

# Ötegezegenlerin Bazı Temel Parametre Dağılımları Üzerine Bir İnceleme

Celal Gökhan Tunçer<sup>1</sup>  , Zeynep Bozkurt<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova İzmir

Accepted: April 22, 2025. Revised: April 22, 2025. Received: November 29, 2024.

## Özet

Ötegezegenler, Güneş dışındaki yıldızların yörüngesinde dolanan gezegenlerdir ve günümüzde Astrofizik alanında en çok ilgi gören çalışma alanlarından birisidir. 1992 yılında Güneş sistemi dışındaki ilk ötegezegenin keşfinden bu yana her geçen gün keşfedilen ötegezegen sayısı artmış ve günümüzde 7000'in üzerinde doğrulanmış ötegezegen sayısına ulaşılmıştır. Yüksek lisans tez çalışmasında elde edilen sonuçların sunulduğu bu çalışmada ötegezegenlere ilişkin katalog verilerinden yararlanılarak kütle, yarıçap, yarı büyük eksen uzunluğu, dönem gibi temel bazı parametreler arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Bu tür incelemeler ötegezegenli sistemlerin oluşumu, evrimi, gezegen türü ve yapısı gibi özellikler hakkında önemli sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Kütle-yarı büyük eksen uzunluğu diyagramı incelenerek ötegezegen popülasyonları ve evrim yolları anlaşılmasına çalışılmıştır. Ötegezegenlerin kütle-yarıçap dağılımları incelenerek farklı kütle aralıklarında bu iki nicelik arasındaki ilişkiyi veren fonksiyonlar elde edilmeye çalışılmıştır. Kütle-dönem diyagramı üzerinden literatürde dikkat çekilen Neptün çölü irdelenerek bu bölgenin sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak da ev sahibi yıldızların metal bolluğu ile ötegezegen türleri arasındaki ilişki araştırılmıştır.

## Abstract

Exoplanets are planets that orbit stars other than the Sun and are one of the most interesting areas of study in the field of Astrophysics today. Since the discovery of the first exoplanet outside the solar system in 1992, the number of discovered exoplanets has steadily increased, reaching over 7000 confirmed exoplanets today. In this study, where the results obtained in the master's thesis are presented, the relationships between some basic parameters such as mass, radius, semi-major axis length and period are examined by using the data of the exoplanets given in the catalog. Such studies provide important conclusions about the formation, evolution, planet type and structure of exoplanetary systems. By analyzing the mass-semi-major axis diagram, exoplanet populations and evolutionary paths were tried to be understood. The functions that give the relationship between these two quantities in different mass ranges have been tried to be obtained by examining the mass-radius distributions of exoplanets, The Neptune desert, which has been highlighted in the literature, was examined through the mass-period diagram and the boundaries of this region were tried to be determined. Finally, the relationship between the metallicity of the host stars and the exoplanet types was investigated.

**Anahtar Kelimeler:** exoplanets – catalog – basic parameters relations

## 1 Giriş

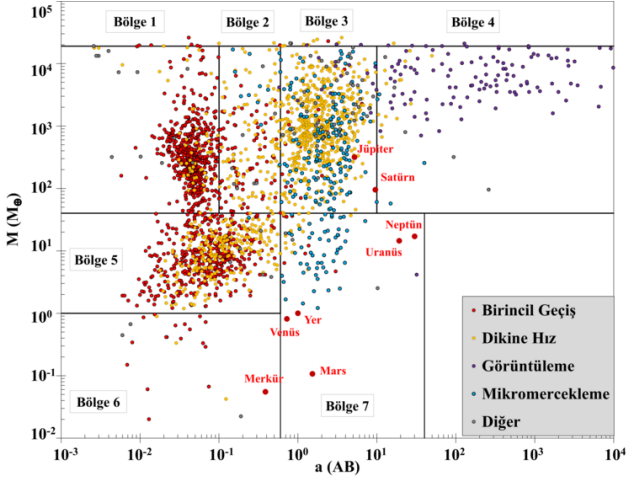
Ötegezegenler, Güneş dışındaki yıldızların yörüngesinde dolanan gezegenlerdir ve günümüzde astrofizik alanında en çok ilgi gören çalışma alanlarından birisidir. Ötegezegenlere ilişkin çalışma alanı henüz yeni sayılabilecek bir alan olup 1990'lı yılların başında Güneş sistemi dışındaki ilk ötegezegenin keşfi ile ortaya çıkmıştır. 1992 yılında yapılan bu keşifte PSR B1257+12 isimli atarcanın etrafında birkaç ötegezegenin tespiti yapılmıştır (Wolszczan & Frail 1992). 1995 yılında ise 51 Pegasi b isimli bir dev ötegezegenin gözlemiyle ilk defa bir anakol yıldızı etrafında dolanan ötegezegen keşfi yapılmıştır (Mayor & Queloz 1995). Ötegezegen çalışmalarında bir dönüm noktası da 2001 yılında Hubble Uzay Teleskobu ile ilk kez bir ötegezegenin (HD 209458 b) atmosferinin gözlenerek incelenmesi olmuştur. Kepler Uzay Teleskobu 2009 yılında gezegen sistemlerinin yapısını ve çeşitliliğini araştırmak amacıyla fırlatılmıştır. Kepler

verilerinin gelmesine kadar ötegezegenlere ilişkin gözlemler genel olarak yer konulu teleskoplar kullanılarak yürütülmüştür.

İlk ötegezegenin keşfinden bu yana ötegezegenler üzerine yapılan çalışmalar hızlanarak devam etmiş ve günümüzde keşfi doğrulanmış ötegezegen sayısı 7000'i geçmiştir. Bu sayı ötegezegenlerle ilgili istatistiksel bazı incelemeler yapılması için yeterlidir. Ötegezegenlerin kütle, yarı-büyük eksen uzunluğu, yarıçap, sıcaklık, dönem gibi parametrelerinin dağılımları ile ilgili çalışmalar (örn. Hasegawa & Pudritz 2012; Hasegawa & Pudritz 2013; Mazeh ve diğ. 2016; Zeng ve diğ. 2019) onların oluşumu, türü, içeriği, evrimi gibi konularda önemli bilgiler sunmaktadır. Her geçen gün devam eden ve gerçekleşen yeni keşifler, bu tür parametre dağılımlarına ilişkin çalışmaların yeni veri ile güncellenmesi ve yeni bilgilerin ortaya çıkmasına katkı sunmaktadır.

Tunçer (2024)'ün yüksek lisans tez çalışması kapsamında "The Extrasolar Planets Encyclopedia" ([exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)) sayfasındaki katalog verilerinden yararlanılarak ötegezegenlerin kütle, yarıçap, sıcaklık gibi bazı temel parametreleri ile yörünge parametrelerinin (dönem, yarı-büyük eksen uzunluğu gibi) dağılımları incelenmiştir. Ayrıca, ev sahibi yıldızlara ilişkin

\* gokhan\_alphan@hotmail.com



**Şekil 1.** Güncel veri ile oluşturulan kütle-yarı büyük eksen uzunluğu diyagramı. Tespit yöntemine göre sınıflandırılmış bu güncel diyagramda kullanılan renkler: “Görüntüleme” (mor), “Mikromerçekleme” (mavi), “Birincil Geçiş” (kırmızı), “Dikine Hız” (sarı), “Diğer Yöntemler” (gri). Güneş Sistemi cisimleri de isimleri ile birlikte kırmızı renkte belirtilmiştir.

bazı parametrelerin (sıcaklık, tayf türü, metal bolluğu gibi) de dağılımları incelenmiştir. Bu yüksek lisans çalışmamızın bir parçası olan ve burada sunduğumuz çalışmada ise ötegezegenlerin bazı temel parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. İncelemelerimiz için kullandığımız veri ilgili katalogta ([exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)) sunulduğu haliyle kullanılmış ve parametrelerin (kütle, yarıçap, dönem vb.) belirlenme yönteminden bağımsız bir çalışma yapılmaya çalışılmıştır. Farklı yöntemlerle belirlenen parametreler farklı belirsizlikler içerebilmektedir. Bu nedenle kullanılacak veri seçilirken belli bazı kriterler konularak da inceleme yapılabilir. Ancak biz çalışmamızda daha fazla veri ile çalışabilmek için analiz öncesi belli kriterler koyarak veri ayıklamak yerine, analiz sırasında genel eğilimden sapan noktaları eleme yöntemini tercih ettik.

