

**UAK**

**2018**

**U L U S A L  
A S T R O N O M İ  
K O N G R E L E R İ**

# Gezegenli Yıldızların Asterosismik İncelenmesi

Dr. Cenk KAYHAN

Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri  
İSTEK Belde Okulları Bilim Merkezi

6 Eylül 2018

# İçerik

- Gezegen Keşifleri
- Titreşim gösteren yıldızlar
- Güneş benzeri titreşim gösteren yıldızlar
- Mod Kavramı ve Mod türleri
- Sismik Nicelikler ve Referans Minimumları
- Ölçeklendirme İlişkileri
- Sismik olarak incelenen gezegenli yıldızlar
- Tez Kapsamında İncelenen Gezegenli Yıldızlar
- MESA evrim kodu ve yıldız iç yapı modelleri
- İncelenen gezegenli yıldızların gözlemsel özellikleri
- Yapılan iç yapı modelleri ve model sonuçları
- Modellerin Değerlendirilmesi
- Gezegenlerin Temel Parametrelerinin Belirlenmesi
- Sonuçlar

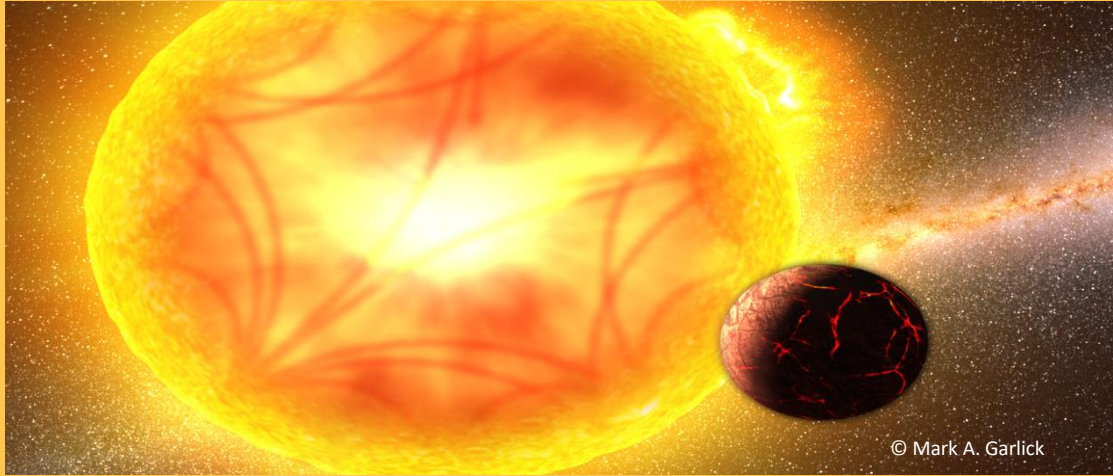
# Gezegen Keşifleri (Günümüz)

Gezegen Sayısı: 3778

Aday Sayısı: 4496

(29.08.2018)

<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>

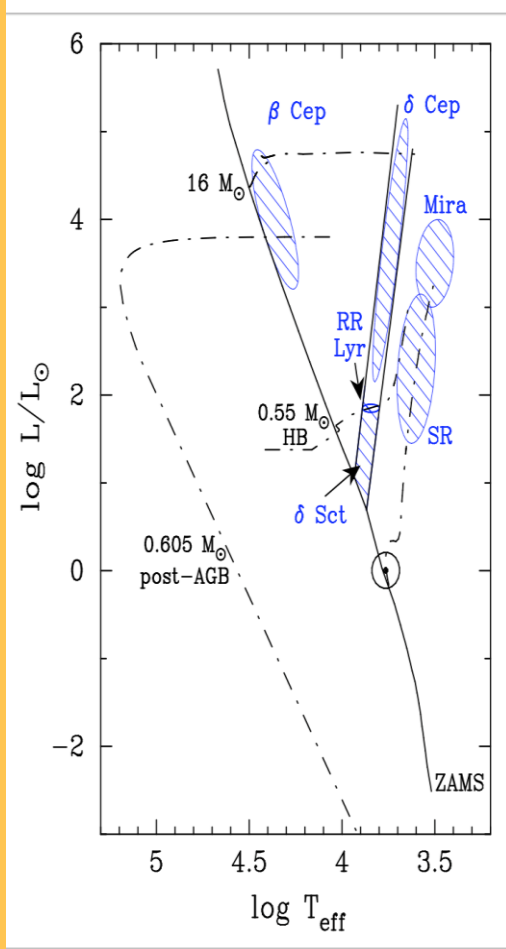


© Mark A. Garlick

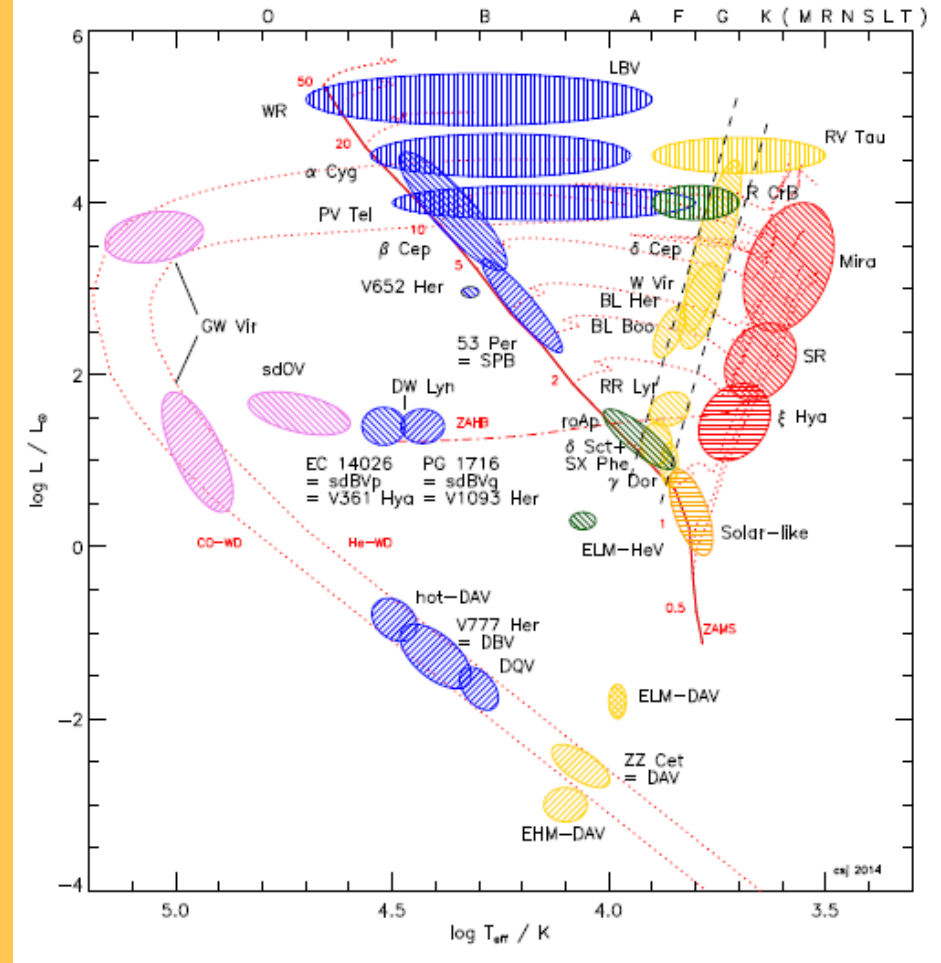


© Mark A. Garlick

# Kuramsal HR Diyagramında Titreşim Yapan yıldızlar



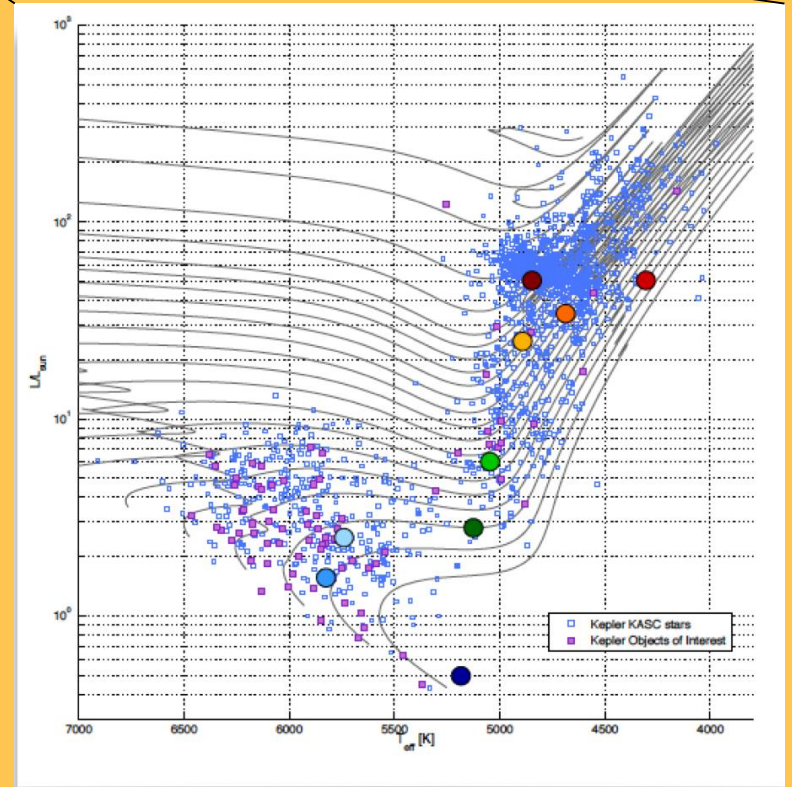
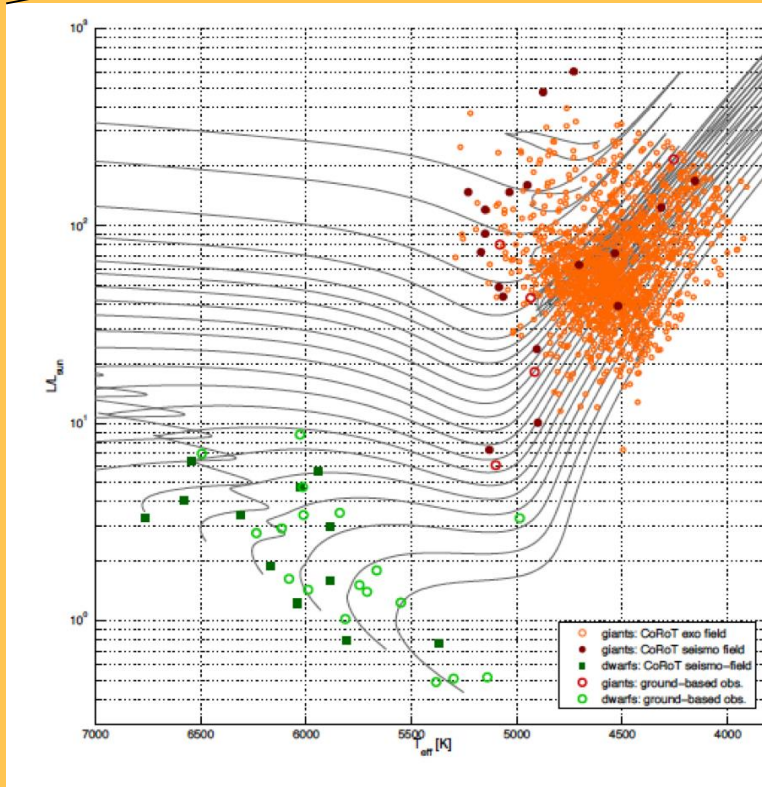
40 yıl öncesi  
Handler (2012)



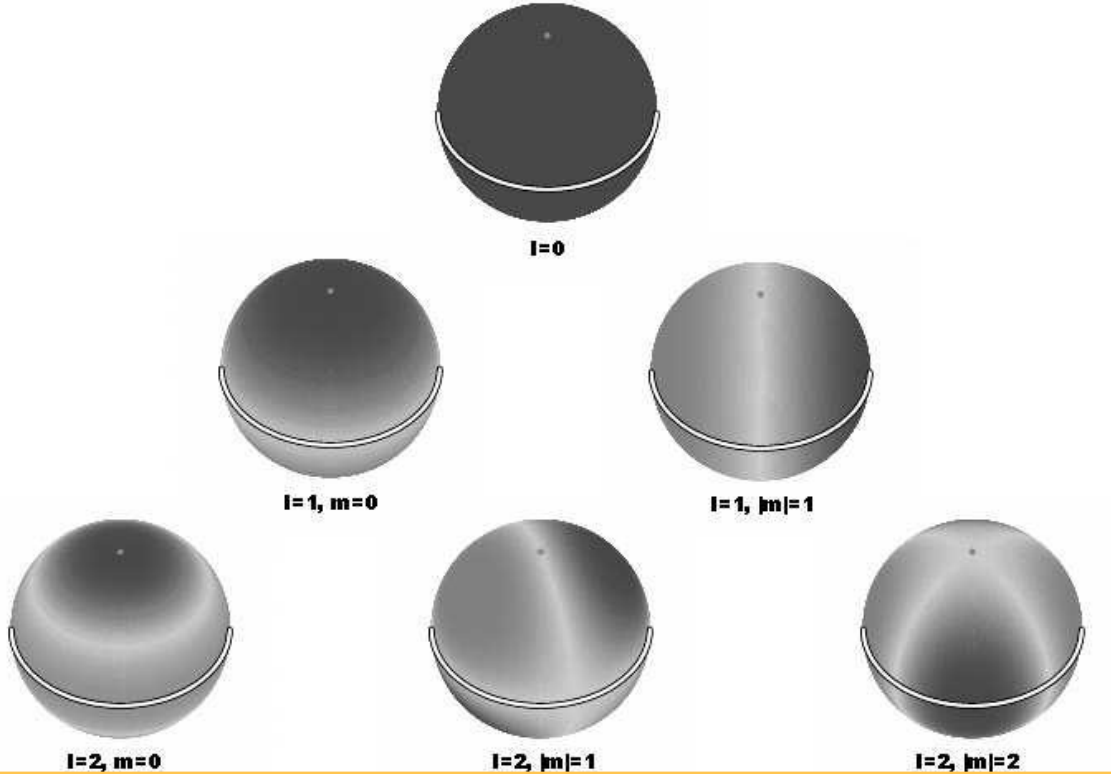
Günümüz  
Jefrey & Saio (2016)



- Uzaydan yapılan gözlemlerle birlikte keşfedilen Güneş benzeri titreşim sergileyen yıldız sayısı onbinlere ulaşmıştır.



