

Ötegezegen Sistemlerinin Sınıflandırılması

Özgecan Önal Taş¹  , Safahan Başara² , Sedanur İyisan² , Ayşenur Kose² ,
Ayşenur Ulutaş¹ 

¹ Istanbul University, Faculty of Science, Department of Astronomy and Space Sciences 34119, Beyazıt, Istanbul, Turkey

² Istanbul University, Institute of Graduate Studies In Sciences, Department of Astronomy and Space Sciences, 34116, Beyazıt, Istanbul, Turkey

Accepted: March 14, 2025. Revised: March 14, 2025. Received: December 9, 2024.

Özet

Bu çalışma, NASA Ötegezegen Arşivi tarafından sağlanan Gezegen Sistemleri Kataloğu kullanılarak F, G, K ve M tayf türündeki tek anakol yıldızları etrafında yörüngelenen ve en az üç veya daha fazla gezegenden oluşan gezegenli sistemlerinin sınıflandırmasına odaklanmaktadır. Bir gezegenli sistem içerisindeki gezegenlerin yıldızlarına olan ortalama uzaklıklarına göre genel kütle dağılımının incelenmesi sonucunda artan, azalan, tek tip ve karışık olmak üzere dört tip gezegenli sistem olduğu görülmüştür. Bu durumun gözlem tekniklerinden kaynaklanan kısıtlamalardan dolayı mı yoksa yapısal olduğu mu henüz bilinmemektedir. Bu sebepten dolayı bu resmin zaman içerisinde değişime uğraması muhtemeldir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre dört sistem türünün de tüm tayf türlerinde yaygın olduğu görülmüştür. Ayrıca, G ve K tayf türündeki yıldızlara yönelik gözlemsel yanlılığın yanı sıra, sistemlerin %50'sinin artan kütleli gezegen sistemleri olma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu şema Güneş Sistemini karışık kütleli bir sistem olarak sınıflandırmaktadır. Bir gezegen sisteminin kütle dağılımından ziyade gezegen tipleri yıldızın tayf türüne daha duyarlı bulunmuştur. Yıldızın tayf türü F'den M'ye değiştikçe gezegen tiplerinin gazca zenginden karasal bakımdan zengine doğru değiştiği görülmüştür.

Abstract

This study focuses on classification planetary system that composed of at least three planet or more orbiting around F, G, K, and M spectral type single main-sequence stars using the Planetary Systems Catalogue provided by NASA Exoplanet Archive. Examination of overall mass distribution with respect to the stellar distance within the planetary system show there are four types of planetary systems, i.e. increasing, decreasing, single-type and mixed. Results suggest these system types are common in all spectral types. Moreover, besides the observational bias towards G and K spectral type stars, 50% of the systems tend to be increasing planetary systems. This scheme classifies the Solar System is a mixed-mass system. Planet types rather than the mass distribution of a planetary system is more sensitive to the spectral type of a star. We found the planet types change from gas rich to rocky as the spectral type of a star changes from F to M.

Anahtar Kelimeler: FGKM stars – extrasolar planets – system classification

1 Giriş

İlk ötegezegenin keşfinden bugüne Güneş Sistemimiz gibi yıldızının etrafında dizili gezegenlerden oluşan sistemlerin bulunması ve incelenmesi en büyük hayallerimizden biri olmuştur. Yer ve uzay tabanlı teleskopların aralıksız çalışmalarıyla bugün bilinen gezegen sayısı 5000'i çoktan aşmış 6000'e çok yaklaşmıştır. Bununla beraber 10000'e yakın gezegen de doğrulanmayı beklemektedir. Galaksimizin 400 milyar yıldızdan oluştuğu (Frommert & Kronberg 2007) ve gerek bir yıldız/kahverengi cüce/enkaz etrafında ya da başıboş gezegenler olduğu düşünülürse, kendisinin trilyonlarca gezegene ev sahipliği yapabileceği uçuk bir hayal değildir.

Gezegenlerin keşfinin akabinde gezegenin türü ve bu türün belirlenmesindeki en önemli büyüklüklerin ölçülmesi uzun ve yorucu gözlemsel çalışmaların bir ürünüdür. Bugün onlarca doğrudan, hibrit ve doğrudan olmayan gözlem tekniğiyle çok sayıda gezegen gözlemi yapılmıştır. Büyüyen gezegen veri tabanlarında analiz edilmeyi bekleyen veri hacmi ve verinin bilgiye dönüşmesi süreçleri daha fazlasının merak edilmesi

ve keşfedilmesi için çabanın artmasını hızlandıracak önemli süreçler olmuştur.