§2’de ötegezegenlerin oluşum ve evrim süreçlerini araştırmak için önemli bir araç olan kütle- yarı büyük eksen uzunluğu diyagramı incelemesi, §3’de ötegezegenlerin kütle-yarıçap ilişkisi üzerine yapılan inceleme, §4’de, literatürde Neptün Çölü olarak adlandırılan bölgenin sınırları üzerine yapılan inceleme ve §5’de ev sahibi yıldızların metal bolluğu üzerine yapılan incelemeler verilmektedir. §6’de ise yapılan tüm bu incelemelerin sonuçları özetlenmektedir.

## 2 “Kütle-Yarı Büyük Eksen Uzunluğu” Diyagramı

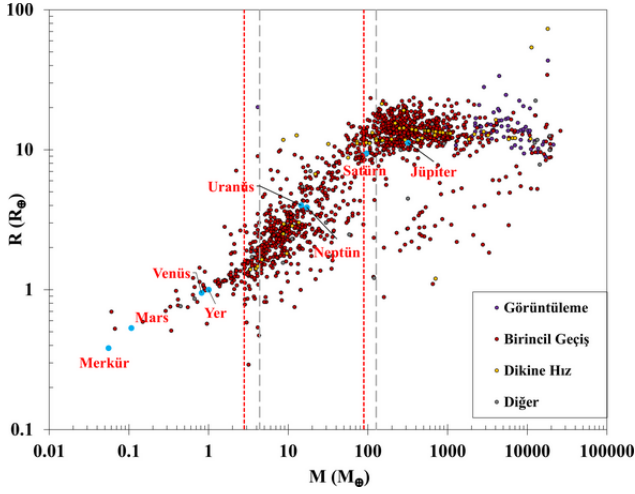
Ötegezegen ve gezegen sistemlerinin kökenini araştırmak için elimizdeki en önemli araçlardan birisi kütle-yarı büyük eksen uzunluğu diyagramıdır. Son 30 yılda çeşitli tarama gözlemleriyle çok sayıda ötegezegenin keşfedilmesi, bu diyagramda farklı gezegen popülasyonlarının varlığını ortaya çıkarmıştır (bkz. [Chiang & Laughlin 2013](#); [Hasegawa & Pudritz 2013](#)). [Hasegawa & Pudritz \(2013\)](#)’ın yapmış olduğu çalışmada verilen kütle-yarı büyük eksen uzunluğu diyagramında (söz konusu çalışmada Şekil 1) çalışmanın yapıldığı dönemde mevcut olan ötegezegenler dikkörtgen biçimindeki beş ayrı bölgede incelenmiştir. Ev sahibi yıldızların etrafında Merkür benzeri yörüngelerde dolanan Jüpiter benzeri kütlelere sahip sıcak

Jüpiter popülasyonu Zone 1 olarak adlandırılan bölge içinde gösterilirken, 0.1 AB ile yaklaşık 1 AB arasındaki Zone 2 bölgesinde sayıca azalmış gaz devleri bulunmaktadır. 1-10 AB’lık yarı büyük eksen uzunluğuna sahip bir yörüngede dolanan büyük kütleli Jüpiter türü gezegenler Zone 3,  $r > 10$  AB gibi büyük yörünge yarıçaplarındaki genç Jüpiter türü gezegenler Zone 4 ve yaklaşık 1-10  $M_{\oplus}$  kütleli Süper Yer’ler ile ev sahibi yıldızlarına çok yakın olan sıcak Neptünler Zone 5 olarak adlandırılan bölgelerde bulunmaktadır. Bu diyagramdaki gezegenlerin konumunun büyük ölçüde gezegenlerin gezegen öncesi disklerdeki oluşum ve göç süreçleriyle ilgili olduğu ifade edilmektedir ([Hasegawa & Pudritz 2013](#)).

Çalışmamız kapsamında [Hasegawa & Pudritz \(2013\)](#) tarafından yapılan bu incelemeyi güncel veri ile yapmak için [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)’da sunulan katalog verisini kullanarak kütle-yarı büyük eksen uzunluğu diyagramı yeniden oluşturulmuştur. Diyagram oluşturulurken kütle ve yarı büyük eksen uzunluğu verisi mevcut olan toplam 2518 ötegezegen kullanılmıştır. Şekil 1’de görülen bu diyagramdaki Bölge 1-5, [Hasegawa & Pudritz \(2013\)](#)’deki Zone 1-5’e karşılık gelmektedir ve sınırlar aşağı yukarı aynıdır. Ancak, dikey eksen üst sınırı [Hasegawa & Pudritz \(2013\)](#)’de  $10^4 M_{\oplus}$  iken bizim oluşturduğumuz diyagramda [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)’de sunulan katalog için göz önüne alınan maksimum gezegen kütlesi kriteri ( $60 M_{\text{Jüp}} \sim 19000 M_{\oplus}$ ; katalog kütle üst sınırı açıklaması için bkz. [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)) üst sınır olarak kullanılmıştır. [Hasegawa & Pudritz \(2013\)](#)’de verilen diyagram ile Şekil 1 karşılaştırıldığında ötegezegen sayısı bakımından önemli bir fark olduğu görülmektedir. Güncel veri ile oluşturulan bu diyagramda [Hasegawa & Pudritz \(2013\)](#) tarafından Zone 1-5 şeklinde tanımlanan bölgelerin dışında kalan ötegezegenlerin de olduğu dikkat çekmektedir. Aradaki farkı ortaya koyabilmek için biz de bu bölgelerin dışında kalan ötegezegenleri içine alacak şekilde yeni iki bölge tanımladık. Bu bölgeler şekilde Bölge 6 ve Bölge 7 olarak isimlendirilmişlerdir. Bölge 6, ev sahibi yıldızından uzaklığı yaklaşık 0.60 AB’ye kadar ulaşan ve kütlesi  $1 M_{\oplus}$ ’den daha küçük olan ötegezegenleri içermektedir. Bu bölgedeki ötegezegenler yıldıza Merkür’den bile daha yakın mesafelerde bulunan, çoğunluğu Yer kütlesine yakın küçük kayaç gezegenlerdir ve tüm ötegezegenlerin yaklaşık %0.87’sini oluşturmaktadır. Bölge 7 ise ev sahibi yıldızlarına uzaklıkları 0.60 AB ve 40 AB aralığında olan kütlesi  $40 M_{\oplus}$ ’den daha küçük ötegezegenleri içine almaktadır. Bu bölgede genel olarak yıldıza uzak Neptün ve Uranüs benzeri buz devleri ile Süper Yer türünden gezegenlerin çoğunlukta olduğu dikkat çekmektedir. Güneş Sistemi gezegenlerinin konumlarına bakıldığında Bölge 7’nin alt kısımlarında Venüs, Yer ve Mars’ın yer aldığı görülmektedir. Kayaç yapılı küçük gezegenlerin bu bölgeyi işgal ettiği söylenebilir. Bölge 7, tüm ötegezegenlerin yaklaşık %3.21’lik kısmını oluşturmaktadır.

## 3 Kütle-Yarıçap İlişkisi

Kütle-yarıçap ilişkisi gezegen karakterizasyonu (türü, yapısı gibi) için kullanılan araçlardan birisidir ([Müller ve diğ. 2024](#)). Ancak bu iki parametrenin aynı yöntemle belirlenmesi her zaman mümkün olmamaktadır ve ne yazık ki çoğu durumda ikisinden yalnızca biri mevcut olabilmektedir. Ötegezegenlere istatistiksel anlamda daha genel bir bakış sağlamak için kütle-yarıçap (M-R) ilişkisini ve bu ilişkinin farklı gezegen türleri için nasıl değiştiğini belirlemek önemlidir. Ölçülen bir yarıçapı bir gezegenin kütlesiyle ilişkilendirmek, geçiş yapan bir ötegezegenin beklenen dikine hız yarı genişliğinin tahmin



**Şekil 2.** Güncel veri ile oluşturulan kütle-yarıçap diyagramı. Dikey eksen Yer yarıçapı biriminde yarıçap, yatay eksen ise Yer kütlesi biriminde kütleyi göstermektedir. Diyagramdaki ötegezegenler keşif yöntemine göre gruplandırılmıştır: "Birincil Geçiş" (kırmızı), "Dikine Hız" (sarı), "Görüntüleme" (mor), "Diğer Yöntemler" (gri). Gri kesikli çizgiler Müller ve diğ. (2024)'ın önerdiği geçiş noktalarını, kırmızı kesikli çizgiler değerlendirmeler sonucu belirlediğimiz geçiş noktalarını göstermektedir. Güneş Sistemi gezegenleri mavi renkli sembollerle gösterilmiştir.

edilmesine ve dikine hız takiplerine de yardımcı olabilmektedir (Müller ve diğ. 2024).