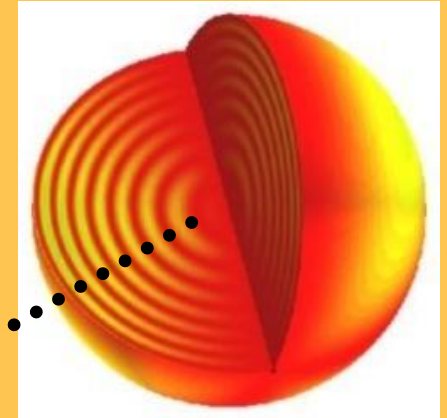
# Mod (n, l, m)



Handler (2015)

**l** = toplam dilimleme sayısı  
(yatay+dikey)

**m** = dikey dilimleme sayısı



<http://kepler.nasa.gov/>

**n** = merkezden dışarı doğru çap doğrultusundaki düğüm sayısı  
(radyal mertebe)

**UAK**

2018

$I = 25$

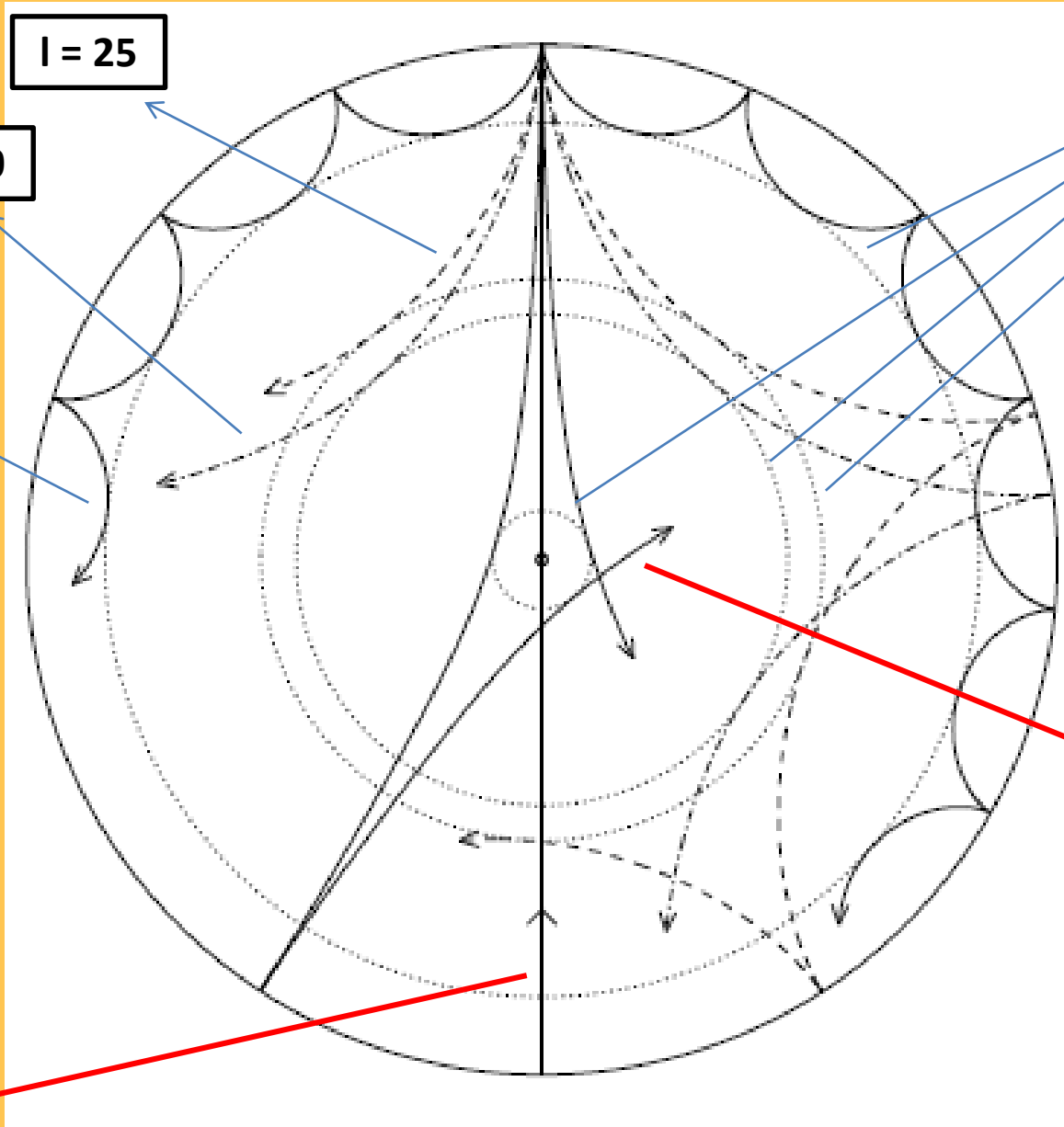
$I = 20$

$I = 75$

iç dönme noktaları

$I = 2$

$I = 0$



Christensen-Dalsgaard (2014)



# Mod Türleri

$$S_l^2 = \frac{l(l+1)c^2}{r^2}$$

Lamb frekansı

$$N^2 = g \left( \frac{1}{\Gamma_{1p}} \frac{dp}{dr} - \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dr} \right)$$

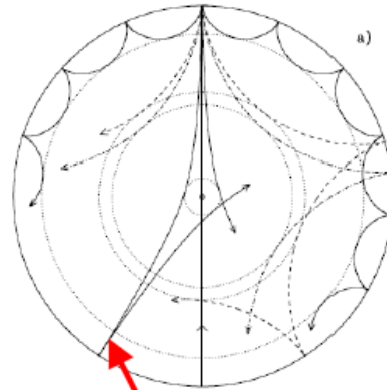
Brunt-Vaisala frekansı

$$|\omega| > |N| \quad \text{and} \quad |\omega| > S_l$$

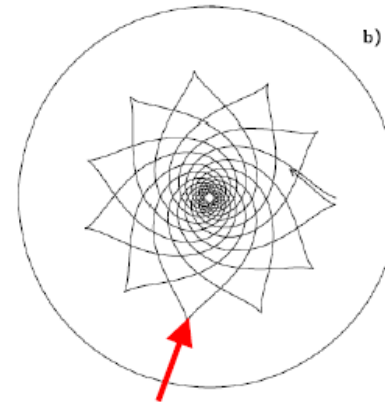
p modları – basınç

$$|\omega| < |N| \quad \text{and} \quad |\omega| < S_l$$

g modları - kütleçekim



p mode with  $l = 2$



g mode with  $l = 5$

Christensen-Dalsgaard et al. (lecture notes) and Aerts et al. (2010, "Asteroseismology")

# Sismik Nicelikler

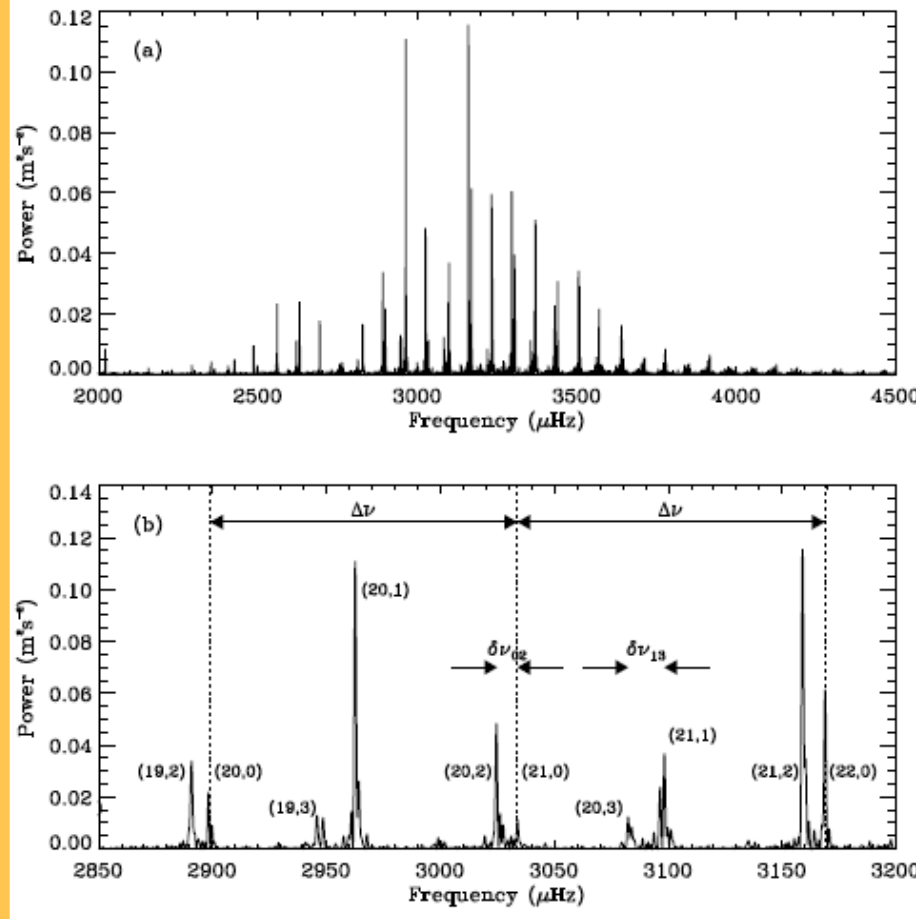
## Büyük Ayrılma

$$\Delta\nu = \nu_{n,l} - \nu_{n-1,l}$$

$$\Delta\nu_0 \simeq \left( 2 \int_0^R \frac{dr}{c_s} \right)^{-1}$$

$$\Delta\nu_0 \propto (M/R^3)^{1/2}$$

- Yıldızın yoğunluğunun karekökü ile doğru orantılıdır.



