

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**GEZEĞENLİ YILDIZLARIN
ASTEROSİSMİK İNCELENMESİ**

Cenk KAYHAN

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mutlu YILDIZ

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 402.01.01

Sunuş Tarihi : 16.06.2017

Bornova-İZMİR

2017

Cenk KAYHAN tarafından doktora tezi olarak sunulan "Gezegenli Yıldızların Asterosismik İncelenmesi" başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 16 Haziran 2017 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

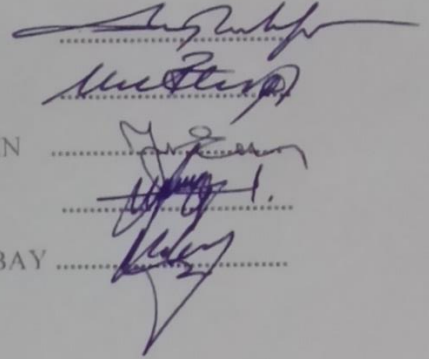
Jüri Başkanı : Prof. Dr. M. Can AKAN

Raportör Üye : Prof. Dr. Mutlu YILDIZ

Üye : Prof. Dr. M. Serdar EVREN

Üye : Doç. Dr. Nesibe ÖZEL

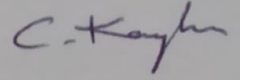
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayşe ULUBAY



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “*Gezegeenli Yıldızların Asterosismik İncelenmesi*” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

16 / 06/ 2017



Cenk KAYHAN

ÖZET

GEZEĞENLİ YILDIZLARIN
ASTEROSİSMİK İNCELENMESİ

KAYHAN, Cenk

Doktora Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mutlu YILDIZ

Haziran 2017, 156 sayfa

Kepler ve *CoRoT* uzay teleskoplarının ana görevleri gezegen keşifleridir. Güneş benzeri titreşim yapan yıldızların temel parametreleri asterosismoloji sayesinde duyarlı bir şekilde elde edilir. Gezegenlerin temel parametreleri yıldızlarının temel parametrelerine bağlılık gösterdiğinden, keşfedilen gezegenli yıldızların asterosismoloji ile incelenmesi gezegenin temel parametrelerinin türetilmesi açısından önemlidir.

Bu tez kapsamında farklı evrim basamaklarında yer alan gezegen ve gezegen adayına sahip güneş benzeri titreşim gösteren 22 yıldız ayrıntılı olarak incelendi. İncelenen herbir yıldızın iç yapı modelleri MESA iç yapı evrim kodu, adyabatik titreşim frekansları ADIPLS kodu ile hesaplandı. Referans frekansları titreşim frekanslarına karşı titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılma grafiklerinde çizdirilmesiyle saptandı. Gözlenen sismik ve tayf kısıtları altında yıldızların temel parametreleri türetildi. İncelenen yıldızların kütle aralığı $0.74 M_{\odot} \leq M_y \leq 1.65 M_{\odot}$ olup incelenen gezegen adayı yıldızlardan KIC 7199397'nin iç yapı modeli ilk kez bu tez kapsamında yapıldı.

Yıldızların iç yapı modelleri sonucunda elde edilen temel parametreleri kullanılarak barındırdıkları gezegen ve gezegen adaylarının temel ve yörünge parametreleri yeniden hesaplandı. Toplamda 36 gezegen ve 5 gezegen adayının temel parametreleri güncellendi. Kepler-2b, Kepler-432b ve Kepler-444c, d, e ve f gezegenlerinin yarıçapı literatür değerinden %25 daha fazla hesaplandı. Güncellenen gezegen yarıçapları $0.35 R_{yer} < R_g < 16.50 R_{yer}$ aralığındadır.

Anahtar sözcükler: asterosismoloji, yıldız iç yapı ve evrimi, Güneş benzeri titreşim yapan yıldızlar, gezegenli yıldızlar, gezegenler.



ABSTRACT

**ASTEROSEISMIC INVESTIGATION
OF PLANET HOST STARS**

KAYHAN, Cenk

PhD Thesis in Astronomy and Space Sciences.

Supervisor: Prof. Dr. Mutlu YILDIZ

June 2017, 156 pages

Primary mission of Kepler and CoRoT is to find planets. Fundamental parameters of solar-like oscillating stars are precisely determined by asteroseismology. Due to the connection between planetary and stellar parameters, asteroseismic investigation of solar-like oscillating host stars is crucial for the estimation of planetary parameters. For this reason, planet and planet-candidate host stars become main target for astrophysical researches.

In this study, we concentrate on 22 planet and planet-candidate host stars on different evolution stages that exhibit solar-like oscillations. We construct stellar interior models of the host stars with MESA evolution code individually. We compute adiabatic oscillation frequencies of each stars using with ADIPLS code. We also conduct diagnostic tools from asteroseismology which are reference frequencies and obtain fundamental parameters of the host stars under influence of observational spectral and asteroseismic constraints. Mass range of the host stars is $0.74 M_{\odot} \leq M_y \leq 1.65 M_{\odot}$. Among the planet-candidate host stars, KIC 7199397 is modelled for the first time in this study.

We revised orbital and fundamental parameters of 36 planets and 5 planet-candidates. Difference between transit and the revised radius of Kepler-2b, Kepler-432b and Kepler-444c, d, e and f is 25 per cent. Radius range of the planets is $0.35 R_{\text{ear}} < R_p < 16.50 R_{\text{ear}}$.

Keywords: asteroseismology, stellar interiors and evolution, Solar-like oscillating stars, planet host stars, exoplanets.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince bilgileriyle bana yardımcı olan ve bilimsel bir bakış açısı kazandırmaya çalışan danışmanım Prof. Dr. Mutlu YILDIZ'a sabrı ve eşsiz katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Hem araştırma hem de tezin yazım aşamasında birçok konuda bana yardımcı olan ve değerli fikirlerini esirgemeyen çalışma arkadaşım Araş. Gör. Zeynep ÇELİK'e, bu uzun ince yolda maddi ve manevi yardımlarını üzerimden eksik etmeyen eşim başta olmak üzere aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Bu tez 112T989 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklendi. Başta bu projenin mimarı olan danışmanım Prof. Dr. Mutlu YILDIZ'a ve TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxv
1. GİRİŞ	1
2. UYARTILMA MEKANİZMALARI VE TİTREŞİM TÜRLERİ	5
2.1. Güneş Benzeri Titreşimlere Kuramsal Yaklaşım	8
2.1.1. Titreşim modları	9
2.1.2. Güneş benzeri titreşimlerin özellikleri	12
2.2. Güneş Benzeri Titreşimlerin Genlikleri	17
2.3. Yıldız Özelliklerinin Asterosismoloji ile Türetilmesi	17
2.3.1. Sismik nicelikler cinsinden kütle ve yarıçap	17
2.3.2. Yıldız yaşının hesaplanması	19
2.3.3. Doğrudan frekanslar yoluyla temel parametrelerin elde edilmesi	20
2.4. Güneş Benzeri Titreşimlerin Gözlenmesi	21
2.5. Gezegenli Yıldızların Asterosismolojisi	24
3. İNCELENEN GEZEĞENLİ YILDIZLAR	27
3.1. İncelenen Gezegenli Yıldızların Listesi	29
3.1.1. HD 52265	29

3.1.2. KIC 3544595	30
3.1.3. KIC 3632418	31
3.1.4. KIC 4349452	32
3.1.5. KIC 5866724	33
3.1.6. KIC 6278762	34
3.1.7. KIC 6521045	36
3.1.8. KIC 7199397	37
3.1.9. KIC 7296438	38
3.1.10. KIC 8077137	39
3.1.11. KIC 8292840	40
3.1.12. KIC 8866102	40
3.1.13. KIC 9414417	42
3.1.14. KIC 9592705	43
3.1.15. KIC 9955598	45
3.1.16. KIC 10514430	46
3.1.17. KIC 10666592	47
3.1.18. KIC 10864656	49
3.1.19. KIC 10963065	49
3.1.20. KIC 11295426	50
3.1.21. KIC 11401755	52
3.1.22. KIC 11807274	53
4. İNCELENEN YILDIZLARIN İÇ YAPI MODELLERİ.....	55
4.1. MESA Evrim Kodu ile Yıldız Modellemesi	55
4.1.2. Güneş modeli	56
4.1.3. MESA grid modelleri.....	58
4.2. İncelenen Yıldızların MESA Modellerinin Değerlendirilmesi.....	59
4.3. İncelenen Yıldızların MESA Modelleri.....	61
4.3.1. KIC 3544595	61
4.3.2. KIC 4349452	63
4.3.3. KIC 5866724	64
4.3.4. KIC 6278762	66
4.3.5. KIC 6521045	68

4.3.6. KIC 7199397	70
4.3.7. KIC 7296438	71
4.3.8. KIC 8077137	73
4.3.9. KIC 8292840	75
4.3.10. KIC 8866102	77
4.3.11. KIC 9414417	79
4.3.12. KIC 9592705	81
4.3.13. KIC 10514430	83
4.3.14. KIC 10666592	85
4.3.15. KIC 10864656	86
4.3.16. KIC 11401755	88
4.3.17. HD 52265	90
4.3.18. KIC 3632418	92
4.3.19. KIC 9955598	94
4.3.20. KIC 10963065	96
4.3.21. KIC 11295426	98
4.3.22. KIC 11807274	100
4.4. İncelenen Yıldızların MESA Model Sonuçları.....	103
5. İNCELENEN GEZEĞEN VE GEZEĞEN ADAYLARI İÇİN TEMEL PARAMETRE HESABI.....	105
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	111
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	115
ÖZGEÇMİŞ	130



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Zonklama ve güneş benzeri titreşim gözlenen yıldız türlerinin HR diyagramında gösterimi.....	6
2.2. Y_l^m küresel harmoniğini ifade eden reel kısımların fiziksel gösterimi.....	9
2.3. Güneş modelinde p ve g modlarının ilerleme alanlarının gösterimi.....	10
2.4. BiSON tarafından elde edilen Güneş'in titreşim tayfı.....	13
2.5. Güneş benzeri yıldızlarda $v_{\max}$ 'ın belirlenmesindeki zorluk.....	14
2.6. BiSON tarafından elde edilen Güneş'e ait titreşim frekanslarının büyük ayrılmaya karşı grafiği.....	16
2.7. Asterosismik HR diyagramı olarak adlandırılan büyük ayrılmaya karşı küçük ayrılma grafiği.....	20
2.8. Güneş'in SOHO gözlemleri sonucunda elde edilen titreşim tayfı.....	22
2.9. Güneş benzeri titreşim gösteren KIC 4351319 kırmızı dev yıldızının merdiven diyagramı.....	23
2.10. Gezegenli ve gezegen adayına sahip yıldızların etkin sıcaklık-kütleçekim grafiği.....	25
2.11. Çember yörünge varsayımı altında asterosismik yöntemle elde edilen ortalama yoğunluğa karşı transit yöntemiyle hesaplanan yoğunluk grafiği.....	26
3.1. Tez kapsamında incelenen yıldızların tayftan elde edilen etkin sıcaklığa karşı gözlem büyük ayrılma grafiği.....	28
3.2. KIC 3544595 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	30
3.3. KIC 3632418 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	32
3.4. KIC 4349452 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	33
3.5. KIC 4349452 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizilen $v-\Delta v$ grafiği.....	33
3.6. KIC 5866724 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	34
3.7. KIC 6278762 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

Şekil	Sayfa
3.8. KIC 6278762 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	36
3.9. KIC 6521045 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	37
3.10. KIC 7199397 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	38
3.11. KIC 8077137 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	39
3.12. KIC 8292840 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	40
3.13. KIC 8866102 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	41
3.14. KIC 9414417 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	43
3.15. KIC 9592705 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	44
3.16. KIC 9592705 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	44
3.17. KIC 9955598 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	45
3.18. KIC 10514430 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	46
3.19. KIC 10514430 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	47
3.20. KIC 10666592 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	48
3.21. KIC 10963065 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	50
3.22. KIC 11295426 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

Şekil	Sayfa
3.23. KIC 11401755 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	53
3.24. KIC 11807274 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	53
4.1. $l = 0$ için Güneş'in gözlem ve MESA evrim kodu ile yapılan ve ADIPLS paketi kullanılarak hesaplanan model frekanslarının $v-\Delta v$ grafiğinde gösterimi..	56
4.2. İncelenen gezegenli ve gezegen adayına sahip yıldızların $n_{\text{obs}}' = v_{\text{obs}} / \Delta v_{\text{obs}}$ karşı $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekans grafiği.....	60
4.3 KIC 3544595 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	62
4.4 KIC 3544595 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	62
4.5. KIC 4349452 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	63
4.6. KIC 4349452 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	64
4.7 KIC 5866724 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	65
4.8 KIC 5866724 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	65
4.9 KIC 6278762 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	67
4.10 KIC 6278762 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	67
4.11 KIC 6521045 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	69
4.12 KIC 6521045 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	69
4.13 KIC 7199397 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	71
4.14 KIC 7296438 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

Şekil

Sayfa

4.15. KIC 7296438 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	73
4.16. KIC 8077137 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	74
4.18. KIC 8292840 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	76
4.19. KIC 8292840 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	77
4.20. KIC 8866102 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	78
4.21. KIC 8866102 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	79
4.22. KIC 9414417 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	80
4.23 KIC 9414417 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	81
4.24. KIC 9592705 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	82
4.25. KIC 9592705 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	82
4.26. KIC 10514430 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	84
4.27. KIC 10514430 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	84
4.28 KIC 10666592 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	86
4.29. KIC 10666592 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	86
4.30 KIC 10864656 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	88
4.31. KIC 11401755 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

Şekil	Sayfa
4.32. KIC 11401755 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	90
4.33. HD 52265 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	91
4.34 HD 52265 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	92
4.35 KIC 3632418 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	93
4.36 KIC 3632418 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	94
4.37 KIC 9955598 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	95
4.38 KIC 9955598 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	96
4.39 KIC 10963065 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	97
4.40 KIC 10963065 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	98
4.41 KIC 11295426 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	99
4.42 KIC 11295426 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	100
4.43 KIC 11807274 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği.....	102
4.44 KIC 11807274 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.....	102
5.1 Yarıçapı güncellenen gezegen (<i>daire</i>) ve gezegen adaylarının (<i>çember</i>) Rowe et al. (2015)'e karşı tez kapsamında hesaplanan değerleri.....	107
5.2 Literatürden alınan gezegen kütlelerine karşı tez kapsamında hesaplanan gezegen kütlesi grafiği.....	108



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tez kapsamında incelenen yıldızların asterosismik ve tayf parametreleri.....	27
4.1. İki farklı atmosfer varsayımı altında MESA evrim kodu ile yapılan Güneş modelleri.....	57
4.2. Grid modelleme sonucunda elde edilen MESA model parametreleri ile asterosismik parametreleri kullanılarak hesaplanan türevlerin matris biçimine dönüştürülmüş hali.....	58
4.3. KIC 3544595 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	62
4.4. KIC 4349452 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	64
4.5. KIC 5866724 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	66
4.6. KIC 6278762 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	68
4.7. KIC 6521045 yıldızının MESA model özellikleri.....	68
4.8. KIC 7199397 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	70
4.9. KIC 7296438 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	72
4.10. KIC 8077137 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	74
4.11. KIC 8292840 yıldızının MESA model özellikleri.....	77
4.12. KIC 8866102 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	78
4.13. KIC 9414417 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	80
4.14. KIC 9592705 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	83
4.15. KIC 10514430 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	85
4.16. KIC 10666592 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	85
4.17. KIC 10864656 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	88
4.18. KIC 11401755 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	90
4.19. HD 52265 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	92
4.20. KIC 3632418 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ(devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.21. KIC 9955598 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	95
4.22. KIC 10963065 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri.....	98
4.23. KIC 11295426 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri...	100
4.24. KIC 11807274 yıldızının tez kapsamında yapılan MESA modelleri...	101
4.25. İncelenen yıldızların MESA model sonuçları.....	104
5.1. Bu çalışma kapsamında incelenen 22 gezegenli yıldız arasından geçiş yöntemi ile keşfedilen gezegenlerin ve gezegen adaylarının güncellenmiş parametreleri.....	108
5.2. Bu çalışma kapsamında incelenen 22 gezegenli yıldız arasından dikine hız yöntemi ile keşfedilen gezegenlerin güncellenmiş parametreleri.....	109

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AB	Astronomik Birim
ADIPLS	Aarhus Adiabatic Oscillation Package
BiSON	Birmingham Solar Oscillations Network
CoRoT	Convection, Rotation and planetary Transits
GONG	Global Oscillation Network Group
HR	Hertzsprung-Russell
IRIS	Interface Region Imaging Spectrograph
MESA	Modules for Experiments in Stellar Astrophysics
MOST	Microvariability and Oscillation of Stars
ÖYAK	Ölüm-yaş Anakolu
PLATO	Planetary Transits and Oscillations of stars
SDSS	Sloan Digital Sky Survey
SONG	Stellar Observation Network Group
SOHO	Solar and Heliospheric Observatory
SYAK	Sıfır-yaş Anakolu
TESS	Transiting Exoplanet Survey Satellite



1.GİRİŞ

Yıldız iç yapısının anlaşılması astrofiziğin en temel uğraş alanlarından biridir. Çeşitli gözlem yöntemlerinden elde edilen bilgiler yıldızın daha çok yüzey katmanları hakkında bilgi sağlar. Bu nedenle yıldız iç yapısının anlaşılabilmesi için kuramsal modellere ihtiyaç vardır. Kuramsal modellerin testi ancak gözlenen kısıtlar ile yapılabilir.

Yıldız iç yapısını kısıtlayan esas gözlemler titreşim frekanslarının elde edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu anlamda gözlemi yapılan ilk yıldızlardan biri, bize en yakın olan ve hakkında en çok bilgiye sahip olduğumuz, Güneş'tir. Güneş'in yüzeyinde titreşimlerin keşfedilmesi ile helyosismoloji alanı doğdu. Bu konudaki en kapsamlı çalışma için Christensen-Dalsgaard (2002) incelenebilir.

Güneş benzeri titreşimlerin diğer yıldızlarda keşfedilmesi yeryüzünden yapılan kampanya gözlemleri ile mümkün oldu (Aerts et al. 2010). Bu titreşimler akıda milyonda bir ve dikine hızda $\sim 20 \text{ cm s}^{-1}$ 'lik genliğe sahiptir. Genliği oldukça düşük bu titreşimlerin farklı evrim basamağından birçok yıldızda saptanması uzay görevleri ile gerçekleşti. *CoRoT* (Baglin et al. 2006) ve özellikle *Kepler* (Borucki et al. 2010) uzay teleskopları sayesinde çok sayıda yıldızın yüksek çözünürlüklü gözlemi yapıldı. Gözlenen titreşimlerin analizi ve bu analiz sonucunda yıldızların temel parametrelerinin bulunması asterosismoloji alanını ortaya çıkardı.

Asterosismoloji, yıldızların yüzeylerinde gözlenen değişimler sonucu türetilen titreşimleri inceleyerek yıldızların iç yapı ve evrimini anlamamızı sağlar. Yıldızların çoğu evrimlerinin belirli bir aşamasında titreşim (ya da zonklama) gösterir. Bu titreşimleri ortaya çıkaran süreçler yıldızdan yıldıza değişir. Zonklamalar ışıkkürede kimi bölgelerin büzülmesi ve genişlemesi olarak kendini gösterir. Temelde yıldızın iç katmanlarından yüzeyine doğru hareket eden durağan dalgalar (*standing waves*) zonklamaları üretir. Asterosismolojinin temeli aslında bu zonklamaların ürettiği modların yapı ve davranışlarını analiz etmeye dayanır. Eğer yıldız yüzeyindeki bu periyodik hareketler analiz edilirse, yıldızın iç yapısı hakkında bilgi edinilir. Dünya'nın iç katmanlarını inceleyen jeofizikçiler gibi astrofizikçiler de yıldızlarda benzer bir yöntem kullanır. Asterosismoloji hakkında daha ayrıntılı bilgi için Chaplin and Miglio (2013) makalesi incelenebilir.

Geçtiğimiz son on yıldaki başarılı uzay görevleri (*MOST, CoRoT ve Kepler*) ve kuramsal çalışmalar sayesinde asterosismoloji astrofizik alanında bir devrim yaptı. Yapılan gözlemler, HR diyagramının neredeyse tüm bölgelerindeki yıldızların zonklama sergilediğini gösterdi. Keşfedilen güneş benzeri titreşim yapan yıldızların sayıca artması yıldızların temel parametrelerini türetmede kullanılan eşitliklerin de sınanmasını sağladı. Asterosismolojinin astrofiziğe en büyük katkısı tek yıldızların temel parametrelerinin yüksek duyarlılıkla elde edilmesi ve evrimleşmiş yıldızların iç dönme özelliklerinin ortaya çıkarılmasıdır.

Tek yıldızların temel parametrelerini hesaplamada kullanılan yöntem ölçeklendirme ilişkisidir (Kjeldsen and Bedding 1995; *ayrıntılar için bkz. Bölüm 2.4*). Ölçeklendirme ilişkisi ile anakol yıldızlarının kütlesi % 10, yarıçapı ~% 5 duyarlılıkla hesaplanır (Kallinger et al. 2010). Eğer ölçeklendirme ilişkisi yıldız iç yapı modelleri ile desteklenirse duyarlılık daha da artar (Gai et al. 2011; Silva Aguirre et al. 2012). Yıldız et al. (2014), yeni referans minimumlarını kullanarak kütle, yarıçap ve etkin sıcaklık için yeni ölçeklendirme ilişkisi geliştirerek bu duyarlılığı daha da arttırmıştır. Evrimleşmiş yıldızlarda güneş benzeri titreşimlerin keşfedilmesiyle birlikte bu yıldızlar için ölçeklendirme ilişkisinin anakol yıldızlarından farklı olduğu anlaşıldı (Hekker et al. 2011; Mosser et al. 2012). Farklı evrim basamaklarında ve gökadanın farklı konumlarında keşfedilen güneş benzeri titreşimler, aynı zamanda gökadanın yapısı hakkında da bilgi sunar (Miglio et al. 2009; Casagrande et al. 2016).

Kepler ve *CoRoT* uzay görevlerinin ana hedefi gezegen keşfidir. Onbinlerce yıldızın etrafında dolanan binlerce gezegen keşfedilirken aynı zamanda bu yıldızların bazılarında güneş benzeri titreşimler de saptandı. Böylece asterosismoloji yöntemi kullanılarak gezegenli yıldızların iç yapısı ve evrimi hakkında da bilgi türetildi (Huber et al. 2013).