Ötegezegen türlerini incelediğimizde Güneş Sistemi'nde görülen gezegenlerin ötesinde gözlenmemiş türlerin olduğunu, tıpkı Güneşimiz gibi G tayf türünden yıldızların yanı sıra diğer tayf türlerinin etrafında, çift ve çoklu yıldız sistemlerinde, kahverengi cücelerin civarında ve nötron yıldızları gibi sıkı cisimler etrafında gezegenler bulunduğunu biliyoruz. Bunlara tezat olarak yıldızının üzerine düşerek öğütülen yıldızlardan, ya da oluştuğu sistemden boş uzaya fırlatılan gezegenlerin olduğunu da tespit etmiş durumdayız. Tüm bu olasılık karmaşası içerisinde F, G, K ve M tayf türlerindeki tek anakol yıldızlarının etrafından keşfedilmiş olan çok gezegenli sistemlerin kütleyle dayalı olarak incelenmesi bu çalışmanın ana konusu olmuştur. Orta tayf türünden geç tayf türüne doğru gittikçe yıldızların sıcaklıkları ve anakolda kalma süreleri, ilkel gezegen bulutundan düzenli bir sisteme geçme süreleri gibi sistematik olarak değişim gösteren önemli göstergelerdir. Bununla birlikte yıldızların metal bollukları, açılal momentumları ve yaşları gibi büyüklükler ve gezegen sistemlerinin oluşukları ilkel gezegen bulutunun kimyası, yoğunluk dağılımı ve yıldızın parıldamasıyla birlikte yaşanan

* ozgecan.onal@istanbul.edu.tr

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan gezegen sınıflandırma kriterleri.

Kısaltma	Gezegen Türü	Kütle Aralığı (M_{yer})	Yarıçap Aralığı (R_{yer})	Kaynak	Gezegen Sayıları F-G-K-M	Toplam Sayı (gezegen)
m	Merkür-benzeri	0.00001 - 0.1	0.03 - 0.7	PHL	0-1-0-0	1
St	Alt-Yer	0.1 - 0.5	0.5 - 1.2	PHL	0-4-0-9	13
T	Yer-benzeri	0.5 - 2	0.8 - 1.9	PHL	12-36-36-40	124
S	Süper-Yer	2 - 10	1.3 - 1.9	PHL	31-70-66-27	194
M	Mini Neptün	2 - 10	1.9 - 3.5	Hu (2022)	50-156-120-32	358
N	Neptün-benzeri	10 - 50	2.1 - 5.7	PHL	38-95-52-11	196
J	Jüpiter-benzeri	50 - 5000	3.5 - 27	PHL	9-55-22-4	90

süreçler bir gezegen sisteminin belirleyicileri olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci kısmında önce kullanılan ötegezegen verisi takdim edilmiş, ardından gezegen türlerinin ve sistem türlerinin nasıl belirlendiği aktarılmıştır. Üçüncü kısımda gezegen sistemlerinin farklı tayf türünden yıldızlar etrafında nasıl dağıldığının istatistiği verilmiş ve son kısımda literatürle kıyaslamalar yapılarak bulgulardan sonuçlara varılmıştır.

2 Veri ve Yöntemler

Ötegezegen sistemlerinin yapısının incelendiği bu çalışmada ana veri kaynağı NASA Exoplanet Archive'de kullanıma sunulan Planetary Systems kataloğu olmuştur. Bu katalogta 5756 ayrı gezegene ait çeşitli adlandırma bilgisi (gezegen adı, yıldız adı, Gaia adı, HD adı vb.), sistem kompozisyonu bilgisi (sistemde bulunan yıldız, gezegen ve uydu sayıları gibi), gezegen keşfi bilgisi (keşif yöntemi, yılı, referansı, yayın tarihi vb.), keşfin doğruluk durumunu veren çözüm tipi ve tartışılabilirlik durumu, gezegene ait parametreler (yörünge periyodu, yarıbüyük eksen uzunluğu, yarıçap, kütle vb.), yıldızla ait veriler (tayf türü, atmosfer model parametreleri, ısıma gücü, yaş, dönme hızı ve periyodu vb.) ve sisteme ait astrometrik ve fotometrik büyüklükleri içermektedir. Katalogta 5228 gezegen tek yıldızın etrafında tespit edilmiştir. Bunlardan 3964'üne ait logaritmik yüzey çekim ivmesi değeri $4 < \log g < 5$ bulunmuştur; yani bunlar anakol aşamasındaki kararlı hidrojen füzyonu yapan yıldızlardır.