(Bedding 2011)

## Küçük Ayrılma

$$\delta\nu = \nu_{n,l} - \nu_{n-1,l+2}$$

İdeal gaz;

$$c^2 \simeq \frac{\Gamma_1 k_B T}{\mu m_u}$$

H ↓ μ ↑

t

ZAMS: ~15 μHz

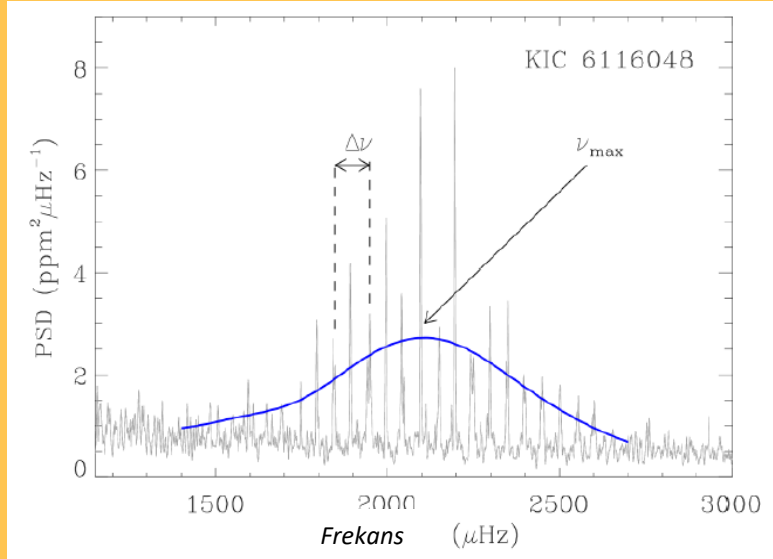
Güneş: ~10 μHz

TAMS: ~5 μHz

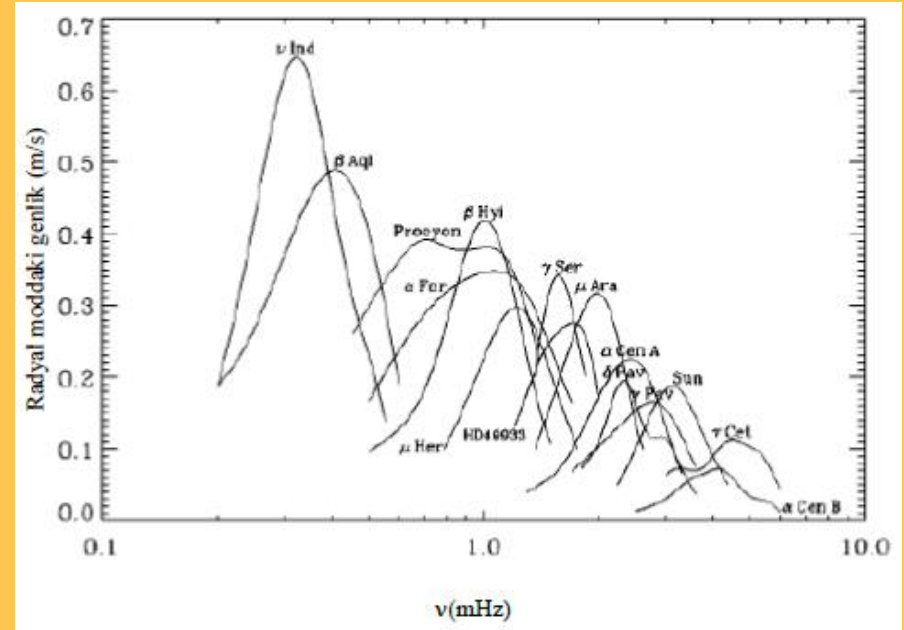
- Göreli yaşı vermektedir.

# En büyük genlikli frekans

(Arentoft et al. 2008)



(Kjeldsen 2014 – Lecture in IMPRS)



-En büyük genlikli modun frekansı kuvvet tayfına çizilen Gauss eğrisi ile saptanır.

- Kuramsal olarak en büyük genlikli frekans, akustik kesme frekansı ile ilişkilidir (Brown et al. 1991).

(Yıldız ve ark. 2016)

Sabit mi?

$$\nu_{max} \sim \nu_{ac} = \frac{g}{\sqrt{T_{eff}}}$$

$$\nu_{ac} \sim \frac{c_s}{H_p}$$

(Brown ve ark. 1991)

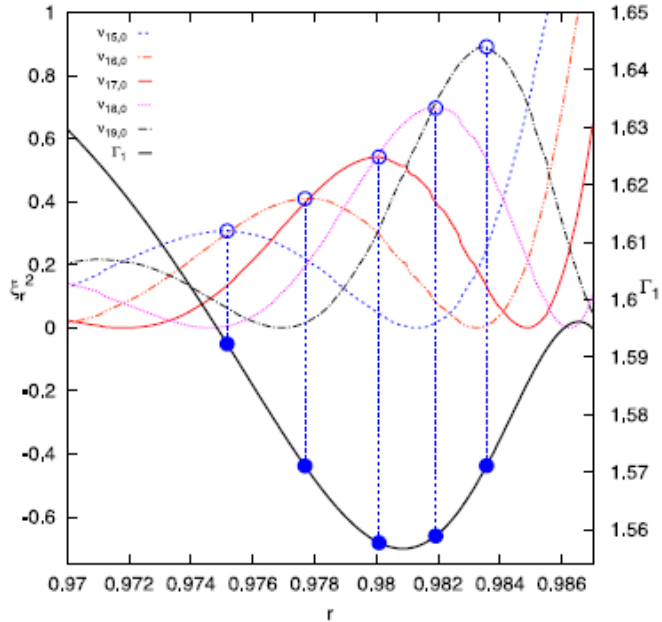
$$c^2 \simeq \frac{\Gamma_1 k_B T}{\mu n_u}$$

$$H_p^{-1} = -\frac{d \ln p}{dr}$$

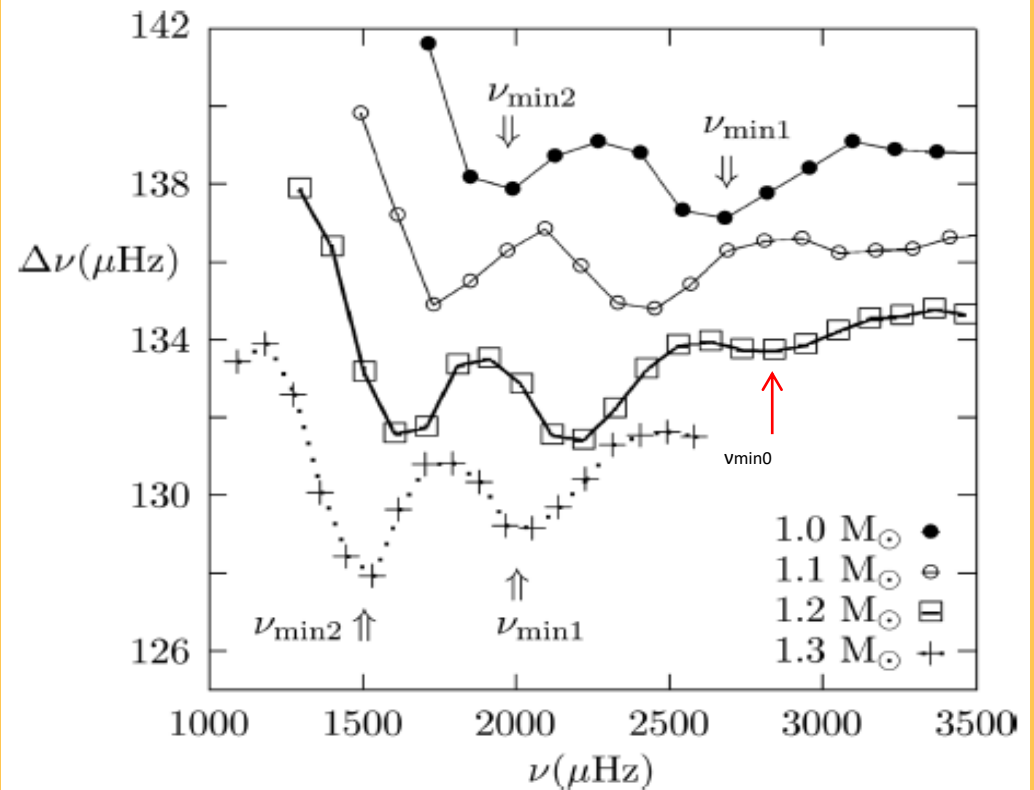
# Fundamental properties of solar-like oscillating stars from frequencies of minimum $\Delta\nu$ – I. Model computations for solar composition

M. Yıldız,<sup>★</sup> Z. Çelik Orhan, Ç. Aksoy and S. Ok

Department of Astronomy and Space Sciences, Science Faculty, Ege University, 35100, Bornova, Izmir, Turkey



**Figure 7.** Square of the radial component (equation 8) of the displacement vector is plotted against the relative radius for the eigenfrequencies of  $1.0 M_{\odot}$  model with  $X_c = 0.35$  around its  $\nu_{\min 1}$ . The amplitude  $A$  in equation (8) is arbitrarily chosen to obtain  $\xi_r^2$  about unity. Also plotted is the first adiabatic exponent  $\Gamma_1$  (thick solid line).  $\Gamma_1$  has a local minimum about  $r = 0.98$ , due to the He II ionization zone. The location of the local peak in  $\xi_r^2$  relative to the dip in  $\Gamma_1$  determines the departure of the frequencies from the asymptotic relation, with a decrease in the frequency that is larger, the closer the peak is to the minimum in  $\Gamma_1$ . While the circles show peaks of the oscillations, the filled circles represent their projections on  $\Gamma_1$ .



**Figure 3.**  $\Delta\nu$  as a function of  $\nu$  for  $1.0$ – $1.3 M_{\odot}$  models with  $X_c = 0.35$ . The degree of the modes is  $l = 0$  for all of the models.

# Ölçeklendirme İlişkileri

$$\frac{M}{M_{\odot}} \approx \left( \frac{\nu_{\max}}{\nu_{\max, \odot}} \right)^3 \left( \frac{\langle \Delta \nu \rangle}{\langle \Delta \nu_{\odot} \rangle} \right)^{-4} \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}, \odot}} \right)^{3/2},$$

$$\frac{R}{R_{\odot}} \approx \left( \frac{\nu_{\max}}{\nu_{\max, \odot}} \right) \left( \frac{\langle \Delta \nu \rangle}{\langle \Delta \nu_{\odot} \rangle} \right)^{-2} \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}, \odot}} \right)^{1/2},$$

Yarıçap: %3  
Kütle: %8  
Kjeldsen (2014)

## Gezegenli Yıldızlarda;

Huber ve ark. (2013)  
(66 Gezegenli yıldız)

Yarıçap: %3  
Kütle: %7

→ Ölçeklendirme

Silva Aguirre ve ark. (2015)  
(33 Gezegenli yıldız)

Yarıçap: %1.1  
Kütle: %3.3

→ Ölçeklendirme + Modelleme

# $\Gamma_1$ ile geliştirilen ölçeklendirme ilişkisi

- Ölçeklendirme ilişkisinde  $\Gamma_1$  sabit kabul edilmektedir.
- Ancak Yıldız ve ark. (2016) yaptığı çalışmada  $\Gamma_1$  sabit olmadığı görülmüştür.
- Bu durumun kütle ve yarıçapa etkisi;

$$\frac{M_{\text{sca}}}{M_{\odot}} = \frac{(\nu_{\text{max}}/\nu_{\text{max}\odot})^3}{(\langle\Delta\nu\rangle/\langle\Delta\nu_{\odot}\rangle)^4} \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}\odot}} \frac{\Gamma_{1\text{s}\odot}}{\Gamma_{1\text{s}}} \right)^{3/2} \frac{f_{\Delta\nu}^4}{f_{\nu}^3}$$

$$\frac{R_{\text{sca}}}{R_{\odot}} = \frac{(\nu_{\text{max}}/\nu_{\text{max}\odot})}{(\langle\Delta\nu\rangle/\langle\Delta\nu_{\odot}\rangle)^2} \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}\odot}} \frac{\Gamma_{1\text{s}\odot}}{\Gamma_{1\text{s}}} \right)^{1/2} \frac{f_{\Delta\nu}^2}{f_{\nu}}$$

(Yıldız ve ark. 2016)

- Elde edilen ilişki 90 Güneş benzeri titreşim gösteren yıldızla uygulandı.

# Gözleme Kıyaslanması

## Etkin Sıcaklık

### *Güneş*

Gözlem:  
5777 K

### Kütle

vmin0  
5742 K

vmin1  
5831 K

vmin2  
5840 K

### Yarıçap

## *Öncü (Procyon) A*

**HD 181907**

Astrometrik gözlem:

**1.478 Msun** (Bond et al. 2015)

Eski ölçeklendirme ilişkisi:

**1.63 Msun**

Girişimölçer:

**12.1 ± 0.5 Rsun** (Baines et al. 2014)

Eski ölçeklendirme ilişkisi:

**12.91 Rsun**

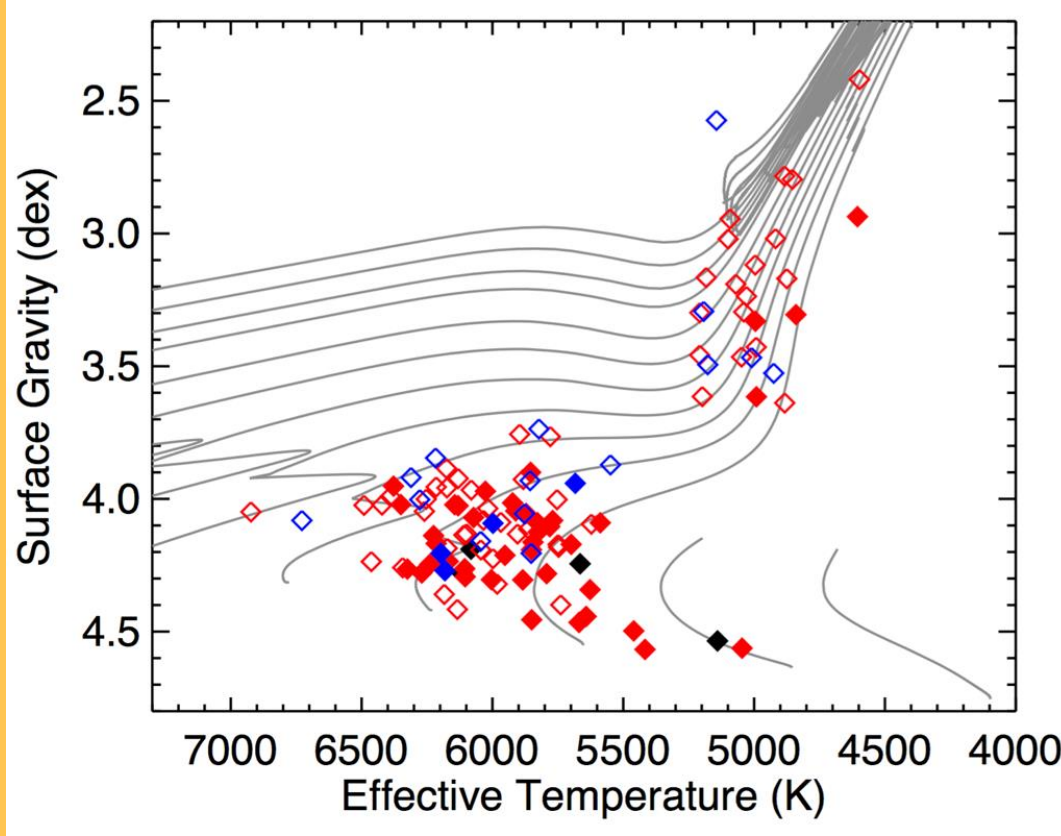
$I_1$  li ölçeklendirme ilişkisi:

**1.46 Msun**

$I_1$  li ölçeklendirme ilişkisi:

**12.42 Rsun**

# Geçmişten Günümüze Sismik Olarak İncelenen Gezegenli Yıldızlar



Huber (2015)

◆ Kepler'den önce

◆ Kepler

◆ Kepler (aday)

◆ Kepler (K2)

◆ Kepler (K2 - aday)



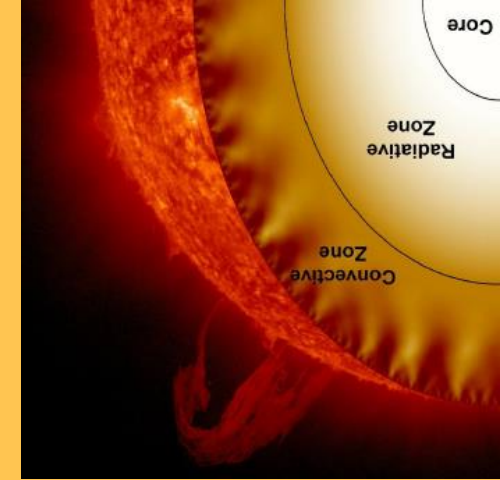
# İncelenen Gezegenli Yıldızlar

- Çalışma kapsamında 40 Güneş benzeri titreşim gösteren yıldız araştırıldı.
- Bu yıldızlardan 22'si için **MESA** evrim kodu (Paxton ve ark. 2011) ile iç yapı modelleri yapıldı.
- İç yapı modelleri yapılan yıldızların titreşim frekansları **ADIPLS** kodu (Christensen-Dalsgaard 2008) ile elde edildi.



<http://kepler.nasa.gov/>

- Ayrıntılı incelenen 22 yıldıza ait 41 gezegen ve gezegen adayı bulunmaktadır.



Girdi:  
M, X, Z,  $\alpha$

Model  $\longrightarrow$  ADIPLS

(Christensen-Dalsgaard, 2008)

## Frekans Analizi

- Büyük Ayrılma ( $\Delta\nu$ )
- Küçük Ayrılma ( $\delta\nu$ )
- En büyük genlikli modun frekans ( $\nu_{max}$ )
- Minimumlar ( $\nu_{min0,1,2}$ )

Frekanslar  
( $\nu$ )  
 $l=0,1,2$

l	n	freq.	err.
0	2	313.6629	6.03917E-05
0	3	416.0499	1.60332E-05
0	4	522.0758	4.92463E-06
0	5	627.9541	1.71340E-06
0	6	736.1368	6.44986E-07
0	7	844.0002	2.65708E-07
0	8	951.8824	1.09665E-07
0	9	1058.6928	4.59034E-08
0	10	1162.4047	2.00633E-08
0	11	1263.9871	1.00197E-08
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
1	9	1105.1997	3.12496E-08
1	10	1207.9566	1.44313E-08
1	11	1308.8740	7.76743E-09
1	12	1410.4427	4.78915E-09
1	13	1512.4232	3.10894E-09
1	14	1614.0291	2.06079E-09
1	15	1714.6876	1.47863E-09
1	16	1815.1141	1.17540E-09
1	18	2018.8398	8.81139E-10
1	19	2121.2466	7.80605E-10
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

$$\Delta\nu = \nu_{n,l} - \nu_{n-1,l} \quad \delta\nu = \nu_{n,l} - \nu_{n-1,l+2}$$

$$\nu_{max} = \frac{g}{\sqrt{T_{eff}}}$$

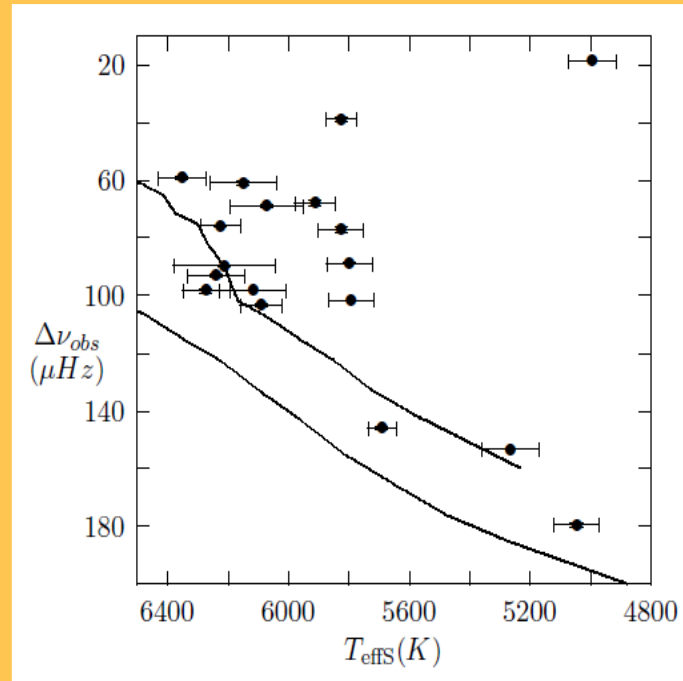
# İncelenen Gezegenli Yıldızların Gözlemsel Özellikleri

Yıldız	$T_{effs}$ (K)	$[M/H]_s$ (dex)	$logg_s$	$v_{max}$ ( $\mu$ Hz)	$\langle \Delta v \rangle$ ( $\mu$ Hz)	$\langle \delta v_{02} \rangle$ ( $\mu$ Hz)	$v_{min0}$ ( $\mu$ Hz)	$v_{min1}$ ( $\mu$ Hz)	$v_{min2}$ ( $\mu$ Hz)	Kaynak
HD 52265	6116 ± 110	0.22 ± 0.05	4.32 ± 0.20	2090.0 ± 20	98.1 ± 0.1	8.2	2338.1	1845.7	—	3,12,17
KIC 3544595	5689 ± 48	-0.15 ± 0.40	4.56 ± 0.06	3366.0 ± 81	145.8 ± 0.5	8.6	3283.2	2701.9	—	2,14,24
KIC 3632418	6148 ± 111	-0.19 ± 0.21	3.94 ± 0.21	1159.0 ± 44	60.9 ± 0.6	4.3	1422.1	1065.2	736.0	1,9,19,20
KIC 4349452	6270 ± 79	-0.04 ± 0.10	4.28 ± 0.03	2106.0 ± 50	98.3 ± 0.6	7.8	2365.2	1884.5	—	4,14,18
KIC 5866724	6211 ± 167	0.17 ± 0.06	4.23 ± 0.01	1880.0 ± 60	89.6 ± 0.5	7.6	2261.4	1698.3	—	8,14
KIC 6278762	5046 ± 74	-0.55 ± 0.07	4.60 ± 0.06	4538.0 ± 144	179.6 ± 0.8	9.5	4220.8	3411.7	—	6,10
KIC 6521045	5825 ± 75	0.02 ± 0.10	4.13 ± 0.03	1502.0 ± 31	77.0 ± 1.1	5.3	1643.2	1259.1	—	10,18
KIC 7199397	5824 ± 50	-0.22 ± 0.08	3.70 ± 0.10	644.0 ± 8	38.9 ± 0.8	—	747.0	552.8	—	10
KIC 7296438	5798 ± 75	0.30 ± 0.10	4.15 ± 0.15	1848.0 ± 16	88.7 ± 0.1	5.3	1983.2	1540.8	—	11,13
KIC 8077137	6072 ± 121	-0.09 ± 0.15	4.07 ± 0.03	1324.0 ± 39	68.8 ± 0.6	5.6	1494.3	1140.0	—	10,15
KIC 8292840	6239 ± 94	-0.14 ± 0.10	4.25 ± 0.04	1983.0 ± 37	92.9 ± 0.4	7.8	2245.6	1730.6	—	10,23
KIC 8866102	6325 ± 75	0.01 ± 0.10	—	2014.0 ± 32	94.5 ± 0.6	8.0	2420.8	1801.7	1342.0	10,25
KIC 9414417	6253 ± 75	-0.13 ± 0.10	—	1115.0 ± 32	60.1 ± 0.3	4.5	1059.6	730.2	—	10
KIC 9592705	6174 ± 92	0.22 ± 0.10	—	1008.0 ± 21	53.5 ± 0.3	4.9	1265.4	971.0	728.3	10
KIC 9955598	5264 ± 95	0.08 ± 0.10	4.29 ± 0.12	3546.0 ± 119	153.2 ± 0.1	9.0	3606.2	2842.8	—	1,14,19
KIC 10514430	5784 ± 98	-0.11 ± 0.11	—	1303.0 ± 30	70.0 ± 1.0	5.9	1388.2	1006.9	—	10
KIC 10666592	6350 ± 80	0.26 ± 0.08	4.07 ± 0.08	1115.0 ± 110	59.2 ± 0.6	4.5	1569.2	1182.2	796.5	10,21
KIC 10864656	4995 ± 78	-0.07 ± 0.10	3.35 ± 0.01	259.5 ± 4	18.6 ± 0.1	2.2	—	267.8	—	22
KIC 10963065	6090 ± 70	-0.25 ± 0.06	4.31 ± 0.08	2184.0 ± 62	103.2 ± 0.6	7.1	2338.8	1817.5	—	1,5,9,19
KIC 11295426	5793 ± 74	0.12 ± 0.07	4.28 ± 0.06	2154.0 ± 13	101.6 ± 0.1	5.6	2212.0	1767.4	—	14,16,24
KIC 11401755	5911 ± 66	-0.20 ± 0.06	4.05 ± 0.01	1250.0 ± 44	67.9 ± 1.2	5.2	1371.0	1100.9	—	7,10
KIC 11807274	6225 ± 66	0.06 ± 0.08	4.13 ± 0.01	1496.0 ± 56	75.7 ± 0.3	8.1	1680.9	1334.7	928.6	8,14

**Kaynaklar** 1: Appourchaux et al. (2012), 2: Ballard et al. (2014), 3: Ballot et al. (2011), 4: Benomar et al. (2014), 5: Bruntt et al. (2012), 6: Campante et al. (2015), 7: Carter et al. (2012), 8: Chaplin et al. (2013), 9: Chaplin et al. (2014), 10: Davies et al. (2016), 11: Deheuvels et al. (2016), 12: Escobar et al. (2012), 13: Everett et al. (2013), 14: Huber et al. (2013), 15: Huber et al. (2014), 16: Gilliland et al. (2013), 17: Lebreton & Goupil (2014), 18: Marcy et al. (2014), 19: Metcalfe et al. (2014), 20: Molenda-Żakowicz et al. (2013), 21: Pál et al. (2008), 22: Quinn et al. (2015), 23: Rowe et al. (2014), 24: Santos et al. (2013), 25: Van Eylen et al. (2014)