Gezegen temel parametrelerinin iyi belirlenmesi yıldızının parametrelerinin iyi belirlenmesine bağlıdır. Asterosismoloji sayesinde gezegenli yıldızların temel parametreleri diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek duyarlılıkla elde edilir.

Bu tez kapsamında güneş benzeri titreşim yapan gezegenli yıldızlar incelenerek yıldızların ve gezegenlerin temel parametrelerinin yüksek duyarlılıkla türetilmesi amaçlandı. Uyartılma mekanizmaları ve titreşim türleri *Bölüm 2*'de, incelenen yıldızların gözlem özellikleri *Bölüm 3*'de sunuldu. Yıldızların temel

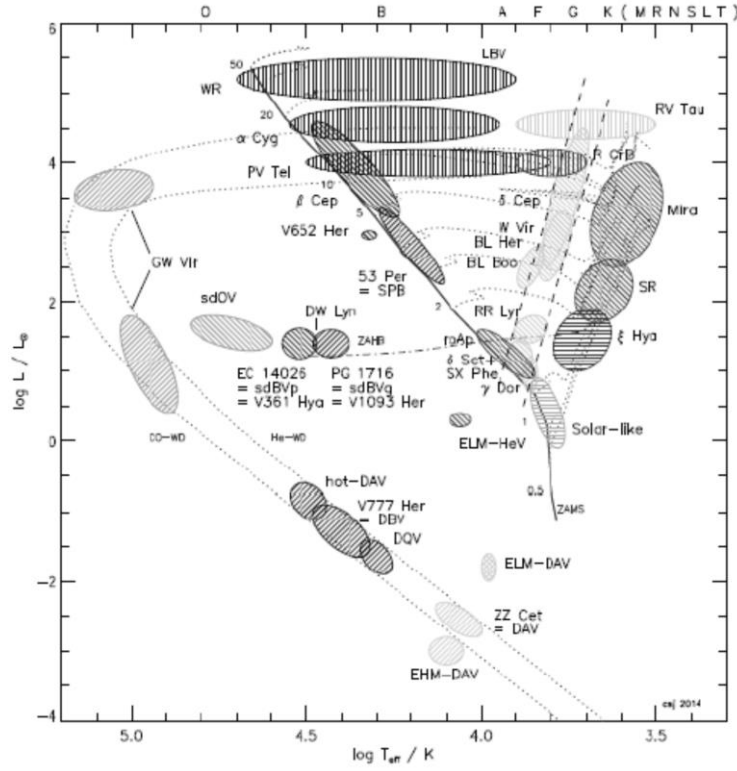
parametreleri hesaplanırken Yıldız et al. (2014) tarafından geliştirilen referans minimumları kullanıldı. İncelenen yıldızların iç yapı modelleri MESA evrim kodu ile hesaplandı (*Bölüm 4*). Temel parametreleri elde edilen yıldızların gezegenlerine ait temel parametreler ve yörünge parametreleri *Bölüm 5*'te sunuldu. İncelenen yıldızlar ve gezegenler için elde edilen sonuçlar *Bölüm 6*'da tartışılmaktadır.



2. UYARTILMA MEKANİZMALARI VE TİTREŞİM TÜRLERİ

Yıldızların zonklama özellikleri hem ışıkölçüm hem de tayf yöntemlerinden uzun zamandır biliniyor. Yapılan duyarlı ışıkölçüm ve dikine hız ölçümleri sayesinde anakoldan beyaz cücelere kadar farklı ısıtma sınıfından birçok zonklayan yıldız türü keşfedildi (*Şekil 2.1*). Yıldız zonklamalarının altında yatan işleyiş sürdürücü kuvvete bağlı olarak kendiliğinden uyartılan ya da rastgele uyartılan olarak iki ana sınıfa ayrılır (Di Mauro 2017).

Kendiliğinden uyartılan titreşimlerde enerji akısındaki değişimden dolayı ısısal enerji mekanik enerjiye dönüşür. Kendiliğinden uyartılan titreşimleri açıklamada iki ana mekanizma mevcuttur. κ veya diğer adıyla vana mekanizması en yaygın gözlenendir. Bu mekanizma ile belirli bir katmanda saydamsızlığın artıp azalmasına göre enerji aktarımı kontrol edilir. Maddenin ışıma karşılıklı direncini tanımlayan saydamsızlık, genel olarak sıcaklıkla ters ilişkilidir. Artan sıcaklıkla birlikte iyonlaşmada da artış görülür. Boyutları küçülen atomlar daha az fotona engel olur ve böylece enerji akışı kolaylaşır. Zonklama gösteren yıldızlar şişip büzülme davranışı gösterir. Büzülme durumunda potansiyel enerji ortama aktarılacak sıcaklıkta artış meydana gelir. Artan sıcaklıkla bu bölgede enerji birikmeye başlar, çünkü artan saydamsızlık enerjinin akışına engel olur. Daha üst katmanlara aktarılamayan enerjiden dolayı yıldız bir miktar daha büzülür. Büzülme sonucu sıcaklık tekrar artacak ve ilgili katmanda saydamsızlığı azaltmaya başlayacaktır. Azalan saydamsızlık enerji akışını kolaylaştıracak ve böylece üst katmanlar ısıtılarak genişleme durumu ortaya çıkacaktır. Bu işleyiş ilk kez δ Cepheid yıldızlarının zonklamasını açıklamak için geliştirildi (Baker and Kippenhan 1962). Vana mekanizması Cepheid kararsızlık kuşağında yer alan çoğu yıldızla birlikte bu kuşağın dışında kalan β Cep yıldızlarında da sorumlu mekanizmadır (Aerts et al. 2010). β Cep türü yıldızlarda ağır elementlerin kısmi iyonlaşma muntakaları etkili olur. γ Dor, yavaşça zonklayan B yıldızları, hızlı dönen Ap yıldızları, δ Scuti yıldızları ve beyaz cüceler klasik zonklayanlardır. Bu yıldızlardaki milikadir genlikli zonklamalardan da bu süreç sorumludur. Mira yıldızlarında da bu işleyişin geçerli olduğu düşünülmektedir (Aerts et al. 2010).



Şekil 2.1. Zonklama gözlenen yıldız türlerinin HR diyagramında gösterimi (Jeffrey and Saio 2016).

Önerilen fakat pek kabul görmeyen başka bir titreşim mekanizması ε mekanizmasıdır (Rosseland & Randers 1938). Buradaki ε , nükleer enerji üretim hızını temsil eder. Enerji üretiminde CNO çevriminin baskın olduğu evrimleşmiş büyük kütleli yıldızların öteklerinde çalıştığı düşünülen bu mekanizma konusunda tartışmalar devam etmektedir (Aerts et al. 2010).

Güneş ve güneş benzeri yıldızlardaki titreşimler rastgele uyartılmalar şeklinde oluşur. Titreşimlerdeki uyartılma ve sönümlmelerden konveksiyon hareketi sorumludur. Konveksiyon hareketi tarafından sürdürülen titreşimlerin en önemli özelliği uyartılmalarının rastgele zamanlarda olması ve mod evresinin zamanla değişmesidir (Goldreich et al. 1994). Vana mekanizmasından bu özellikleri açısından oldukça farklı olan bu mekanizma, düzenli olarak titreşimler üretir (Christensen-Dalsgaard 2010). Kendiliğinden uyartılmanın başka bir önemli davranışı yıldızdaki tüm olası rezonans modlarının uyartılmasıdır. Klasik zonklayanlarda yalnızca bazı titreşim modlarını gözlenebilir genliklere uyartan seçici bir mekanizma vardır.

Güneş benzeri titreşimler düşük genliklidir, ~ 10 milikadır ve daha az. (Di Mauro 2017). Dış konvektif zarfa sahip olan anakol ve anakol sonrası yıldızlarda

gözlenir. Anakol yıldızlarında titreşim periyotları birkaç dakika iken altdev ve kırmızı devlere doğru gidildikçe titreşim periyotları birkaç güne kadar ulaşır.

Güneş ve güneş benzeri yıldızların dış katmanlarındaki türbülans hareketi rastgele akustik gürültüler ortaya çıkarır. Rezonans yapan bu ses dalgaları Güneş'te yaklaşık 5 dakikalık periyotlara sahiptir (Leighton et al. 1962). Bu modların tamamının gözlenmesi Güneş'in akustik titreşim tayfını verir. Günümüzde Güneş'de milyonlarca titreşim modu saptandı. Bu titreşimlerin oldukça geniş bir frekans aralığı vardır (Houdek 2006). Uyarılma ve sönümleme arasındaki denge, titreşimin genliğini ortaya çıkarır. Yıldız modellerinde, karmaşıklıklarından dolayı, sönümleme olayında etkili olan türbülans ve adyabatik olmayan durum ihmal edilir (Christensen-Dalsgaard 2010). Bu nedenle, daha sonra ayrıntılı olarak değinilecek olan, model ile gözlem frekansları arasında yüksek frekansta ciddi farklılıklar görülür. Güneş titreşim verilerinin duyarlıklarının artması ile tüm bu katmanlar hakkında daha fazla bilgi edinilecek böylece konveksiyon ve zonklama arasındaki etkileşimin ayrıntılı olarak gözler önüne serilmesi mümkün olacaktır.

Güneş'in titreşim tayfı, uzun zaman önce elde edilmiş olmasına rağmen, kuramsal yaklaşımların öngördüğünden biraz farklıdır. Kuramsal çalışmalara göre Güneş'te yalnızca p modları değil g modlarının da gözlenmesi beklendi (Christensen-Dalsgaard 2010). Konvektif zarfa sahip soğuk yıldızlarda çekim dalgalarının uyarılması, konvektif hücrelerin radyatif katmanı delmesi ile Dintrans et al. (2005) tarafından açıklandı. GOLF aygıtının 10 yıllık gözlemlerinin analizi sonucunda Güneş'te birkaç g modunun saptandığı bildirildi (Garcia et al. 2007). Ancak güneş benzeri yıldızlarda çekim dalgalarının varlığı, evrimleşmiş yıldızların uzay tabanlı gözlemleri sayesinde, karma modların keşfi ile ortaya çıktı (Michel and Baglin 2012).

Konveksiyonun etkili olduğu uzun periyotlu g modlu zonklamalar γ Dor türü yıldızlarda gözlenir. DA ve DB türü beyaz cücelerde konvektif bölgenin tabanında enerjinin yeniden dağılarak konvektif bölgeyi ısıttığı önerilir. Bunların dışında farklı türde birçok zonklama ve zonklama mekanizması yer alır.

Zonklayan yıldızların sınıflandırılması titreşim periyoduna, titreşim uyarılma mekanizmasına ve gözlenen modlara göre yapılır. Bu sınıfların dışında

birden fazla uyartılma mekanizması görülen yıldızlar da bulunur. Bunlar hibrid zonklayanlar olarak adlandırılır (Christensen-Dalsgaard 2016).

2.1. Güneş Benzeri Titreşimlere Kuramsal Yaklaşım

Yıldız titreşimleri temel olarak hidrostatik denge eşitliğinin bozulması ile kendisini gösterir. Genliği düşük olan titreşim hareketleri denge durumu civarında küçük kımiltılardır. Kımıltı uygulanmış bileşenler radyal (ξ_r) ve yatay yerdeğiştirme vektörü (ξ_h) içerisinde küresel harmonikler cinsinden ifade edilir;

$$\xi_r(r, \theta, \phi, t) = \sqrt{4\pi} \tilde{\xi}_r(r) Y_l^m(\theta, \phi) \exp(-i\omega t) \quad 2.1$$

ve

$$\xi_h = \sqrt{4\pi} \tilde{\xi}_h(r) \left(\frac{\partial Y_l^m}{\partial \theta} a_\theta + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial Y_l^m}{\partial \phi} a_\phi \right) \exp(-i\omega t) \quad 2.2$$

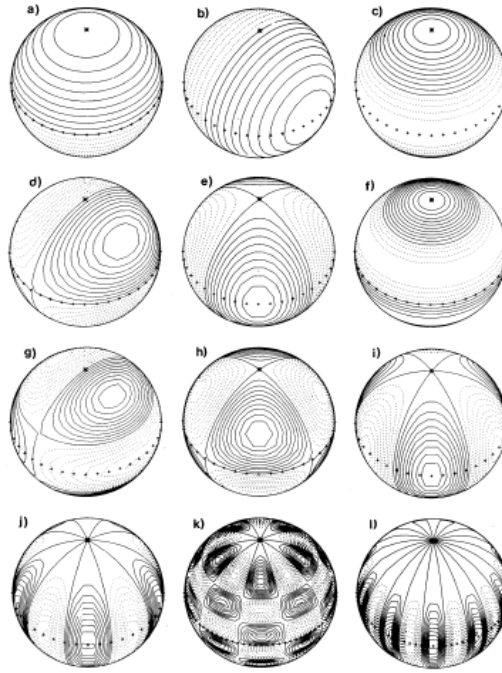
Burada Y_l^m küresel harmoniği tanımlar ve

$$Y_l^m(\theta, \phi) = (-1)^m c_{lm} P_l^m(\cos \theta) \exp(i m \phi) \quad 2.3$$

şeklinde ifade edilir. r yarıçapı, t zamanı, ω açısal frekansı, θ kutup ekseninden olan açısal uzaklığı ve ϕ enlemi ifade etmektedir. c_{lm} normalizasyon katsayısı olup;

$$c_{lm}^2 = \frac{(2l+1)(l-m)!}{4\pi(l+m)!} \quad 2.4$$

şeklinde ifade edilir. P_l^m ilişkilendirilmiş (*associated*) Legendre polinomunu gösterir. $Y_l^m(\theta, \phi)$ küresel harmoniği içerisinde ifade edilen l ve m kuantum sayıları titreşimi ifade eder. Titreşimin karakterini ifade eden l küresel derece, m azimuthal mertebedir. Aslında l , yıldız yüzeyini bölen toplam çizgi sayısını verirken, m boylamsal olarak yıldızı bölen çizgi sayısını ifade eder. Bunların dışında modu tanımlayan başka bir sayı da radyal mertebe (n)'dir.

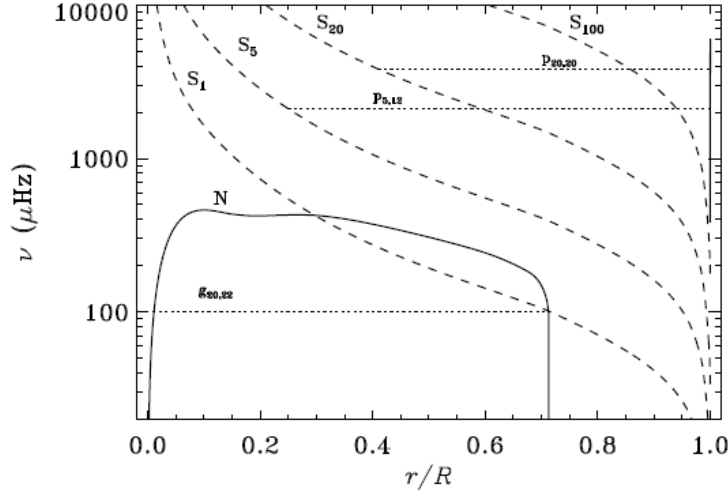


Şekil 2.2. Y_l^m küresel harmoniğini ifade eden reel kısımların şematik gösterimi (Christensen-Dalsgaard 2010). Sürekli çizgiler pozitif yönde hareketi, kesikli çizgiler negatif yöndeki hareketi temsil etmektedir. Yıldızın eşleği “++++” ile gösterilmektedir. a) $l = 1, m = 0$ b) $l = 1, m = 1$ c) $l = 2, m = 0$ d) $l = 2, m = 1$ e) $l = 2, m = 2$ f) $l = 3, m = 0$ g) $l = 3, m = 1$ h) $l = 3, m = 2$ i) $l = 3, m = 3$ j) $l = 5, m = 5$ k) $l = 10, m = 10$ l) $l = 10, m = 10$.

2.1.1. Titreşim modları

Yıldız içerisindeki sismik dalgalar kendini akustik dalgalar (p modu) şeklinde gösterir. Daha iç katmanlardaki sismik dalgalar çekim dalgalarıdır (g modu) (bkz. Şekil 2.3). p ve g modları uygulanan kımılıya hangi geri çağırıcı kuvvetin cevap verdiğini ifade eder. Akustik modlarda geri çağırıcı kuvvet basınç kuvveti iken, çekim modlarında kütleçekim kuvvetidir. Bu modların dışında temel mod olarak adlandırılan f modları da vardır. Bu modların dikine yer değiştirme durumunda radyal düğüm noktaları yoktur (Christensen-Dalsgaard 1988). Okyanus ya da deniz yüzeyindeki dalgalar buna örnek verilebilir. p modu durumunda enerjinin çoğu yüzeye yakın bir bölgede birikir. g modlarında enerji daha iç bölgelerde tuzaklanır. Bu nedenle, g modları daha iç bölgeler hakkında bilgi sağlar. Fakat yıldız yüzeyine ulaştıklarında çok küçük genlikte olduklarından g modları güneş benzeri yıldızlarda henüz gözlenemedi (Christensen-Dalsgaard 2010). Düşük mertebeli g modları δ Scuti ve β Cepheid türü yıldızlarda, daha yüksek mertebeli olanlar yavaşça zonklayan B ve γ Dor yıldızlarında gözlenir

(Aerts et al. 2010). Güneş ve güneş benzeri yıldızlarda yalnızca p modü görülür. Evrimleşmiş yıldızlarda p ve g modlarının birleşimi olan karma modlar gözlenir. Karma modlar özekte g modu, yüzeyde p modu şeklinde davranır (Christensen-Dalsgaard 2010).



Şekil 2.3. Güneş modelinde p ve g modlarının ilerleme alanlarının gösterimi (Christensen-Dalsgaard 2010). Yatay çizgiler ilgili dalgaların tuzaklandığı yerleri temsil etmektedir.

p ve g modlu titreşimler karakteristik frekanslar tarafından belirlenir. Akustik frekans ya da diğer adıyla Lamb frekansı (S_l) bir yatay dalgaının ses hızında seyahat etmesi için gerekli zamanın tersidir ve

$$S_l^2 = \frac{l(l+1)c^2}{r^2} \quad 2.5$$

ile ifade edilir. Burada l mod derecesini, c ses hızını belirtir. Kaldırma frekansı ya da diğer bilinen adıyla Brunt-Väisälä frekansı (N) yıldız içerisindeki gaz kabarcığının, yıldız dengesi civarında, dikey olarak salınımı tanımlar ve

$$N^2 = g \left(\frac{1}{\Gamma_1} \frac{d \ln p}{dr} - \frac{d \ln \rho}{dr} \right) \quad 2.6$$

ile ifade edilir. Burada Γ_1 birinci adyabatik üssü ifade ederken, g kütleçekim ivmesine karşılık gelir. Lamb frekansı dalgaının iç dönme noktasını belirler. Yıldız yüzeyinde yoğunluktaki ani düşüşten dolayı dalga, yıldız yüzeyinden kırınımına uğrar. Kırınım yerini akustik kesme frekansı belirler;

$$\omega_{ac} = \frac{c}{2H} = \frac{\Gamma_1 g}{c} \quad 2.7$$

Burada H ile gösterilen basınç ölçek yüksekliğidir. Asimptotik kurama göre, titreşim hareketi iki farklı koşuldan birisi durumunda gerçekleşir: i) $|\omega| > |N|$ ve $|\omega| > S_l$ veya ii) $|\omega| < |N|$ ve $|\omega| < S_l$. İlk koşul p modunu, diğeri g modunu tanımlar. Bir yıldızın iç yapısında her iki koşul da farklı katmanlarda sağlanabilir. Fakat modun baskın doğası enerjinin büyük çoğunluğunu içeren bölge tarafından belirlenir (Christensen-Dalsgaard 2010). Dalgalar bu bölgede tuzaklanır.

Yıldız evrimleştikçe p ve g modu gösteren katmanlarda değişimler görülür. g modu daha geniş bir alana hakim olmaya başlar. Bu durum özeğteki Brunt-Väisälä frekansının artması ile açıklanır. Yıldız iç yapısı için Brunt-Väisälä frekansı daha açık olarak şu şekilde ifade edilir;

$$N^2 \cong \left(\frac{g^2 \rho}{p} \right) (\nabla_{ad} - \nabla + \nabla_\mu) \quad 2.8$$

Denklem (2.8)'de, $\nabla = \left(\frac{d \ln T}{d \ln p} \right)$ sıcaklık ve $\nabla_{ad} = \left(\frac{\partial \ln T}{\partial \ln p} \right)$ adyabatik sıcaklık gradyentleridir. $\nabla_\mu = \left(\frac{d \ln \mu}{d \ln p} \right)$ ortalama molekül ağırlığının gradyentini ifade eder.

Yıldız evrimleştikçe ortalama molekül ağırlığı gradyentinde artma olacağından Brunt-Väisälä frekansı da artar. Bu frekansa başka bir katkı da özeğin büzülmesinden kaynaklanan yüzey kütleçekim ivmesindeki artıştır. Yıldız evrimleştikçe g modu ilerleme alanını genişletirken, p modlu titreşim frekansları artan yıldız yarıçapından dolayı gittikçe azalır. Sonuç olarak her iki mod arasındaki bölge gittikçe daralır. Bundan dolayı p ve g dalgaları birbirini etkilemeye başlar. Bazı g dalgalarının p dalgalarına kımıltı uyguladığı düşünülmektedir (Christensen-Dalsgaard 2010). Buna kaçınılan etkilenme (*avoided crossing*) denir. Bu iki dalga türü birbirine çok yaklaşır ancak hiçbir alanları dışına çıkmaz. Bu durumda karma modlar oluşur. g ve p modunun özelliklerini taşıyan bu karma modlar, altdev ve kırmızı dev yıldızlarda gözlenir (Kjeldsen et al. 1995; Bedding et al. 2007; Chaplin et al. 2010; Deheuvels et al. 2014).

Diğer gözlem niceliklerine kıyasla titreşimlerin bazı yararları vardır: frekanslar yüksek duyarlılıkla belirlenir ve farklı modlar yıldız iç yapısında farklı katmanlarda tuzaklandığı için yıldızın iç yapısına ve evrimine bağlılık gösterir. Bu nedenle gözlenen modların zengin titreşim tayfı yıldızın iç koşulları hakkında

eşsiz bilgiler sunar. Bu bilgiler kullanılarak yıldız iç yapı modelleri test edilir ve yıldız evrimindeki kuramlar incelenir.

