojen ve helyum birlikte kaybedilmişse büyük kütleli bir özek söz konusudur, yaklaşık $40 M_{\odot}$. Bu durum, nitelikçe diğer gaz devler için de geçerlidir. Eğer Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün modellerinin bu hat üzerinde yer aldığını kabul edersek özek kütlesi ile gezegen kütlesi arasında çok net bir ilişki elde ediyoruz. Bu ilişki limit durum olarak karasal gezegen verileriyle çok uyumludur. Özek kütlesi ile gezegen kütlesi arasındaki ilişki öte-gezegen modellerini oluştururken çok gerekli bir ilişkidir. Özek kütlesini bir şekilde elde ettik. Gezegen kütle-yarıçap ilişkisinin de uyumlu bir şekilde olmasına dikkat ederek Jüpiter için büyük kütleli özek modelinin ($41-42 M_{\odot}$ kadar), tüm gözlemsel verilerle uyum açısından gezegeni en iyi temsil eden modeldir.

4 Gezegen verileri

Gezegen verileri TEPcat (Southworth 2011) kataloğundan alınmıştır. Bu katalogdan hem gezegen hem de barınak yıldızın kütlesi ve yarıçapı bilinen sistemleri inceliyoruz. Gezegen modeli için gerekli olan yaş yıldızın temel özelliklerinden hesaplanmaktadır (Yıldız ve diğ. 2014).

5 MESA evrim koduyla gezegen modelleme

İç yapı modelleri lineer olmayan kütleli sürekliliği, hidrostatik denge, ısı denge ve sıcaklık gradyeni denklemlerinin çözümünden elde edilir. Bu çalışmada gezegen modelleri MESA evrim koduyla elde edilmiştir. MESA evrim kodu farklı evrim aşamalarındaki düşük kütleli yıldızlardan büyük kütleli yıldızlara kadar birçok evrim modeli için çok sayıda fizik modülünü içinde barındırır. Yıldızlar için olduğu gibi farklı yapı ve evrimsel süreçlere sahip karasal ve dev gaz gezegenlerin evrim modellerini oluşturmak için de son derece kullanışlıdır. Modüller içerisinde farklı sıcaklık, yoğunluk ve kimyasal bileşime sahip modeller için opasite (saydamsızlık) tabloları, atmosfer sınır koşulları, nükleer tepkime hızları ve elementlerin difüzyonu bulunur. Gezegen modelleri oluşturulurken MESA'nın r23.05.1 versiyonu kullanılmıştır. İç yapı modellerinde konveksiyon kuramı için standart karışım uzunluğu kuramı (Böhm-Vitense 1958) varsayılmıştır. Düşük ve yüksek sıcaklıklardaki saydamsızlıklar için Ferguson ve diğ. (2005) ve OPAL (Iglesias & Rogers 1993, 1996) saydamsızlık tabloları kullanılmıştır.

Model yaparken gezegenin gözlemsel özelliklerinden özek yoğunluğunu tahmin etmek gerekiyor. Bu hesap için gezegenlerin kütle-yoğunluk ilişkisini kullandık. Karasal gezegenlerin kütle-yoğunluk ilişkisi bu bakımdan yararlı olabilir. Bu ilişkiye göre gezegenin ortalama yoğunluğu gezegen

kütlesinin karekökü ile doğru orantılıdır. Gaz gezegenlerin özek yoğunluğunu bu ilişkinin dış değeri (extrapolation) olarak hesaplayabiliriz. Bu yaklaşıma ilk kez bu çalışmada başvuruluyor.

6 Dev gaz gezegenlerin modelleri

Gezegen modelleri yapmak için MESA evrim kodunu kullandık (Paxton ve diğ. 2011, 2013, 2019). Hedef başlangıçta 50 tane gezegenin modelini yapmaktı ama çeşitli ara programlar yazarak mümkün olduğunca çok gezegenin modelini yaptık.