2.1 Yıldızların Tayf Türlerinin Belirlenmesi

Çalışmada F, G, K ve M tayf türlerinde bulunan anakol yıldızları tercih edilmiştir. Anakol yıldızlarının tayf türlerinin belirlenmesinde Planetary Systems kataloğunda yıldızlara ait belirtilen etkin sıcaklık değerleri kullanılarak Mamajek'in (2019) kriterleri kullanılmıştır. Buna göre tayf türlerine göre etkin sıcaklık aralıkları şu şekildedir: F tayf türü $5930 < T_{eff} \leq 7220$ (K), G tayf türü $5270 < T_{eff} \leq 5930$ (K), K tayf türü $3850 < T_{eff} \leq 5270$ (K) ve M tayf türü $2270 \leq T_{eff} \leq 3850$ (K). Bu tayf aralıklarındaki yıldız sayıları, sırasıyla, 849 (F), 1883 (G), 1496 (K) ve 417 (M) olarak belirlenmiştir. Bu yıldızlardan etrafında dolanan gezegen sayısı üç ve daha fazla olanlar çalışmaya dahil edilmişlerdir. Bu durumda çalışmaya dahil edilen gezegen sayıları 140 (F), 417 (G), 296 (K) ve 123 (M) olmak üzere toplamda 976 gezegen ve dahil edilen sistem sayısı 40 (F), 119 (G), 83 (K) ve 35 (M) olmak üzere 285 sistem olarak belirlenmiştir.

2.2 Ötegezegen Türlerinin Belirlenmesi

F, G, K ve M tayf türü yıldızların etrafında belirlenen 926 gezegenin doğru gezegen türlerinin belirlenmesi çalışmanın

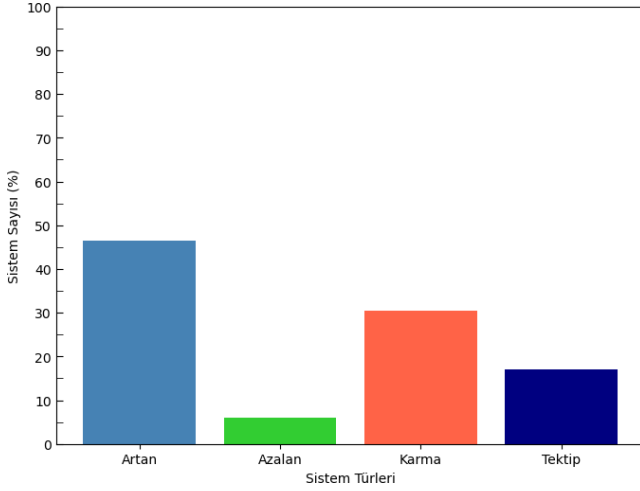
gerçekçiliği açısından büyük bir önem arz etmektedir. Bu amaçla gezegenlerin kütle ve yarıçaplarını kullanarak Arcibo Gezegenel Yaşanabilirlik Laboratuvarının (PHL) web sitesinde önerilen Güneş sistemi ve diğer yıldız sistemlerindeki gezegenleri sınıflandırma kriterleri kullanılmıştır. Bu kaynaklardan derlenen kriterler Çizelge 1'de listelenmiştir. Çizelgede gezegen türünü temsil eden semboller ilk kolonda gösterilmiştir. İkinci kolon gezegenin türünü, üçüncü ve dördüncü kolonlarda ise Yer değerleri cinsinden kütle ve yarıçap aralıklarıdır. Farklı tayf türünden yıldızlar için oluşturulan alt kataloglarda gezegenlerin kütle ve yarıçapları derlendikten sonra bu tablo yardımıyla gezegen türleri belirlenmiştir. Bu analiz sonucunda her bir tayf türünde tespit edilen gezegen türlerinin sayıları ve toplam gezegen sayıları da Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgede kullanılan kısaltmalar bu çalışmaya özgü semboller olup gezegen türü, kütle aralığı ve yarıçap aralıkları gezegenel yaşanılabilirlik laboratuvarı (PHL) ve Hu (2022) çalışmasından alınan değerlerdir.