# İncelenen Gezegenli Yıldızlara Genel Bir Bakış

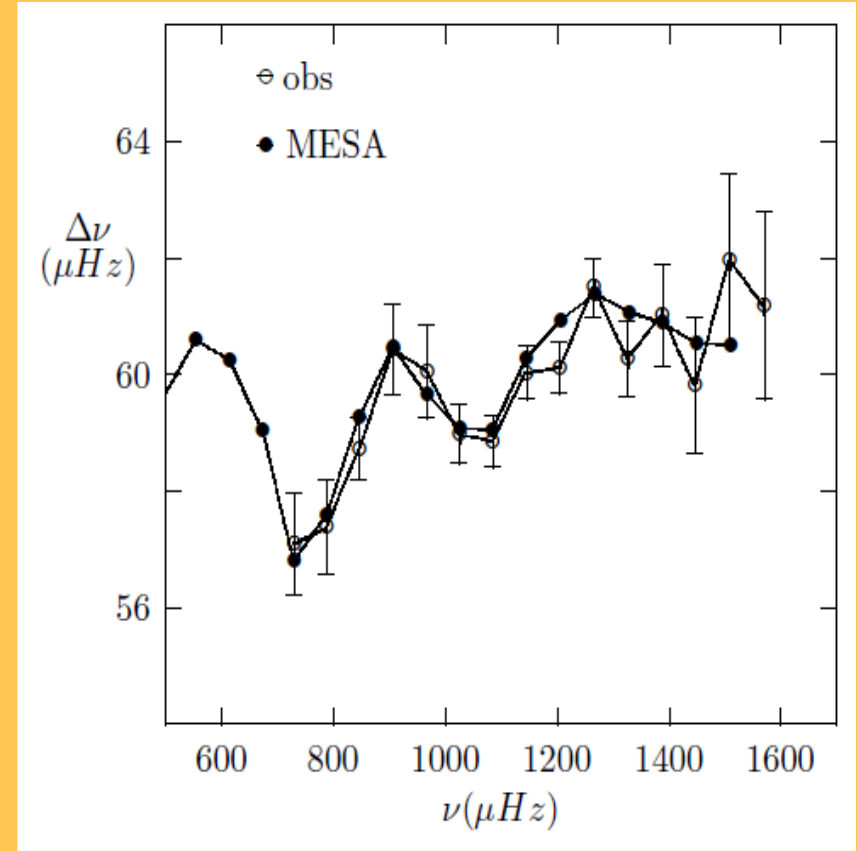
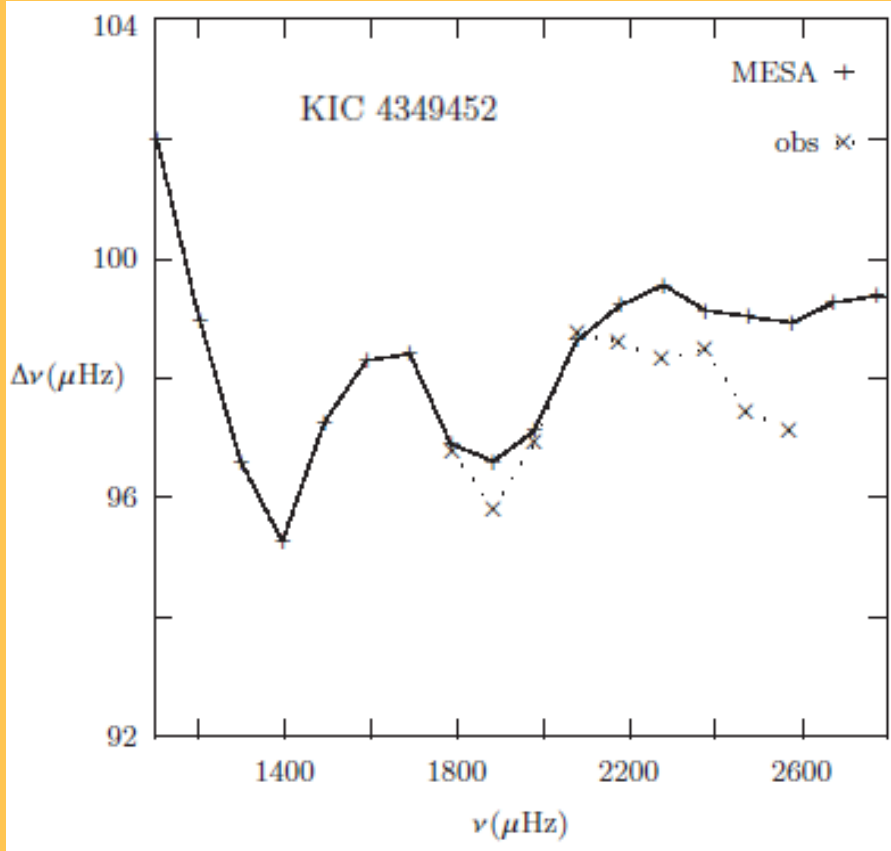
- İncelenen yıldızların titreşim frekansları literatürden alındı.
- İncelenen yıldızlardan 10'u anakolda yer almaktadır. Geriye kalan 12 yıldız ise anakol sonrasındır.
- Yıldızların etkin sıcaklık aralığı 4900 ile 6400 K arasındadır.
- Yalnızca 5 yıldızda, üç referans minimumu da birarada gözlemlendi.



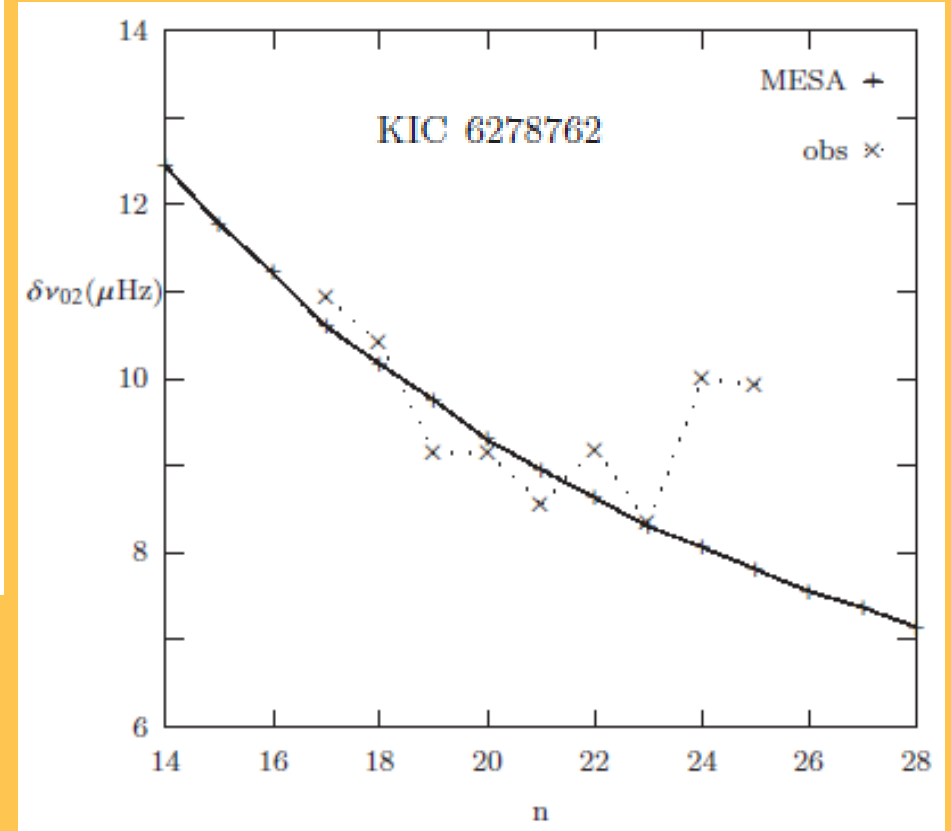
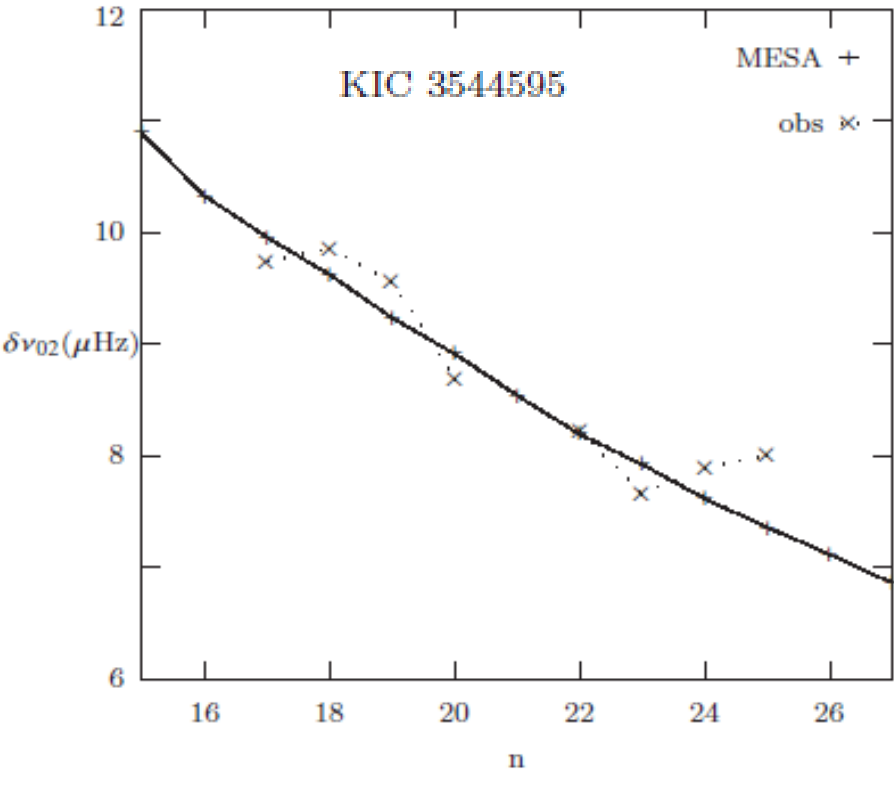
# Model

- Modellerin başlangıç değerleri literatürden alındı. Ayrıca bazı yıldızlar için kütle, ölçeklendirme ilişkisi kullanılarak hesaplandı.
- MESA iç yapı modelleri ile hesaplanan titreşim frekansları gözlem değerlerine fit edildi. Buradan büyük ve küçük ayrılma parametreleri hesaplanarak gözlem ile kıyaslandı.
- Modellerde etkin sıcaklığın fit edilmesine öncelik verildi. Tayftan elde edilen etkin sıcaklığının hatası yüksek olanların değerleri Lejeune et al. (1998) yöntemi ile elde edildi.
- Modellerden elde edilen titreşim frekansları  $\Delta v-v$  ve  $\delta v_{02}-v$  grafiklerinde gözlem ile kıyaslandı.

# Büyük Ayrılma-Frekans Grafiği (örnek yıldızlar)



# Küçük Ayrılma Grafiği (örnek yıldızlar)



## Modeller (Sismik olmayan)

<i>Yıldız</i>	$M_{mod}$ ( $M_{\odot}$ )	$Y_{surfmod}$	$Z_{0mod}$	$t_{mod}$ (Gyr)	$T_{eff,mod}$ (K)	$L_{mod}$ ( $L_{\odot}$ )	$R_{mod}$ ( $R_{\odot}$ )	$logg_{mod}$
HD 52265	1.23 ± 0.02	0.2739	0.0225	3.14	6144	2.24	1.32 ± 0.02	4.29
KIC 3544595	0.90 ± 0.08	0.2578	0.0145	6.31	5658	0.77	0.92 ± 0.02	4.47
KIC 3632418	1.27 ± 0.18	0.2830	0.0180	3.97	6208	4.55	1.85 ± 0.06	4.01
KIC 4349452	1.20 ± 0.15	0.2792	0.0172	2.70	6270	2.39	1.31 ± 0.06	4.28
KIC 5866724	1.27 ± 0.07	0.2145	0.0224	2.90	6155	2.61	1.42 ± 0.03	4.24
KIC 6278762	0.74 ± 0.14	0.2442	0.0121	11.66	5072	0.33	0.75 ± 0.04	4.56
KIC 6521045	1.10 ± 0.06	0.2248	0.0192	7.31	5856	2.41	1.51 ± 0.02	4.12
KIC 7199397	1.24 ± 0.13	0.2860	0.0104	3.74	5890	6.70	2.49 ± 0.03	3.74
KIC 7296438	1.13 ± 0.10	0.2196	0.0172	4.94	6036	2.26	1.38 ± 0.04	4.21
KIC 8077137	1.18 ± 0.08	0.2794	0.0170	5.23	6099	3.43	1.66 ± 0.02	4.07
KIC 8292840	1.12 ± 0.25	0.2894	0.0120	3.48	6328	2.54	1.33 ± 0.08	4.24
KIC 8866102	1.25 ± 0.12	0.2778	0.0186	2.32	6320	2.66	1.36 ± 0.04	4.27
KIC 9414417	1.27 ± 0.13	0.2799	0.0165	3.89	6236	4.72	1.86 ± 0.04	4.00
KIC 9592705	1.45 ± 0.09	0.2699	0.0265	3.30	6187	5.80	2.10 ± 0.02	3.96
KIC 9955598	0.89 ± 0.07	0.2368	0.0166	8.22	5412	0.60	0.88 ± 0.02	4.50
KIC 10514430	1.07 ± 0.05	0.2271	0.0159	7.53	5846	2.66	1.59 ± 0.02	4.06
KIC 10666592	1.55 ± 0.01	0.2814	0.0250	1.91	6381	5.92	1.99 ± 0.01	4.03
KIC 10864656	1.65 ± 0.14	0.3036	0.0250	2.75	5019	12.16	4.62 ± 0.08	3.33
KIC 10963065	1.10 ± 0.07	0.2214	0.0140	4.00	6090	1.88	1.23 ± 0.03	4.30
KIC 11295426	1.10 ± 0.02	0.2303	0.0236	6.81	5807	1.60	1.25 ± 0.01	4.28
KIC 11401755	1.10 ± 0.05	0.2085	0.0135	5.93	5998	3.12	1.64 ± 0.02	4.05
KIC 11807274	1.29 ± 0.07	0.2767	0.0197	3.52	6154	3.31	1.60 ± 0.02	4.14



# Model Sonuçları

- *Kütle aralığı*  $0.74 M_{\text{gun}} \leq M_y \leq 1.65 M_{\text{gun}}$ . İncelenen yıldızlardan en düşük kütleli KIC 6278762 yıldızı ( $0.74 M_{\text{gun}}$ ), en büyük kütleli ise KIC 10864656 ( $1.65 M_{\text{gun}}$ ) yıldızıdır.
- KIC 6278762 yıldızı aynı zamanda listede bulunan en küçük yarıçaplı ( $0.75 R_{\text{gun}}$ ) ve en yaşlı ( $11.66 \text{ Gy}$ ) yıldızdır. En genç yıldız ise KIC 10666592 olup  $1.91 \text{ Gy}$  yaşındadır.
- Model etkin sıcaklığı:  $5000 \text{ K} < T_{\text{eff,mod}} < 6400 \text{ K}$  aralığındadır. En sıcak yıldız KIC 10666592, en soğuk yıldız ise KIC 6278762'dir.
- Başlangıç metal bollukları  $0.01 < Z_{0,\text{mod}} < 0.0265$  aralığında değişmektedir.