Yapı üzerinde etkili olan faktörler nelerdir? Bu açıdan şematik olarak Jüpiter modelini düşünelim. Bir özek var. Bu metal bir küre. Bu metal kürenin kütlesi ne kadar onu bilmiyoruz. En önemli soru işaretlerinden birisi bu. Juno'nun kütle momentlerine dayalı olarak verilerine bakacak olursak özek kütsüz de olabilir deniyor (Seidelmann ve diğ. 2007). Özek aşınmış olabilir. Özek oluştuktan sonra zarfla sürekli bir aşınma yaşadığı için kısmen çözülmüş olabilir ama o sırada da karmaşık işlemler söz konusu. İkinci bir belirsizlik özek yoğunluğudur. Diğer belirsizlikler ise gaz içeriği (bolluğu) hakkındadır. Bir gramda ne kadar helyum var? Ne kadar ağır element var?

Jüpiter çok özel bir gezegen. Model için kısıt olarak kullanılacak gözlemsel parametreler arasında, frekanslar arasındaki büyük ayrılma da var. Jüpiter'in titreşim frekansları yayınlanmış durumda (Gaulme ve diğ. 2011). Durante ve diğ. (2022) da güneş benzeri titreşimler keşfettiler ama tek tek frekansları bulamadılar. Bu bakımdan, elde edeceğimiz modellerin gözlenen büyük ayrılma değerini sağlayıp sağlamaması önemli bir sonuçtur. Diğer bir kısıt sıcaklık gradyenidir (Bolton ve diğ. 2017). Diğer bir yaklaşım ise gezegen oluşum sürecinde ve yakın gezegenlerde gezegen oluştuktan sonraki kütle kaybının ne şekilde olduğu ile ilgilidir. Gezegenler oluşurken disk gaz kaybeder. Peki, gazı nasıl kaybediyor? Bu çok kritik bir durum. Örneğin ayrışma var mı? Hidrojen ve helyum birbirinden ayrışıyor mu yoksa birlikte mi kaybediliyor? İki seçenek düşünebiliriz burada. Sadece hidrojeni kaybediyorsa bu başka bir kimyasal oluşum demektir. Hidrojen ve helyumu birlikte kaybediyorsa bu da başka bir oluşumdur. Dolayısıyla bu da bize bir kısıt oluşturuyor (Yıldız ve diğ. 2024).

6.1 Model sonuçları

Aydınlatma enerjisi en çok gaz devleri birbirinden ayırmaktadır. Esas aydınlatılanlar çok yüksek yarıçapa sahip. Az aydınlatılan gaz devler ise daha küçük yarıçapa sahip. Kütle-yarıçap grafiğinde az aydınlatılanlar ve çok aydınlatılanlar birbirinden tamamen ayrılmaktadır. Bu gruptan gezegenlerin katalog verilerini kullanarak iç yapı modellerini yaptık. Gerekli olan yaş hesabını ise Yıldız ve diğ. (2014) çalışmasındaki yöntemle elde ettik.

Az aydınlatılan gezegenler için, gram başına alınan aydınlatma enerjisine karşı yarıçapı çizdiğimizde yarıçapın çok yavaşça arttığını saptıyoruz. Bu artış miktarı verinin saçılması yanında küçük kaldığından artış neredeyse yoktur. Çok aydınlatılan gezegenler için model yaptığımızda acaba yarıçapta gözlenen hızlı artışı görebilecek miyiz? Maalesef hayır! Çok ilginç bir sonuç bu. Çok aydınlatılan modeller yarıçap olarak az aydınlatılanlardan ayrılmamaktadır. Az aydınlatılan gezegenler için geçerli olan çok yavaş artış çok aydınlatılan gezegen modelleri için de devam etmektedir.