M-R ilişkisi gezegenlerin kimyasal bileşimine ve dolayısıyla gezegensel koşullarda farklı türden maddelerin davranışına bağlıdır (bkz. Seager ve diğ. 2007; Chabrier ve diğ. 2009; Grasset ve diğ. 2009; Mordasini ve diğ. 2012; Spiegel ve diğ. 2014; Jontof-Hutter 2019). Kuramsal M-R ilişkileri, verilen bir kimyasal karışım için yoğunluk, basınç ve sıcaklığın ilişkilendirildiği hal denklemlerine dayanan iç yapı modellerinden çıkarılabilir. Kolaylık olması için genellikle küçük yer benzeri gezegenlerin sabit bir yoğunluğa sahip olduğu varsayılır ve bu nedenle yarıçap ve kütle arasındaki ilişki  $R \propto M^{1/3}$  yasasına uyar (Spiegel ve diğ. 2014).

Günümüzde istatistiksel olarak bir gözlemsel M-R ilişkisi elde edebilmek için hem kütle hem de yarıçap ölçümü yapılmış yeterli sayıda gezegen vardır. Gözlemsel M-R ilişkisini araştıran bir çok çalışma vardır (örn. Weiss ve diğ. 2013; Hatzes & Rauer 2015; Chen & Kipping 2017; Bashi ve diğ. 2017; Otegi ve diğ. 2020; Edmondson ve diğ. 2023; Mousavi-Sadr ve diğ. 2023; Müller ve diğ. 2024) ve bu çalışmalarda gözlem verisi genellikle kesikli kuvvet yasası ile temsil edilmiştir. Gözlemsel M-R ilişkisinde kırılma noktaları özellikle önemlidir çünkü bu noktalar farklı türden gezegenler arasındaki geçişi göstermektedir.

Gözlemsel olarak M-R ilişkisini elde etmeye yönelik literatürdeki son çalışma olan Müller ve diğ. (2024)'de sadece güvenilir kütle ve yarıçap değerlerini içeren PlanetS katalog verisi kullanılarak M-R ilişkisi ve geçiş noktaları yeniden analiz edilmiştir. Müller ve diğ. (2024) birden fazla kırılma noktasına sahip dağılımlar için kullanılan bir doğrusal fit modelini kullanarak  $\sim 4.4 M_{\oplus}$ 'e kadar olan küçük gezegenler için  $R \propto M^{0.27}$ ,  $\sim 4.4-127 M_{\oplus}$  arasındaki kütlelere sahip olan ve orta-kütleli gezegenler olarak nitelendirilen gezegenler için  $R \propto M^{0.67}$  ve son olarak  $127 M_{\oplus}$ 'den daha büyük kütleli gaz devi gezegenler için  $R \propto M^{0.06}$  ilişkilerini elde etmişlerdir.

Çalışmamız kapsamında biz de [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)'da sunulan

katalog verisini kullanarak M-R ilişkisini ve farklı türden gezegenler arasındaki geçiş noktalarını yeniden belirlemeye çalıştık. Şekil 2'de söz konusu katalog verisi ile oluşturulan M-R diyagramı görülmektedir. Daha önceki incelemelerimizde olduğu gibi kütle-yarıçap diyagramında da tespit yöntemlerine göre gezegenler gruplandırılmıştır ve güneş sistemi gezegenleri de diyagrama yerleştirilmiştir. Şekilde Müller ve diğ. (2024) tarafından elde edilen geçiş noktaları ( $4.37 M_{\oplus}$  ve  $127 M_{\oplus}$ ) dikey kesikli gri renkli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 2'deki diyagram incelendiğinde gerçekten de ötegezegenlerin M-R ilişkisinin küçük gezegenlerden büyüklere doğru değiştiği ve Müller ve diğ. 2024'deki gibi diyagramın üç ayrı bölgeye ayrılarak analiz yapılmasının doğru bir yaklaşım olduğu görülmektedir. Ancak, Müller ve diğ. (2024)'in küçük gezegenler ve dev gaz gezegenler için verdiği geçiş noktalarının ( $4.37 M_{\oplus}$  ve  $127 M_{\oplus}$ ) daha önde olması gerektiği değerlendirilmiştir. Yaptığımız incelemeler sonucunda önceki dağılımın kırılarak değiştiği bu geçiş noktaları  $2.8 M_{\oplus}$  ve  $89 M_{\oplus}$  olarak elde edilmiş ve Şekil 2'de bu noktalar kırmızı dikey kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Kütle-yarıçap ilişkilerini belirlemek için yapılan analizimizde bu noktalar dikkate alınarak dağılımı en iyi temsil eden fonksiyon belirlenmeye çalışılmıştır.

Diyagramda dikkat çeken bir başka durum ise orta kütleli gezegenler ve dev gaz gezegenler kolunun altında kalan ve daha saçılmalı görünen bir başka kolun varlığıdır. Bu kol özellikle dev gaz gezegenler bölgesinde üst koldan ayrılmakta ve daha belirgin görünmektedir. Orta kütleli gezegenler bölgesinde daha çok saçılma gibi durmakta ancak dev gaz gezegen bölgesi ile birlikte bakıldığında üst koldan ayrılma eğilimi daha iyi görülmektedir. Ayrıca gaz devi bölgesinin uç kısmındaki çok büyük yarıçaplı gezegenlerin ayrışması da dikkat çekicidir. Analizimizde bu saçılmalı gruplar gözardı edilerek sadece verinin düzgün bir şekilde dağıldığı bölgeler kullanılmıştır.

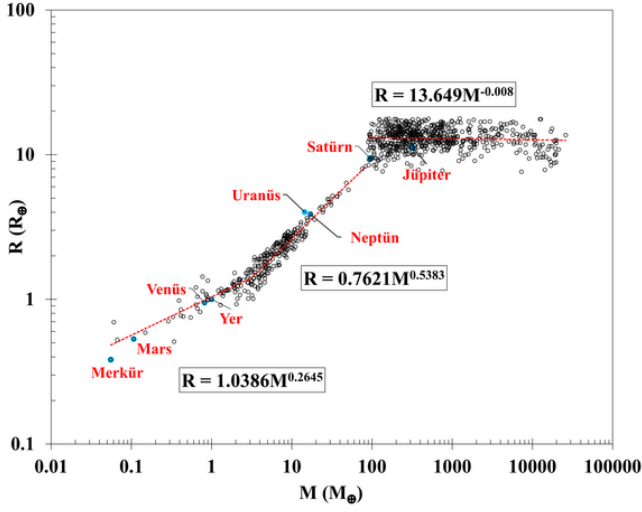
Ötegezegenler için M-R ilişkisini elde etmek için Şekil 2'deki dağılım üç bölgeye ayrılmıştır:  $2.8 M_{\oplus}$ 'den küçük,  $2.8 M_{\oplus}-89 M_{\oplus}$  arasında ve  $89 M_{\oplus}$ 'den büyük gezegenler için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. Yukarıda ifade edildiği gibi dağılımın genel gidişinden sapan, saçılmanın çok büyük olduğu noktalar ayıklanmıştır. Ayıklama adım adım düzeltme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Her bir aralık için bir başlangıç temsili elde etmek için M-R grafiğinde ilgili bölgedeki noktaları en iyi temsil eden fonksiyon elde edilmeye çalışılmıştır. Çeşitli denemeler sonucunda en iyi temsil için üstel fonksiyon ile modelleme yapılmasının gerektiği değerlendirilmiştir. Elde edilen ilk fonksiyon kullanılarak her bir kütle değeri için teorik yarıçaplar hesaplanmıştır. Sonraki adımda teorik yarıçap ile gözlemsel yarıçap farkları ile bu farkların standart sapması ( $\sigma$ ) hesaplanmıştır.  $2\sigma$ 'dan daha büyük saçılmaya sahip olan noktalar atılarak yeni bir dağılım elde edilmiştir. Bu şekilde iterasyon devam ettirilerek en iyi temsil elde edilmeye çalışılmıştır. Genel olarak elde edilen sonuç tatmin edici olduğu için üçüncü ya da dördüncü adımda iterasyon sonlandırılmıştır. Yapılan analiz sonucunda,

$$R = (1.04 \pm 0.02) M^{(0.27 \pm 0.02)} \quad M < 2.8 \quad (1)$$

$$R = (0.76 \pm 0.02) M^{(0.54 \pm 0.01)} \quad 2.8 < M < 89 \quad (2)$$

$$R = (13.65 \pm 0.44) M^{-0.008 \pm 0.005} \quad M > 89 \quad (3)$$

ilişkileri elde edilmiştir. Analizler Microsoft Excel programı kullanılarak basit nokta temsili ile yapılmıştır. Bu şekilde en basit yaklaşımla gezegenler için kütle-yarıçap ilişkileri elde edilmeye çalışılmıştır. İlişkilerde katsayılarla ilişkin hatalar da