2.3 Ötegezegen Sistemi Türlerinin Belirlenmesi

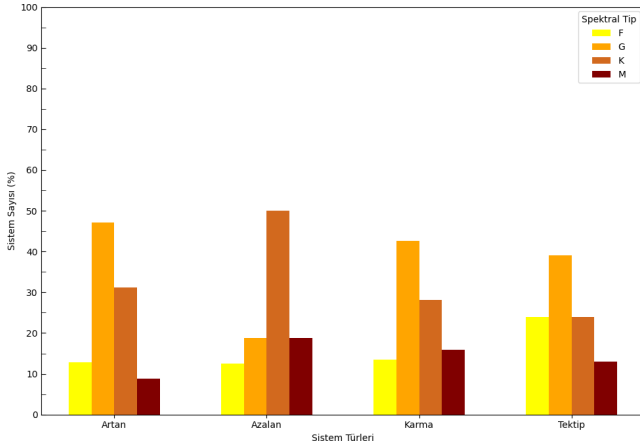
Gezegen türlerinin kütle ve yarıçap kriterleri kullanılarak belirlenmesinin ardından bu gezegenlerin yıldızlarına olan uzaklıklarına göre konumlarına bakılmıştır. Bu amaçla her bir yıldızın etrafındaki gezegenler yarıbüyük eksen uzunluklarına göre dizilmiş ve sistemlerdeki gezegen kütlelerinin değişimi incelenmiştir. Bu incelemede gezegenlerin bireysel kütle değişimine değil de gezegen türüne göre değişim dikkate alınmıştır. Özel olarak bazı gezegenlerin uç kütle sınırlarında olma ihtimali olabilir ki bu sistemin genel durumunu etkileyebilir. Çalışmamızda bu uç durumlar irdelenmemiş yalnızca genel gödişata bakılmıştır. F, G, K ve M tayf türü yıldızlar etrafında tespit edilen üç ve daha fazla gezegenli sistemin türünün belirlenmesi için gezegenler logaritmik yarıbüyük eksen uzunluğu ($\log a$) değerine göre yıldızlarının etrafında yerleştirilmiş ve genel olarak kütlelerin dört ana şekilde değiştiği tespit edilmiştir. Bunlar kütleli artan, kütleli azalan, tektip kütleli ve karma kütleli sistemler olarak gruplanmışlardır. Bu bakımdan tayf türünün sistem içerisindeki kütle değişimine doğrudan tespit edilen bir etkisi olmadığı görülmüştür.

3 Bulgular

Sistem içerisindeki kütlelerin gezegen türüne göre değişimlerine bakılarak dört tür gezegen sistemi sınıfı tespit edilmiştir: Artan, Azalan, Tektip ve Karma. Çalışmada Merkür-benzeri, Yer'den küçük, Yer-benzeri, Süper Yer, Mini Neptün, Neptün-benzeri ve Jüpiter-benzeri olmak üzere yedi ana tür gezegen olduğu tespit edilmiştir. Örneğimizde 285 sistemde toplamda 976 gezegen vardır. Bunların %66'sı gaz %34'ü taş yapıları gezegenlerdir. Bu



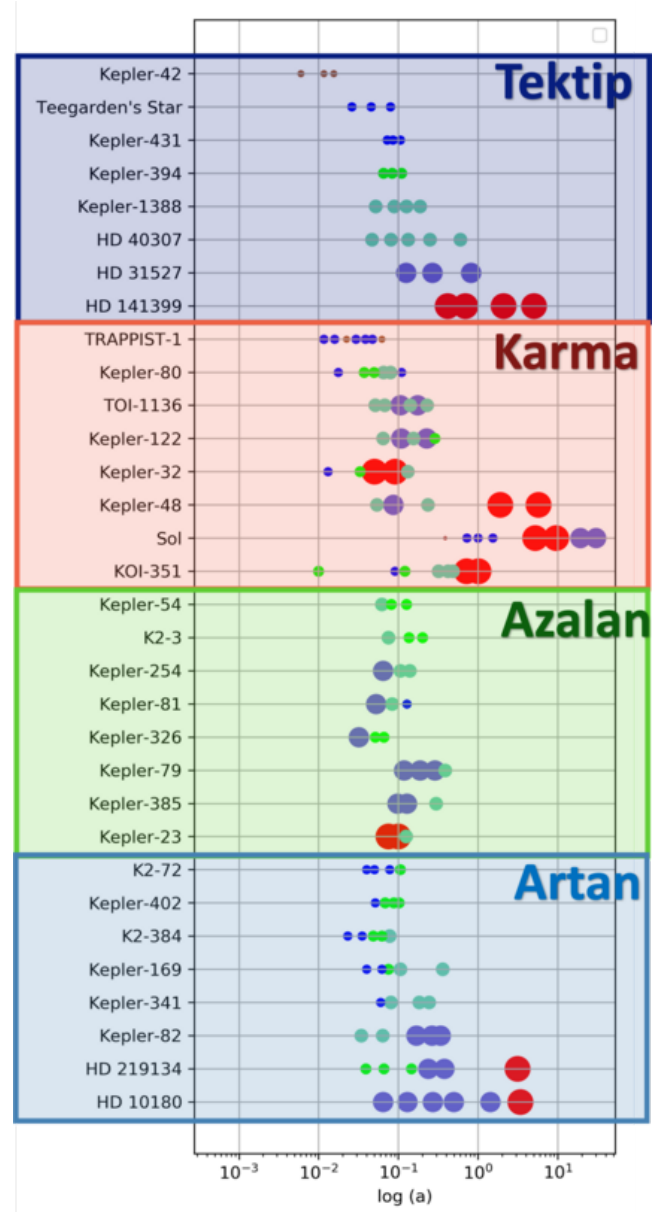
Şekil 1. Sistem tiplerinin sıklık dağılımı.



