

TEK YILDIZLI ÖTEGEZEGEN SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

ÖZGEÇAN ÖNAL TAŞ¹, SAFAHAN BAŞARA², SEDANUR İYİSAN², AYŞENUR KÖSE², AYŞENUR ULUTAŞ¹

¹ İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Beyazıt, Fatih; İstanbul
² İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Beyazıt, Fatih; İstanbul

1. Veri Kaynağı

Bu araştırmada ana veri kaynağı NASA Ötegezegen Arşivi'nde servis edilen Gezegen Sistemleri kataloğu olup yıldızların etkin sıcaklık (T_{eff}) ve yüzey çekim ivmelerine sınırlamalar getirilmiştir. Yörüngesinde üç ve daha fazla sayıda olan gezegenler seçilmiş ve türleri kütle ve yarıçap parametrelerine bakılarak belirlenmiştir.

NASA EXOPLANET ARCHIVE
A SERVICE OF NASA EXOPLANET SCIENCE INSTITUTE

Planetary Systems

Tablo 1. Arecibo gezegen sınıflandırma ölçüğü.

	(K)	(M_p)	(R_p)	(L_p)
F	5,930-7,220	1.04-1.4	1.15-1.4	1.5-5
G	5,270-5,930	0.8-1.04	0.96-1.15	0.6-1.5
K	3,850-5,270	0.45-0.8	0.7-0.96	0.08-0.6
M	2,270-3,850	0.08-0.45	≤ 0.7	≤ 0.08

TEK

Mamajek (2019)'un T_{eff} sınırlarına göre tayf türleri belirlendi.

F G K M
ANAKOL

3+ GEZEGENLİ SİSTEMLER

285 sistem = 976 gezegen

40 119 83 35

140 417 296 123

4. Tartışma

Çalışmamızın literatürle uyumuna bakıldığında karşımıza Mishra ve diğ.'nin (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 yapılarak çalışmamızda kütlelerin yıldızdan uzaklaşmasına göre gelişimine bakılmıştır. İki 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. Tablo 3 incelendiğinde 28 örnekten yalnızca 7 tanesinde sonuçlar örtüşmüştür. Bu da %25'lik bir uyum olduğunu göstermektedir. Mishra ve diğ.'nin (2023a, b) 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.'nin sıralı kategorisine uymadığına işaret etmektedir. Sadece kütlelerin değişimine göre tanımlanan sistemimize göre literatürdeki gezegen sistemi mimarisinin çok daha büyük örneklerle, sistemlere ait daha fazla sayıda gezegenin gözlemlenmesine ihtiyaç duymaktadır.

Tablo 3. Mishra ve diğ.'nin çalışmasıyla kıyas.

Yıldız Adı	Gezegen Sayısı	Gezegen Dizilimi	Bu Çalışma Sistem Türü	Mishra vd. Sistem Türü	Yıldızın tayf türü
Sol	8	mTTTTJNN	karışık	sıralı	G
Trappist-1	7	TTSITTTST	karışık	benzer	M
TOI-178	6	TSM MMM	artan	benzer	K
HD 10180	6	NNNNNJ	artan	benzer	G
HD 219134	6	SSNNJ	artan	sıralı	K
HD 34445	6	NNJNJ	karışık	benzer	G
Kepler-11	6	TMMNMMN	karışık	sıralı	G
HD 158259	5	SM MMM	artan	benzer	G
HD 40307	5	Aynı Tür Mler	tektip	benzer	K
Kepler-102	5	TTSMS	karışık	benzer	K
Kepler-33	5	MTNNN	karışık	sıralı	G
Kepler-62	5	SSNNN	artan	benzer	K
DMPP-1	4	SM MN	artan	sıralı	F
GJ 3293	4	SN MN	karışık	sıralı	M
GJ 876	4	MJIN	karışık	karma	M
HD 141399	4	Aynı Tür Mler	tektip	benzer	G
HD 160691	4	NJJJ	artan	sıralı	G
HD 20794	4	SSMM	artan	benzer	G
HD 215152	4	TTSS	artan	benzer	K
K2-285	4	MNMS	karışık	benzer	K
Kepler-106	4	TNTN	karışık	benzer	G
Kepler-107	4	SSTN	karışık	benzer	G
Kepler-223	4	MMNN	artan	benzer	G
Kepler-48	4	MNMJ	karışık	sıralı	K
Kepler-65	4	SMS	karışık	sıralı	F
Kepler-79	4	NNNM	azalan	benzer	F
tau Cet	4	TTMM	artan	benzer	G
HD 164922	4	MNNU	artan	sıralı	G

Mishra ve diğ. (2023a,b) ilkel gezegen diskinde 1 Jüpiter kütleli (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 olduğu görülmüştür.