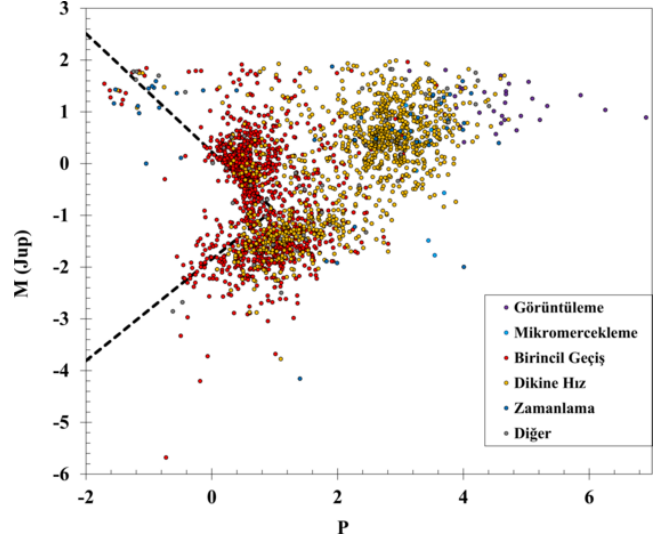
**Şekil 3.** Analiz sonucu elde edilen kütle-yarıçap ilişkileri ve gözlemsel veri ile uyumları. Her bölge için iterasyon sonucu elde edilen M-R ilişkisi dikdörtgen kutucuklar içinde verilmiştir.

verilmektedir. Bu hataların hesabı için nokta temsili ile elde edilen kuvvet fonksiyonları doğrusallaştırılmış ve Microsoft Excel programı ile doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Yöntemin basitliğine rağmen elde edilen sonuçlar [Müller ve diğ. \(2024\)](#)'in sonuçları ile genel olarak tutarlıdır. İlişkilerdeki küçük farklılıklar, kullanılan verinin farklı olması, dağılımın kırılma noktalarının farklı belirlenmesi ve analizin farklı bir yöntemle yapılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Artacak veri sayısı ile yapılacak yeni analizler daha tutarlı ve hassas M-R ilişkilerinin elde edilmesini sağlayacaktır. Analizlerimiz sonucu elde edilen ilişkiler ve gözlemsel verinin uyumu Şekil 3'de verilmiştir. Şekilde ayrıca her üç bölge için elde edilen M-R ilişkileri de verilmiştir.

#### 4 Kütle-Dönem İlişkisi ve Neptün Çölü İncelemesi

Kısa dönemli, Neptün boyutundaki gezegenlerin kütle ve dönemleri arasındaki ilişkiye ilişkin ilk çalışmalardan birisi, henüz bu bölgede bilinen az sayıda ötegezegen varken [Mazeh ve diğ. \(2005\)](#) tarafından yapılmıştır. Daha fazla ötegezegen keşfedildikçe, dönemi 2-4 günden kısa olan yörüngelerde dolanan Neptün kütleli gezegenlerin dikkate değer bir eksiklik gösterdiğini öne süren başka çalışmalar da yapılmıştır (örn. [Szabó & Kiss 2011](#); [Benítez-Llambay ve diğ. 2011](#); [Beaugé & Nesvorný 2013](#); [Helled ve diğ. 2016](#)). [Mazeh ve diğ. \(2016\)](#) daha uzun yörünge dönemlerine sahip birçok Neptün kütleli ve Neptün yarıçaplı ötegezegenin gözlenmesi nedeniyle bu durumun gözlemsel önyargılarla açıklanamayacağını, ayrıca yörünge dönemi kısalдықça hem dikine hız hem de geçiş gözlemleri yolu ile ötegezegen tespitinin kolaylaşacağını vurgulamışlardır. [Szabó & Kiss \(2011\)](#) dönem-kütle ve dönem-yarıçap düzlemlerindeki bu bölgeyi kısa dönemli "Neptün çölü" olarak adlandırmışlardır.

Bu çölün varlığı, gezegenler ve kısa yörünge dönemlerine sahip yıldız yoldaşları için farklı oluşum mekanizmalarını öne süren ([Armitage & Bonnell 2002](#)) ve kahverengi cüce çölü olarak adlandırılan bölgenin varlığına benzetilmektedir ([Grether & Lineweaver 2006](#)). Benzer şekilde, Neptün çölünün çöle karşılık gelen değerlerden daha büyük kütlelere ve daha



**Şekil 4.** Kütle ve dönemi bilinen ötegezegenler için güncel veri ile oluşturulan kütle-dönem grafiği. Yatay eksen logaritmik olarak gün biriminde dönemi, dikey eksen Jüpiter kütlesi biriminde kütle göstermektedir. [Mazeh ve diğ. \(2016\)](#)'ın yaptığı çalışmada belirledikleri alt ve üst sınırlar ise siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

büyük yarıçaplara sahip sıcak Jüpiterler ve çölünkünden daha düşük kütlelere sahip kısa dönemli süper Yer'ler için farklı oluşum mekanizmalarını gösteriyor olabileceği ileri sürülmüştür ([Mazeh ve diğ. 2016](#)). [Mazeh ve diğ. \(2016\)](#) Ağustos 2015'te ötegezegen kataloğunda mevcut olan ötegezegenlerin tespit edilen kütleleri ile yörünge dönemlerini incelemiştir (çalışmada Şekil 1). Şekilde Neptün çölü iki kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Bu iki çizginin her birinin eğimi ve konumu, çöl ve çevresi arasındaki en iyi kontrastı oluşturacak şekilde belirlenmiştir. İki çizgi  $\sim 10$  gün değerinde kesişiyor görünse de yazarlar  $\sim 5-10$  gün aralığında resmin net olmadığını ve çölün bu döneme kadar uzanıp uzanmadığının açık olmadığını değerlendirmişlerdir. Çalışmada, Neptün çölünün üst sınırını veren doğrunun matematiksel ifadesi ve alt sınırı aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$M = \log_{10}(M_p/M_{Jup}) \quad (4)$$

$$P = \log_{10}(P_{orb}/\text{gün}) \quad (5)$$

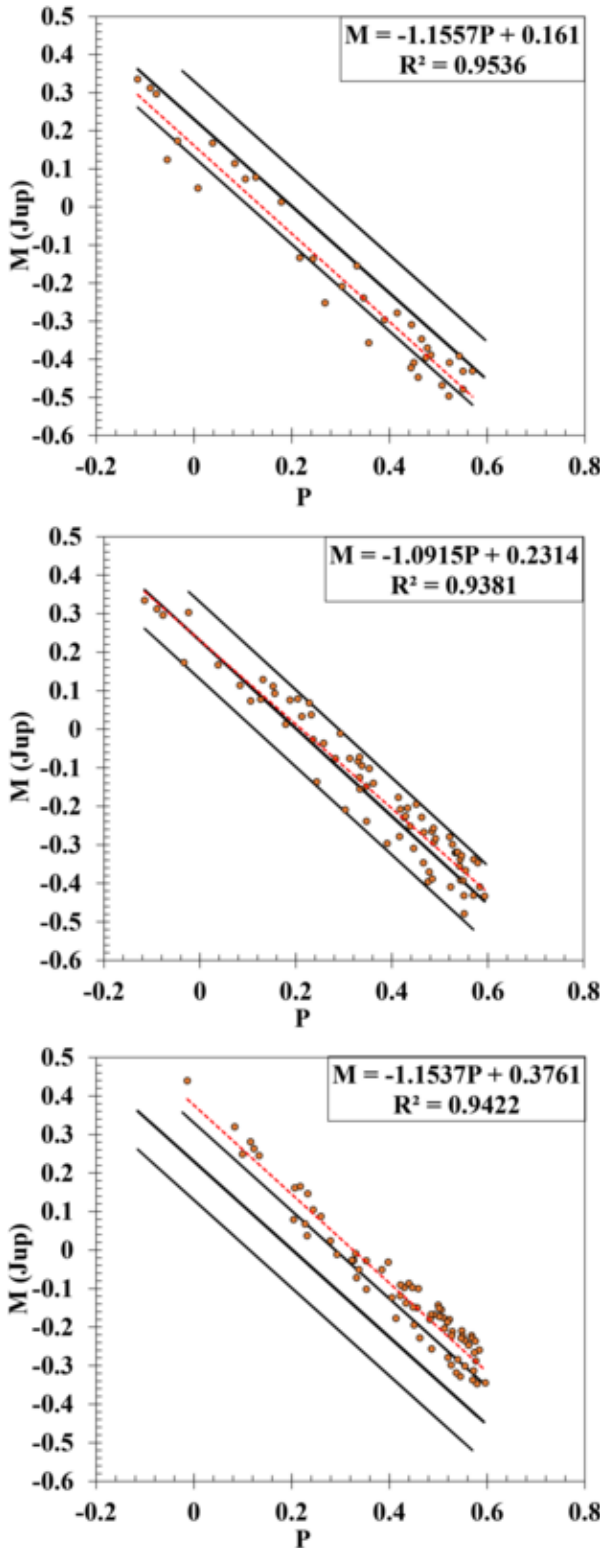
$$M = -(1.14 \pm 0.14)P + (0.23 \pm 0.045) \quad (6)$$