Model yaptığımızda elde ettiğimiz en çarpıcı sonuç bu. Modelde yüksek ya da düşük akıyı gezegene veriyoruz ancak az aydınlatılanlarla çok aydınlatılanlar birbirinin devamı çıkıyor. Aslında ne bekliyoruz? Yüksek aydınlatma akısını verdiğimiz zaman gezegen soğuyamayacak ve büyük yarıçapla kalacak. Oysa aynı eğilim devam ediyor. Demek ki tek başına aydınlatma ya da doğrudan aydınlatmanın sonucu değil bu yüksek yarıçap. Başka bir etki söz konusu. Ne olabilir? 1) Kimyasal bileşim olabilir. Zarftaki kimyasal bileşimin akıya bağlı olduğunu düşünüyoruz. Örneğin akıya bağlı ağır element bolluğu değişimi, helyumda da bir azalma bekleriz tabii ki. 2) Yaşın etkisi olabilir. Eğer yüksek aydınlatmalı sistemler genç ise modelin yarıçapı da büyük olmaktadır. Ancak bu sistemlerin hepsinin genç olması pek olası değildir. 3) Dönme olabilir. Bu durumda, akı yüksek olduğunda dönme hızı da yüksek olmalı. Ancak yüksek akı aynı zamanda gezegenle barınak yıldızının yakın olması durumunu da kapsadığından senkronizasyon geçerli olacağından gezegenlerin yavaş dönmesini bekleriz. 4) Gelgit etkisi ayrıca değerlendirilmeli. **Yıldız ve diğ. (2014)** çalışmasında gelgit etkisi sınırlı bulunmuştu. Ancak o çalışmada gelgit etkisi gezegen yarıçapları üzerinde aydınlatmanın etkisi çıkarıldıktan sonra araştırılmıştı. Bu durumda zaten az çıkar. Daha genel bir yaklaşımla aydınlatma etkisini bir tarafa bırakarak doğrudan gelgit etkisi araştırılabilir.

7 Yorumlar

Bu çalışmada az ve çok aydınlatılan çok sayıda dev gaz gezegenin modelleri yapıldı. Çok çarpıcı sonuçlar elde edildi. Çok yüksek akıyı gezegene vermek onu doğal olarak büyük yarıçaplı yapmıyor. Bu akıya maruz kaldığı için muhtemelen diskte gezegen oluşmadan önce kimyasal farklılaşma ortaya çıkmış olabilir.

Akıya bağlı olarak kimyasal bileşimin değişimine ilişkin modeller yaparak ağır element bolluklarının nasıl değişmesi gerektiğini elde edebiliriz. İleriki çalışmalarımızda bu konuyu daha ayrıntılı araştırmayı hedefliyoruz. Bu yaklaşım aydınlatmanın dolaylı etkisiyle yarıçapın büyük olduğu yaklaşımına dayalıdır. Hem gezegen hem de disk süreçlerinde fotonla buharlaşma sonucunda X ve Y azalmış, Z ise artmış olmalıdır. Diğer etkiler de ayrıca sınanmalıdır. Bu etkilerin başında gelgit etkisi gelmektedir. Yüksek aydınlatma enerjisi aynı zamanda gezegenin daha fazla barınak yıldızın çekim alanından etkilenmesi demektir. Bu durumda çeşitli mekanizmalarla gezegenin iç yapısı ısıtılıyor olabilir.

Gelecek çalışmalarda daha fazla gezegenin içyapı modellerini yaparak onların merak uyandıran gizemini çözmeyi hedefliyoruz.

Teşekkür

Bu araştırma TÜBİTAK'ın 122F107 nolu projesi (GAYE) tarafından desteklenmektedir.