2. Gezegen Türlerinin Belirlenmesi

PHL @ UPR Arecibo

Gezegen türlerinin belirlenmesinde Arecibo Planetary Habitability Laboratory web sitesinde sunulan ötegezegenler için kütle sınıflaması kullanıldı (Tablo 2). Buna göre azalan kütleyle gezegenler sırasıyla Jüpiter Benzeri (J), Neptün Benzeri (N), Süper Dünya (S), Karasal (T), Karasal-Altı (sT) ve Merkür Benzeri (m) olarak sınıflandırılmışlardır. Daha sonra gezegen yarıçapına göre Süper Dünyalar $1.7 \leq R(R_E) \leq 3.5$ aralığında ise Mini Neptün (M) olarak sınıflandırılmıştır, aralığın dışında olanlar ise Süper Dünya olarak kabul edilmiştir. Tayf türüne göre M-R diyagramları üst sağdaki panellerle gösterilmiştir.

Tablo 2. Arecibo gezegen sınıflandırma ölçüğü.

Planet Type	Mass (Earth Units)	Radius (Earth Units)
Asteroidan	0 - 0.00001	0 - 0.03
Mercurian	0.00001 - 0.1	0.03 - 0.7
Subterran	0.1 - 0.5	0.5 - 1.2
Terran	0.5 - 2	0.8 - 1.9
Superterran	2 - 10	1.3 - 3.3
Neptunian	10 - 50	2.1 - 5.7
Jovian	50 - 5000	3.5 - 27

J 9 55 224 → 90
N 38 95 52 11 → 196
M 50 156 120 32 → 358
S 31 70 66 27 → 194
T 12 36 36 40 → 124
sT 0 4 0 9 → 13

5. Sonuçlar

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 yapıdır.

>> F tayf türünden M'ye doğru gezegen türlerinde baskın mod gaz ve buz devlerinden karasal gezegenlere doğru değişmektedir.

>> Gezegen sistemi 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 aşikardır.

>> Örnekte bulunan Jüpiter benzeri gezegenlerin az oluşu ve bu durumun gezegen sisteminin yapısında öne atılan rolü düşünülürken bir çok sisteme ait Jüpiter benzeri kütleli gezegenlerin keşfedilmeyi beklediği düşünülmektedir.

>> Veri katalogları Vizier üzerinden kullanıma sunulacaktır.