2.1.2. Güneş benzeri titreşimlerin özellikleri

Nokta kaynak olarak görülen yıldızların gözlenen titreşim modları düşük harmonik derecelerle sınırlıdır. Böylece asimptotik yaklaşım, $n \geq l$ koşulu sağlandığından yıldızlardaki p ve g modunu açıklamada iyi bir yaklaşımdır. Güneş benzeri yıldızlarda gözlenen güneş benzeri titreşimler çoğunlukla düşük dereceli yüksek mertebelidir (*yani yüksek frekanslıdır*). Anakol yıldızlarında gözlenen güneş benzeri titreşimler yüksek radyal mertebeli yüksek frekanslı p modudur. l harmonik dereceli, n radyal mertebeye sahip bir akustik modun titreşim frekansları aşağıdaki eşitliği sağlar (Vandakurov 1966; Tassoul 1980):

$$\nu_{n,l} = \Delta\nu \left(n + \frac{l}{2} + \alpha \right) \quad 2.9$$

α yüzeye çok yakın bölgelere bağlı olan evreyi ifade eder. Kimi kısımlarda yüzey düzeltmesi olarak da ifade edilir (Kjeldsen et al. 2008).

Akustik tayfta aynı dereceli p modları arasında düzenli ayrılıklar görülür (Şekil 2.4). Aynı dereceli ardışık modların frekansları arasındaki düzenli ayrılıklara büyük ayrılma ($\Delta\nu$) denir ve

$$\Delta\nu_{n,l} = \nu_{n,l} - \nu_{n-1,l} \quad 2.10$$

şeklinde ifade edilir. Aynı zamanda $l = 0$ dereceli titreşim frekanslarından elde edilen büyük ayrılma;

$$\Delta\nu \cong \left(2 \int_0^R \frac{dr}{c} \right)^{-1} \quad 2.11$$

olup ses dalgasının yıldız çapı (R) boyunca seyahat ettiği sürenin tersidir. Ses dalgasının yıldız boyunca seyahat süresi dinamik zaman ölçeği ile ilişkili olduğundan;

$$t_{din} \cong \left(\frac{R^3}{GM} \right)^{\frac{1}{2}} \cong (G\bar{\rho})^{-1/2} \quad 2.12$$

Buradan büyük ayrılmanın doğrudan yıldız yoğunluğunun karekökü ile orantılı olduğu görülür. Huber et al. (2011) tarafından önerilen ve asterosismoloji alanında en yaygın kullanılan ölçeklendirme ilişkisine göre;

$$\frac{\Delta v_*}{\Delta v_\odot} \cong \sqrt{\frac{\rho_*}{\rho_\odot}} \quad 2.13$$

burada ρ_* yıldızın yoğunluğudur. Yıldız evrimleştikçe yarıçap artacağından büyük ayrılma azalır ($\Delta v \propto (M/R^3)$).

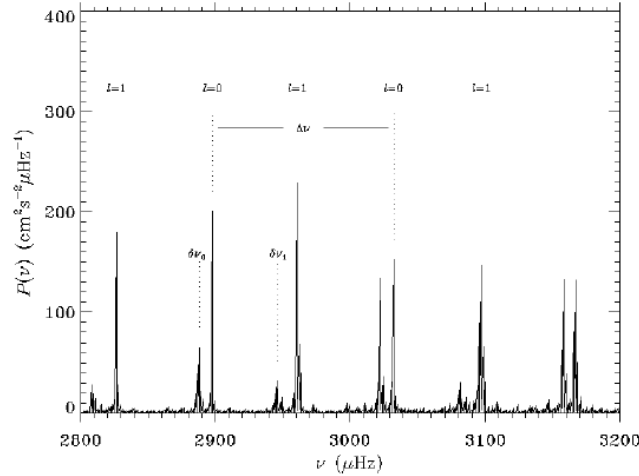
Büyük ayrılma dışında titreşim tayfında daha dar alanda başka düzenli farklar da görülür. Buna da küçük ayrılma ($\delta v_{n,l}$) denir.

$$\delta v_{n,l} = v_{n,l} - v_{n-1,l+2} \quad 2.14$$

şeklinde ifade edilen küçük ayrılma, asimptotik kurama göre;

$$\delta v_{n,l} \cong -(4l + 6) \frac{\Delta v}{4\pi^2 v_{n,l}} \int_0^R \frac{dc}{dr} \frac{dr}{r} \quad 2.15$$

ile ifade edilir. Yıldız evrimleştikçe, nükleer tepkimelerden dolayı helyumun kütle kesri özekte artar. Dolayısıyla ortalama molekül ağırlığında (μ) artış olur. Ses hızı ortalama molekül ağırlığının karekökü ile ters orantılıdır. Böylece özekte, ses hızında düşüş meydana gelir. Bu nedenle küçük ayrılma artan yaşla azalır.



Şekil 2.4. BiSON tarafından elde edilen Güneş'in titreşim tayfı (Christensen-Dalsgaard 2002). Kuvvet tayfında $l = 0$ ve 1 dereceli modların yanı sıra büyük ve küçük ayrılmalar da işaretlenmiştir.

Güneş benzeri yıldızların gözlenen titreşim kuvvet tayfı Gauss benzeri bir zarfı andırır. Gauss eğrisi ile temsil edilen kuvvet tayfında tepe noktasını temsil eden ve en büyük titreşim genliğine sahip modun frekansı $\nu_{\max}$ olarak adlandırılır.

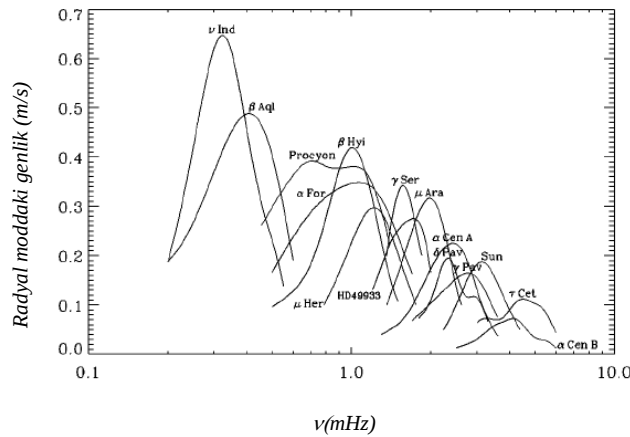
Brown et al. (1991) $v_{\max}$ 'ın akustik modlar için en yüksek frekans olan akustik kesme frekansı v_{ac} ile orantılı olduğunu varsayarak;

$$v_{\max} \cong v_{ac} \cong \frac{g}{\sqrt{T_{eff}}} \quad 2.16$$

ilişkisini türetti.

Akustik kesme frekansı p modunun hüküm sürdüğü alanın en üst sınırını tanımlar. Bu nedenle $v_{\max}$ yıldızın yüzeyine yakın bölgelerin fiziksel koşulları hakkında bilgi taşır. Yıldız evrimleştikçe yüzey kütleçekim ivmesi azalacağından $v_{\max}$ daha düşük frekanslı bölgeye doğru kayar.

$v_{\max}$ 'ın belirlenmesindeki hata bu yıldızların kütle ve yarıçaplarının elde edilmesindeki duyarlılığı etkiler. Örneğin, erken F tayf türünden yıldızlarda $v_{\max}$ bölgesi tek tepeli bir biçim yerine çift tepeli bir yapıdadır (bkz. *Öncü (Procyon)* Şekil 2.5). Bunun yanı sıra yapılan gözleme bağlı olmak koşuluyla elde edilen $v_{\max}$ 'da da ciddi anlamda farklılık gözlenir. Örneğin, *Öncü* için tayftan elde edilen $v_{\max}$ 923 μHz iken ışıkölçümden 1014 μHz bulunmaktadır. Bu yıldızlarda ölçeklendirme ilişkisinin dikkatlice kullanılması gerekir. *Kepler* ve *CoRoT* verileri üzerine yapılan birçok çalışmada iç yapı modellerinden elde edilen kütle ile ölçeklendirme ilişkisinden elde edilen kütle arasında ciddi farklar vardır (Mathur et al. 2012; Metcalfe et al. 2014). Bu farklılıkların azaltılması için Yıldız et al. (2014) referans minimumları ile alternatif bir çözüm geliştirdi.



Şekil 2.5. Güneş benzeri yıldızlarda $v_{\max}$ 'ın belirlenmesindeki zorluğun gösterimi. Özellikle *Öncü (Procyon)* yıldızında çift tepeli bir durum görülür (Arentoft et al. 2008).

Ses hızı yıldız boyunca ortama bağlı olarak değişiklik gösterir. Yapısal değişiklikler, örneğin enerjinin taşınımı veya belirli elementlerin iyonlaşması gibi, fiziksel süreçlerle açıklanır. Bu değişiklikler aynı zamanda ses hızını da belirgin biçimde etkileyerek titreşim frekanslarında fark edilir izler bırakır (Mazumdar et al. 2013). Titreşim frekanslarında saptanabilen en belirgin etkilerden, HeII iyonlaşma muntıkası sorumludur. Bu etki frekansa karşı büyük ayrılma ($\nu-\Delta\nu$) grafiğinde dalgalı görüntülerle kendini belli eder (bkz. *Şekil 2.6*). Muntika boyunca Γ_1 'de düşüş meydana gelir (Yıldız et al. 2014).

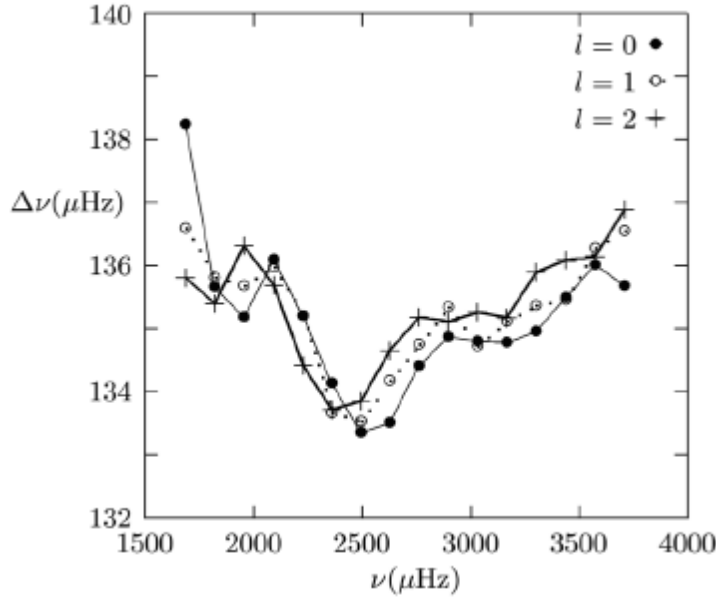
Yıldızın iç yapısı içerisinde ilerleyen bir dalğanın ortamdaki ses hızı;

$$c_s \cong \sqrt{\frac{\Gamma_1 p}{\rho}} \quad 2.17$$

şeklindeir. Γ_1 Güneş'in iç katmanları boyunca sabit olup değeri $\sim 5/3$ 'tür. Yüzeye yakın bölgelerde ($0.98 R_\odot$) Γ_1 'de ani bir değişiklik meydana gelir. Bu değişiklik HeII iyonlaşma muntıkasının bir etkisidir (Dziembowski et al. 1991). Bu değişiklik aynı zamanda ses hızı profilini de etkiler (bkz. *Denklem 2.17*). Büyük ayrılma yıldızın ses hızı profilinin davranışına bağlıdır.

Asimptotik ilişki bir modun frekansı ve onun mertebesi ile derecesi arasındaki ilişkiyi tanımlar (Tassoul 1980). Bu ilişkiye göre titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılma büyük oranda sabittir. Ses hızı profilindeki bu değişim asimptotik ilişkiyi bozacağından titreşim frekanslarında ani bir düşme olarak fark edilir (Mazumdar and Antia 2001; Yıldız et al. 2014). Güneş'in ya da diğer güneş benzeri titreşim gösteren yıldızların $\nu-\Delta\nu$ grafiği çizildiğinde bir takım düşmeler kendini belirgin şekilde gösterir (*Şekil 2.6*). Yıldız et al. (2014) bu düşüşlerden yüksek frekanslı olanı $\nu_{\min 1}$, daha düşük frekanslı olanı $\nu_{\min 2}$ olarak adlandırmaktadır.

Güneş benzeri titreşimlerin davranışı, yıldız evrimine bağlı olarak değişimler gösterir. Belirli bir modun titreşim frekansı ($\nu_{n,l}$) için, yıldız evrimleştikçe bu frekans değeri azalır (*Denklem 2.13*). Ancak altdev ve kırmızı dev aşamalarında bazı radyal olmayan frekanslar düzenli olarak kayarak karma modların oluşmasına yol açar. Evrimleştikçe anakoldan ayrılan yıldızın özeği çöktükçe dış katmanları genişler. Özek bölgesinde yerel olarak kütleçekim ivmesi ve hidrojen bolluğunda bir gradyent vardır. Özek ve zarf katmanları arasında yoğunlukta ciddi bir fark meydana gelir. Bu fark, özekteki kaldırma frekansının artmasına neden olur.



Şekil 2.6. BiSON tarafından elde edilen Güneş'e ait titreşim frekanslarının büyük ayrılmaya karşı grafiği (Yıldız et al. 2014).

Böylece g modlarının titreşim frekansları eskisinden daha yüksek olur. Ve bu g modları ile aynı dereceli (l) benzer frekans değerlerine sahip p modları eşleşir. Böylece ortaya karma modlar çıkar. Özekte g mod, yüzeyde p mod davranışı sergileyen bu dalgalar evrimleşmiş yıldızların titreşim frekanslarında görülür. Bu durum sonucunda, kırmızı devlerin frekans tayfında anakol yıldızlarından farklı özellikler vardır. Yüksek dereceli modlar için eşleşme olasılığı çok daha azdır. Çünkü yüksek dereceli g modları özekte tuzaklanmış haldedir. Bu nedenle de akustik modların ilerleme alanlarından tamamen uzak durdukları için eşleşme olasılığı oldukça düşüktür. Yıldız kırmızı dev aşamasından evrimleştikçe, $l = 1$ dereceli modların kaçınılan etkilenme (*avoided crossing*) yaparak azaldığını Montalban et al. (2010) gözleyerek buldu. Kırmızı dev aşamasını terk eden yıldızın ısıtması artar ve özeği daha da yoğunlaşır. Brunt-Vaisala frekansı artar böylece $l = 1$ dereceli akustik modlar daha iyi tuzaklanır ve titreşim tayfı anakol yıldızlarınkine benzer hale dönüşür. Böylece p ve g modlar arasındaki etkileşim ihtimali daha da artar (Huber et al. 2010). *CoRoT* ve *Kepler* sayesinde binlerce kırmızı devde güneş benzeri titreşimler gözlemlendi. Karma modların daha fazla yıldızda gözlenmesiyle bu alanda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Campante et al. 2011; Stello et al. 2011; Beck et al. 2012; Doğan et al. 2013; Garcia et al. 2014).

2.2. Güneş Benzeri Titreşimlerin Genlikleri

Güneş benzeri titreşimlerin genlikleri üzerine ilk çalışma Christensen-Dalsgaard and Frandsen (1983) tarafından yapıldı. Bu çalışmada anakol boyunca artan yaş (t) ve kütle (M) ile hız ve ısıtma genliklerinin arttığı gösterildi. Genlikler üzerine ilk gözlem çalışması Kjeldsen and Bedding (1995) tarafından yapıldı. Güneş'e göre ölçekli genliklerin kıyaslandığı çalışmada Kjeldsen and Bedding (1995) tayftan elde ettiği titreşim genliğinin (A_{vel}) kabaca

$$A_{vel} \propto \frac{L}{M} \quad 2.18$$

ile ilişkili olduğunu ortaya çıkardı. Burada L ısıtmayı, M kütleli ifade eder. Kjeldsen and Bedding (1995) bu ilişkiyi kullanarak ölçeklendirme ilişkisini sınırlı sayıda güneş benzeri titreşim gösteren yıldızın genlik ölçümleri üzerinden oluşturdu. *Kepler* verilerine dayalı gözlemlerde bu ilişkinin bir miktar değiştiği saptandı (Huber et al. 2011). Bu çalışmaya göre yeni ilişki,

$$A_{vel} \propto \frac{L^s}{M^t} \quad 2.19$$

olup ihmal edilen mod ömrü ve bulgurlanma etkileri dahil edildi. Farklı tayf türünden ve çeşitli evrim basamaklarında yer alan yıldızları içeren bu çalışmada, anakoldan kırmızı budak (*red clump*) yıldızlara doğru gözlenen genliği hesaplamak için değişen duyarlılık % 25 olarak belirtiliyor (Huber et al. 2011).

2.3. Yıldız Özelliklerinin Asterosismoloji ile Türetilmesi

Asterosismoloji sayesinde tek yıldızların sergiledikleri güneş benzeri titreşimler saptandı. Böylece, titreşim frekanslarından, tek yıldızların belirlenmesi oldukça güç olan temel parametreleri elde edilir.

2.3.1. Sismik nicelikler cinsinden kütle ve yarıçap

Büyük ayrılma (Δv) ile yoğunluk ve en büyük genlikli modun frekansı (v_{max}) ile yüzey çekimi ve etkin sıcaklık arasındaki ilişkiler kullanılarak yıldızların kütle ve yarıçapı için ölçeklendirme ilişkisi elde edilebilir.

Kütle ve yarıçap için en yaygın kullanılan asterosismik ölçeklendirme ilişkileri (Huber et al. 2011);

$$\frac{R}{R_{\odot}} \cong \left(\frac{v_{max}}{v_{max\odot}} \right) \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}} \right)^{-2} \left(\frac{T_{eff}}{T_{eff\odot}} \right)^{0.5}, \quad 2.20$$

$$\frac{M}{M_{\odot}} \cong \left(\frac{v_{max}}{v_{max\odot}} \right)^3 \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}} \right)^{-4} \left(\frac{T_{eff}}{T_{eff\odot}} \right)^{1.5} \quad 2.21$$

şeklindedir. Ölçeklendirme ilişkisi anakol yıldızları için kütle ve yarıçapı % 5-7 duyarlılıkla bulmayı sağlar (Mathur et al. 2012; Metcalfe et al. 2014). Ancak yıldız evrimi ve diğer etkilere bağlı olarak bu ilişkide bir takım sapmalar görüldü (White et al. 2012; Yıldız et al. 2016).

Yıldız et al. (2014) tanımladıkları referans minimum frekanslarını en büyük genlikli modun frekansına bölerek yıldız kütlelerini ölçeklendirme ilişkisinden daha duyarlı elde etti. Aynı zamanda referans minimumlarını kullanarak ölçeklendirme ilişkisini güncelledi. Bu yeni ilişki ile etkin sıcaklık, yüzey kütleçekim ivmesi, yarıçap ve kütleli ölçeklendirme ilişkisinden daha yüksek duyarlılıkla saptadı. Bunun yanı sıra, yaşı ve ısıtmayı da referans minimumları cinsinden elde etti. Referans minimumları üzerine metal bolluğunun etkilerini de tartışan Yıldız et al. (2015), yıldız evrimleştikçe v_{min1} ve v_{max} değişiminin aynı olduğunu ve oranlarının sabit olduğunu ortaya çıkardı. Anakol yıldızları için mod merteye farkı ile $((v_{min1} - v_{min2})/\Delta v)$ arasındaki ilişkinin etkin sıcaklıkla bağlantılı olduğunu saptadı. Metal bolluğu yıldız iç yapısını ve evrimini önemli derece etkiler. Bu etkiler aynı zamanda titreşim frekanslarında da kendilerini gösterir. Yıldız et al. (2015) daha geniş kütle aralığı ile Güneş kompozisyonundan farklı metal ve helyum bolluğu kullanarak anakol yıldızlarının metal bolluğunu $\sim\%$ 14, helyum bolluğunu $\sim\%$ 10 duyarlılıkla saptadı. Daha sonra yapılan çalışmada bu sonuçlardan bazılarının model bağımlı olduğu gösterildi (Yıldız et al. 2016).

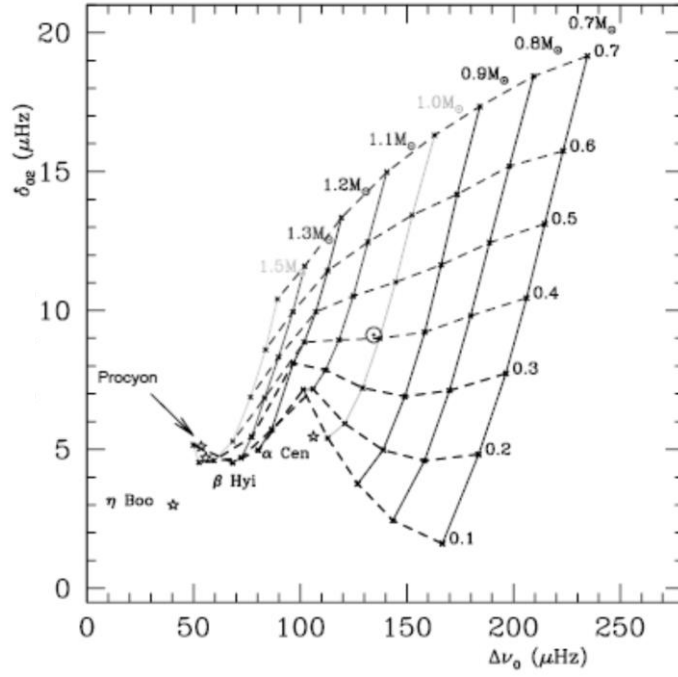
Ölçeklendirme ilişkisinde Γ_1 sabit olarak alınır (Kjeldsen and Bedding 1995). Ancak MESA evrim kodu ile yapılan iç yapı modellerinde Γ_1 'in sabit olmadığı saptandı (Yıldız et al. 2016). Γ_1 'deki değişimin etkin sıcaklığa bağlı olduğu gösterildi. Ayrıca büyük ayrılma ve ortalama yoğunluk arasındaki ilişki de Γ_1 'e bağlıdır. Yıldız et al. (2016), Γ_1 'in sabit olmadığını göz önünde bulundurarak ölçeklendirme ilişkilerini güncelledi. Bu yeni ölçeklendirme ilişkilerini 89 *Kepler* ve *CoRoT* yıldızına uyguladı. Eski ve yeni ölçeklendirme

ilişkilerinden elde edilen kütlelerdeki farkın % 10'dan daha fazla olduğunu buldu. Bu çalışma sonucunda, Güneş ve Öncü A yıldızlarının hesaplanan temel parametreleri ile gözlem değerleri arasındaki uyum oldukça iyidir (Yıldız et al. 2016). Bond et al. (2015) tarafından astrometrik yöntemle kütlesi $1.478 \pm 0.012 M_{\odot}$ olarak elde edilen Öncü A'nın, eski ölçeklendirme ilişkisi ile kütlesi $1.63 M_{\odot}$ elde edilirken, Yıldız et al. (2016) tarafından türetilen Γ_1 'li yeni ölçeklendirme ilişkisi ile $1.46 M_{\odot}$ 'dır.