Şekil 2. Tayf türüne göre sistem tiplerinin sıklık dağılımı.

sınıfların 285 sistemden oluşan örneğe göre dağılımları Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'deki dağılım incelendiğinde sistemlerin %50'sinin artan kütleli, %30'unun karma kütleli olduğu dikkati çekmiştir. Gezegen sistemi tiplerinde tayf türlerinin katkısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre gözlenen Artan kütleli sistemlere en büyük katkı G, en az katkı M tayf türlerinden gelirken, Azalan kütleli sistemlerde açık ara en büyük katkı (>%50) K tayf türü yıldızların etrafındaki gezegenlerden sağlanmıştır. Bununla beraber bu sistem tipleri en az F tayf türü yıldızların etrafında görülmektedir. Karma sistem tiplerine bakıldığında en büyük katkı yine G tayf türü yıldızlar etrafındaki sistemlerden sağlanmış ve bu katkı oranı tayf türü geçleştikçe azalmıştır. Yine de bu gruba en az katkı F tayf türünden gelmiştir. Bunun nedeni F tayf türü sistemlerin örneğimiz içerisinde temsil edilme oranının az olması da olabilir, bu sistemlerin bu yıldızlar etrafında meydana gelme süreçleriyle de ilgili olabilir. Son olarak tektip sistemlere bakıldığında en çok tektip gezegenin G tayf türü etrafında temsil edildiği, F ve K tayf türlerinde ise eş katkılı oldukları görülmektedir.

Farklı sistem tiplerindeki farklı tayf türlerinde tespit edilen gezegenlerin logaritmik yarı büyük eksen uzunluklarına göre dağılımları Şekil 3'te gösterilmiştir. Artan kütleli bir sistemde



Şekil 3. Farklı türdeki sistemlere ait örnekler. Koyu mavi tektip, turuncu karma, yeşil azalan, ve açık mavi bölge artan kütleli sistemleri temsil eder.

gezegenlerin türlerine göre dizilimleri farklı olabilir. Örneğin HD219134 sistemindeki altı gezegenin dizilimleri SSSNNJ iken K2-72 sisteminde dört gezegen olup TTTS olarak sıralanmışlardır. Altı gezegenli bir diğer artan kütleli sistem olan HD 10180'in gezegen dizilimi ise NNNNNJ formundadır. Görüldüğü üzere sistemdeki tüm gezegenler son örnekteki gibi gaz türünden gezegen de olabilir, ikinci örnekteki gibi taş türünden de olabilir ya da ilk verilen örnekteki gibi gaz ve taş karma da olabilir. Azalan kütleli sistemlerde artan kütleli sistemlerin tam tersi bir eğilim vardır. Bu tür sistemler 285 sistemlik örneğin %5'ini oluşturmaktadır. Örneğin Kepler-254 sisteminde üç gezegen vardır ve bunlar NMM diziliminde hepsi gaz yapılıdır, Kepler-23 sistemindeki üç gezegen ise JJM şeklindedir. Öte yandan Kepler-81 sisteminde ise NMT