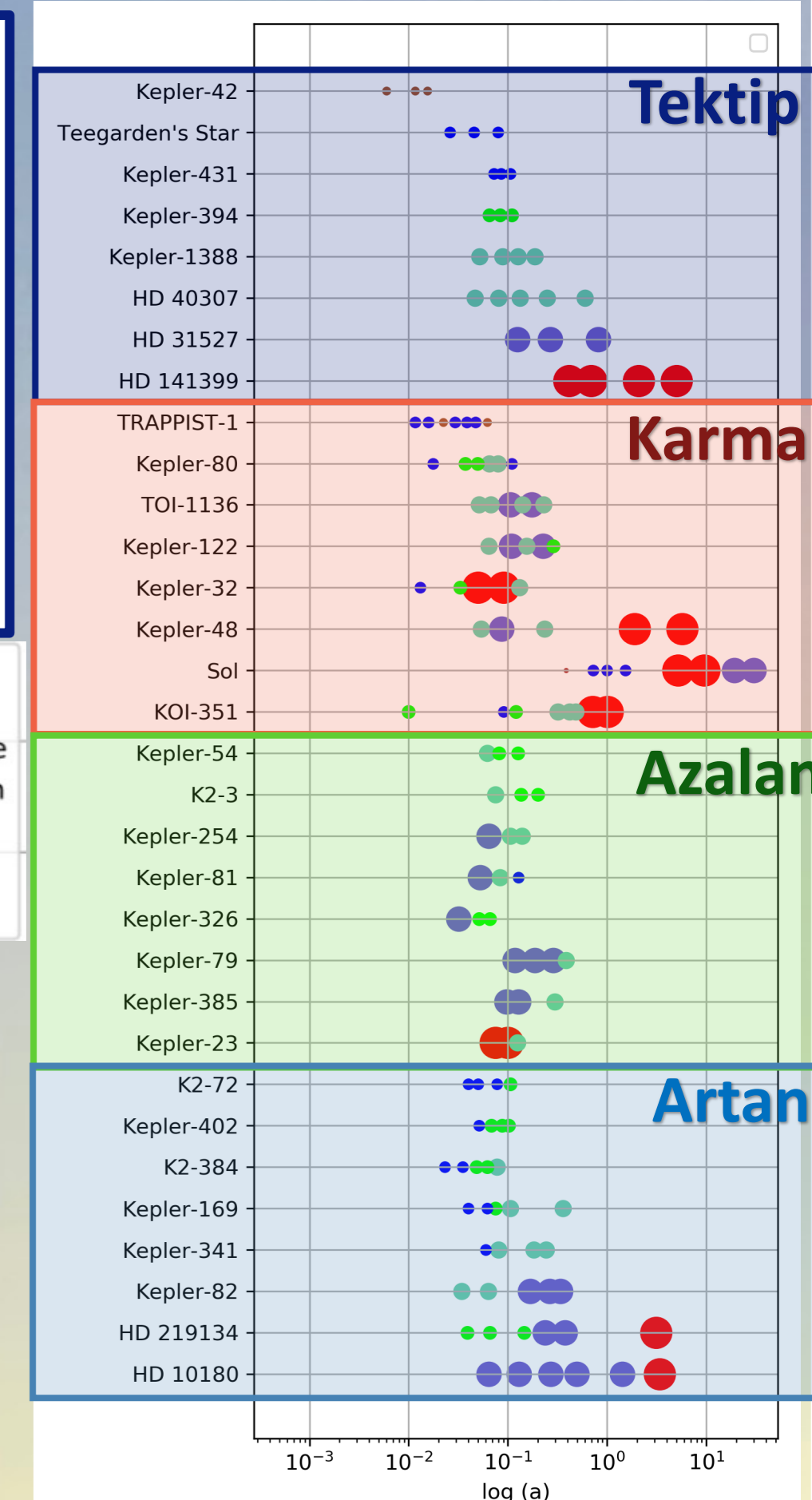
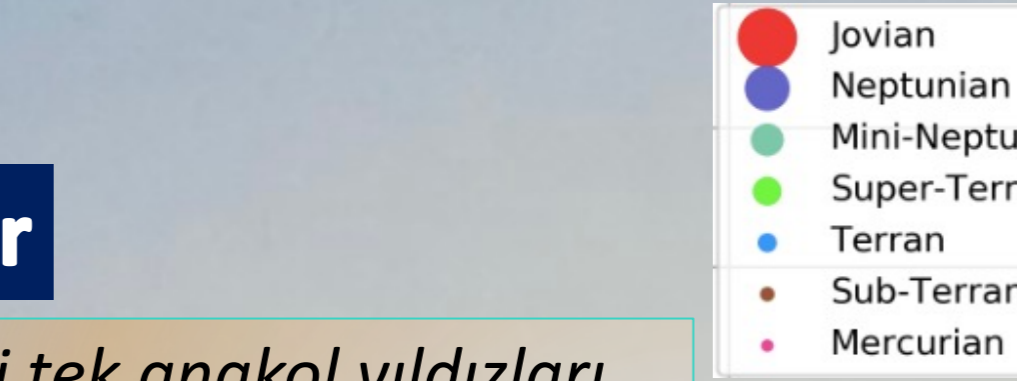
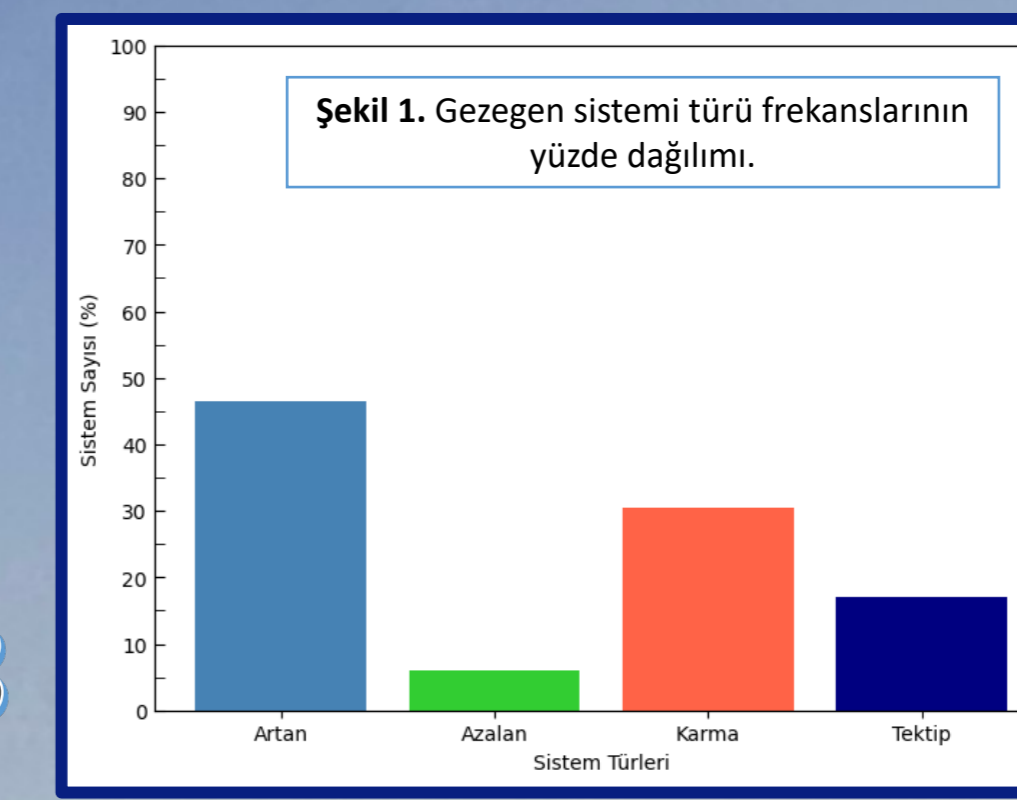
Çalışmamız 2023-2024 güz yarıyılında ASTR7041 Ötegezegenler yüksek lisans dersini alan lisansüstü ve derse misafir olarak katılan lisans öğrencileriyle hazırlanmıştır.