# Modeller (Sismik)

<i>Yıldız</i>	$\langle \delta v_{02,mod} \rangle$ ( $\mu\text{Hz}$ )	$\langle \Delta v_{mod} \rangle$ ( $\mu\text{Hz}$ )	$v_{max,mod}$ ( $\mu\text{Hz}$ )	$v_{min0,mod}$ ( $\mu\text{Hz}$ )	$v_{min1,mod}$ ( $\mu\text{Hz}$ )	$v_{min2,mod}$ ( $\mu\text{Hz}$ )
HD 52265	7.5	98.8	2087.8	2398.0	1857.1	1340.9
KIC 3544595	8.8	146.5	3305.8	3286.7	2702.4	2034.0
KIC 3632418	4.5	60.9	1096.5	1473.3	1065.5	762.4
KIC 4349452	7.9	98.4	2040.9	2488.8	1884.5	1397.0
KIC 5866724	6.5	89.8	1855.8	2174.3	1633.6	1223.3
KIC 6278762	8.5	180.6	4305.2	4221.5	3324.0	2606.5
KIC 6521045	5.0	77.4	1461.5	1647.1	1259.7	894.3
KIC 7199397	3.4	39.0	604.6	748.0	552.2	400.2
KIC 7296438	5.8	89.3	1778.2	1987.9	1540.5	1118.3
KIC 8077137	4.9	69.4	1271.1	1594.6	1148.3	847.3
KIC 8292840	6.9	93.1	1856.3	2344.6	1742.8	1274.7
KIC 8866102	7.6	94.5	1964.9	2521.7	1830.8	1342.0
KIC 9414417	4.6	59.8	1074.2	1066.3	742.5	433.5
KIC 9592705	4.2	54.0	970.0	1298.6	963.7	670.4
KIC 9955598	8.1	154.1	3621.6	3609.3	2842.4	2228.4
KIC 10514430	5.2	70.4	1278.4	1385.5	1077.4	800.4
KIC 10666592	4.4	59.2	1132.5	1602.6	1183.6	829.3
KIC 10864656	—	17.4	253.2	—	273.9	—
KIC 10963065	7.4	103.4	2145.9	2394.4	1859.2	1376.9
KIC 11295426	5.2	101.8	2130.6	2238.6	1769.2	1364.8
KIC 11401755	5.0	68.0	1228.7	1371.9	1081.6	796.8
KIC 11807274	5.5	75.9	1483.5	1836.4	1336.7	1002.5

# Model Sonuçları

- KIC 6278762, KIC 9414417 ve KIC 10963065 yıldızlarının  $v_{\text{göz}}-\Delta v_{\text{göz}}$  grafiklerinde  $v_{\text{min}0}$ 'dan daha yüksek frekanslı bölgede başka minimumlar saptandı. Ancak KIC 6278762 ve KIC 10963065 yıldızlarının MESA iç yapı modellerinde bu minimumlar görülmedi. KIC 9414417 yıldızının MESA iç yapı modelinde ise bu minimuma ait belirteç görüldü.
- $v_{\text{min}-1}$  olarak adlandırılan minimumun referans minimumlarından biri olup olmadığı ve güneş benzeri titreşim yapan yıldızların temel parametrelerine etkisi için daha fazla araştırmanın yapılması gerekiyor.

# Modellerin Değerlendirilmesi

## NORMALİZE $\chi^2$ YÖNTEMİ

- Model ve gözlem arasındaki uyumu deęerlendirmeye yarar (Silva Aguirre ve ark. 2015).
- Bu çalışma kapsamında hem tayfsal hem de sismik açıdan ayrı bir değerlendirme yapıldı.

## Tayf Verilerine $\chi^2$ Yönteminin Uygulanması

$$\chi_{\text{tayf}}^2 = \chi_{\text{Teff}}^2 + \chi_{\text{logg}}^2$$

$$\chi_{\text{Teff}}^2 = \left( \frac{T_{\text{effgöz}} - T_{\text{effMESA}}}{\sigma_{\text{Teff}}} \right)^2$$

Yıldız	$T_{\text{effgöz}}$	$\sigma_{T_{\text{effgöz}}}$	$\log g_{\text{göz}}$	$\sigma_{\log g_{\text{göz}}}$	$T_{\text{effMESA}}$	$\log g_{\text{MESA}}$	$\chi^2_{\text{tayf}}$
HD 52265	6116	110	4.32	0.20	6144	4.29	0.1
KIC 3544595	5689	48	4.56	0.06	5658	4.47	2.7
KIC 3632418	6148	111	3.94	0.21	6208	4.01	0.4
KIC 4349452	6270	79	4.28	0.03	6270	4.28	0.0
KIC 5866724	6211	167	4.23	0.01	6155	4.24	1.1
KIC 6278762	5046	74	4.60	0.06	5072	4.56	0.6
KIC 6521045	5825	75	4.13	0.03	5856	4.12	0.3
KIC 7199397	5824	50	3.70	0.10	5890	3.74	1.9
KIC 7296438	5798	75	4.15	0.15	6036	4.21	10.2
KIC 8077137	6072	121	4.07	0.03	6099	4.07	0.1
KIC 8292840	6239	94	4.25	0.04	6328	4.24	1.0
KIC 8866102	6325	75	—	—	6320	4.27	0.0
KIC 9414417	6253	75	—	—	6236	4.00	0.1
KIC 9592705	6174	92	—	—	6187	3.96	0.0
KIC 9955598	5264	95	4.29	0.12	5412	4.50	5.5
KIC 10514430	5784	98	—	—	5846	4.06	0.4
KIC 10666592	6350	80	4.07	0.08	6381	4.03	0.4
KIC 10864656	4995	78	3.35	0.01	5019	3.33	4.1
KIC 10963065	6090	70	4.31	0.08	6090	4.30	0.0
KIC 11295426	5793	74	4.28	0.06	5807	4.28	0.0
KIC 11401755	5911	66	4.05	0.01	5998	4.05	1.7
KIC 11807274	6225	66	4.13	0.01	6154	4.14	2.2

14 yıldız için elde edilen sonuçlar çok iyidir ( $\chi^2 < 1$ ).

#### Model ve gözlem arasındaki uyumsuzlukların kaynakları:

- Tayfsal verilerin elde edilme yöntemleri arasındaki farklılıklar
- Tayfsal ve sismik logg arasındaki fark

# Modellerin Değerlendirilmesi

## NORMALİZE $\chi^2$ YÖNTEMİ

- Model ve gözlem arasındaki uyumu deęerlendirmeye yarar.
- Bu çalışma kapsamında hem tayfsal hem de sismik açıdan ayrı bir değerlendirme yapıldı.

## Titreşim Frekanslarına $\chi^2$ Yönteminin Uygulanması

$$\chi_{sis}^2 = \frac{1}{N_{frek}} \sum_{i=1}^{N_{frek}} \left( \frac{v_{göz,i} - v_{MESA,i}}{\sigma_{göz,i}} \right)^2$$

## Model ve gözlem arasındaki uyumsuzlukların kaynakları:

Yıldız	$\chi_{l=0}^2$	$\chi_{l=1}^2$	$\chi_{l=2}^2$
HD 52265	0.45	0.54	0.34
KIC 3544595	0.24	0.36	0.35
KIC 3632418	0.43	0.54	0.33
KIC 4349452	0.19	0.31	0.41
KIC 5866724	0.26	0.26	0.63
KIC 6278762	0.39	0.21	0.27
KIC 6521045	0.24	0.27	0.46
KIC 7199397	0.35	—	—
KIC 7296438	0.40	0.44	0.33
KIC 8077137	0.29	0.16	0.69
KIC 8292840	0.36	0.31	0.80
KIC 8866102	0.29	0.27	0.35
KIC 9414417	0.22	0.57	0.25
KIC 9592705	0.33	0.15	0.22
KIC 9955598	0.27	0.27	0.33
KIC 10514430	0.25	0.24	0.49
KIC 10666592	0.24	0.38	0.43
KIC 10864656	0.28	0.44	0.77
KIC 10963065	0.36	0.36	0.38
KIC 11295426	0.25	0.27	0.26
KIC 11401755	0.26	0.41	0.49
KIC 11807274	0.27	0.31	0.50

- Karma mod gösteren yıldızlar;

KIC 7199397 karma mod gösterdiği için  $l = 1$  dereceli frekanslardaki düzensizlikten dolayı hesaplanamadı.

- Gözlemsel veri sayısına göre farklılık;

KIC 7199397 yıldızının  $l = 2$  dereceli frekans veri sayısının azlığından dolayı hesaplanamadı.

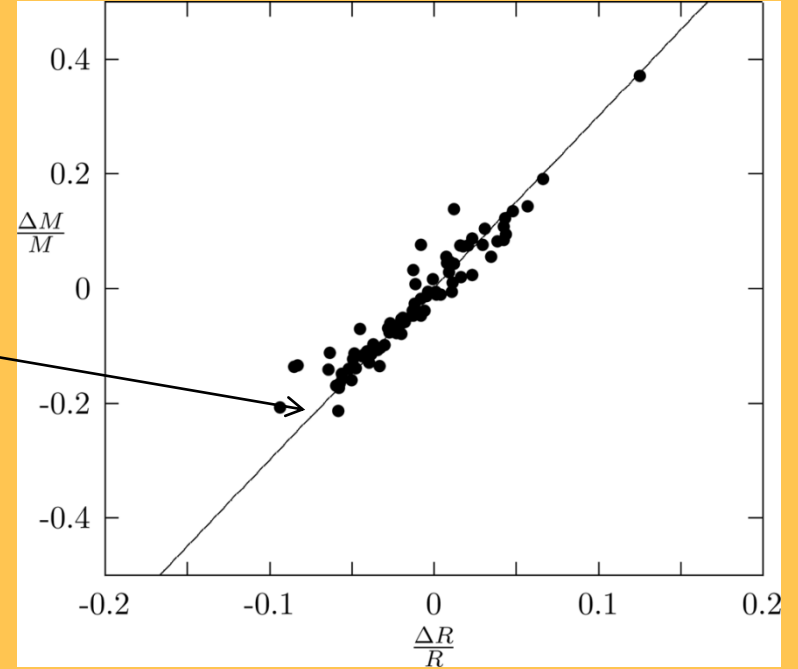
- Titreşim frekans derecesine göre farklılık

- Yüzey etkileri

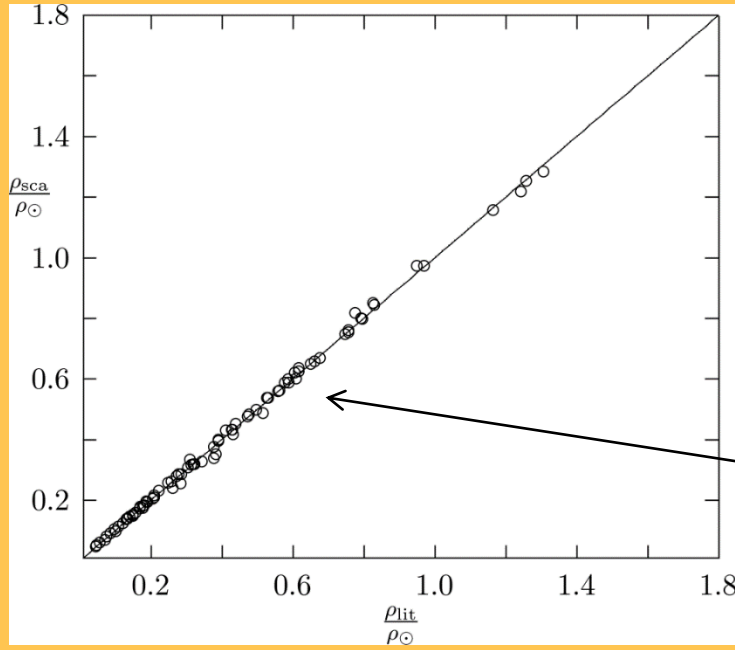
# Ölçeklendirme ilişkisi – Yıldız Modelleri