şeklinde karma bir dizilim olduğu görülmüştür. Azalan olarak nitelendirilen sistemlerde genellikle üç gezegen olması aslında bunların bulmacanın yalnızca bir kısmını yansıtır olabileceği fikrini uyandırmakta ve aslen belki de böyle bir sistem tipi olmayabileceği izlenimi vermektedir. Tektip kütleli sistemler 285 sistem içerisinde %15'lik önemli bir dilimi oluşturmaktadır. Tektip sistemler her gezegen türünde görülmüştür. Örneğin, Kepler-42'deki üç gezegen de St tipinde, Kepler-394'teki üç gezegen S tipinde, HD40307'deki beş gezegen de M tipinde ve HD 141399 sistemindeki dört gezegen de J tipindedir. Her gezegen türüne ait tektip sistem olduğu bu örneklem içerisinde görülmektedir. O halde bu durumda iki senaryo akla gelmektedir. Birincisi bu türden dizilimler oluşturma bazı süreçlerden kaynaklanabilir, ikincisi ise bu sistemlerdeki diğer gezegenler henüz gözlemlenmemiştir. Karma kütleli sistemler de çeşitlidir. Bunlar arasında en popüler olanlar Güneş Sistemi ve Trappist-1 sistemleridir. Her iki sistemde de sekiz gezegen bulunmaktadır. Güneş Sistemi G tayf türü bir yıldızın etrafında, Trappist-1 ise M tayf türü bir yıldızın etrafında gözlemlenmiştir. Güneş sisteminin gezegen dizilimi mTTTTJJNN şeklindeyken, Trappist-1'in gezegenleri TTStTTTSt şeklinde bir dizilim göstermektedir. Görüldüğü gibi Güneş Sistemi taştan gaz yapıya değişen bir yapı ortaya koymuşken, Trappist-1'in tamamı taş yapı gezegenler içermektedir. Bu karma kütleli sistemlere başka örnekler de verilebilir. TOI-1136 sistemindeki altı gezegenin tümü gaz yapı olup MMNMNM dizilimindedir. Kepler-80 sistemindeki altı gezegen ise TSSMMT gibi taş ve gaz karması bir yapıdadır. Son bir örnek olarak yedi gezegeni KOI-351 sistemi STSMMJJ dizilimindedir.

4 Tartışma

Bu çalışmada gezegen sistemlerinin içerisindeki kütle değişimine göre sistem türlerinin belirlenmesi ve farklı tayf türü yıldızların bu sistem türlerine olası etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada gezegen tiplerinin belirlenmesinin ardından gezegenlerin yarıbüyük eksen uzunluklarına göre dizilimleri incelendiğinde ortaya gezegen tipine göre kütle değişiminin dikkate alındığı dört sistem tipi olduğu görülmüştür. Artan, azalan, tektip ve karma olarak adlandırılan bu sistem tiplerinin hangilerinin gerçekte var olan bir yapı olduğunun ortaya konması uzun zaman içerisinde ve gelişmiş gözlem teknikleriyle yapılacak yeni keşiflerle ortaya konacaktır. Sistemleri oluştururken en az üç gezegen olması da sistemin potansiyel diğer öğelerinin bulunmasıyla tipinin değişmesine neden olacaktır. Bu bakımdan yapılan çalışma bulgularının değişmesi beklenmektedir.

4.1 Sistem Tiplerinin Tayf Türüyle İlişkisi

Sistem tiplerinin tayf türüne göre değişimi önemli bir konu olup bu tipleri belirleyen gezegenlerin yapısı bakımından önemli bir farklılık görülmüştür. Özellikle F, G, K tayf türlerindeki yıldızların etrafında gözlemlenen gaz gezegenlerin sayısı ortalama %70 gaz yapıya iken M tayf türünde gözlenen gezegenlerin %70'i taş yapıya bulunmuştur. Bu bağlamda bir diğer önemli nokta ise F ve M tayf türü yıldızların etrafında, sırasıyla, 40 ve 35 sistem gözlemlenmiş olmasıdır.

4.2 Literatür Çalışmalarıyla Karşılaştırmalar

Ötegezegen sistemlerinin yapısı ve özelliklerinin irdelendiği çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır. Özellikle gezegen sistemlerinin sınıflandırıldığı yalnızca iki bilimsel çalışma tespit

Çizelge 2. Mishra ve diğ. (2023a) (1) ile ibi çalışmadaki (2) sınıflandırmaların karşılaştırılması. N_{gezegen} : Gezegen sayısını, Dizilim: Gezegen dizilimini, TT: Tayf Türünü ifade etmektedir.