$$M = 0.98P - 1.85 \quad (\text{alt sınır}) \quad (7)$$

Çalışmamız kapsamında biz de [exoplanet.eu](#)'de kütle ve yörünge dönemi mevcut olan ötegezegen verisini kullanarak Neptün çölü incelemesi yapmak üzere kütle-dönem grafiğini oluşturduk. Şekil 4'de söz konusu grafik verilmektedir. [Mazeh ve diğ. \(2016\)](#) tarafından elde edilen çöl sınırları da grafik üzerine yerleştirilmiş ve bu sınırları veren fonksiyonlar yapacağımız analizde başlangıç fonksiyonları olarak kullanılmıştır.

##### 4.1 Neptün Çölü Üst Sınır İncelemesi

[Mazeh ve diğ. \(2016\)](#)'ın yaptığı çalışmadan yola çıkarak ve onların belirlemiş olduğu sınırları temel alarak güncel veri ile bu sınırları yeniden belirlemeye çalıştık. Onların üst sınır olarak verdiği  $M = -1.14P + 0.23$  fonksiyonu ile tanımlanan doğruya paralel olacak şekilde bu doğrunun 0.10 birim daha



**Şekil 5.**  $P = 0.60$  için yapılan analize ilişkin görüntüler. Sürekli siyah doğrular Mazeh ve diğ. (2016) tarafından elde edilen üst sınıra ilişkin doğru ile bu doğruya  $\pm 0.10$ 'lik uzaklıkta oluşturulan paralel doğruları göstermektedir. Doğru denklemlerindeki sabitler yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 0.13, 0.23 (Mazeh ve diğ. 2016) ve 0.33'tür. Her grafikte ilgili bölgede en iyi temsili gösteren doğru kesikli kırmızı çizgi ile gösterilmiştir ve bu temsile ilişkin denklem de dikdörtgen içinde verilmiştir.

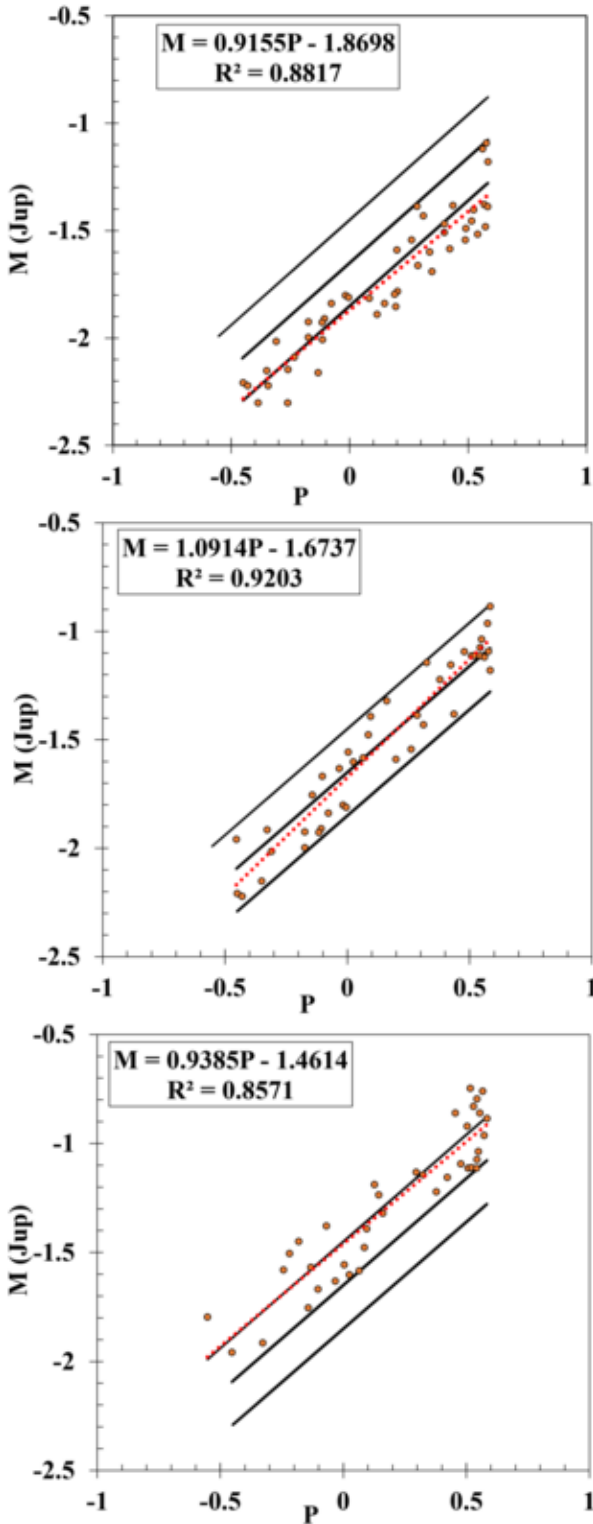
üstünden ve altından geçen iki paralel doğru oluşturduk. Bunun için fonksiyonun sabiti olan 0.23 değerine 0.10 ekleme ve çıkarma yaparak yeni eklenen paralel doğrular için fonksiyon sabitlerini 0.33 ve 0.13 olarak belirledik. Böylece elde edilen yeni doğrulara ilişkin matematiksel ifadeler  $M = -1.14P + 0.33$  ve  $M = -1.14P + 0.13$  olmuştur. Üst sınırı belirlemek için sınır civarındaki veriyi içine alacak şekilde dikdörtgen bir bölge oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunun için dikey eksen boyunca -0.5 ve +0.5 noktaları dikdörtgenin dik kenarını sınırlandırmak için kullanılmıştır. Yatay kenar için ise başlangıç noktası -0.1 alınmış son nokta için ise gezegen yoğunluğu nedeni ile farklı dört alternatif belirlenmiştir. Bu noktalar  $P = 0.5, 0.55, 0.60$  ve  $0.65$  olacak şekilde seçilmiş ve üst sınır çalışması için dört ayrı dikdörtgen bölge içinde çalışılmıştır. Bunun yapılmasının nedeni, belirlenen dikdörtgen içine girecek olan ötegezegen sayısının analizimizi etkileyecek olması ve noktaları en iyi temsil edecek fonksiyonu bulmaya çalışmamızdır. Oluşturulan bu dikdörtgenlerin dışında kalan veri analizden dışlanmıştır. Böylece eşit aralıklı üç paralel doğru etrafında dağılan noktalar ile üst sınır belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir doğrunun etrafında  $\pm 0.05$ 'lik (toplam 0.10) alanda kalan noktaları temsil eden en iyi doğru denklemi aranmıştır. Bunun için doğrulara ilişkin denklemler kullanılarak her bir  $P$  değeri için kuramsal kütle değerleri hesaplatılmış, gözlemsel kütleler ile hesaplatılan bu kütlelerin farkının %10'dan küçük olmasına dikkat edilmiş, büyük olan noktalar çıkarılarak kalan noktaları temsil eden en iyi doğru denklemi elde edilmeye çalışılmıştır. Bu işlemler  $P$ 'nin belirlenen dört farklı sınır değeri için tekrarlanmıştır. Dört farklı  $P$  için toplamda 12 tane doğru denklemi elde edilerek incelenmiştir. Farklar göz önünde bulundurularak, gözlem noktalarını en iyi temsil eden doğru yatay eksen sınırı  $P = 0.60$  olan dikdörtgen bölge için yapılan analizlerden elde edilmiştir. Neptün çölü üst sınırı olarak kabul ettiğimiz bu doğruya ilişkin denklem doğrusal regresyon analizi ile elde edilen katsayı hataları ile birlikte aşağıda verilmektedir:

$$M = (-1.16 \pm 0.04)P + (0.16 \pm 0.02) \quad (8)$$

Şekil 5'te üst sınır için yaptığımız analizlere örnek olarak  $M$ - $P$  grafiğinde dikey eksen üzerinde -0.5 ve +0.5 ile yatay eksen üzerinde -0.1 ve 0.6 noktaları ile sınırlanan dikdörtgen bölge için yapılan analizlere ilişkin grafikler verilmektedir. En iyi temsil bu dikdörtgen alan için yapılan analizlerde elde edilmiş ve temsile ilişkin matematiksel ifade şeklinde de gösterilmiştir.