Kaynaklar

- Bolton S. J., Adriani A., Adumitroaie V., Allison M., Anderson J., Atreya S., Bloxham J., ve diğ., 2017, Sci, 356, 821. doi:10.1126/science.aal2108
- Böhm-Vitense E., 1958, ZA, 46, 108
- Burrows A., Guillot T., Hubbard W. B., Marley M. S., Saumon D., Lunine J. I., Sudarsky D., 2000, ApJL, 534, L97. doi:10.1086/312638
- Chabrier G., Debras F., 2021, ApJ, 917, 4. doi:10.3847/1538-4357/abfc48

- Durante D., Guillot T., Iess L., Stevenson D. J., Mankovich C. R., Markham S., Galanti E., ve diğ., 2022, NatCo, 13, 4632. doi:10.1038/s41467-022-32299-9
- Ferguson J. W., Alexander D. R., Allard F., Barman T., Bodnarik J. G., Hauschildt P. H., Heffner-Wong A., ve diğ., 2005, ApJ, 623, 585. doi:10.1086/428642
- Fortney J. J., Marley M. S., Barnes J. W., 2007, ApJ, 659, 1661. doi:10.1086/512120
- Gaulme P., Schmider F.-X., Gay J., Guillot T., Jacob C., 2011, A&A, 531, A104. doi:10.1051/0004-6361/201116903
- Guillot T., Burrows A., Hubbard W. B., Lunine J. I., Saumon D., 1996, ApJL, 459, L35. doi:10.1086/309935
- Guillot T., Santos N. C., Pont F., Iro N., Melo C., Ribas I., 2006, A&A, 453, L21. doi:10.1051/0004-6361:20065476
- Henning T., Semenov D., 2013, ChRv, 113, 9016. doi:10.1021/cr400128p
- Iglesias C. A., Rogers F. J., 1993, ApJ, 412, 752. doi:10.1086/172958
- Iglesias C. A., Rogers F. J., 1996, ApJ, 464, 943. doi:10.1086/177381
- Nettelmann N., Becker A., Holst B., Redmer R., 2012, ApJ, 750, 52. doi:10.1088/0004-637X/750/1/52
- Paxton B., Bildsten L., Dotter A., Herwig F., Lesaffre P., Timmes F., 2011, ApJS, 192, 3. doi:10.1088/0067-0049/192/1/3
- Paxton B., Cantiello M., Arras P., Bildsten L., Brown E. F., Dotter A., Mankovich C., ve diğ., 2013, ApJS, 208, 4. doi:10.1088/0067-0049/208/1/4
- Paxton B., Smolec R., Schwab J., Gautschi A., Bildsten L., Cantiello M., Dotter A., ve diğ., 2019, ApJS, 243, 10. doi:10.3847/1538-4365/ab2241
- Rieutord M., Espinosa Lara F., 2013, LNP, 865, 49. doi:10.1007/978-3-642-33380-4_3
- Roxburgh I. W., 2004, A&A, 428, 171. doi:10.1051/0004-6361:20041202
- Saumon D., Chabrier G., van Horn H. M., 1995, ApJS, 99, 713. doi:10.1086/192204
- Seidelmann P. K., Archinal B. A., A'hearn M. F., Conrad A., Consolmagno G. J., Hestroffer D., Hilton J. L., ve diğ., 2007, CeMDA, 98, 155. doi:10.1007/s10569-007-9072-y
- Southworth J., 2011, MNRAS, 417, 2166. doi:10.1111/j.1365-2966.2011.19399.x
- Storch N. I., Lai D., 2014, MNRAS, 438, 1526. doi:10.1093/mnras/stt2292
- Weiss L. M., Marcy G. W., Rowe J. F., Howard A. W., Isaacson H., Fortney J. J., Miller N., ve diğ., 2013, ApJ, 768, 14. doi:10.1088/0004-637X/768/1/14
- Yıldız M., Çelik Orhan Z., Kayhan C., Turkoglu G. E., 2014, MNRAS, 445, 4395. doi:10.1093/mnras/stu2053
- Yıldız M., Çelik Orhan Z., Örtel S., Çakır T., 2024, MNRAS, 528, 6881. doi:10.1093/mnras/stae476

Access:

M25-0323: Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 3.