2.3.2. Yıldız yaşının hesaplanması

Asterosismik olmayan yöntemlerle yapılan gözlemlerden yıldız yaşı doğrudan elde edilemez. Yüksek duyarlılık gerektiren yaş parametresi, yıldız iç yapı ve evrimi açısından büyük önem taşır. Tek bir yıldızın yaşını hesaplamak için birden fazla yöntem vardır. Bunlardan en bilinenleri yıldız aktivitesine bağlı yaş tayini, yıldız dönmesine bağlı yaş tayini, yüzey lityum bolluğundan yaş tayini ve gözlem kısıtları altında türetilen yıldız modelleri ile elde edilen yaş eğrileridir (Di Mauro 2017). Bu yöntemlerde kullanılan niceliklerin yüksek hata payı içermesinden dolayı asterosismik yöntemle elde edilen yaştan daha yüksek belirsizliklerle yaş saptanır. Asterosismik nicelikler kullanılarak yapılan yaş tayininde, belirli bir kimyasal kompozisyon için, farklı kütle ve evrim aşamasındaki yıldızların büyük ayrılma ve küçük ayrılma ile evrim yolları kullanılarak asterosismik HR diyagramı oluşturulur (Christensen-Dalsgaard 1988) (Şekil 2.7). Bu yöntemde tayftan etkin sıcaklık ve metal bolluğunun duyarlı olarak belirlenmesiyle yaşın da duyarlı belirlenmesi sağlanabilir. Chaplin et al. (2014), bu yöntemi güneş benzeri titreşim yapan 500'den fazla yıldızla uygulayarak yaş için duyarlılığın % 10-15 civarında olduğunu buldu. Küçük ayrılma (δ_{02}) , yaş tayini açısından anakol yıldızlarında daha duyarlı olurken, evrimleşmiş yıldızlarda karma modların periyodu daha belirleyici olur (Bedding et al. 2011).

Yaşın iyi belirlenmesi, diğer bir yandan gökadanın yapısı hakkında da bilgi verir. Asterosismoloji yöntemiyle farklı evrim basamaklarından binlerce yıldızın gökadamadaki konumlarına göre yaş tayinleri yapılarak gökadanın yapısı ve evrimi hakkında bilgi türetilmektedir (Miglio et al. 2009; Cassegrande et al. 2016).



Şekil 2.7. Asterosismik HR diyagramı olarak adlandırılan büyük ayrılmaya karşı küçük ayrılma grafiği (Di Mauro 2017).

2.3.3. Doğrudan frekanslar yoluyla temel parametrelerin elde edilmesi

Yıldızların temel parametrelerinin daha duyarlı elde edilmesi için yıldızların tek tek titreşim frekanslarına da bakmak gerekir. Yıldız evrim kodları yardımıyla modellenen yıldız iç yapısından elde edilen kuramsal titreşim frekansları ile gözlemlerden elde edilen frekansların karşılaştırılmasına dayanan bu yöntem, özellikle küçük kütleli yıldızların kütle, yarıçap ve yaşı için daha iyi sonuç verir (Mathur et al. 2012; Metcalfe et al. 2012; Deheuvels et al. 2014).

Metcalfe et al. (2012), güneş benzeri titreşim yapan 42 yıldız AMP evrim koduyla modelleyerek gözlem titreşim frekanslarıyla kıyasladı. Bunun sonucunda yıldızların temel parametrelerini ölçeklendirme ilişkisinden çok daha yüksek duyarlılıkla hesaplandığını belirtti.

Yıldız iç yapı modelleri ile hesaplanan kütle ve yarıçap, ölçeklendirme ilişkisi ile türetilen kütle ve yarıçap ile kıyaslandığında aralarında doğrusal bir ilişki görülür (Yıldız et al. 2016, *şekil 14*). Belirli bir modun titreşim frekansı yıldızın ortalama yoğunluğuna bağlıdır. Bu nedenle yapılan iç yapı modelleri sonucu elde edilen model titreşim frekanslarının gözlem titreşim frekanslarına yakınlaştırmak yıldız yoğunluğunu yakınlaştırmak anlamına gelir. Kütle ve

yarıçap için ciddi farklar olmasına karşın yoğunluklar, dolayısıyla titreşim frekansları iyi bir şekilde modellenir (Yıldız et al. 2016, *şekil 15*). Ancak kütle ve yarıçapı daha duyarlı belirlemek için ek bir tanımlama aracı olan referans minimumlarına ihtiyaç vardır (Yıldız et al. 2014; 2015; 2016).

2.4. Güneş Benzeri Titreşimlerin Gözlenmesi

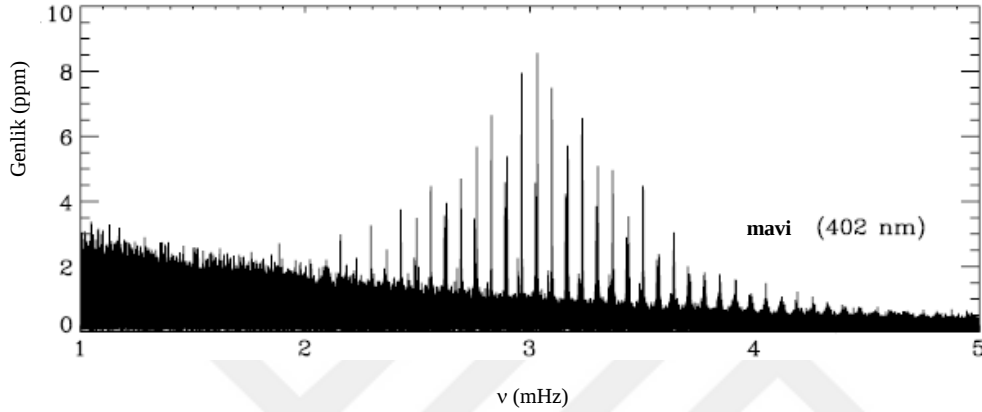
Büyük genlikli titreşimler çok uzun zamandan beri gözlenmektedir. Bu gözlemler daha çok bünyevi değişim gösteren yıldız türlerini ve tutulma gösteren çift yıldızları içerir (Aerts et al. 2010). Güneş benzeri titreşim yapan yıldızların gözlemleri Güneş titreşimlerinin keşfi ile ortaya çıktı (Christensen-Dalsgaard and Frandsen 1983).

Bir yıldızın titreşim tayfını analiz etmek için titreşim frekansları ve uyartılan titreşim modlarının tanımlanması gerekir. Asterosismik veri temelde iki gözlem yöntemi ile elde edilir. Bunlar; yıldız akı değişimini inceleyen ışıkölçüm ve hız değişimlerinin tayfölçümüdür. Tayfölçümle titreşimlerin saptanması Güneş için daha çok geçerlidir. Işıkölçüm açısından yüksek gürültüye neden olan güneş benzeri yıldızların yüzeyindeki bulgurlanmadan daha az etkilendiği için tayfölçüm daha iyi sonuç verir (Bedding et al. 2004; Kjeldsen et al. 2005).

Güneş benzeri titreşimlerin gözlemindeki zorluklardan biri tüm titreşim modlarının toplamının anlık olarak kaydedilmesidir. Buna ek olarak doğası gereği rastgele biçimde uyartılmış birkaç mod baskın biçimde gözlenir. Tüm frekansların elde edilebilmesi için daha uzun periyotlu ve kesintisiz gözlemlere ihtiyaç vardır. Bu nedenle de uzaydan yapılan gözlemler yerkonuşlu gözlemlerden daha elverişlidir.

Güneş'teki titreşimler 1960'lı yılların başlarında Doppler hız ölçümleri ile keşfedildi (Leighton et al. 1962). Güneş'in yüzeyindeki bu titreşimlerin periyodu ~5 dk olarak saptandı. Daha sonra yapılan gözlemler ve kuramsal çalışmalarla helyosismolojinin temeli atılmış oldu (Deubner 1975). Güneş'te 3 mHz frekans civarında uyartılmış ~8 ppm parlaklık değişimli ve ~1 cm s^{-1} hız genlikli, binlerce mod saptandı (Garcia et al. 2013). 1993 yılında IRIS, GONG ve BiSON gözlem ağlarının kesintisiz ve farklı enlemlerden yapılan gözlemleri sayesinde Güneş'in iç yapısı ve evrimi hakkında bilgiler türetildi (Fossat 1991; Harvey et al. 1996; Chaplin et al. 1996). 1996 yılında SOHO uzay aracı ile Güneş'e ait binlerce

titreşim frekansı uzaydan elde edildi (Gabriel et al. 1995). Bu titreşim frekansları Güneş'in iç yapısı hakkında yüksek duyarlılıklı veri sağlayarak standart Güneş modelinin de gözlem değerlerine yakınlaşmasını sağladı. Bunun dışında saydamsızlık tablolarından hal denklemine ve nükleer tepkimelerden kimyasal bolluk analizine kadar birçok astrofiziksel nicelik için yol gösterici oldu. Güneş'in titreşim tayfı Şekil 2.8'de sunulmaktadır.

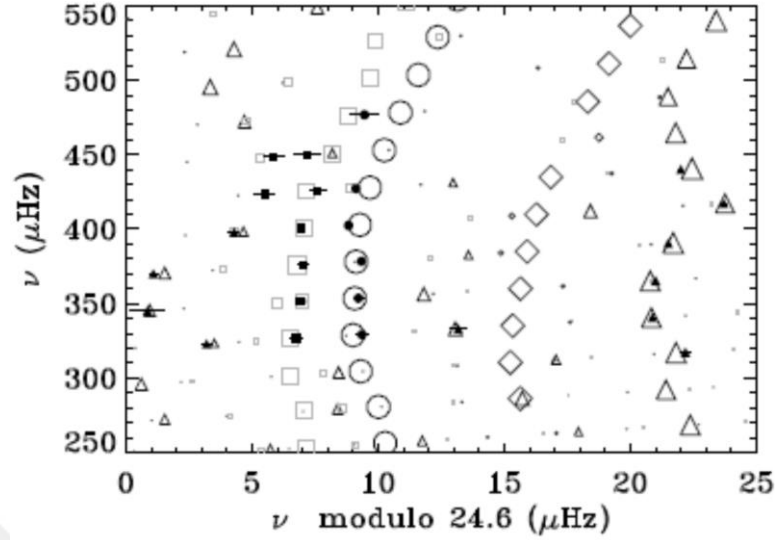


Şekil 2.8. Güneş'in SOHO gözlemleri sonucunda elde edilen titreşim tayfı (Bedding and Kjeldsen 2003). En yüksek genliğin ~ 3 mHz civarında olduğu rahatça görülüyor.

Güneş için gözlenen ve hesaplanan frekansların karşılaştırılması merdiven (*echelle*) diyagramı adı verilen bir yöntemle yapıldı (Grec et al. 1993). Daha sonra bu diyagram tüm güneş benzeri titreşim yapan yıldızlar için uygulanır hale geldi. Merdiven diyagramı frekans tayfını büyük ayrılma boyutlarında iki parçaya ayırmaya ($mod\Delta\nu$) ve üstüste yığarak çizgi benzeri yapılar oluşturmaya yarar ($mod\Delta\nu-\nu$). Aynı dereceli titreşim frekansları için merdiven diyagramı çizildiğinde neredeyse düzenli bir çizgi şeklinde görülür. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi eğer yıldız karma mod gösteriyorsa onun merdiven diyagramında bir takım farklılıklar belirecek ve düzensiz bir görüntü meydana gelecektir.

Helyosismolojinin birikimleri güneş benzeri yıldızlarda da uygulama alanı buldu. Güneş'ten farklı olarak yıldızların oldukça uzak olup nokta kaynak şeklinde görülmesi ve çok küçük genlikli titreşimlere sahip olmasından dolayı güneş benzeri titreşimlerin gözlenmesi oldukça zordur. Bu titreşimlerin saptanması ilk olarak 1980'li yıllarda gerçekleşti. Güneş benzeri titreşimlerin görüldüğü ilk kuvvet tayfı Öncü (*Procyon*)'de gözlenirken (Brown et al. 1991),

titreşim frekanslarının ilk kez elde edildiği yıldız η Boo oldu (Kjeldsen and Bedding 1995).



Şekil 2.9. Güneş benzeri titreşim gösteren KIC 4351319 kırmızı dev yıldızının merdiven diyagramı (Di Mauro et al. 2011). Grafikte gözlem içi dolu, hesaplanan değerler içi boş şekilde gösteriliyor. Yuvarlaklar $l = 0$, üçgenler $l = 1$, kareler $l = 2$, elmaslar $l = 3$ dereceli titreşim frekanslarını temsil ediyor.

Yeryüzünden yapılan gözlemlerin zorlukları ve düşük sinyal/gürültü oranlarından dolayı gözlem kampanyaları düzenlense de çok büyük bir başarı elde edilemedi (Bedding et al. 2004). Bu nedenle uzay çalışmalarına yönelen astrofizikçiler bu alanda ilk çalışmaları *MOST* ile gerçekleştirdi (Walker et al. 2003). Klasik zonklayanların keşfi konusunda çığır açan *MOST*, aynı başarıyı güneş benzeri titreşim sergileyen yıldızlarda gösteremedi. Ancak yeryüzünden yapılan gözlemlere katkı sağlayan *MOST*, Öncü A'nın titreşim frekanslarını elde etmede kullanıldı (Matthews et al. 2004). Basınç modlarının net bir biçimde ilk olarak belirlenmesi ve tanımlanması Güneş'in benzeri olan α Cen A yıldızında elde edildi (Bouchy and Carrier 2002). 2006 yılında fırlatılan *CoRoT* güneş benzeri titreşim gösteren anakol, altdev ve kırmızı dev yıldızları keşfetti (Appourchoux et al. 2008). *CoRoT* görevine kadar yalnızca birkaç anakol yıldızında saptanabilen güneş benzeri titreşimler, diğer evrim basamaklarında yer alan yüzlerce yıldızda da ilk kez saptanmış oldu. Belkacem et al. (2009) ise küçük kütleli anakol yıldızlarında ve büyük kütleli O tayf türünden ve β Cepheid türünden yıldızlarda da güneş benzeri titreşimlerin olabileceğine dair kanıtlar sundu. 2009 yılında *Kepler* uzay teleskobunun gözlemleri asterosismoloji alanında devrim yaptı (Borucki et al. 2010). Yaklaşık olarak 190.000 yıldızı gözleyen *Kepler*, gezegenli

yıldızlar dahil farklı türde (*erken F tayf türünden geri K tayf türüne kadar olan aralık*) ve evrim basamağındaki onbinlerce yıldızda güneş benzeri titreşimler saptadı (Chaplin et al. 2010; Christensen-Dalsgaard et al. 2010).

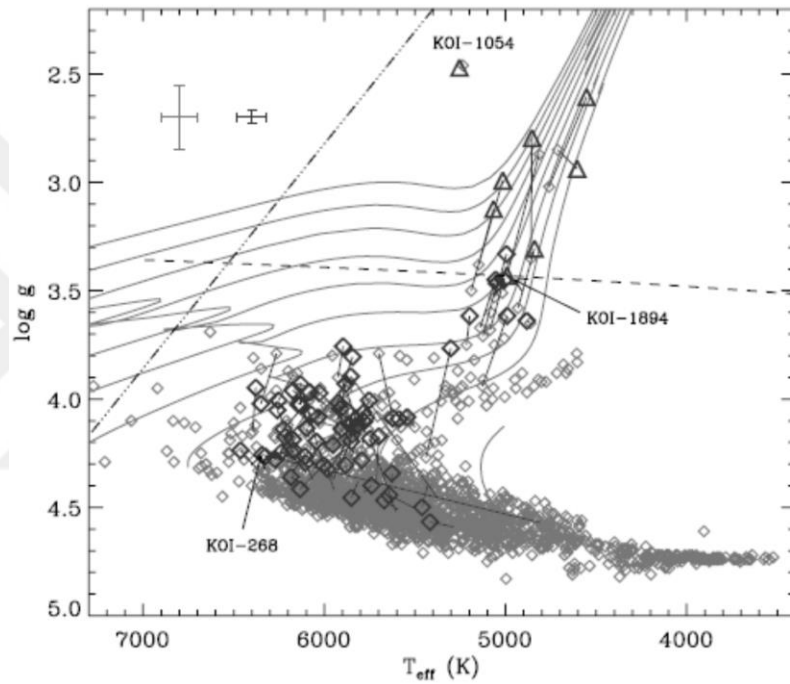
Asterosismoloji alanında gözlem açısından yakın gelecekte birkaç önemli projenin gerçekleşmesi bekleniyor. Bunlardan biri yer tabanlı gözlemevi ağı olan SONG, kesintisiz dikine hız eğrileri elde ederek asterosismolojiye katkı verecektir (Grundhal et al. 2006). Planlanan dört robotik teleskoptan yalnızca biri faaliyete geçti. Bu teleskop, altdev olan μ Her'in 2014-2015 yılları arasında uzun periyotlu gözlemini gerçekleştirdi (Di Mauro et al. 2017). 2018 yılı içerisinde fırlatılması planlanan TESS tüm gökyüzünü tarayarak gökadanın farklı bölgelerinde yer alan onbinlerce yıldız hakkında bilgi sağlayacak (Ricker et al. 2014). Böylece gökadanın yapısı asterosismoloji ile daha ayrıntılı olarak incelenebilecek. Bir diğer önemli çalışma 2024 yılında fırlatılması planlanan PLATO 2.0'dır (Rauer 2013). Güneş benzeri yıldızların etrafında gezegen avına çıkacak bu projeden elde edilecek verilerle asterosismoloji yöntemi kullanılarak kütle ve yarıçapın % 2, yaşın % 10'dan daha iyi bir duyarlılıkla belirlenmesi öngörülüyor.

2.5. Gezegenli Yıldızların Asterosismolojisi

Kepler uzay teleskobunun gözlemleri sayesinde çok sayıda güneş benzeri titreşim yapan gezegenli yıldız keşfedildi. Gözlemler sonucunda türetilen titreşim frekansları, gezegenli yıldızların asterosismik yöntemle ayrıntılı olarak incelenmesini sağladı. Kepler uzay teleskobunun gözlemlerinden önce ancak birkaç gezegenli sisteme asterosismik yöntem uygulandı (Bouchy and Carrier 2001; Vauclair et al. 2008; Wright et al. 2011; Gilliland et al. 2011; Nutzman et al. 2011).

Gezegenli yıldızları asterosismik yöntemle kapsamlı olarak ilk kez Huber et al. (2013) inceledi. Şekil 2.10'da görülen ve bu çalışma kapsamında incelenen 77 gezegenli ve gezegen adayına sahip Kepler yıldızının temel parametreleri Huber et al. (2013) tarafından türetildi. Çalışmada ölçeklendirme ilişkisi kullanılarak yıldızların kütle ve yarıçapını sırasıyla % 7 ve % 3 belirsizlikle hesaplandı. Gezegenli yıldızlardan anakolda olanların gezegen yarıçapları geçiş (*transit*) yöntemi ile hesaplanan değerlere yakın çıkarken, evrimleşmiş yıldızlarda en fazla 1.5 katlık sistematik bir farkın olduğu belirtildi. Etkin sıcaklığı iyi bilinen gezegenli yıldızların asterosismik yarıçapları kullanılarak gezegen yarıçapları

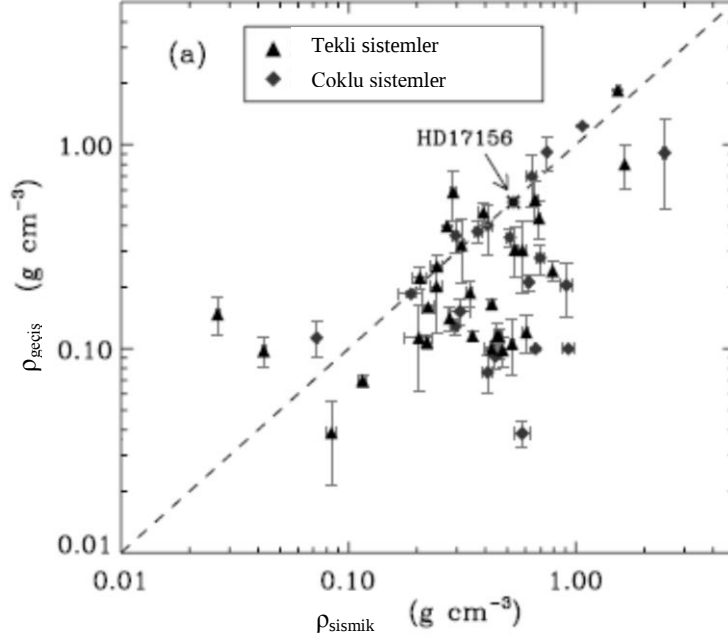
geçiş yöntemine kıyasla çok daha duyarlı elde edildi (Huber et al. 2013). İncelenen yıldızlara ait 107 gezegenin yarıçapları güncellenirken, geçiş ve asterosismik yöntemle hesaplanan yoğunlukların birbirinden farklı olduğu görüldü (Şekil 2.11). Huber et al. (2013) tarafından bu farkın geçiş yöntemindeki çember yörünge varsayımından ve asterosismik yöntemin yüksek duyarlılığından kaynaklandığı belirlendi. Gezegenli yıldızların sismik yolla elde edilen yüzey kütleçekimlerinin de geçiş modelleriyle elde edilenden daha duyarlı olduğu saptandı (Huber et al. 2013; Van Eylen et al. 2014).



Şekil 2.10. Gezegenli ve gezegen adayına sahip yıldızların etkin sıcaklık-kütleçekim grafiği (Huber et al. 2013). Büyük elmas ile gösterilenler asterosismik yöntemle incelenen yıldızlardır. Diğer semboller geçiş (*transit*) yöntemi ile keşfedilen gezegenli ve gezegen adayına sahip yıldızları belirtiyor. Evrim çizgileri Huber et al. (2013) tarafından elde edildi.