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

3. Sistem Türlerinin Belirlenmesi

Gezegen sistemi türlerinin belirlenmesinde bir yıldız sistemindeki gezegenlerin yarı büyük eksen uzunluklarının (a) durumuna göre gezegen türlerinin nasıl değiştiğine bakılmıştır. Bir gezegen sistemi türü belirlenirken sistem içerisindeki gezegenlerin kütlelerinin değişimi esas alınmıştır. Buna göre dört tür sistem olduğu görülmüştür (Şekil 1 ve Şekil 2):

- Artan sistemler:** Gezegen kütlesi yıldızdan uzaklaştıkça artan sistemler.
- Azalan sistemler:** Gezegen kütlesi yıldızdan uzaklaştıkça azalan sistemler.
- Karma sistemler:** Gezegenlerin rastgele kütlelerde bulunduğu sistemler.
- Tektip sistemler:** Belirli tür gezegenden oluşan sistemler.



Şekil 2. Farklı türdeki sistemlere ait örnekler. Koyu mavi tektip, turuncu karma, yeşil azalan, ve açık mavi bölge artan kütleli sistemleri temsil eder.

Kaynaklar

- <https://phl.upr.edu/library/labnotes/a-mass-classification-for-both-solar-and-extrasolar-planets>
https://www.pas.rochester.edu/~emamajek/EEM_dwarf_UBVJHK_colors_Teff.txt
Mishra, L., Alibert, Y., Udry, S., Mordasini, C., 2023a, A&A, 670, A69
Mishra, L., Alibert, Y., Udry, S., Mordasini, C., 2023b, A&A, 670, A69
Ribas, A., Bouy, H., Merin, B., 2015, A&A, 576, A52.