Yıldız	N_{gezegen}	Dizilim	Sistem Türü		TT
			(1)	(2)	
Sol	8	mTTTTJJNN	sıralı	karışık	G
Trappist-1	7	TTStTTTSt	benzer	karışık	M
TOI-178	6	TSM MMM	benzer	artan	K
HD 10180	6	NNNNNJ	benzer	artan	G
HD 219134	6	SSSNNJ	sıralı	artan	K
HD 34445	6	NNJJJJ	benzer	karışık	G
Kepler-11	6	TMMNMN	sıralı	karışık	G
HD 158259	5	SM MMM	benzer	artan	G
HD 40307	5	Aynı Tür M'ler	benzer	tektip	K
Kepler-102	5	TTSMS	benzer	karışık	K
Kepler-33	5	MTNNN	sıralı	karışık	G
Kepler-62	5	SSNNN	benzer	artan	K
DMPP-1	4	SMMN	sıralı	artan	F
GJ 3293	4	SNMN	sıralı	karışık	M
GJ 876	4	MJJN	karma	karışık	M
HD 141399	4	Aynı Tür J'ler	benzer	tektip	G
HD 160691	4	NJJJ	sıralı	artan	G
HD 20794	4	SSMM	benzer	artan	G
HD 215152	4	TTSS	benzer	artan	K
K2-285	4	MNMS	benzer	karışık	K
Kepler-106	4	TNTN	benzer	karışık	G
Kepler-107	4	SSTN	benzer	karışık	G
Kepler-223	4	MMNN	benzer	artan	G
Kepler-48	4	MNMJ	sıralı	karışık	K
Kepler-65	4	SMS	sıralı	karışık	F
Kepler-79	4	NNNM	benzer	azalan	F
tau Cet	4	TTMM	benzer	artan	G
HD 164922	4	MNNJ	sıralı	artan	G

edilmiştir (Mishra ve diğ. 2023a,b). Çalışmamızın literatürle uyumuna bakıldığında karşımıza Mishra ve diğ. (2023a,b) çalışmaları çıkmıştır. Bu çalışmada literatürden seçilen dört gezegen ve fazlasını içeren yıldız sistemlerinin gezegen dizilimleri ve bu dizilimleri kontrol eden dinamikleri içeren modeller incelenerek gözlenen duruma açıklama getirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada yıldız sistemlerinin dört tür mimarisi önerilmiştir: sıralı, ters sıralı, karışık ve benzer. Bu sınıflandırma sistemi kütleyle bağlı tanımladıkları c_s ve c_v indeksleriyle yapılırken çalışmamızda kütlelerin gezegen yıldızdan uzaklaştıkça gelişimine bakılmıştır. Gelişimin göstergesi olarak da gezegenin ait olduğu sınıf baz alınmıştır. Mishra ve diğ. (2023a)'nın tanımladıkları bu indekslerden c_s , sistemdeki gezegenlerin kütle, büyüklük, periyot gibi büyüklüklerinin içten dışa doğru nasıl değiştiğini temsil ederken c_v , sistem içerisinde söz konusu parametrelerin ortalama rölatif hatalarını ölçer. Çalışmamız ve bu çalışma arasında benzerlikler bulunmakla beraber uyumlulukları, çakışan örnekler incelenerek sınanmıştır. Ortak tespit edilen 28 yıldız sistemi arasında Güneş Sistemi ve Trappist-1 sistemleri de yer almaktadır. Çizelge 2 incelendiğinde 28 örnekten yalnızca 7 tanesinde sonuçlar örtüşmüştür. Bu da %25'lik bir uyum olduğunu göstermektedir. Mishra ve diğ. (2023a)'nin sıralı dediği sistemler ile bu çalışmadaki artan kütleli sistemler, karışık ile karma, ters sıralılar ile de azalan kütleli sistemler kaba bir benzerlik ortaya koyarlar. Çalışmamızda Güneş Sistemi'nin karışık bir gezegen kütle dağılımı ortaya koyduğunu tespit ettik ve bu durum Mishra ve diğ. (2023a)'nin sıralı kategorisine uymadığına işaret

etmektedir. Sadece kütleyle göre gezegen tipinin değişimine göre tanımlanan sistemimize göre literatürdeki gezegen sistemi mimarisi kavramının çok daha büyük sayıda örneklerle, başka bir deyişle sistemlere ait daha fazla sayıda gezegenin gözlemlenmesine ihtiyaç duymaktadır.