#### 4.2 Neptün Çölü Alt Sınır İncelemesi

Yukarıda yapılan incelemenin bir benzeri Neptün çölü alt sınırı için de yapılmıştır. Mazeh ve diğ. (2016) tarafından verilen alt sınır fonksiyonu,  $M = 0.98P - 1.85$  yine başlangıç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.  $M$ - $P$  grafiğinin Neptün çölü alt sınırının belirleneceği bölgelerde veri sayısı üst sınırın belirlendiği bölgeye göre oldukça azdır. Ayrıca, veri seyrek ve saçılmalı bir şekilde dağılmıştır. Bu nedenle, Mazeh ve diğ. (2016) tarafından verilen fonksiyona paralel doğruları oluştururken doğruların aralıkları daha büyük seçilmiştir. Söz konusu bölgedeki veriyi kapsayacak şekilde yine üç paralel doğru oluşturulmuş ve doğrular arasındaki mesafe 0.20 olarak belirlenmiştir. Böylece, Mazeh ve diğ. (2016)'ın verdiği doğru denkleminde -1.85 olan doğru sabiti diğer iki paralel doğru için -1.65 ve -1.45 olmuştur. Üst sınıra yaptığımız gibi, sınır civarındaki veriyi içine alacak şekilde bir dikdörtgen bölge oluşturulmuştur. Bu dikdörtgenin dikey eksen üzerindeki parçası -0.5 ve -2.5 noktaları ile



Şekil 6. Neptün çölü alt sınırı incelemesinde  $P = 0.60$  için yapılan analizlere ilişkin çizilen şekiller. Sürekli siyah doğrular Mazeh ve diğ. (2016) tarafından elde edilen alt sınırı ilişkin doğru ile bu doğruya 0.20 ve 0.40 uzaklıkta oluşturulan paralel doğruları göstermektedir. Doğru denklemlerindeki sabitler yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla -1.85 (Mazeh ve diğ. 2016), -1.65 ve -1.45'tir. Her grafikte ilgili bölgede en iyi temsili gösteren doğru kesikli kırmızı çizgi ile gösterilmiştir ve bu temsile ilişkin denklemler de dikkörtgen içinde verilmiştir.

sınırlandırılırken yatay eksen üzerindeki parçası için başlangıç noktası -0.5 olarak belirlenmiştir. Yine üst sınır belirlenirken yaptığımız gibi, yatay eksen boyunca olan dikkörtgen kenarının diğer sınırı için birden fazla nokta belirlenmiştir. Ancak bu defa veri seyrekliği nedeniyle iki nokta ile (0.55 ve 0.60) inceleme yapmak yeterli olmuştur. Üst sınır incelemesinde olduğu gibi bu paralel doğruların etrafında belli bir alanda dağılan noktalar kullanılarak en iyi temsili sağlayan fonksiyon elde edilmeye çalışılmıştır. Daha önce ifade edildiği gibi inceleme yapılan bölgede veri sayısı azdır ve seyrek bir dağılım söz konusudur. Bu nedenle doğruların etrafındaki alan  $\pm 0.10$  (toplam 0.20) olarak belirlenmiştir. En iyi temsili sağlayan fonksiyonu bulmak için Mazeh ve diğ. (2016)'ın verdiği fonksiyon ve ona paralel oluşturulan diğer iki doğrunun denklemleri kullanılarak her bir dönem ( $P$ ) değeri için kuramsal kütleler hesaplatılmıştır ve bu kuramsal kütle değerlerinin gözlenen değerlerden farkı alınmıştır. Her bir doğru için farkı  $\pm 0.20$ 'den büyük olan noktalar çıkarılarak geride kalan noktaları en iyi temsil eden doğru denklemi elde edilmeye çalışılmıştır. İki farklı  $P$  (0.55 ve 0.60) için toplamda 6 tane doğru denklemi elde edilerek incelenmiştir ve sonuç olarak en iyi temsilin  $P=0.60$  için yapılan analizlerle elde edildiği değerlendirilmiştir. Neptün Çölü alt sınırı olarak kabul ettiğimiz bu doğruya ilişkin denklem yine katsayı hataları ile birlikte aşağıda verilmektedir:

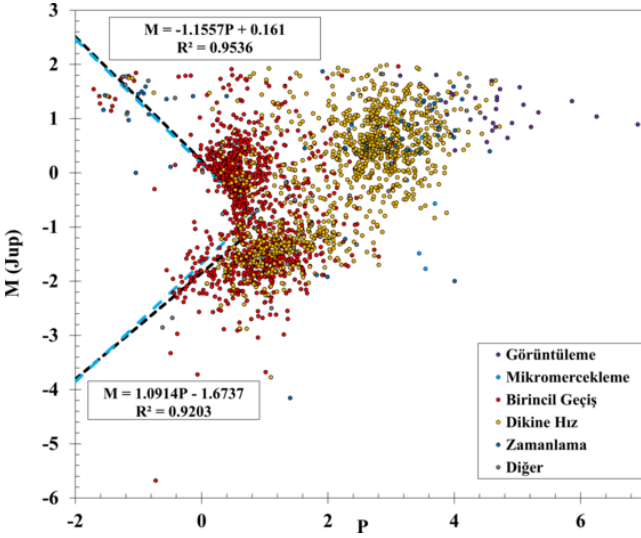
$$M = (1.09 \pm 0.05)P - (1.67 \pm 0.02) \quad (9)$$

Şekil 6'da alt sınır için yaptığımız analizlere örnek olarak,  $M$ - $P$  grafiğinde dikey eksen üzerinde -0.5 ve -2.5 ile yatay eksen üzerinde -0.5 ve 0.6 noktaları ile sınırlandırılan dikkörtgen bölge için yapılan analizlere ilişkin grafikler verilmektedir. En iyi temsil bu dikkörtgen alan için yapılan analizlerde elde edilmiş ve temsile ilişkin matematiksel ifade şekilde de gösterilmiştir.

Şekil 7'de ise analizlerimiz sonucunda elde ettiğimiz alt ve üst sınır fonksiyonlarının Şekil 4'e eklenmesi ile elde edilen grafik verilmektedir. Grafik üzerinde Mazeh ve diğ. (2016) tarafından verilen sınırlar da görülmektedir. Yaptığımız analizle Neptün çölü alt ve üst sınırları biraz daha içeriye taşınmış görülmektedir. Bu sınırlarla belirlenen üçgen içinde sayısı az olsa da bazı ötegezegenlerin olduğu görülmektedir. Keşif yöntem ve teknikleri geliştikçe ve gözlemler devam ettikçe önerilen bu sınırların da değişmesi kaçınılmazdır.