Gezegenli yıldızlara asterosismik yöntemin uygulanması ile ilgili bir diğer önemli çalışma Silva Aguirre et al. (2015) tarafından yapıldı. *Kepler* tarafından gözlenen 33 gezegenli ve gezegen adayını içeren çalışmada, ölçeklendirme ilişkisinden farklı olarak, gözlenen titreşim frekansları ile sismik nicelikler kullanılarak gezegenli yıldızların temel parametreleri iç yapı modelleri yardımıyla bulundu. Silva Aguirre et al. (2015) yıldız evrim modellerini kullanarak yaptığı çalışmada yıldızların kütesini % 3.3, yarıçapını % 1.7, uzaklığını % 4.4 ve yaşını

% 14 duyarlılıkla saptadı. Bu bulgulara ek olarak farklı yıldız evrim kodu ve zonklama paketleri kullanılarak yarıçapın % 1, kütlenin % 2 ve yaşı % 7 oranında değiştiği gösterildi.



Şekil 2.11. Çember yörünge varsayımı altında asterosismik yöntemle elde edilen ortalama yoğunluğa karşı geçiş yöntemiyle hesaplanan yoğunluk grafiği (Huber et al. 2013). Grafikte üçgen ile belirtilenler tekli sistemleri, elmas ile belirtilenler birden fazla gezegene sahip çoklu sistemleri gösteriyor. HD 17156 *Hubble* uzay teleskobu verilerinden alındığı için grafikte ayrıca işaretlenmiştir.

Gezegenli yıldızların asterosismik yöntemlerle bulunan kütleleri kullanılarak gezegenlerin yörünge yapıları da ortaya çıkarılır. Geçiş zaman (*transit-timing*) ve dikine hız ölçümleri ile bu kütle kullanılarak gezegenin kütlesi de saptanır (Carter et al. 2012; Marcy et al. 2014). Titreşim frekansları iyi bir şekilde elde edilen parlak hedeflerin yıldız dönme hızı ve eğikliği de hesaplanır (Chaplin et al. 2013; Van Eylen et al. 2014; Davies et al. 2015).

Bu tez kapsamında incelenen yıldızların ve gezegenlerinin özellikleri *Bölüm 3* ve *Bölüm 5*'de ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

3. İNCELENEN GEZEĞENLİ YILDIZLAR

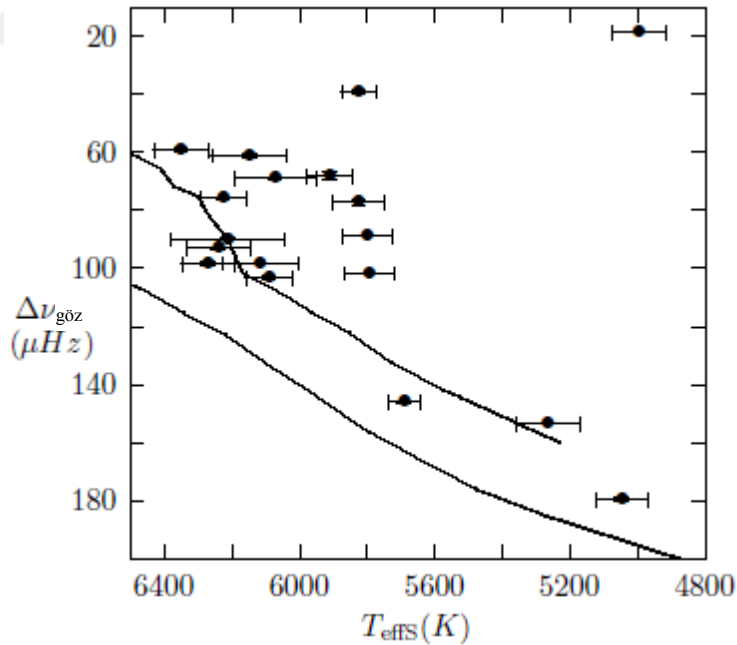
Bu tez kapsamında farklı evrim basamaklarındaki toplam 40 gezegenli yıldız, MESA evrim kodu ile iç yapı modeli yapılarak da 22 yıldız ayrıntılı olarak incelendi. Bu yıldızların hepsi güneş benzeri titreşim sergiliyor. Bu nedenle de titreşim frekansları kullanılarak analiz edilmeye uygun adaylardır. Çalışma kapsamında incelenen yıldızların gözlem tayf ve asterosismik özellikleri Çizelge 3.1’de sunulmaktadır. Bu yıldızlardan HD 52265 *CoRoT*, diğerleri *Kepler* uzay teleskobu tarafından gözlenmiştir. Bu gözlemlerle elde edilen ışık eğrilerinin analizi sonucu ortaya çıkarılan gözlem titreşim frekansları Çizelge 3.1’de belirtilen kaynaklardan alındı. Gözlem titreşim frekansları analiz edilerek asterosismik nicelikler olan büyük ayrılma ($\Delta\nu$) ve küçük ayrılma ($\delta\nu_{02}$) türetildi. Ayrıca en büyük genlikli modun frekansı ($\nu_{\max}$) hesaplandı. Ayrıca Yıldız et al. (2014; 2016)’da ayrıntılı olarak anlatılan minimum referans frekansları ($\nu_{\min 0}$, $\nu_{\min 1}$ ve $\nu_{\min 2}$) her bir yıldız için gözlem titreşim frekansları kullanılıp ν - $\Delta\nu$ grafikleri çizdirilerek elde edildi. Bu değerler de Çizelge 3.1’de sunuldu.

Çizelge 3.1. Tez kapsamında incelenen yıldızların asterosismik ve tayf parametreleri. Sütunlar sırasıyla; yıldız ismi, etkin sıcaklık, metal bolluğu, yüzey kütleçekim ivmesi, en büyük genlikli modun frekansı, titreşim frekansları arasındaki ortalama büyük ve küçük ayrılma, referans minimumları ve kaynaklardır.

<i>Yıldız</i>	T_{effs} (K)	$[M/H]_s$ (dex)	$\log g_s$	$\nu_{\max}$ (μHz)	$\langle\Delta\nu\rangle$ (μHz)	$\langle\delta\nu_{02}\rangle$ (μHz)	$\nu_{\min 0}$ (μHz)	$\nu_{\min 1}$ (μHz)	$\nu_{\min 2}$ (μHz)	<i>Kaynak</i>
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-Žakowicz 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)

Yalnızca dört yıldızda (*KIC 7199397*, *KIC 8866102*, *KIC 9592705* ve *KIC 10666592*) üç tane minimum referans frekansı ν - $\Delta\nu$ grafiklerinde görüldü. Diğer yıldızlarda iki ya da yalnızca bir minimum referans frekansı saptandı. Bu referans frekansları genellikle $\nu_{\min 0}$ ve $\nu_{\min 1}$ 'dir. Bu tez kapsamında incelenen yıldızların evrim durumları gözlemden elde edilen etkin sıcaklığa karşı gözlemden elde edilen büyük ayrılma çizilerek Şekil 3.1'de gösterildi. Şekilde yer alan kalın ve ince çizgiler sırasıyla sıfır-yaş anakolu (SYAK) ve ölüm-yaş anakolu (ÖYAK)'nu gösterir. Hem SYAK hem de ÖYAK çizgileri MESA yıldız evrim kodu kullanılarak Güneş kimyasal bileşiminde $0.8-1.6 M_{\odot}$ kütle aralığındaki modellerden türetildi. Yalnızca bir yıldız (*KIC 10864656*) kırmızı dev bölgesinde, diğerleri ya anakol yıldızı ya da altdevdir (Şekil 3.1). İncelenen güneş benzeri titreşim yapan yıldızların etkin sıcaklık aralığı 5000-6400 K'dir. *KIC 10666592* en yüksek sıcaklığa sahip gezegenli yıldız olurken (6350 ± 80 K), bu çalışmadaki en soğuk yıldız 4995 ± 78 K ile *KIC 10864656*'dır. Çalışma kapsamında modelleri yapılarak incelenen güneş benzeri titreşim gösteren gezegenli yıldızlara ait toplam 36 gezegen vardır. Bunların dışındakiler (*KOI-75*, *KOI-263*, *KOI-288*, *KOI-288*, *KOI-364* ve *KOI-974*) gezegen adayı olarak literatürde yer alır.



Şekil 3.1. Tez kapsamında incelenen yıldızların tayftan elde edilen etkin sıcaklığa karşı gözlem büyük ayrılma grafiği. Kalın ve ince çizgi sırasıyla SYAK ve ÖYAK'ı temsil etmektedir. Her iki kol da MESA evrim kodu ile $0.8-1.6 M_{\odot}$ kütle aralığında Güneş bileşimindeki modellerden elde edildi.

Gezegen ve gezegen adaylarının çoğu kayaç yapıdadır. Geriye kalanlar ise sıcak dev gaz gezegenlerdir. Birden fazla gezegene sahip çoklu sistemlerin sayısı onbirdir. Gezegenlerden en uzun periyotlu olan Kepler-126c (~100 gün), en kısa periyotlu olan Kepler-65c (~2 gün)'dir.

Bu tez kapsamında incelenen güneş benzeri titreşim yapan yıldızların ayrıntılı özellikleri bir sonraki bölümde anlatıldı. Burada hem yıldızların hem de yıldızlara ait gezegen ve gezegen adaylarının gözlem özellikleri üzerinde duruldu.

3.1. İncelenen Gezegenli Yıldızların Listesi

Bu tez kapsamında incelenen yıldızların gözlemsel frekans verileri literatürde yayınlanan makalelerden alındı. Eğer bir yıldızın frekansı birden çok makalede yayınlanmış ise, frekans hata payı düşük ve daha geniş frekans tayfına sahip olanların verileri tercih edildi.

3.1.1. HD 52265

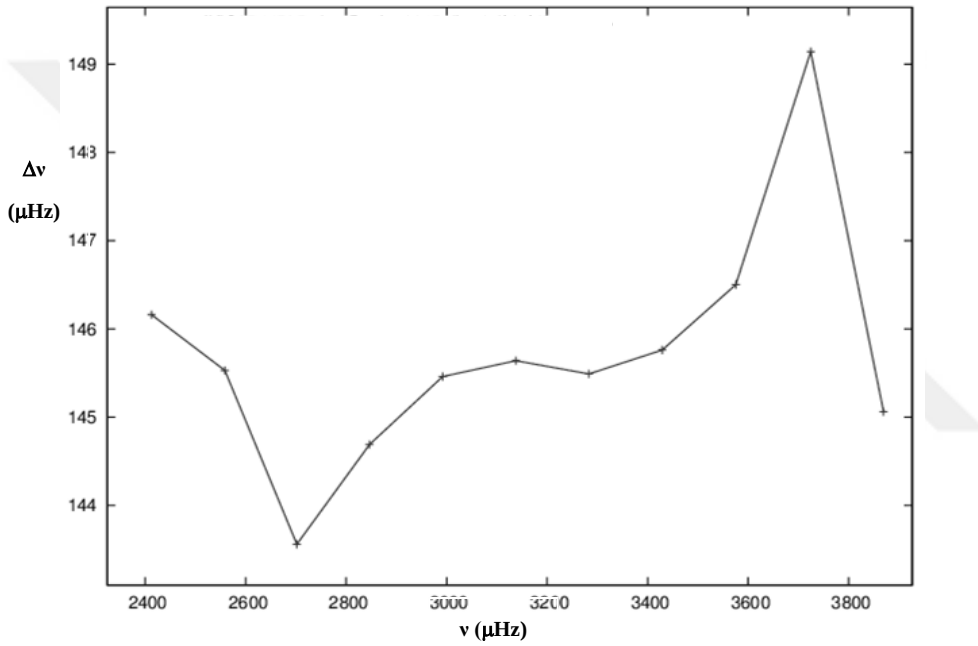
HD 52265, *CoRoT* uzay programının ana hedef yıldızlarından biridir. Yıldızın anakolda ya da ÖYAK'ı biraz geçtiği düşünülmektedir (Soriano et al. 2007). Metalce zengin bir gezegenli yıldız olan HD 52265, G0 tayf türünden bir yıldızdır (Houk and Swift 1999). V süzgecinde $6^m.301$ parlaklığa sahip olan yıldızın, $B-V$ ve $V-K$ renkleri, sırasıyla, $0^m.536$ ve $1^m.348$ 'dir (Cutri et al. 2003). Uzaklığı *Hipparchos* uydusu tarafından gözlenen ıraksınım ile hesaplandığında 28.96 pc'dir (van Leeuwen 2007). Escobar et al. (2012) HD 52265 gezegenli yıldızının, *CoRoT* gözlemlerine dayanan sismik analizi sonucunda, başlangıç helyum bolluğunu ve Lebreton and Goupil (2012), metalce zengin yıldızın zarf delen konveksiyon (*envelope penetrative convection*) yapıp yapmadığını araştırdı. Gizon et al. (2013) yıldızın gözlem titreşim frekanslarını kullanarak ortalama iç dönme hızını hesapladı. Asterosismolojinin de dahil olduğu birden fazla yöntemi içeren kapsamlı bir çalışma Lebreton and Goupil (2014) tarafından gerçekleştirildi. Bu çalışmada yıldızın gözlem kısıtlarına göre belirlenen yaş, kütle ve yarıçap aralıkları bulundu. Butler et al. (2000) ve Naef et al. (2001) birbirlerinden bağımsız olarak HD 52265'in çevresinde dolanan sıcak Jüpiter benzeri bir gezegen saptadı.

HD 52265'in $v-Av$ grafiğinde iki adet referans frekansı görülür. Bunlar v_{min0} ve v_{min1} 'dir. v_{min1} iyi bir şekilde tespit edildi. v_{min0} için $l = 0, 1$ ve 2

derecelerindeki gözlemsel titreşim frekansları farklı frekans değerlerini işaret ettiğinden ν_{min0} 'ı belirlemek zordur.

3.1.2. KIC 3544595

KIC 3544595 (*Kepler-93*), *V* süzgecinde 10. kadırdan bir anakol yıldızıdır (Høg et al. 2000). Yıldızın *B-V* ve *V-K* renkleri sırasıyla $0^m.73$ ve $1^m.63$ 'tür (Cutri et al. 2003). Ballard et al. (2014), KIC 3544595 gezegenli yıldızının kütlesini Güneş kütlesinden daha az buldu. Bu nedenle gezegenli bu yıldız aynı zamanda soğuk cüceler üzerine yapılan araştırmalar açısından da önemlidir.



Şekil 3.2. KIC 3544595 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $\nu-\Delta\nu$ grafiği. Grafikte iki adet minimum görülür. Bu grafikte düşük frekanslı bölgede bulunan $\min1$ 'in derinliği, yüksek frekanslı bölgede bulunan $\min0$ 'dan daha fazladır.

KIC 3544595'in $\nu-\Delta\nu$ grafiğinde iki adet minimum görüldü. Şekil 3.2'de görülen düşük frekanslı bölgede bulunan $\min1$ 'in derinliği yüksek frekanslı bölgede bulunan $\min0$ 'dan daha fazladır. Bu durum $l = 0$ derecesindeki gözlem titreşim frekanslarının $\nu-\Delta\nu$ grafiğinde çizilmesiyle kolayca görülür (Şekil 3.2).

Kayaç bir gezegene sahip olduğundan en önemli gözlem hedeflerden biri haline gelen KIC 3544595'in gezegeni *Kepler* ve *Spitzer* Uzay Teleskobu tarafından onaylandı (Ballard et al. 2014). Bu iki uzay teleskobunun yaptığı gözlemlere göre *Kepler-93b* gezegenin yarıçapı 120 km.'lik bir duyarlılıkla

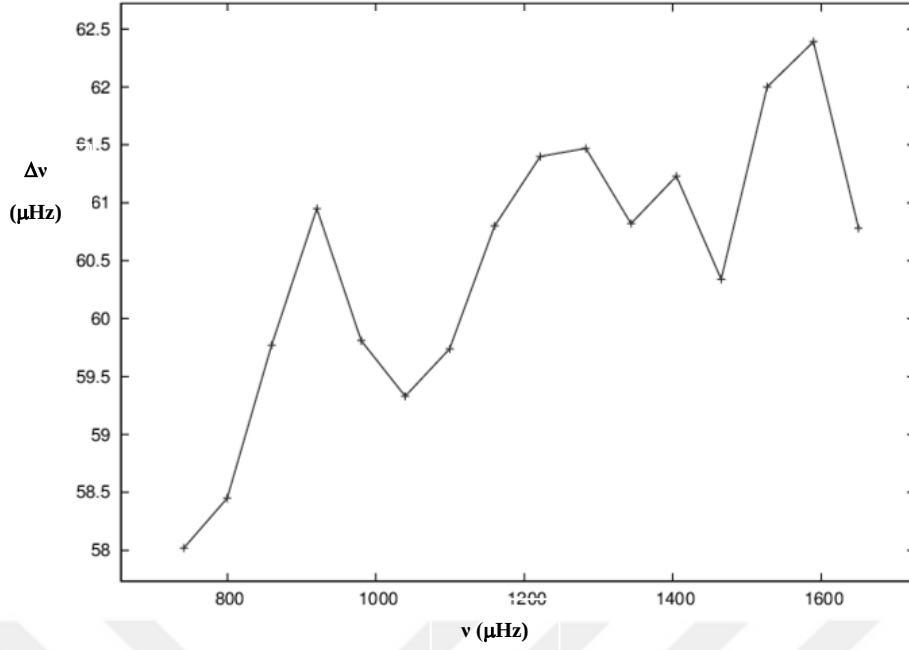
ölçüldü (Ballard et al. 2014). Gezegenin kimyasal bileşimi Dressing et al. (2015) ve Santos et al. (2015) tarafından bulundu. Kayaç gezegenin yanı sıra gezegenli yıldız, ek olarak Jüpiter benzeri bir gezegene de (*Kepler-93c*) sahiptir (Marcy et al. 2014). Dressing et al. (2015), *Kepler-93c*'nin kütle, periyot ve yarı-büyük eksen uzunluğunun üst sınırlarını hesapladı.

3.1.3. KIC 3632418

KIC 3632418 (HD 179070; *Kepler-21*), *Kepler* Uzay Teleskobu tarafından gözlenen ve *V* süzgecindeki $8^m.25$ kadirlik parlaklığı ile en parlak yıldızlar listesinde bulunur. F6 tayf türünden güneş benzeri titreşim gösteren bir gezegenli yıldızdır (Valliappan and Karoff 2012). *B-V* ve *V-K* renkleri sırasıyla $0^m.517$ ve $1^m.305$ 'dir (Cutri et al. 2003). Yıldızın uzaklığı 112.69 pc'dir (van Leeuwen 2007).

KIC 3632418 gezegenli yıldızının $l = 0$ derecesindeki gözlem titreşim frekansları ν 'ye karşı $\Delta\nu$ grafiğinde çizildi. Bu grafikte iki adet minimum görüldü. Ancak, yüksek frekanslı bölgede bulunan $\min 0$ tam net değildir. Bu yüzden $\nu_{\min 0}$ oldukça dikkatli seçildi. Farklı derecelerden gözlemsel titreşim frekansları bir arada kullanılarak $\nu_{\min 0}$ ve $\nu_{\min 1}$ kontrol edildi. Bu iki referans minimumuna ek olarak KIC 3632418'in $\nu-\Delta\nu$ grafiğindeki düşük frekanslı bölgede $\min 2$ 'nin çıkış kısmı görülmektedir. Buradan $\nu_{\min 2}$ belirlendi. Ancak KIC 3632418 gezegenli yıldızının düşük frekans bölgesinde gözlem titreşim frekanslarının yetersiz olmasından dolayı herhangi bir değer bulunamadı. Bu durum Şekil 3.3'de açıkça görülüyor.

KIC 3632418 yıldızının etrafında $1.6 R_{\text{yer}}$ yarıçapına sahip kayaç bir gezegen saptandı (Howell et al. 2012). Aynı zamanda Huber et al. (2012) tarafından girişimölçüm yöntemi kullanılarak *Kepler-21b* gezegeni doğrulandı. Gezegen yarıçapının Howell et al. (2012) tarafından bulunan yarıçap ile aynı bulunduğu belirtilmektedir.



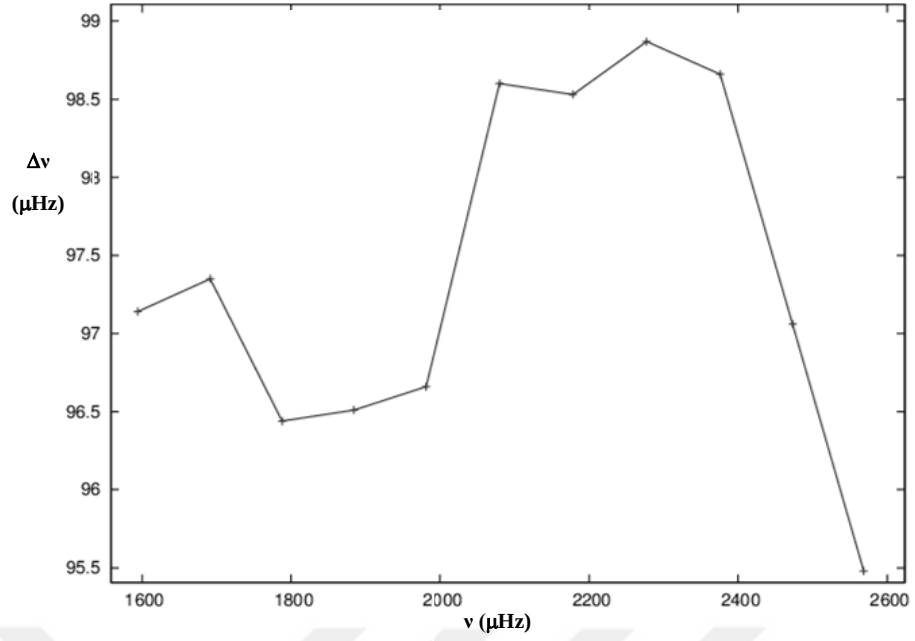
Şekil 3.3. KIC 3632418 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. Grafikte iki adet minimum görülmektedir. Ancak, yüksek frekanslı bölgede bulunan min0 tam net değildir. Ayrıca grafiğin düşük frekanslı bölgesi min2'nin çıkış kısmına denk gelmektedir.