Mishra ve diğ. (2023b)'nin önemli bulgularından biri kısa ömürlü ilkel gezegen diskine sahip yıldız sistemlerinde sistemin tipinin benzer yani tektip olma eğiliminde olduğu ortaya atılmıştır. Ribas ve diğ. (2015)'nin çalışmasında disk evriminin yıldızın kütlesiyle ilişkili olduğu yani yıldızın kütlesi ne kadar çok ise ilkel gezegen diski evrim hızının da yüksek olduğu gösterilmiştir. Çalışmadaki yıldız sistemlerinin yapısı incelendiğinde en çok tektip yani benzer sistemin %27.5 oranla F tayf türü yıldızlar etrafında görüldüğü tespit edilmiştir.

Mishra ve diğ. (2023a) ilkel gezegen diskinde 1 Jüpiter kütlesine (M_J) göre tasarlanan sistem dizilimi önermişlerdir. Buna göre diskte 1 M_J 'den küçük kütleli bir yapı varsa sistem tektip, 1 M_J 'ye eşit varsa sistem karma ve 1 M_J 'den daha kütleli varsa sıralı ya da ters-sıralıdır. Bu durumu test etmek için verilerimize baktığımızda K ve M tayf türlerinde Neptün ve üzeri kütleli gezegenler tespit edilememiştir. Tüm sistemler incelendiğinde genel olarak az sayıda Jüpiter benzeri gezegen olduğu görülmüştür. Bu bulgu modelle uyumlu bulunmamıştır.

5 Sonuç

Bu çalışma, Güneş benzeri tek anakol yıldızları etrafındaki gezegen sistemlerinin incelendiği en geniş örneği içeren ilk çalışmadır. Kütleyle bağlı olarak belirlenen sistem yapısına göre Güneş Sistemi, tıpkı Trappist-1 sisteminde olduğu gibi karma yapılıdır. F tayf türünden M'ye doğru gezegen tiplerinde baskın mod gaz ve buz devlerinden karasal gezegenlere doğru değişmektedir. Bu durum gezegenin boyutunun ve ısıma gücünün geç tayf türlerine doğru küçülmesiyle gözlemsel yanlışlıkların yıldızına yakın ama nispeten daha küçük gezegenlerin tespitine yol açmış olmasıyla ilişkili olabilir.

Gezegenli sistem türlerindeki çeşitliliğin sebebinin yıldızın tayf türü değil de ilkel gezegen diskinden sisteme dönüşüm esnasında yaşanan süreçler olduğu düşünülmektedir. G ve K türü yıldızların etrafında çok sayıda ve çeşitlilikte gezegenin gözlemlenmiş olmasının gözlemsel bir seçim etkisi olduğu aşıkardır. Örnekte bulunan Jüpiter benzeri gezegenlerin az oluşu ve bu durumun gezegen sisteminin yapısında öne atılan rolü düşünüldüğünde bir çok sisteme ait Jüpiter benzeri kütleli gezegenlerin keşfedilmeyi beklediği düşünülmektedir.

Teşekkür

ASTR7041: Ötegezegenler yüksek lisans dersinin ilk yılında bu dersi alan hevesli lisansüstü ve lisans öğrencilerinin büyük emekleriyle hazırlanan bu çalışmada oluşturulan veri kataloglarının Vizier veri tabanı üzerinden kullanılacak şekilde yayınlanmasına çalışılmaktadır. Araştırmamız devam etmekte ve bulgularımız SCI kapsamındaki hakemli bir bilimsel dergide yayınlanmak üzere hazırlanmaktadır. Gelecekte gezegen tiplerinin daha duyarlı belirlenmesi, ötegezegen sayısının çok daha artması sebebiyle bu konu daha fazla araştırmacı tarafından ele alınmalıdır.

Bu çalışmada analizler ve görselleştirmeler MS Excel, TopCAT ve Python kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Frommert, H., Kronberg, C., 2007, The Milky Way Galaxy, SEDS. Archived from the original on May 12, 2007.
- Hu, R., 2022, AASTCS9, Exoplanets 4, id. 102.263. Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 54, No. 5 e-id 2022n5i102p263.
- Mishra, L., Alibert, Y., Udry, S., Mordasini, C., Framework for the architecture of exoplanetary systems I. Four classes of planetary system architecture, *Astronomy & Astrophysics*, **670** (2023a) A68
- Mishra, L., Alibert, Y., Udry, S., Mordasini, C., Framework for the architecture of exoplanetary systems I. Nature versus Nurture: Emergent formation pathways of architecture classes, *Astronomy & Astrophysics*, **670** (2023b) A69
- Ribas, A., Bouy, H., Merin, B., Protoplanetary disk lifetimes vs. stellar mass and possible implications for giant planet populations, *Astronomy & Astrophysics*, **576** (2015) A52

Access:

M25-0349: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.