## 5 Ev Sahibi Yıldız İlişkin Metal Bolluğu Dağılımı

Ötegezegenler farklı türden ev sahibi yıldızlar etrafında gözlenmektedirler. Bir anakol yıldızı etrafında keşfedilen ilk ötegezegen olan 51 Pegasi b, metal bolluğu Güneş'ten daha fazla olan bir yıldızın etrafında dolanmaktadır (Mayor & Queloz 1995). Buna karşılık ilk keşfedilen olası kayaç yapılı gezegenlerden biri olan Gliese 581e, Güneş'in üçte birinden daha az kütleyle sahip metal fakiri bir M cücesi etrafında dolanmaktadır (Mayor ve diğ. 2009). Bu iki örnek bugüne kadar bilinen yedi binin üzerinde ötegezegen örneğinden sadece ikisini temsil etse de ötegezegen taramaları sonucunda ortaya çıkan ötegezegenler ile ev sahibi yıldızları arasındaki genel eğilimleri iyi bir şekilde göstermektedirler. Dev gaz gezegenler sıklıkla daha büyük kütleli ve metalece daha zengin yıldızlar etrafında görülmektedir (Santos ve diğ. 2004; Johnson ve diğ. 2010; Ghezzi ve diğ. 2021). Alt-Neptünler ise geniş bir metal içeriğine sahip yıldızlar etrafında görülse de (Sousa ve diğ. 2008; Buchhave ve diğ. 2012) düşük kütleli yıldızlar etrafında daha

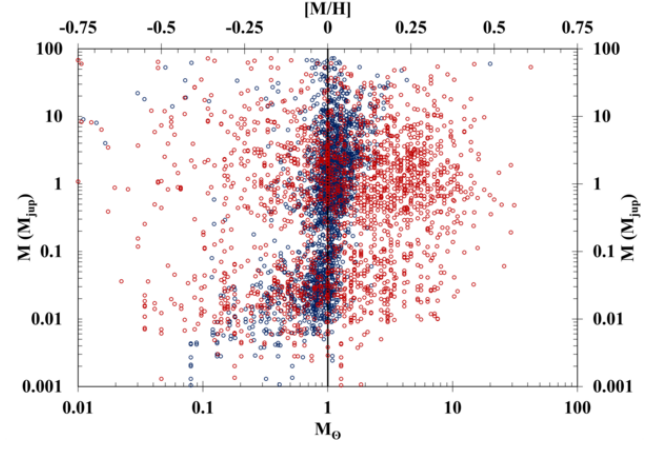


**Şekil 7.** Bu çalışma kapsamında yapılan Neptün çölü incelemesi ile elde edilen alt ve üst sınırların Şekil 4'e eklenmesi ile elde edilen grafik. Siyah kesikli çizgiler Mazeh ve diğ. (2016) tarafından elde edilen sınırları gösterirken, mavi kesikli çizgiler bu çalışma kapsamında elde edilen sınırları göstermektedir.

çok görülmektedirler (Howard ve diğ. 2012; Mulders ve diğ. 2015; Sabotta ve diğ. 2021; Zink ve diğ. 2023).

Dev gezegen-metalce zenginlik ilişkisi başlangıçta gezegenli sistemlerdeki ev sahibi yıldızın atmosferi tarafından kirlenme olarak yorumlanmış olsa da (Gonzalez 1997) günümüzde genel olarak kabul edilen görüşe göre yıldız metal bolluğu gezegenlerin olduğu gezegen öncesi disklerin katı parçacık içeriğinin bir göstergesidir. Yüksek metal içeriğine sahip yıldızlar etrafında dev gezegenlerin daha sık görülmesinin nedeni dev gezegen çekirdeklerinin daha fazla katı madde içeren disklerde oluşma olasılığının yüksek olmasıdır (Ida & Lin 2004; Emsenhuber ve diğ. 2021). Benzer şekilde, M cüceleri etrafında dev gezegenlerin daha az sıklıkta görülmesi bu yıldızların daha düşük kütleli disklerle sahip olmalarıyla açıklanabilir (Laughlin ve diğ. 2004; Burn ve diğ. 2021).

Çalışmamız kapsamında ev sahibi yıldızların metalliliği üzerine bir inceleme yapmak için [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)'deki ötegezegenlerden ev sahibi yıldızlarının metal bolluğu mevcut olanlar belirlenmiştir. Veri, ev sahibi yıldız kütleleri, metal bollukları ve ötegezegen kütleleri aynı diyagram üzerinde gösterilebilecek şekilde düzenlenmiştir. Amaç ötegezegen ve ev sahibi yıldız arasındaki ilişkiyi açık bir şekilde görebilmektir. Şekil 8'de bu üç parametre ile oluşturulan diyagram görülmektedir. Şekilde mavi renkli semboller Güneş kütlesi biriminde yıldız kütleleri ile Jüpiter kütlesi biriminde ötegezegen kütleleri arasındaki ilişkiyi, kırmızı renkli semboller ise Jüpiter kütlesi biriminde ötegezegen kütleleri ile ev sahibi yıldızların metal bolluğu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilde ilk dikkati çeken şey ev sahibi yıldızların (mavi renkli semboller) ağırlıklı olarak  $1M_{\odot}$  etrafında yoğunlaşmasıdır. Ev sahibi yıldız kütleleri ile ötegezegen kütleleri belirgin bir şekilde iki bölgeye ayrılmaktadır. İlk bölge kütlesi yaklaşık olarak  $0.1$  Jüpiter kütlesinden ( $\sim 32M_{\oplus}$ ) küçük olan ve  $0.1-1M_{\odot}$  arası kütlelerdeki ev sahibi yıldızlara sahip Yer, süper Yer ve Neptün türü ötegezegenleri içeren bölgedir. Bu bölgede  $1M_{\odot}$  kütlesinden daha büyük kütlelere sahip ev sahibi yıldız



**Şekil 8.** Ev sahibi yıldız ve ötegezegen kütleleri (mavi semboller) ve ev sahibi yıldız metal bolluğu ile ötegezegen kütleleri (kırmızı semboller) arasındaki ilişki aynı grafik üzerinde görülmektedir. Siyah dikey çizgi Güneş'in metal bolluğunu göstermektedir. Ötegezegen kütleleri Jüpiter kütlesi, yıldız kütleleri ise Güneş kütlesi birimindedir.

sayısı oldukça azdır. İkinci bölge ise  $0.1$  Jüpiter kütlesinden daha büyük ötegezegenlerin yer aldığı bölgedir. Bu bölgede ev sahibi yıldız kütleleri çoğunlukla  $1M_{\odot}$  kütlesinden daha büyük kütleliken bu kütleden daha düşük kütleyle sahip ev sahibi yıldız sayısı çok daha az görülmektedir. Bu bölge Jüpiter benzeri dev gaz gezegenleri içeren bölgedir ve görece daha büyük kütleli ev sahibi yıldızlar etrafında bulunmaktadır. Şekilde kırmızı semboller üzerinden bir değerlendirme yapmak istersek ev sahibi yıldızların metal bolluğu eğilimi ile ilgili sonuçlar çıkarılabilir. Ötegezegen kütleleri ile ev sahibi yıldızların metal bolluğu arasındaki ilişkiyi gösteren bu semboller dev gaz gezegenlerin çoğunlukla metalce zengin ev sahibi yıldızlara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Güneş metal bolluğu olan sıfır değeri dikey çizgi ile gösterilmiştir ve bu çizginin sağında kalan dev gezegen sayısı solunda kalan gezegenlerden çok daha fazladır. Küçük kütleli ötegezegenlerin bulunduğu bölgede ise belirgin bir metal bolluğu eğilimi dikkati çekmemektedir. Bu bölgede sıfır çizgisinin sağında ve solunda bulunan ötegezegen sayısı homojen bir dağılım göstermektedir.

## 6 Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında günümüzün ilgi çekici araştırma alanlarından birisi olan ötegezegenler üzerine bir inceleme yapılmıştır. Ötegezegenlerin kütle-yarı büyük eksen uzunluğu, kütle-yarıçap, kütle-dönem ve ev sahibi yıldızlara ilişkin metallilik dağılımları istatistiksel olarak irdelenmiştir. Kaynak katalog olarak [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu) kullanılmıştır. Bu katalogda günümüzde 7000 üzerinde doğrulanmış ötegezegen bulunmaktadır. Ötegezegen ve gezegenli sistemlerin kökenini anlamak için kritik bir araç olarak kullanılan kütle ve yarı büyük eksen uzunluğu arasında oluşturulan diyagram detaylı olarak incelenmiştir. Bu diyagramda, Hasegawa & Pudritz (2013) tarafından 5 bölge tanımlanmıştır. Her bir bölge ötegezegenlerin türünü ve evrim yollarını temsil etmektedir. Güncel veri ile oluşturduğumuz diyagramda 2 yeni bölge tanımlanarak Şekil 1'de gösterilmiştir.