3.1.4. KIC 4349452

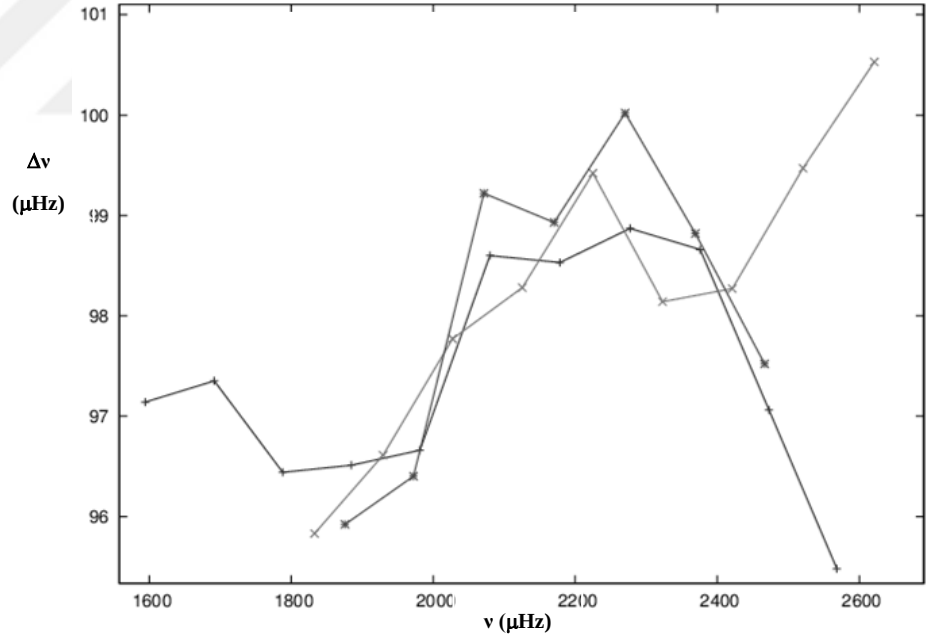
KIC 4349452 (*Kepler-25*) dönen değişen bir yıldızdır. V süzgecindeki parlaklığı 10.770 kadirdir (Høg et al. 2000). Yıldızın B - V ve V - K renkleri, sırasıyla, $0^m.55$ ve $1^m.277$ 'dir (Cutri et al. 2003). KIC 4349452 yıldızı F tayf türüne has titreşim özelliklerine sahiptir.

KIC 4349452 yıldızının $l = 0$ derecesine sahip gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen ν - $\Delta\nu$ grafiğinde iki adet referans minimumu görüldü (Şekil 3.4). Bu minimumlardan $\nu_{\min1}$ iyi bir şekilde saptandı. $\nu_{\min1}$ 'den daha yüksek frekanslı bölgede bulunan $\nu_{\min0}$ güvenilir değildir. Ayrıca bu minimumlar $l = 1$ ve $l = 2$ dereceli gözlem titreşim frekansları yardımıyla ν - $\Delta\nu$ grafiğinde kontrol edildi (Şekil 3.5). $\nu_{\min1}$ için durum değişmezken $\nu_{\min0}$ yüksek frekanslı bölgedeki gözlem veri eksikliğinden dolayı net belirlenemedi.

Çoklu gezegen sistemi olarak keşfedilen KIC 4349452 yıldızı geçiş ve dikine hız yöntemiyle keşfedilen üç gezegene sahiptir (Hadden and Litwick 2014; Marcy et al. 2014). Geçiş yapan gezegenlerin hepsi Neptün boyutlarında ve kısa periyoda sahiptir (Steffen et al. 2012).



Şekil 3.4. KIC 4349452 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $\nu-\Delta\nu$ grafiği. Grafikte iki adet minimum görülür. Ancak, yüksek frekanslı bölgede bulunan $\nu_{\min 0}$ güvenilir değildir.



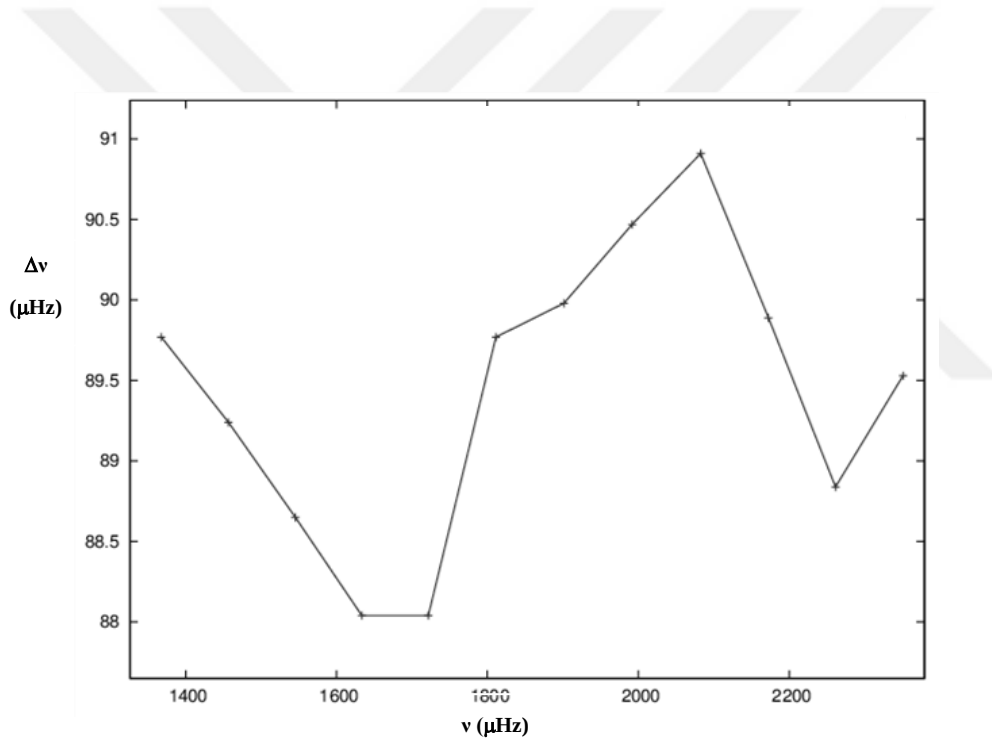
Şekil 3.5. KIC 4349452 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizilen $\nu-\Delta\nu$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi.

3.1.5. KIC 5866724

KIC 5866724 yıldızı F tayf türüne has titreşim özellikleri sergiliyor. Yıldız V süzgecinde 10.920 kadırlık bir parlaklığa sahiptir (Høg et al. 2000). $B-V$ ve $V-K$

renkleri sırasıyla $0^m.70$ ve $1^m.114$ 'tür (Cutri et al. 2013). KIC 5866724, asterosismik yöntem ile ilk defa Chaplin et al. (2013) tarafından incelendi. Çoklu geçişlerin gözlemlendiği KIC 5866724 yıldızının üç adet kayaç gezegene sahip olduğu Chaplin et al. (2013) tarafından doğrulandı.

Parlak bir gezegenli yıldız olan KIC 5866724'ün gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen ν - $\Delta\nu$ grafiğinde iki referans minimumu saptandı (Şekil 3.6). Bunlar $\nu_{\min 1}$ ve daha yüksek frekansa sahip $\nu_{\min 0}$ 'dır. $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekanslarının ν - $\Delta\nu$ grafiğinde çizdirilmesi sonucu en yüksek frekansların görüldüğü bölgedeki minimum $\nu_{\min 0}$ olarak varsayıldı. Son frekanslarda işaretlenmesinden dolayı $\nu_{\min 0}$ 'daki belirsizlik $\nu_{\min 1}$ 'e göre daha fazladır.

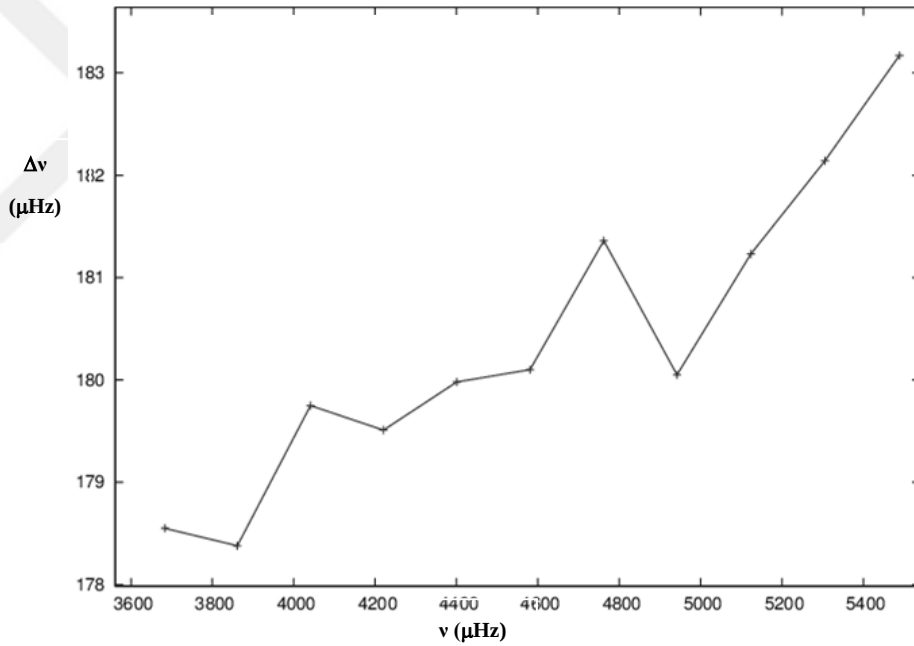


Şekil 3.6. KIC 5866724 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. Grafikte iki adet minimum görülür. Ancak, yüksek frekanslı bölgede bulunan $\nu_{\min 0}$ yeterince güvenilir değildir.

3.1.6. KIC 6278762

KIC 6278762 (HIP 94931; Kepler-444) yıldızının çoklu ya da çift sistem olduğu tartışılıyor. Dupuy et al. (2016) bu yıldızın içerisinde bulunduğu üçlü bir sistemin yörünge dinamiklerini ayrıntılı olarak hesapladı. Birincil yıldız olan Kepler-444A'nın yaşlı gökada diskinde bulunduğu ve K0 tayf türüne ait bir

anakol yıldızı olduğu Campante et al. (2015) tarafından belirlendi. Kepler-444A'nın gökadamada bulunduğu konumdan dolayı aynı zamanda da metalce fakir olduğu birbirinden bağımsız birçok çalışma tarafından ortaya çıkarıldı (örneğin; Sozzetti et al. 2009; Ramya et al. 2012). Yıldız görsel bölgede 8.86 kadirlik parlaklığa sahiptir (Ducati 2002). KIC 6278762'nin $B-V$ ve $V-K$ renkleri sırasıyla $0^m.81$ ve $2^m.157$ 'dir (Cutri et al. 2003). KIC 6278762'nin ıraksınımı *Hipparchos* uydusu tarafından 28.03 mas olarak gözlemlendi (van Leeuwen 2007). Bu ıraksınım ile KIC 6278762, Güneş'e en yakın yıldızlardan biridir. KIC 6278762 yıldızı beş adet geçiş yapan gezegene sahiptir. Campante et al. (2015) bu gezegenlerin boyutlarının Merkür ve Venüs arasında olup Yer'den daha küçük olduğunu buldu. Kepler-444b, bu gezegenlerden en küçüğü olup aynı zamanda yıldızına en yakın olanıdır.



Şekil 3.7. KIC 6278762 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği.

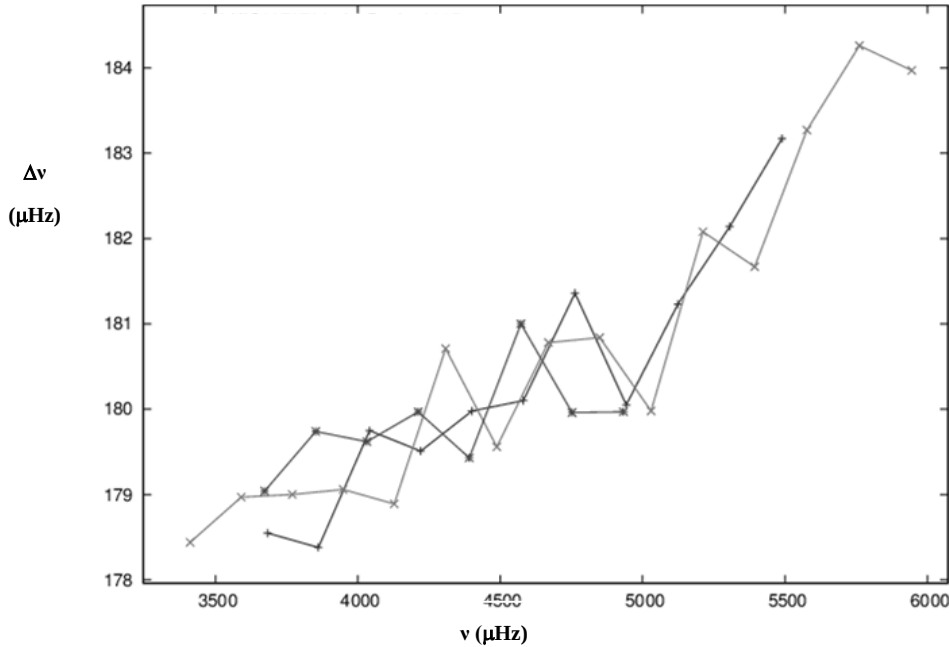
Bu tez kapsamında incelenen yıldızlar arasında en yüksek Δv 'e (~ 180 μHz) sahip gezegenli yıldız KIC 6278762'dir. Bu da onu çalışma kapsamında incelenen en yoğun yıldız yapar (bkz. Denklem 2.13). $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde bu yıldızla ait iki minimum görüldü. Buna ek olarak $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından $v-\Delta v$

grafiğindeki düşük frekanslı bölgede min1'in çıkış kolu fark edildi. Şaşırtıcı bir biçimde bu yıldıza ait minimumlardan biri $v_{\min 0}$ 'dan daha yüksek frekansa sahiptir. min-1 olarak adlandırılan bu minimum aynı zamanda $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları tarafından da doğrulanır (Şekil 3.8).

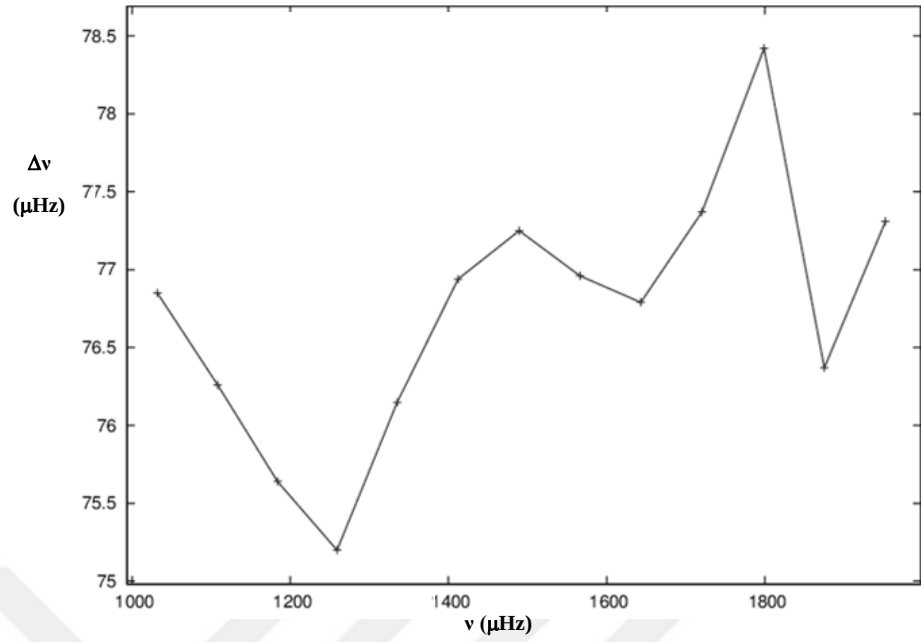
3.1.7. KIC 6521045

KIC 6521045 (KOI-41, Kepler-100) anakolda yer alan gezegenli bir yıldızdır (Schuler et al. 2015). V süzgecindeki parlaklığı 11.06 kadirdir (Høg et al. 2000). $B-V$ ve $V-K$ renkleri sırasıyla $0^m.80$ ve $1^m.292$ 'dir (Cutri et al. 2003). Schuler et al. (2015), KIC 6521045 yıldızının element bolluğunu ayrıntılı olarak inceledi. Adams et al. (2012) yıldızın kızıl ötesi ışıkölçüm ile gözlemini gerçekleştirdi.

Güneş benzeri titreşimler sergileyen KIC 6521045'in $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizilen $v-\Delta v$ grafiğinde tanımlı minimumlar görüldü (Şekil 3.9). Bu referans minimumları $v_{\min 0}$ ve $v_{\min 1}$ olup farklı dereceli ($l = 1$ ve 2) gözlem titreşim frekanslarında da saptandı. Tüm derecelerde görülen minimumların birbiriyle uyumlu olduğu tespit edildi.



Şekil 3.8. KIC 6278762 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi. $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekanslarında, düşük frekanslı bölgede, min1'in çıkış kolu fark ediliyor. Şaşırtıcı bir biçimde bu yıldıza ait minimumlardan biri $v_{\min 0}$ 'dan daha yüksek frekansa sahiptir.

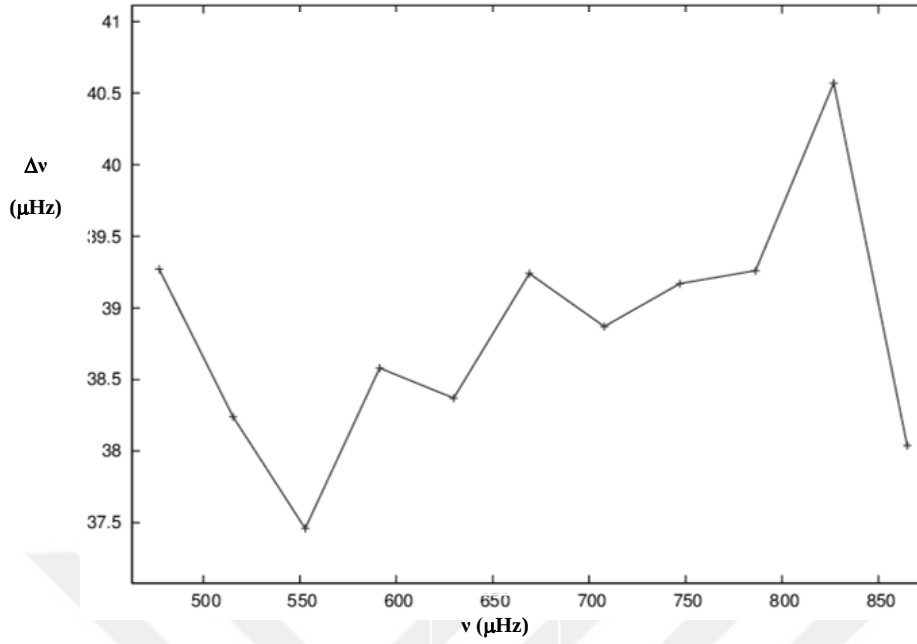


Şekil 3.9. KIC 6521045 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. Grafikte iki adet tanımlı referans minimumu kolaylıkla fark ediliyor.

Kepler uzay teleskobunun gözlemleri sonucunda Borucki et al. (2011) ve Ford et al. (2011) KIC 6521045'in gezegenli yıldız adayı olduğunu belirtti. Rowe et al. (2014) devam eden gözlemler sonucunda iki aday gezegenin daha olduğunu keşfetti. Bu üç gezegen, Marcy et al. (2014) tarafından onaylandı. Gezegenlerden Kepler-100b ve Kepler-100d iri Yer (*super-Earth*) olarak adlandırılan sınıfta yer alır. Diğer gezegen Neptün'den küçük bir gökcismi olarak belirtiliyor (Marcy et al. 2014). Van Eylen and Albrecht (2015), Kepler-100 gezegen sisteminin yörünge basıklıklarını hesapladı. Bu çalışmaya göre Kepler-100b ve Kepler-100c gezegenlerinin yörüngeleri düşük bir basıklığa sahipken, Kepler-100d'nin yörüngesi dikkat çekici biçimde fazla basıktır ve değeri 0.38'dir.

3.1.8. KIC 7199397

Dönen değişen yıldız sınıfında yer alan KIC 7199397 (KOI-75) gezegen adayına sahip bir yıldızdır (Borucki et al. 2011; Ford et al. 2011). Kraus et al. (2016) aynı zamanda bu sistemin bir de yoldaş bileşen içerdiğine dair bir öneri getirdi. Yıldızın dönme periyodu hem ışıkölçüm hem de tayf çalışmalarıyla belirlendi (Walkowicz and Basri 2013). V süzgecindeki parlaklığı $10^m.94$ 'dür (Høg et al. 2000). $B-V$ rengi $0^m.62$ ve $V-K$ rengi $1^m.553$ 'dür (Cutri et al. 2003).



Şekil 3.10. KIC 7199397 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği.

KIC 7199397 yıldızının ν - $\Delta\nu$ grafiğinde karma modlar görüldü. $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ν - $\Delta\nu$ grafiğinde çizilerek referans minimumları $\nu_{\min 0}$ ve $\nu_{\min 1}$ saptandı (Şekil 3.10), $\min 0$ 'dan emin olunamadı.