Ölçeklendirme ilişkisinden elde edilen kütle ve yarıçap modellerle kıyaslandığında;

$$\Delta M/M = 3\Delta R/R.$$



(Yıldız ve ark. 2016)



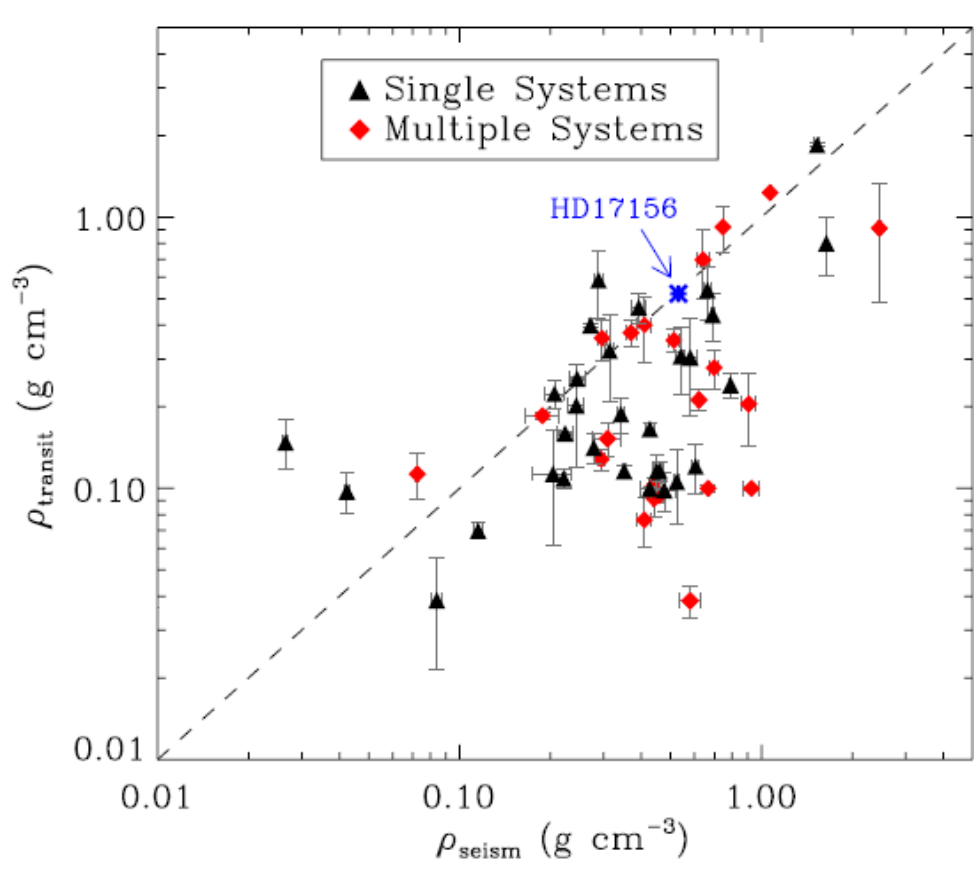
(Yıldız ve ark. 2016)

Yıldız iç yapı modellerinde titreşim frekansları gözlemle karşılaştırılırken yoğunluk parametresi fit edilmektedir.



# Gezegen ve Gezegen Adaylarının Temel Parametre Hesabı

- Yıldızların yoğunlukları asterosismik yöntemle ile yüksek duyarlılıkla belirlenir.
- İncelenen gezegenler geçiş ve dikine hız yöntemleri ile keşfedilmiştir.



(Huber ve ark. 2013)

## Geçiş gözlemleri

$$\langle \rho_{\star} \rangle \approx \frac{3\pi}{GP^2} \left( \frac{a}{R_{\star}} \right)^3$$

(Seager & Mallen-Ornelas 2003)

## Dikine hız gözlemleri

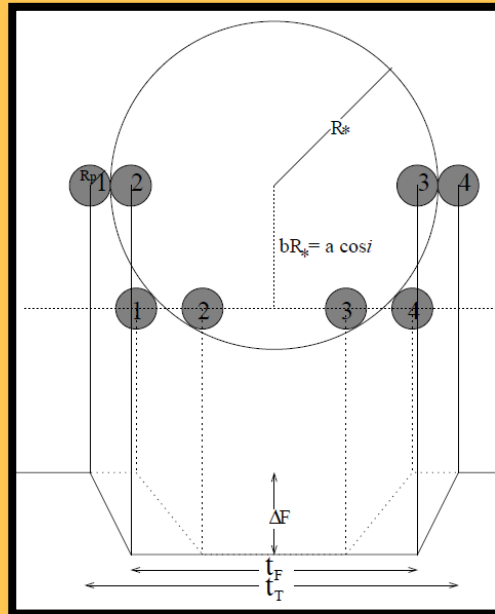
$$M_p \sin i = M_{\text{star}}^{2/3} K (1 - e^2)^{1/2} (P/2\pi G)^{1/3}$$

(Lebreton & Goupil 2014)

# Geçiş (Transit) Yöntemi

- İncelenen 22 yıldızdan 16 tanesinde geçiş yöntemiyle 31 gezegen keşfedilmiştir.
- Bu gezegenlerin yarıçapı ( $R_p$ ) ve yörünge temel parametrelerinden yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a$ ) ve yörünge eğikliği ( $i$ ) güncellendi.

(Seager & Mallen-Ornelas 2003)



$$a = \left( \frac{P^2 GM_*}{4\pi^2} \right)^{1/3}$$

$$i = \cos^{-1} \left( b \frac{R_*}{a} \right)$$

$$\Delta F \equiv \frac{F_{\text{no transit}} - F_{\text{transit}}}{F_{\text{no transit}}} = \left( \frac{R_p}{R_*} \right)^2$$

# Geçiş Yöntemi ile Keşfedilen Gezegenlerin Güncellenen Parametreleri

Gezegen	$P$ (d)	$R_{\text{plit}}$ ( $R_{\oplus}$ )	$R_p$ ( $R_{\oplus}$ )	$a$ (AU)	$i$ ( $^{\circ}$ )
Kepler-2b	2.204735 ± 0.000000	16.39 ± 0.15	16.42 ± 0.08	0.04 ± 0.01	90.00
Kepler-21b	2.785822 ± 0.000004	1.59 ± 0.01	1.58 ± 0.05	0.04 ± 0.01	84.95
Kepler-25b	12.720374 ± 0.000002	4.51 ± 0.08	4.52 ± 0.20	0.11 ± 0.01	89.66
Kepler-25c	6.238535 ± 0.000002	2.64 ± 0.04	2.64 ± 0.12	0.07 ± 0.01	89.95
Kepler-36b	16.231920 ± 0.000014	3.94 ± 0.05	3.97 ± 0.04	0.13 ± 0.01	87.61
Kepler-36c	13.849843 ± 0.000059	1.48 ± 0.02	1.49 ± 0.05	0.12 ± 0.01	89.18
Kepler-50b	7.812858 ± 0.000020	1.54 ± 0.03	1.56 ± 0.02	0.08 ± 0.01	88.27
Kepler-50c	9.376643 ± 0.000019	1.82 ± 0.03	1.84 ± 0.28	0.10 ± 0.01	87.34
Kepler-65b	5.859939 ± 0.000003	2.55 ± 0.04	2.55 ± 0.05	0.07 ± 0.01	89.84
Kepler-65c	2.154909 ± 0.000002	1.50 ± 0.03	1.50 ± 0.09	0.04 ± 0.01	83.02
Kepler-65d	8.131225 ± 0.000014	1.76 ± 0.03	1.76 ± 0.04	0.09 ± 0.01	86.15
Kepler-68b	5.398754 ± 0.000002	2.29 ± 0.03	2.31 ± 0.01	0.06 ± 0.01	89.89
Kepler-68c	9.605039 ± 0.000032	0.92 ± 0.01	0.93 ± 0.03	0.09 ± 0.01	89.74
Kepler-93b	4.726740 ± 0.000002	1.59 ± 0.04	1.59 ± 0.03	0.05 ± 0.01	86.88
Kepler-100b	12.815884 ± 0.000018	2.28 ± 0.06	2.32 ± 0.03	0.11 ± 0.01	87.85
Kepler-100c	6.887060 ± 0.000020	1.31 ± 0.03	1.33 ± 0.22	0.07 ± 0.01	87.19
Kepler-100d	35.333087 ± 0.000216	1.50 ± 0.03	1.52 ± 0.38	0.22 ± 0.01	88.91
Kepler-126b	10.495678 ± 0.000017	1.54 ± 0.02	1.50 ± 0.09	0.10 ± 0.01	87.50
Kepler-126c	100.282869 ± 0.000174	2.47 ± 0.04	2.41 ± 0.14	0.44 ± 0.06	89.98
Kepler-126d	21.869676 ± 0.000054	1.56 ± 0.03	1.53 ± 0.06	0.16 ± 0.02	88.40
Kepler-128b	15.089602 ± 0.000044	1.43 ± 0.03	1.43 ± 0.05	0.13 ± 0.01	89.93
Kepler-128c	22.802981 ± 0.000108	1.42 ± 0.03	1.42 ± 0.26	0.17 ± 0.01	88.30
Kepler-408b	2.465026 ± 0.000005	0.70 ± 0.01	0.70 ± 0.01	0.04 ± 0.01	85.89
Kepler-409b	68.958608 ± 0.000214	0.98 ± 0.02	0.98 ± 0.03	0.32 ± 0.01	89.90
Kepler-410Ab	17.833682 ± 0.000012	2.47 ± 0.04	2.48 ± 0.07	0.14 ± 0.01	90.00
Kepler-432b	52.501077 ± 0.000142	12.39 ± 0.36	13.76 ± 0.21	0.32 ± 0.02	89.77
Kepler-444b	3.600106 ± 0.000008	0.31 ± 0.03	0.39 ± 0.02	0.04 ± 0.01	88.27
Kepler-444c	4.545878 ± 0.000007	0.39 ± 0.04	0.50 ± 0.02	0.05 ± 0.01	88.60
Kepler-444d	6.189406 ± 0.000013	0.40 ± 0.04	0.51 ± 0.02	0.06 ± 0.01	89.13
Kepler-444e	7.743476 ± 0.000017	0.42 ± 0.04	0.53 ± 0.03	0.07 ± 0.01	88.99
Kepler-444f	9.740484 ± 0.000014	0.51 ± 0.05	0.64 ± 0.03	0.08 ± 0.01	89.75

(Rowe et al. 2015)

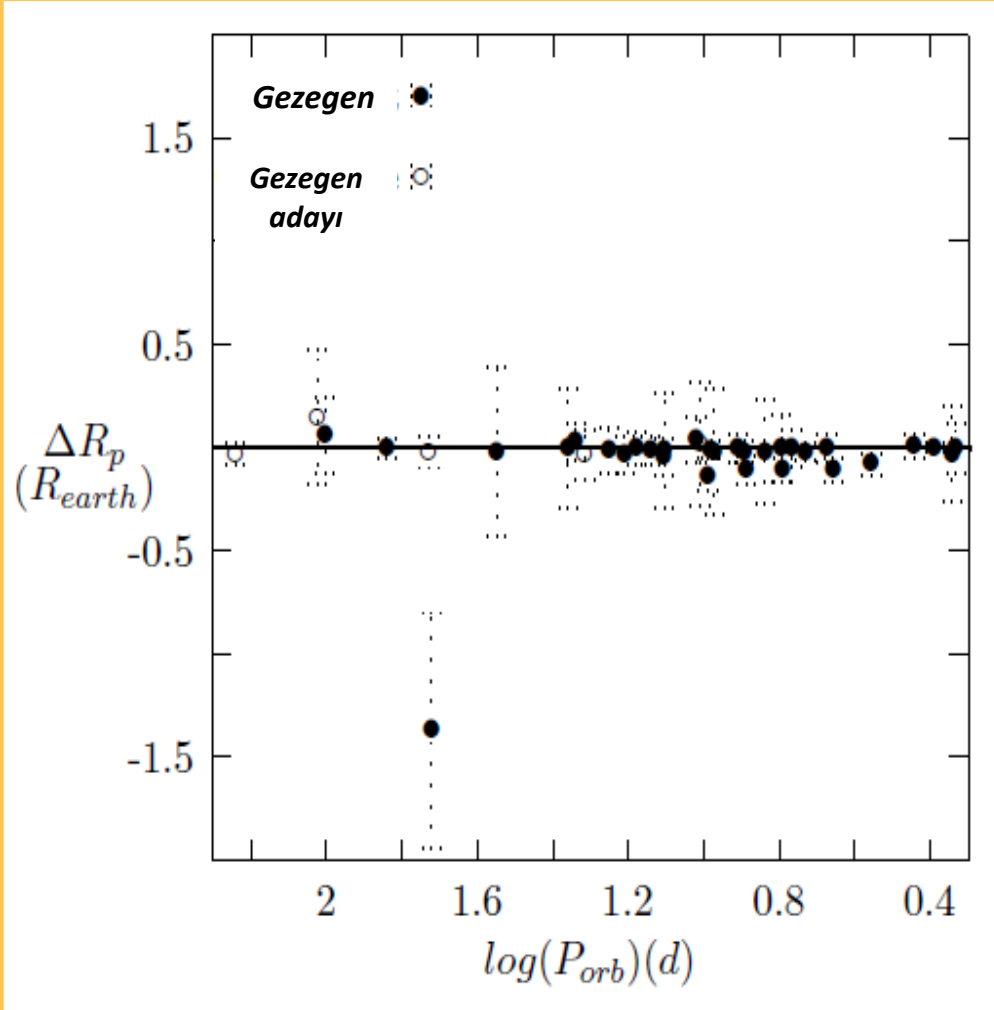
# Geçiş Yöntemi ile Keşfedilen Gezegen Adaylarının Güncellenen Parametreleri

- İncelenen 22 yıldızdan 5 tanesinde geçiş yöntemiyle 5 gezegen adayı saptanmıştır.
- Bu gezegen adaylarının yarıçapı ( $R_p$ ) ve yörünge temel parametrelerinden yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a$ ) ve yörünge eğikliği ( $i$ ) güncellendi.