Kütle-yarıçap ilişkisinin incelendiği diyagramda ötegezegenlerin üç bölgeye ayrıldığı görülmüştür. Bu üç bölge ayrı ayrı ele alınarak her biri için M-R ilişkisi elde

edilmeye çalışılmıştır. M-R arasındaki ilişkinin değiştiği kırılma noktaları  $2.8M_{\oplus}$  ile  $89M_{\oplus}$  olarak belirlenmiştir. Her bir bölge için noktaları en iyi temsil eden fonksiyon aranmış en iyi temsilden büyük sapmalar gösteren noktalar ayıklanarak iterasyon sürdürülmüştür. Yapılan iterasyon sonucunda gezegen kütleleri için elde edilen ilişkiler aşağıda verilmiştir:

$$R = 1.04M^{0.27} \quad \text{küçük kütleli} \quad (10)$$

$$R = 0.76M^{0.54} \quad \text{orta kütleli} \quad (11)$$

$$R = 13.65M^{-0.008} \quad \text{büyük kütleli} \quad (12)$$

Bu ilişkiler Müller ve diğ. (2024) tarafından yapılan benzer bir inceleme sonucu elde edilenlerle genel olarak tutarlıdır.

Çalışmamız kapsamında incelediğimiz bir başka konu yörünge dönemi 2-4 günden kısa, Neptün kütleli ötegezegenlerin az olduğu ve Szabó & Kiss (2011) tarafından Neptün çölü olarak adlandırılan bölgedir. Mazeh ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada dönem-kütle düzleminde bu bölgenin sınırlarını elde etmeye çalışmışlardır. Biz de çalışmamızda onların elde ettiği alt ve üst sınır fonksiyonlarını temel alarak güncel veri ile bu sınırları yeniden elde etmeye çalıştık. Detayları §4.1 ve §4.2'de anlatılan doğru temsili yöntemi ile üst sınır için  $M = -1.16P + 0.16$  ve alt sınır için  $M = 1.09P - 1.67$  fonksiyonları elde edilmiştir. Bu sınırlar Mazeh ve diğ. (2016) tarafından verilen sınırlara göre daha içeride kalmaktadır. Güncel ötegezegen sayısının artmış olması ve Neptün çölü bölgesinde yeni keşfedilen ötegezegenlerin bulunması ile sınırların değişmesi beklenen bir sonuçtur.

Son olarak ötegezegenler ve ev sahibi yıldızların metal bolluğu arasındaki ilişki incelenmiştir. Ev sahibi yıldız ve ötegezegen kütleleri ile ev sahibi yıldız metal bolluğu arasındaki ilişki aynı grafik üzerinde gösterilerek Güneş metal bolluğu ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu şekilde büyük kütleli yıldızlar etrafında daha büyük kütleli dev gezegenlerin daha çok bulunduğu, küçük kütleli gezegenlerin ise küçük kütleli ev sahibi yıldızlar etrafında bulunma eğiliminde olduğu görülmüştür. Büyük kütleli ve metalce zengin ev sahibi yıldızlar daha çok büyük dev gaz gezegenleri barındırmaktadır.  $1 M_{Jup}$ 'ten daha büyük kütleyle sahip ötegezegenlerin belirgin bir şekilde Güneş'ten daha büyük metal bolluğuna sahip yıldızlar etrafında olduğu görülmüştür. Daha küçük ötegezegenlerde ise ev sahibi yıldızın metal bolluluğu ile belirgin bir ilişki saptanamamaktadır. Yani bu tür ötegezegenlerde metal bolluğu düşük ve yüksek olan ev sahibi yıldız sayısında belirgin bir fark yoktur.

Ötegezegen çalışma alanı astrofiziğin en sıcak alanlarından birisidir ve geliştirilen aygıtlarla keşfedilen ötegezegen sayısı her geçen gün artmaktadır. Ayrıca yine geliştirilen yöntem ve modellerle ötegezegen ve ev sahibi yıldızlarına ilişkin parametreler daha hassas bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu nedenle çalışmamızda yapmış olduğumuz incelemelerin sonuçları ötegezegen ve ev sahibi yıldızlara ilişkin veri güncellendikçe değişecektir. Daha çok ve daha hassas veri ile yapılacak parametre dağılım incelemeleri ötegezegenlerin oluşumu, evrimi, yapısı ve türü gibi konularda daha doğru bilgilere ulaşılmasını sağlayacaktır.

## Teşekkür

Bu çalışma Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalında yapılan yüksek lisans tezinin (Tunçer 2024) bir parçasını içermektedir. Bu yüksek lisans tezinin yürütülmesi için olanak sağlayan Ege Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü ile Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı yönetimine teşekkürlerimizi sunarız. Çalışma kapsamında [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)'de sunulan ötegezegen katalog verisi kullanılmıştır.

## Kaynaklar

- Armitage P. J., Bonnell I. A., 2002, MNRAS, 330, L11  
 Bashi D., Helled R., Zucker S., Mordasini C., 2017, A&A, 604, A83  
 Beaugé C., Nesvorný D., 2013, ApJ, 763, 12  
 Benítez-Llambay P., Masset F., Beaugé C., 2011, A&A, 528, A2  
 Buchhave L. A., ve diğ., 2012, Nature, 486, 375  
 Burn R., Schlecker M., Mordasini C., Emsenhuber A., Alibert Y., Henning T., Klahr H., Benz W., 2021, A&A, 656, A72  
 Chabrier G., Baraffe I., Leconte J., Gallardo J., Barman T., 2009, in 15th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun. pp 102–111  
 Chen J., Kipping D., 2017, ApJ, 834, 17  
 Chiang E., Laughlin G., 2013, MNRAS, 431, 3444  
 Edmondson K., Norris J., Kerins E., 2023, preprint  
 Emsenhuber A., Mordasini C., Burn R., Alibert Y., Benz W., Asphaug E., 2021, A&A, 656, A70  
 Ghezzi L., Martinez C. F., Wilson R. F., Cunha K., Smith V. V., Majewski S. R., 2021, ApJ, 920, 19  
 Gonzalez G., 1997, MNRAS, 285, 403  
 Grasset O., Schneider J., Sotin C., 2009, ApJ, 693, 722  
 Grether D., Lineweaver C. H., 2006, ApJ, 640, 1051  
 Hasegawa Y., Pudritz R. E., 2012, ApJ, 760, 117  
 Hasegawa Y., Pudritz R. E., 2013, ApJ, 778, 78  
 Hatzes A. P., Rauer H., 2015, ApJ, 810, L25  
 Helled R., Lozovsky M., Zucker S., 2016, MNRAS, 455, L96  
 Howard A. W., ve diğ., 2012, ApJS, 201, 15  
 Ida S., Lin D. N. C., 2004, ApJ, 616, 567  
 Johnson J. A., Aller K. M., Howard A. W., Crepp J. R., 2010, PASP, 122, 905  
 Jontof-Hutter D., 2019, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 47, 141  
 Laughlin G., Bodenheimer P., Adams F. C., 2004, ApJ, 612, L73  
 Mayor M., Queloz D., 1995, Nature, 378, 355  
 Mayor M., ve diğ., 2009, A&A, 507, 487  
 Mazeh T., Zucker S., Pont F., 2005, MNRAS, 356, 955  
 Mazeh T., Holczer T., Faigler S., 2016, A&A, 589, A75  
 Mordasini C., Alibert Y., Georgy C., Dittkrist K. M., Klahr H., Henning T., 2012, A&A, 547, A112  
 Mousavi-Sadr M., Jassur D. M., Gozaliasl G., 2023, MNRAS, 525, 3469  
 Mulders G. D., Pascucci I., Apai D., 2015, ApJ, 798, 112  
 Müller S., Baron J., Helled R., Bouchy F., Parc L., 2024, A&A, 686, A296  
 Otegi J. F., Bouchy F., Helled R., 2020, A&A, 634, A43  
 Sabotta S., ve diğ., 2021, A&A, 653, A114  
 Santos N. C., ve diğ., 2004, A&A, 426, L19  
 Seager S., Kuchner M., Hier-Majumder C. A., Militzer B., 2007, ApJ, 669, 1279  
 Sousa S. G., ve diğ., 2008, A&A, 487, 373  
 Spiegel D. S., Fortney J. J., Sotin C., 2014, Proceedings of the National Academy of Science, 111, 12622  
 Szabó G. M., Kiss L. L., 2011, ApJ, 727, L44  
 Tunçer G., 2024, Master's thesis, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
 Weiss L. M., ve diğ., 2013, ApJ, 768, 14  
 Wolszczan A., Frail D. A., 1992, Nature, 355, 145  
 Zeng L., ve diğ., 2019, Proceedings of the National Academy of Science, 116, 9723  
 Zink J. K., ve diğ., 2023, AJ, 165, 262

## Access:

M25-0319: [Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 3.](https://doi.org/10.2478/jaa.2024.0003)