3.1.9. KIC 7296438

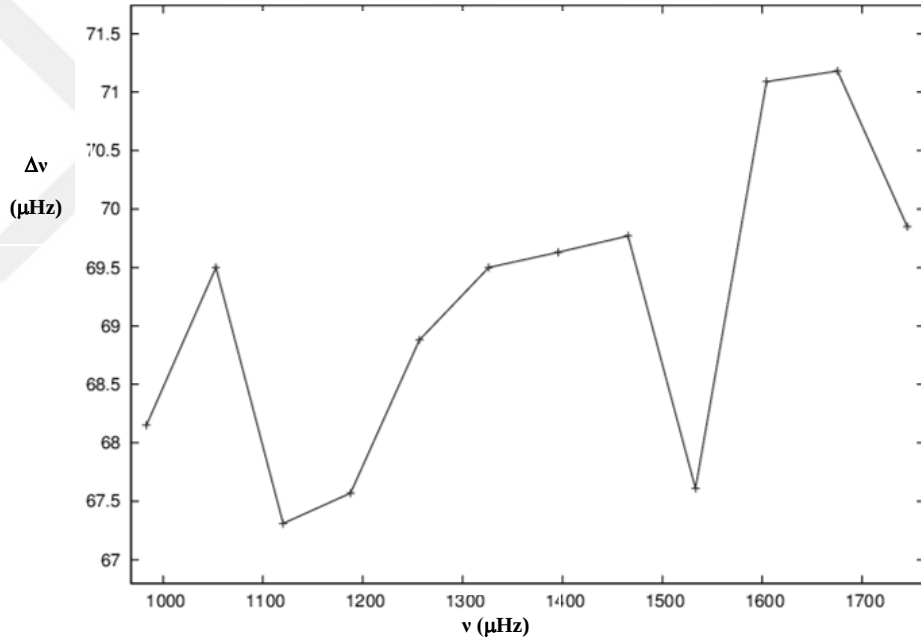
Bu tez kapsamında incelenen bir diğer gezegen adayına sahip yıldız KIC 7296438 (KOI-364)'tür. Yıldızın V süzgecindeki parlaklığı $10^m.13$ 'tür (Høg et al. 2000). $B-V$ ve $V-K$ renkleri sırasıyla $0^m.68$ ve $1^m.485$ 'dir (Cutri et al. 2003). Kaltenegger and Sasselov (2011), yıldıza ait yaşama elverişli mntıkanın sınırlarını hesapladı. Dressing et al. (2014) uyarlamalı optik (*adaptive optics*) görüntüleme yöntemini kullanarak yıldızın görsel bileşeninin olup olmadığını inceledi. KIC 7296438 yıldızının dönme periyodu 25.16 ± 2.78 gündür (Garcia et al. 2014).

$l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ν 'ye karşı $\Delta\nu$ grafiğinde çizildi. Bu grafikten iki adet referans minimumu saptandı. Bunlar $\nu_{\min 0}$ ve $\nu_{\min 1}$ 'dir. $\min 0$, $\min 1$ 'e göre daha sıgıdır.

3.1.10. KIC 8077137

KIC 8077137 (KOI-274, Kepler-128) yıldızı V süzgecinde 11.69 kadir parlaklığa sahiptir (Høg et al. 2000). $B-V$ ve $V-K$ renkleri sırasıyla $0^m.37$ ve $1^m.581$ 'dir (Cutri et al. 2003). Güneş benzeri titreşim gösteren yıldızın kuvvet tayfında değişen karma modlar Campante et al. (2016) tarafından saptandı. Bu demektir ki, bu yıldız anakoldan evrimleşmiştir.

$l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ν 'ye karşı $\Delta\nu$ grafiğinde çizilirse, yıldıza ait iki adet referans minimumu olduğu görülür (Şekil 3.11). Her ne kadar $\min_0$ analizi için çok uygun olmasa da yaklaşık olarak bir fikir verir. Bu nedenle $\nu_{\min 0}$, farklı derecelerdeki gözlem titreşim frekansları kullanılarak kontrol edildi. Aynı durum $\nu_{\min 1}$ için de uygulandı.



Şekil 3.11. KIC 8077137 yıldızının $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. Grafikte iki adet referans minimumu kolaylıkla seçilir. $\min_0$ yapısından dolayı diğer derecedeki titreşim frekansları ile kontrol edildi.

Borucki et al. (2011) ve Ford et al. (2011), KIC 8077137 yıldızının bir gezegen adayına sahip olduğunu bildirdi. Daha sonra Rowe et al. (2014), bu adaydan farklı bir adayın daha yıldız etrafında dolandığına dair bulgular saptadığını belirtti. Xie (2014) yıldızın *Kepler* ışık eğrilerini kullanıp geçiş zaman değişimleri yöntemiyle bu iki adayı gezegen olarak onayladı. Kepler-128b ve

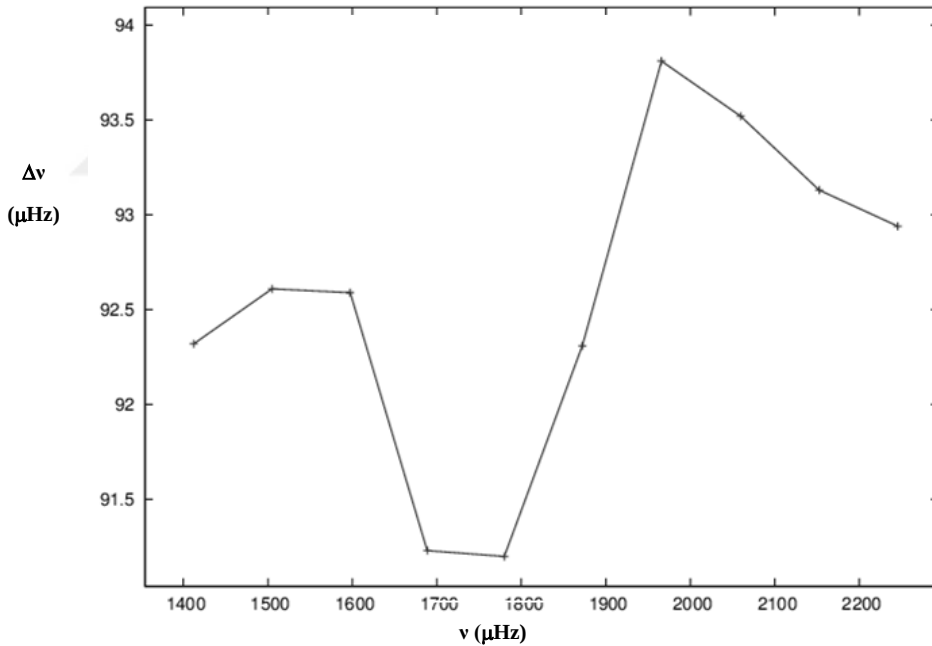
Kepler-128c olarak adlandırılan gezegenlerin her ikisi de Yer boyutlarında olduğu Hadden and Lithwick (2016) tarafından saptandı.

3.1.11. KIC 8292840

V süzgecindeki parlaklığı $10^m.51$ olan KIC 8292840 (Kepler-126) gezegenli bir yıldızdır (Høg et al. 2000). $B-V$ ve $V-K$ renkleri sırasıyla 0.42 ve 1.166 kadirdir (Cutri et al. 2003).

Yıldızın gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen $\nu-\Delta\nu$ grafiğinde yalnızca net olarak min1 seçiliyor. Ayrıca min0 başlangıcının yüksek frekanslı bölgede olduğu düşünüldü (Şekil 3.12).

Rowe et al. (2014) tarafından KIC 8292840 yıldızına ait üç gezegen keşfedildi. Bu gezegenler *Kepler* uzay teleskobunun geçiş gözlem verileri ile doğrulandı.



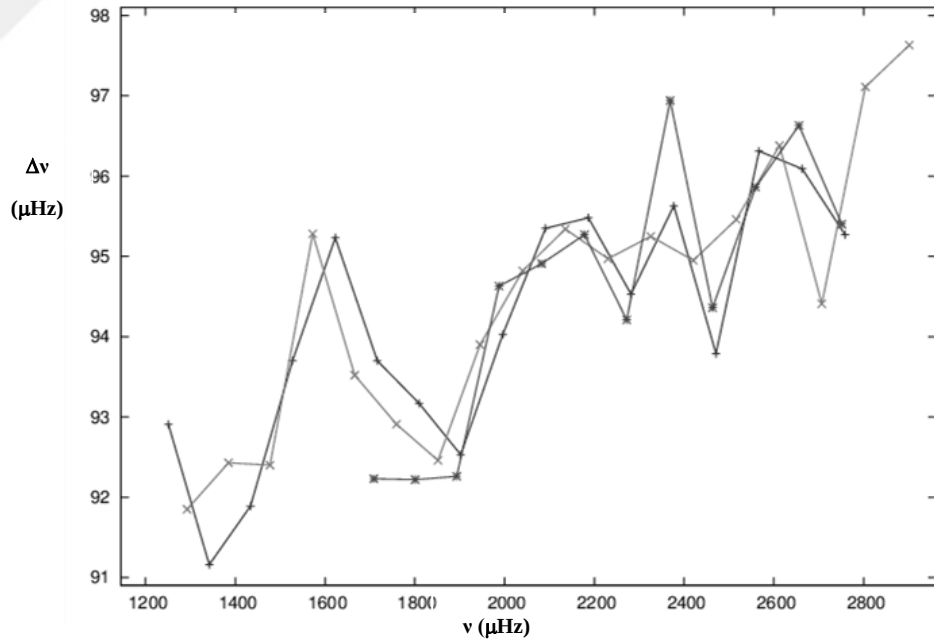
Şekil 3.12. KIC 8292840 yıldızının $l = 0$ derece li gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $\nu-\Delta\nu$ grafiği.

3.1.12. KIC 8866102

KIC 8866102 (*Kepler-410A*, *HD 175289*) *Kepler* uzay teleskobu tarafından gözlenen en parlak gezegenli yıldızlar arasındadır. Yıldızın V süzgecindeki

parlaklığı $9^m.50$ 'dir (Høg et al. 2000). $B-V$ ve $V-K$ değerleri, sırasıyla, $1^m.36$ ve $0^m.45$ 'dir (Cutri et al. 2003). Yıldızın tayf türü Molenda-Zakowicz et al. (2013) tarafından F6IV olarak belirlendi. Bu yıldızın aynı zamanda sönük bir gökcismini de barındırdığı düşünülüyor (Adams et al. 2012). Yapılan bu çalışma sonucunda sönük cismin (*Kepler-410B*) sistemin parlaklığına hiç katkıda bulunmadığı düşünülüyor. Bu nedenle gezegene sahip yıldızın birincil yıldız, yani *Kepler-410A*, olduğu belirtiliyor (Adams et al. 2012).

Kepler-410B'nin varlığı *Kepler-410A*'nın temel parametrelerinin hesaplanmasını zorlaştırır. Ancak *Kepler-410A*'nın güneş benzeri titreşim göstermesi ve *Kepler* uzay teleskobu ile bu titreşimlerin saptanması yıldızın temel parametrelerinin türetilmesi açısından oldukça önemlidir. *Kepler-410A*'nın gözlem titreşim frekansları kullanılarak v 'ye karşı Δv grafiğinde çizildiğinde üç adet referans minimumu saptandı. $v_{\min 0}$ 'ın belirlenmesi için $l = 0$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekanslarından yararlanıldı (Şekil 3.13). $\min 1$ görülmesine rağmen $v_{\min 1}$ kesin olarak belirlenmedi. Bunun aksine $v_{\min 2}$ oldukça rahat belirlendi.



Şekil 3.13. KIC 8866102 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi. Üç adet referans minimumu grafikte rahatlıkla görülmektedir. Yüksek frekanslı bölgede bulunan $v_{\min 0}$ 'ın belirlenmesi için $l = 0$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekanslarından yararlanıldı.

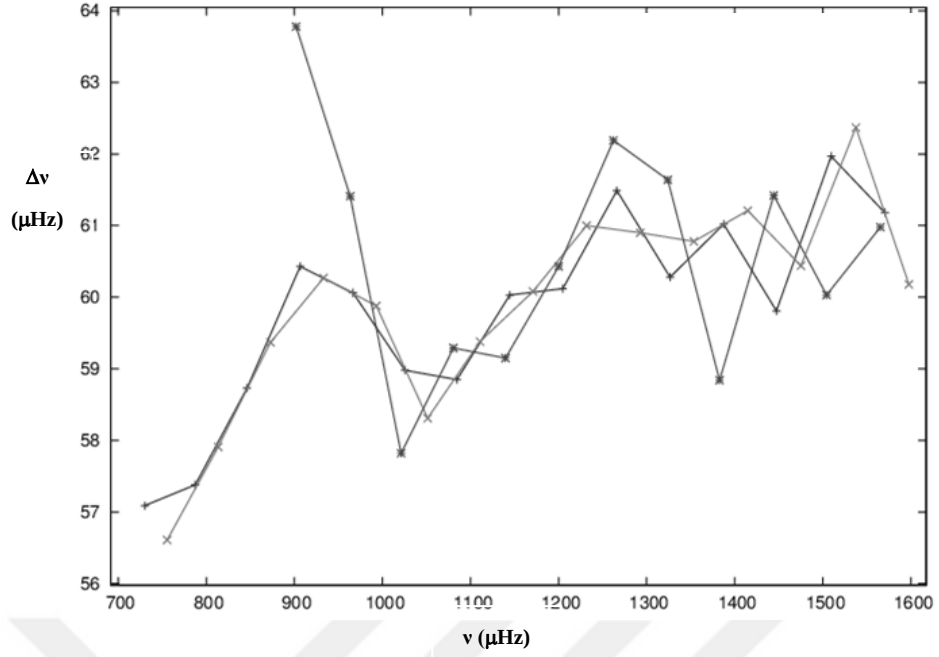
Van Eylen et al. (2014) tarafından KIC 8866102 yıldızının uzun periyotlu geçiş yapan küçük bir gezegene sahip olduğu bulundu. Ancak bu yıldızın bir bileşeninin (*Kepler-410B*) olması gezegenin temel parametrelerini hesaplamayı güçleştiriyor. Bu nedenle Kepler-410Ab'nin kütle ve yarıçapının daha duyarlı bir şekilde hesaplanması için farklı dalgaboylarında daha fazla gözleme ihtiyaç vardır. Bu nedenle Van Eylen et al. (2014), *Spitzer* ve *Kepler* uzay teleskopları ile yeryüzünden yapılan gözlem verilerini kullanarak Kepler-410Ab'yi yeniden analiz etti. Bu analiz sonucunda gezegenin varlığı doğrulanarak Neptün boyutlarında olduğu hesaplandı. Ayrıca Kepler-410A'nın basık ($e = 0.17$) bir yörüngede dolandığı belirlendi.

3.1.13. KIC 9414417

Altdev ısıtma sınıfında yer alan KIC 9414417 (*KOI-974*) yıldızı bir gezegen adayına sahiptir (Ford et al. 2011; Borucki et al. 2011). *V* süzgecinde parlaklığı $9^m.64$ 'tür (Høg et al. 2000). *B-V* ve *V-K* renkleri, sırasıyla, $0^m.52$ ve $1^m.233$ olarak hesaplandı (Cutri et al. 2003).

Gezegen adayına sahip yıldız KIC 9414417, $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde üç adet minimuma sahiptir (*Şekil 3.14*). Bu minimumlardan düşük frekans bölgesinde, son kısmı görülen $\min 1$ 'in frekans değeri $l = 1$ dereceli titreşim frekanslarında yer alan en düşük frekans olarak kabul edildi. $v_{\min 1}$ 'den daha yüksek frekansa sahip diğer bir referans minimumu $v_{\min 0}$ olup, frekans değeri $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak $1059.6 \mu\text{Hz}$ olarak saptandı. Dikkat çekici olarak, $v_{\min 0}$ 'dan daha yüksek frekansa sahip bir başka minimum daha görüldü. Bu minimum $\min-1$ olarak adlandırılarak $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekanslarında araştırıldı. Sonuç olarak, bu minimum $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekanslarının hepsinde doğrulandı (*Şekil 3.14*). Frekans değeri $l = 2$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından yaklaşık olarak $1500 \mu\text{Hz}$ olarak belirlendi.

Gezegen adayına sahip olan KIC 9414417'ye ait gezegenin onaylanması için ek gözlemlere ihtiyaç vardır (Ford et al. 2011; Borucki et al. 2011).



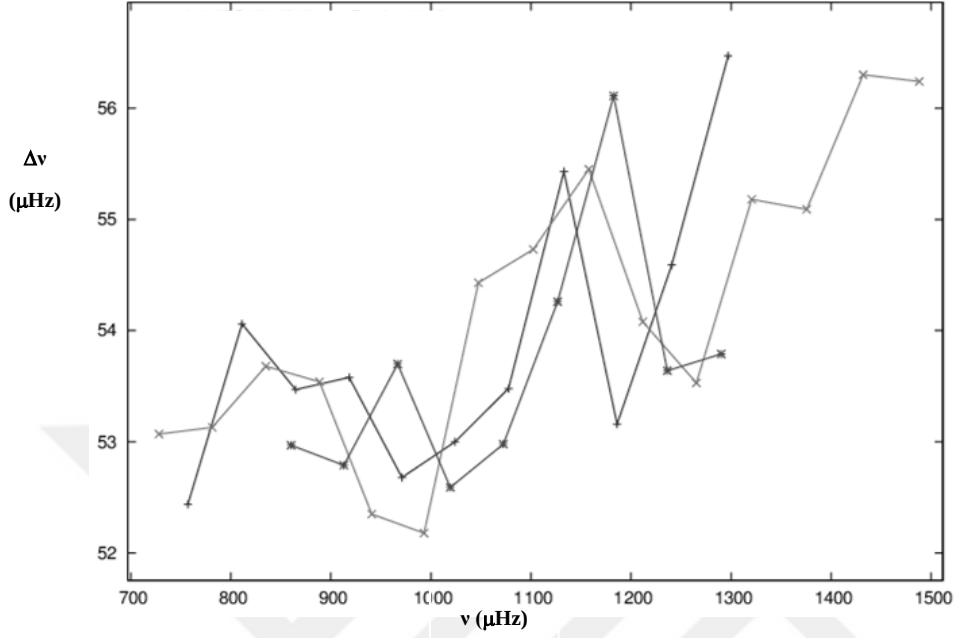
Şekil 3.14. KIC 9414417 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi. KIC 9414417 yıldızı üç adet minimuma sahiptir. Bu minimumlardan düşük frekans bölgesinde son kısmı görülen min1'in frekans değeri $l = 1$ dereceli titreşim frekanslarında yer alan en düşük frekans olarak kabul edildi. Dikkat çekici olarak, $\nu_{\min 0}$ 'dan daha yüksek frekansa sahip bir başka minimum daha görüldü.

3.1.14. KIC 9592705

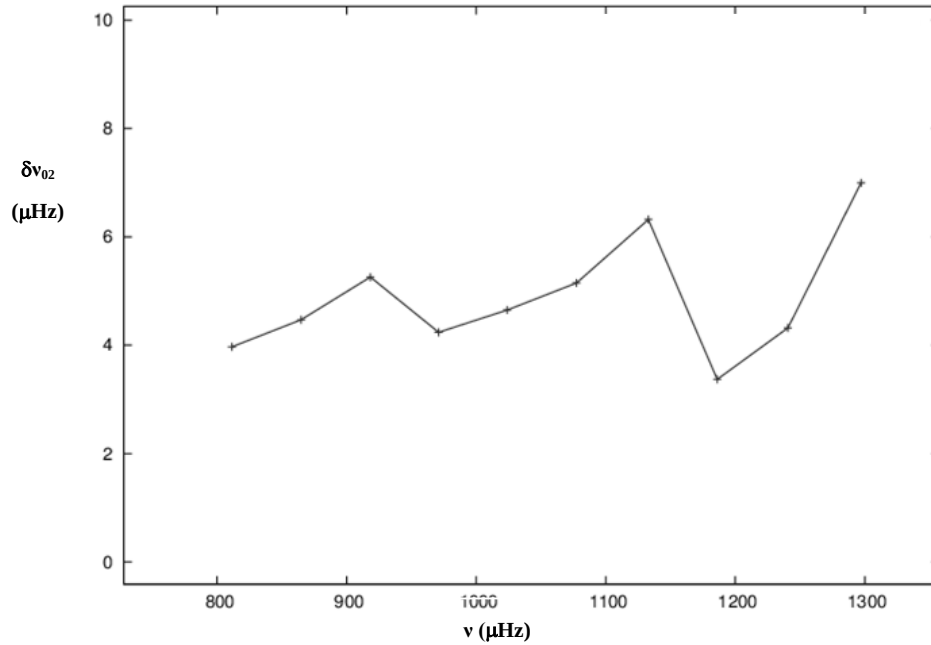
KIC 9592705 (KOI-288) yıldızı V süzgecinde 11.04 kadirlik bir parlaklığa sahiptir (Høg et al. 2000). $B-V$ ve $V-K$ renkleri sırasıyla $0^m.5$ ve $1^m.335$ olarak hesaplandı (Cutri et al. 2003). Kraus et al. (2016) göre KIC 9592705 yıldızı, çiftli bir sistemin baş bileşenidir.

$l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen ν 'ye karşı $\Delta\nu$ grafiğinde üç adet minimum görüldü (Şekil 3.15). Bu minimumlardan birisi en düşük frekansların yer aldığı bölgede bulunur. Görülen bu minimum benzeri yapı referans minimumlarından min2'nin çıkış kısmı olabileceği üzerinde duruldu. Ancak bu durumu, diğer derecelerdeki gözlem titreşim frekansları ile araştırılmasına rağmen, doğrulayacak yeterli veri yoktur. Bu nedenle, $\nu_{\min 2}$ $l = 1$ dereceli en düşük gözlem titreşim frekansı varsayıldı. ν - $\Delta\nu$ grafiğinde görülen bir diğer minimum min1 olup $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekanslarının bir arada incelenmesiyle tespit edilebildi. $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları

kullanılarak çizilen ν 'ye karşı $\Delta\nu$ grafiğinde yüksek frekans bölgesinde başka bir referans minimumu daha görüldü. Ancak bu minimum net olarak belirlenemedi.



Şekil 3.15. KIC 9592705 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi.



Şekil 3.16. KIC 9592705 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği.

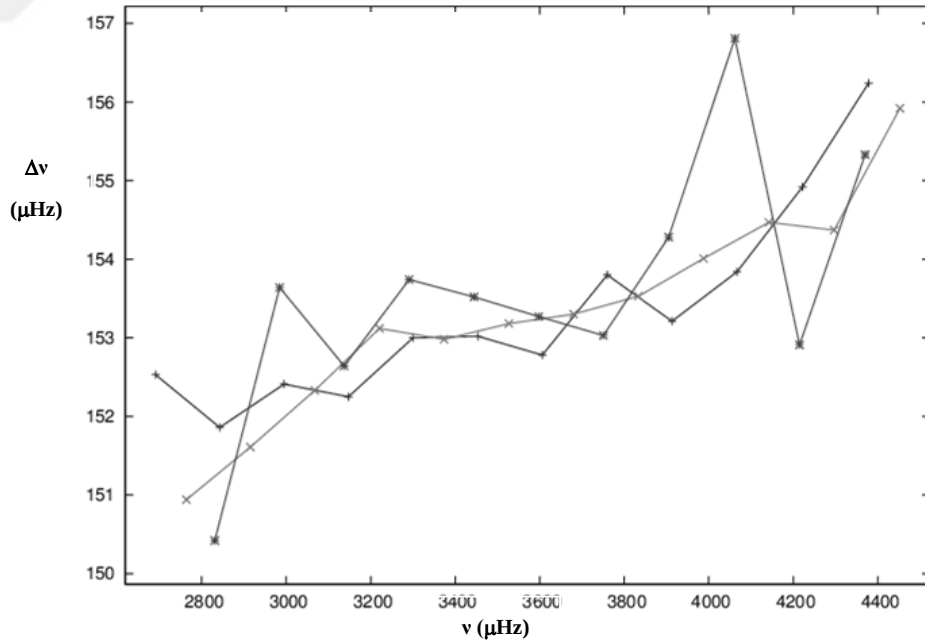
Bu referans minimumun $v_{\min 0}$ olduğu varsayıldı. Bu referans minimumu $l = 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v - Δv grafiğinde belirgin hale geldi. Bundan dolayı $v_{\min 0} = 1265.4 \mu\text{Hz}$ olarak $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından saptandı. KIC 9592705 yıldızının v - Δv grafiğinin yanı sıra v - δv_{02} grafiğinin yüksek frekanslı bölgesi de oldukça inişli çıkışlıdır (Şekil 3.16).