<i>Gezegen adayı</i>	$P$ (d)	$R_{\text{plit}}$ ( $R_{\oplus}$ )	$R_p$ ( $R_{\oplus}$ )	$a$ (AU)	$i$ (°)
KOI-75	105.882393 $\pm$ 0.000252	10.50 $\pm$ 0.25	10.35 $\pm$ 0.08	0.47 $\pm$ 0.03	88.94
KOI-263	20.719520 $\pm$ 0.000062	2.32 $\pm$ 0.05	2.35 $\pm$ 0.07	0.15 $\pm$ 0.01	89.92
KOI-288	10.275317 $\pm$ 0.000012	3.17 $\pm$ 0.06	3.15 $\pm$ 0.24	0.11 $\pm$ 0.01	87.06
KOI-364	173.877461 $\pm$ 0.000000	0.54 $\pm$ 0.03	0.57 $\pm$ 0.02	0.63 $\pm$ 0.03	89.93
KOI-974	53.505838 $\pm$ 0.000149	2.49 $\pm$ 0.06	2.51 $\pm$ 0.02	0.30 $\pm$ 0.02	89.98

(Rowe et al. 2015)

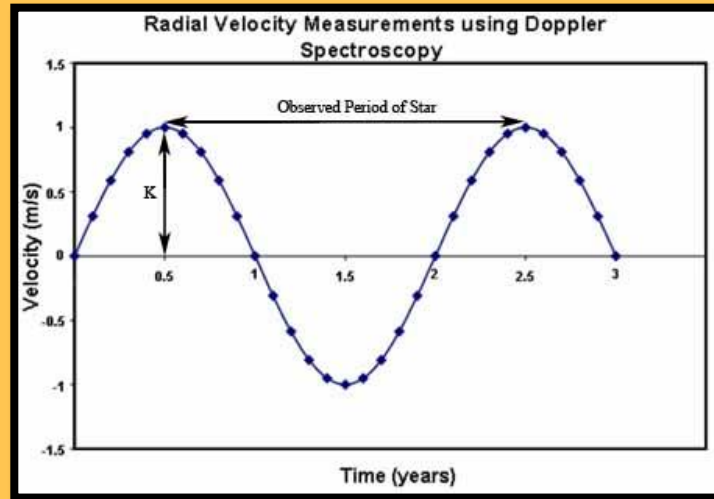
# Güncellenen Gezegen Yarıçapı



\*Kepler-2b, Kepler-432b ve Kepler-444c, d, e ve f gezegenlerindeki güncelleme dikkat çekicidir. Bu gezegenlerin yarıçapları literatür yarıçaplarından yaklaşık olarak %25 daha fazla elde edildi.

# Dikine Hız Yöntemi ile Keşfedilen Gezegenlerin Güncellenen Parametreleri

- İncelenen 22 yıldızdan 6 tanesinin sahip olduğu, dikine hız yöntemi ile keşfedilen, 6 gezegenin kütlesi güncellendi.



$$M_p \sin i = M_{\text{star}}^{2/3} K (1 - e^2)^{1/2} (P/2\pi G)^{1/3}$$

(Lebreton & Goupil 2014)

Gezegen	$P$ (d)	$a$ (AU)	$e$	$M_{\text{plit}}$ ( $M_{\text{jup}}$ )	$M_{\text{spe}}$	$M_p$ ( $M_{\text{jup}}$ )	Kaynak
HD 52265b	$119.60 \pm 0.42$	$0.50 \pm 0.35$	0.03	$1.05 \pm 0.03$	$M \sin i$	$1.08 \pm 0.03$	Naef et al. (2001)
Kepler-25d	$123.00 \pm 2.00$	—	—	$0.28 \pm 0.04$	$M$	$0.29 \pm 0.05$	Marcy et al. (2014)
Kepler-68d	$580.00 \pm 15.00$	$1.40 \pm 0.03$	$0.18 \pm 0.05$	$0.95 \pm 0.04$	$M \sin i$	$0.96 \pm 0.27$	Gilliland et al. (2013)
Kepler-93c	1460.00	—	—	3.00	$M$	2.98	Marcy et al. (2014)
Kepler-432c	$406.20 \pm 3.90$	—	$0.50 \pm 0.03$	$2.43 \pm 0.22$	$M \sin i$	$2.82 \pm 0.38$	Quinn et al. (2015)

# Sonuçlar

- Asterosismoloji, yıldızların iç yapı ve evrimlerinin anlaşılması için kullanılabilir en iyi yöntemlerden biridir.
- Titreşim frekansları kullanılarak iç yapı modelleri sayesinde yıldızların temel parametreleri elde edilir.
- Referans minimumları, yıldızların temel parametrelerine yüksek duyarlılık göstermektedir (Yıldız ve ark. 2014).
- Çalışma kapsamında Güneş benzeri titreşim yapan 40 gezegenli yıldız incelendi.
- Farklı evrim basamaklarında yer alan CoRoT ve Kepler tarafından gözlenen 22 gezegenli yıldızın MESA evrim kodu ile iç yapı modeli yapılarak temel parametreleri hesaplandı.
- Gözlemsel değerlere en yakın modelin  $\Delta v-v$  grafiğindeki model-gözlem desenlerinin uyumu sonucu olduğu görüldü.
- Yapılan iç yapı model parametreleri normalize edilmiş  $\chi^2$  yöntemi ile hem tayf parametreleri hem de gözlem titreşim frekansları açısından ayrı ayrı değerlendirildi. Tayf parametreleri açısından 14 yıldızın, sismik veriler açısından ise 21 yıldızın gözlem ve model değerleri arasındaki uyum yüksektir.

**Bu çalışma TÜBİTAK 112T989 projesi tarafından desteklendi.**

# Sonuçlar

- *Modeller sonucunda:*

- *Kütle aralığı*  $0.74 M_{\text{gun}} \leq M_y \leq 1.65 M_{\text{gun}}$ . İncelenen yıldızlardan en düşük kütleli KIC 6278762 yıldızı ( $0.74 M_{\text{gun}}$ ), en büyük kütleli ise KIC 10864656 ( $1.65 M_{\text{gun}}$ ) yıldızıdır.

- KIC 6278762 yıldızı aynı zamanda listede bulunan en küçük yarıçaplı ( $0.75 R_{\text{gun}}$ ) ve en yaşlı ( $11.66 \text{ Gy}$ ) yıldızdır. En genç yıldız ise KIC 10666592 olup  $1.91 \text{ Gy}$  yaşındadır.

- Model etkin sıcaklığı:  $5000 \text{ K} < T_{\text{eff,mod}} < 6400 \text{ K}$  aralığındadır. En sıcak yıldız KIC 10666592, en soğuk yıldız ise KIC 6278762'dir.

- Başlangıç metal bollukları  $0.01 < Z_{0,\text{mod}} < 0.0265$  aralığında değişmektedir.

- KIC 6278762, KIC 9414417 ve KIC 10963065 yıldızlarının v<sub>göz</sub>-Δv<sub>göz</sub> grafiklerinde v<sub>min0</sub>'dan daha yüksek frekanslı bölgede başka minimumlar saptandı. Ancak KIC 6278762 ve KIC 10963065 yıldızlarının MESA iç yapı modellerinde bu minimumlar görülmedi. KIC 9414417 yıldızının MESA iç yapı modelinde ise bu minimuma ait belirteç görüldü.

- v<sub>min-1</sub> olarak adlandırılan minimumun referans minimumlarından biri olup olmadığı ve güneş benzeri titreşim yapan yıldızların temel parametrelerine etkisi için daha fazla araştırmanın yapılması gerekiyor.



# Sonuçlar

- Hesaplanan yeni yıldız parametreleri ile geçiş yöntemi ile keşfedilen 31 gezegen ve 5 gezegen adayının yarıçapları ile yörünge parametreleri ( $a$  ve  $i$ ) revize edildi:
  - Geçiş yöntemi ile keşfedilen gezegenlerin yarıçapları  $0.35 R_{\text{yer}} < R_g < 16.50 R_{\text{yer}}$  aralığındadır. Yarıçapları elde edilen gezegenlerin büyük kısmı kayaç gezegen boyutlarında ( $\sim 1-2 R_{\text{yer}}$ ) olup bunların dışında 2 dev gaz gezegen (*Kepler-432b*:  $\sim 1.23 R_{\text{jup}}$  ve *Kepler-2b*:  $\sim 1.46 R_{\text{jup}}$ ) daha saptandı.
  - Kepler-2b, Kepler-432b ve Kepler-444c, d, e ve f gezegenlerindeki güncelleme dikkat çekicidir. Bu gezegenlerin yarıçapları literatür yarıçaplarından yaklaşık olarak %25 daha fazla elde edildi.
  - Eğiklik açıları 90 derece civarında çıkan ( $85 < i < 90$ ) gezegenlerin yarı-büyük eksen uzunlukları  $0.04 AB < a < 0.35 AB$  aralığındadır. Yıldızına en yakın olanlar Kepler-2b, Kepler-21b, Kepler-65c, Kepler-408b ve Kepler-444b olup yarı-büyük eksen uzunlukları 0.04 AB'dir. Kepler-2b ise yıldızına yakınlığı ve boyutundan dolayı bir sıcak Jüpiter'dir.
  - İncelenen 5 gezegen adayının yarıçap aralığı ise  $0.55 R_{\text{yer}} < R_{g,\text{aday}} < 10.50 R_{\text{yer}}$ 'dir. Yarı büyük eksen uzunlukları da  $0.10 AB < a < 0.65 AB$  aralığındadır.

# Sonuçlar

- Dikine hız yöntemi ile keşfedilen 5 gezegenin kütleleri yeniden hesaplandı:
  - Eğiklik açısı bilinen Kepler-25d ve Kepler-93c gezegenlerinin kütleleri, sırasıyla,  $0.29 M_{jup}$  ve  $2.98 M_{jup}$  olarak elde edildi.
  - Diğer üç gezegenin kütlesi ise *Msini* cinsinden hesaplanarak  $0.95 M_{jup} < M_g < 3 M_{jup}$  aralığındadır. Gezegenlerden en düşük kütleli Kepler-25d ( $\sim 92$  Myer), en büyük kütleli ise Kepler-432c ( $\sim 3 M_{jup}$ )'dir.
  - Kepler-432c ve HD 52265b gezegenlerinin ise kütlelerindeki farklar kayda değerdir. Kepler-432c'nin kütlesi %16, HD 52265b'nin ise %3 literatür değerinden daha fazla bulundu.



### Asteroseismic Investigation of 22 Planet and Planet-Candidate Host Stars

Journal:	<i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i>
Manuscript ID	Draft
Manuscript type:	Main Journal
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Kayhan, Cenk; Ege University, Astronomy and Space Sciences Yildiz, Mutlu; Ege University, Astronomy and Sp.Sci. Celik Orhan, Zeynep; Ege University, Astronomy and Sp.Sci.
Keywords:	asteroseismology < Physical Data and Processes, stars: evolution < Stars, stars: fundamental parameters < Stars, stars: oscillations (including pulsations) < Stars, (stars:) planetary systems < Stars, planets and satellites: fundamental parameters < Planetary Systems

UAK

2018

# Teşekkürler 😊