KIC 9592705 yıldızı bir gezegen adayına ev sahipliği yapmaktadır (Ford et al. 2011; Borucki et al. 2011).

3.1.15. KIC 9955598

V süzgecinde 9.64 kadirlik parlaklığa sahip gezegenli yıldız KIC 9955598 (Kepler-409) KOV tayf türüne sahiptir (Høg et al. 2000; Molenda-Zakowicz et al. 2013). Cutri et al. (2003)'daki değerler kullanılarak $B-V = 0^m.72$ ve $V-K = 1^m.872$ olarak hesaplandı.

Gezegenli yıldızın v 'ye karşı Δv grafiği bu tez kapsamında incelenen diğer yıldızlardan oldukça farklıdır. $l = 0$ derecesine sahip gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde çarpıcı biçimde neredeyse hiç düşme yoktur (Şekil 3.17). Bu durum da referans minimumlarını saptamayı güçleştirir.



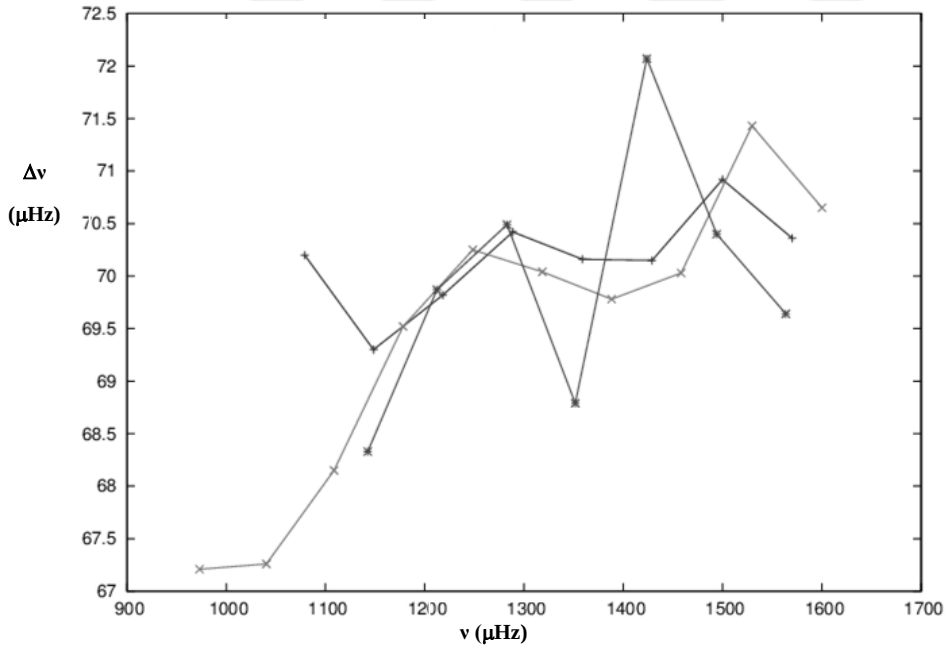
Şekil 3.17. KIC 9955598 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen v - Δv grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi. $l = 0$ derecesine sahip gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde çarpıcı biçimde neredeyse hiç düşme yoktur.

Fakat KIC 9955598'in v - Δv grafiğinde $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları birlikte çizildiğinde, referans minimumları daha görünür hale geliyor. Bunun sonucunda iki adet referans minimumu ($v_{\min 0}$ ve $v_{\min 1}$) saptandı.

KIC 9955598 yıldızı kayaç bir gezegene sahiptir (Marcy et al. 2014).

3.1.16. KIC 10514430

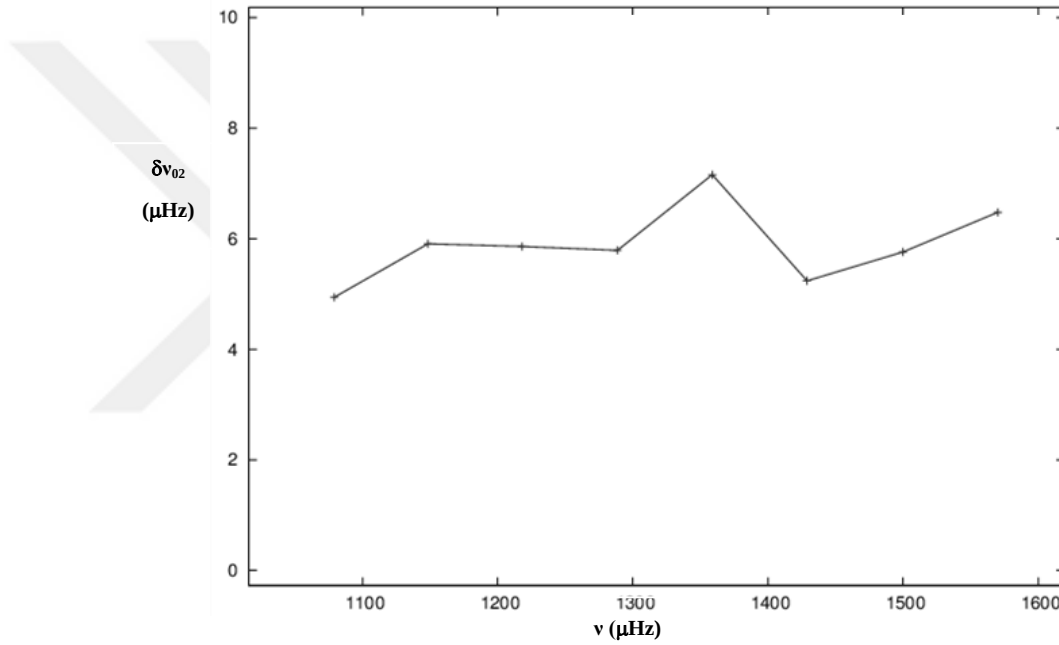
KIC 10514430 (KOI-263) yıldızı bir gezegen adayına sahiptir. Bu durumun netleşmesi için daha fazla gözleme ihtiyaç vardır (Borucki et al. 2011; Ford et al. 2011). Fakat Silva Aguirre et al. (2015) KIC 10514430 yıldızına ait ışık değişimlerinin yalancı pozitif bir durum sergilediğini iddia ediyor. 39.29 ± 12.07 gün dönme periyotlu KIC 10514430 yıldızı, aynı zamanda bir dönen değişendir (Mazeh et al. 2015). Yıldız V süzgecinde 10.82 kadirlik bir parlaklığa sahiptir (Høg et al. 2000). B - V ve V - K renkleri sırasıyla $0^m.75$ ve $1^m.810$ olarak hesaplandı (Cutri et al. 2003).



Şekil 3.18. KIC 10514430 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen v - Δv grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi.

$l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde yalnızca minimum benzeri yapılar göze çarpar. $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanıldığında v - Δv grafiğinde iki adet referans minimumu

tanımlı bir şekilde görülür (Şekil 3.18). Bu minimumlar yüksek frekanstan düşük frekansa doğru sırasıyla $v_{\min 0}$ ve $v_{\min 1}$ 'dir. $\min 1$ 'in tamamı gözükmemesine rağmen $v_{\min 1}$ belirlendi. Bunun yanı sıra $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinin düşük frekanslı kısmında ek bir minimum daha saptandı. Fakat bu minimum $l = 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları tarafından doğrulanamadı. Bu nedenle görülen bu minimumun yanıltıcı bir düşüş olabileceği düşünüldü. Benzer bir durum yıldıza ait $v-\delta v_{02}$ grafiğinde de görülüyor. Gözlem $v-\delta v_{02}$ grafiğinin 1300 ila 1400 μHz frekansları arasında çıkıntı benzeri bir yapı saptandı (Şekil 3.19).



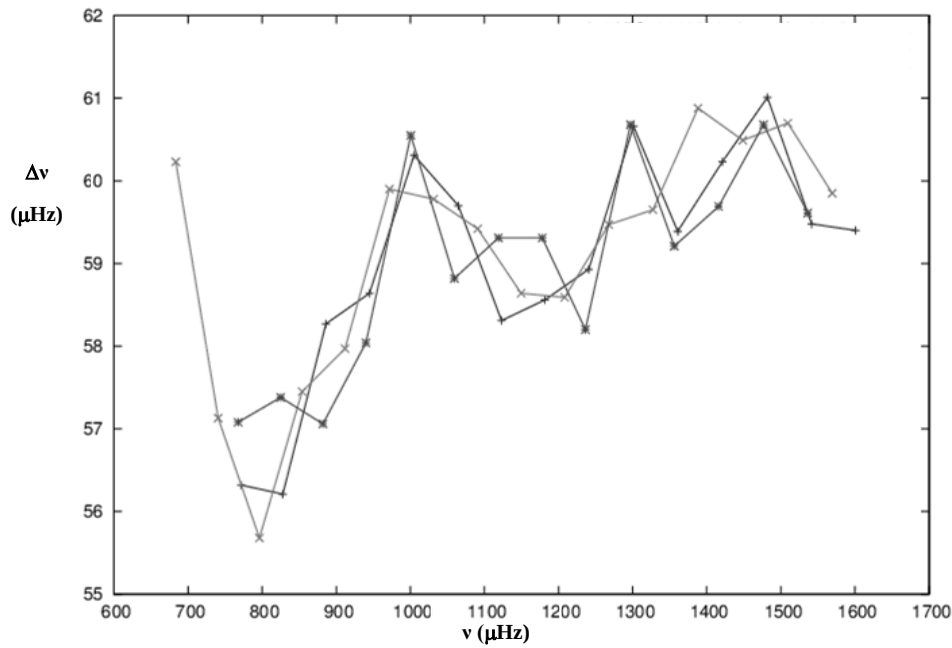
Şekil 3.19. KIC 10514430 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği. Grafiğin 1300 ila 1400 μHz frekansları arasında çıkıntı benzeri bir yapı saptandı.

3.1.17. KIC 10666592

KIC 10666592 (*Kepler-2*, *HAT-P-7*) F6 tayf türünden bir yıldızdır (Molenda-Zakowicz et al. 2013). V süzgecinde 10.460 kadirlik parlaklıktadır (Pal et al. 2008). Yıldızın $B-V$ ve $V-K$ renkleri $0^m.49$ ve $1^m.146$ 'dır (Cutri et al. 2003). *Kepler* uzay görevinden önce yerkonuşlu teleskoplarla gözlenen KIC 10666592, birden fazla teleskopla uzun periyotlu incelenen güneş benzeri titreşim gösteren yıldızlar arasında yer alır. Yıldıza ait gezegen de *Kepler*'den önce yerkonuşlu teleskoplar tarafından keşfedildi (Pal et al. 2008). *Kepler*'den önce gözlem verisi

olmasına rağmen KIC 10666592'nin ilk asterosismik incelemesi, Christensen-Dalsgaard et al. (2010) tarafından, yıldıza ait *Kepler* gözlem verileri kullanılarak gerçekleştirildi. KIC 10666592'nin güneş benzeri titreşimleri, tayf türünden dolayı saptanması oldukça zordur.

KIC 10666592'nin ν 'ye karşı $\Delta\nu$ grafiğinde dört adet minimum görüldü. $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak yüksek frekans bölgesinde yer alan referans minimumu, $\nu_{\min 0}$, saptandı (Şekil 3.20). $\nu_{\min 0}$ 'dan daha düşük frekansta yer alan başka bir minimumun da yalancı minimum olduğu tespit edildi. Geriye kalan diğer iki minimumun $\nu_{\min 1}$ ve $\nu_{\min 2}$ olduğu belirlendi. Böylece analizlerde kullanılabilecek yıldıza ait üç adet referans minimumu saptandı. Her üç minimumun değeri de $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından elde edildi.



Şekil 3.20. KIC 10666592 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi.

KIC 10666592 yıldızına ait gezegen Kepler-2b, veya daha sık kullanılan diğer adıyla HAT-P-7b, yerkonuşlu teleskoplarla keşfedilmiş olup geçiş yapan bir sıcak Jüpiter'dir (Pal et al. 2008). Birbirlerinden bağımsız olarak Narita et al. (2009) ve Winn et al. (2009) bu gezegenin tersinir veya kutupsal yörüngeye sahip olduğunu dikine hız verilerinden ortaya çıkardı. Bu duruma ek olarak Narita et al.

(2009) ve Winn et al. (2009) gezegenli sistemde üçüncü cismin varlığına yönelik bulgular keşfetti. Diğer bir yandan, Christiansen et al. (2010) ve Spiegel and Burrows (2010) geniş bir tayf aralığındaki farklı gözlemleri de kullanarak yüksek derecede aydınlatılmış (*irradiated*) gezegen HAT-P-7b'nin atmosfer modellerini yaptı.

3.1.18. KIC 10864656

KIC 10864656 (*Kepler-432*) K tayf türünden bir kırmızı devdir (Ciceri et al. 2015). V süzgecindeki parlaklığı $12^m.465$ 'dir (Quinn et al. 2015). V-K rengi $2^m.344$ 'dür. KIC 10864656 yıldızının uzaklığı J , H ve K_s parlaklıkları kullanılarak sönükleştirme göz önüne alındığında 870 ± 20 pc olarak hesaplandı (Quinn et al. 2015). Uyarlamalı optik görüntüleme tekniği kullanılarak KIC 10864656'a fiziksel olarak bağlı olduğu düşünülen sönük bir M cücesi bileşeni keşfedildi (Quinn et al. 2015).

KIC 10864656, bu tez kapsamında incelenen yıldızlar arasında en düşük gözlem titreşim frekans tayfına sahiptir. Kırmızı dev olan KIC 10864656'da karma modlar görülür. $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları v 'ye karşı Δv grafiğinde bir arada çizildiğinde karma modlar net bir biçimde fark edilir. KIC 10864656'nın gözlem titreşim frekans verisi az olduğundan dolayı yalnızca min1 belirlendi.

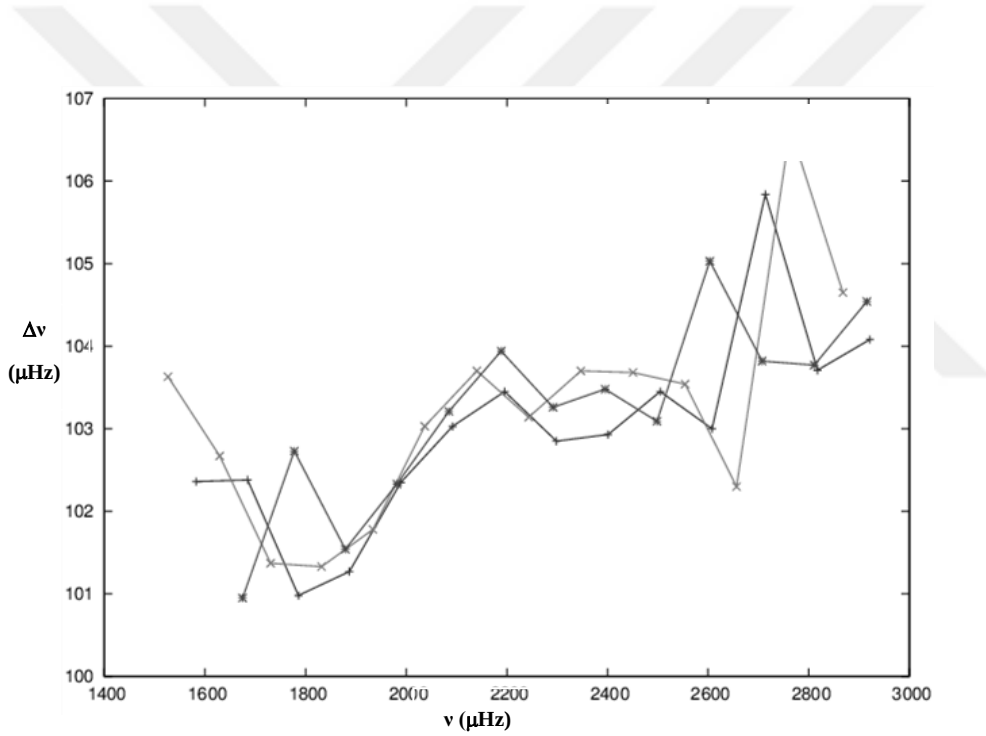
KIC 10864656 iki gezegene sahiptir (Ortiz et al. 2015; Ciceri et al. 2015; Quinn et al. 2015). Ortiz et al. (2015) ve Ciceri et al. (2015) Kepler-432b'nin çok basık bir yörüngede dolandığını ortaya çıkardı. Yıldızlar evrimleştikçe şiştiği için yakın yörüngelerdeki gezegenlerini yuttuğu bilinir. Bu nedenle keşfedilen gezegenli dev yıldızların sayısı oldukça azdır. Kepler-432b, evrimleşmiş bir yıldızın etrafında dolanan yalnızca dört gezegenden biridir. Ortiz et al. (2015) ve Ciceri et al. (2015), KIC 10864656 kırmızı dev koluna tırmandığı için Kepler-432b'nin yutulacağını öngördü. Sistemdeki diğer gezegen Kepler-432c uzun dönemli dikine hız verileri ile keşfedildi (Quinn et al. 2015).

3.1.19. KIC 10963065

KIC 10963065 (HD 176693; Kepler-408) F8 tayf türünden bir anakol yıldızdır (Molenda-Zakowicz et al. 2013). V süzgecindeki parlaklığı 8.83 kadirdir

(Høg et al. 2000). $B-V$ ve $V-K$ renkleri, sırasıyla, $0^m.510$ ve $1^m.344$ 'tür (Cutri et al. 2003). KIC 10963065 kayaç bir gezegene sahiptir (Marcy et al. 2014).

KIC 10963065'in $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak v 'ye karşı Δv grafiği çizildiğinde iki referans minimumu ($v_{\min 0}$ ve $v_{\min 1}$) belirlendi. $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından $v_{\min 1}$ doğrulandı. $l = 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekanslarından $v_{\min 0}$, $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından farklı çıktı (Şekil 3.21). Ayrıca $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde ek bir minimum daha göze çarptı. min-1 olarak düşünülen bu minimum, diğer dereceli gözlem titreşim frekanslarıyla doğrulanmadı. v 'ye karşı δv_{02} grafiğinde 2500 ile 2700 μHz arasında bir çıkıntı görüldü.

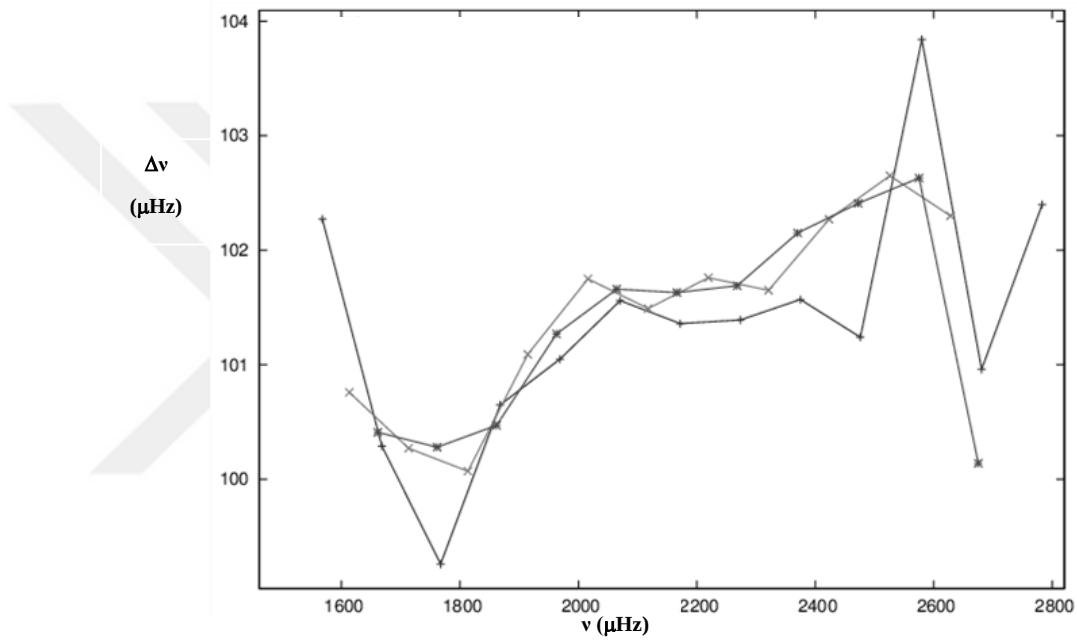


Şekil 3.21. KIC 10963065 yıldızının $l = 0$, 1 ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi. $l = 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekanslarından $v_{\min 0}$, $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından farklıdır.

3.1.20. KIC 11295426

KIC 11295426 (*Kepler-68*)'nın V süzgecindeki parlaklığı $10^m.08$ 'dir (Høg et al. 2000). $V-K$ ve $B-V$ renkleri, sırasıyla, $1^m.492$ ve $0^m.650$ 'dir (Cutri et al. 2003). KIC 11295426, G tayf türünden bir anakol yıldızıdır.

KIC 11295426'nın $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde üç adet minimum görüldü. Bunlardan en yüksek frekanslı bölgede bulunan minimum, $l = 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekanslarıyla doğrulanamadığı için, ani bir düşme davranışından dolayı, yanıltıcı bir minimum olabileceği düşünüldü (Şekil 3.22). $\min 1$ 'in $\min 0$ 'dan daha derin olduğu görülürken, $v_{\min 1}$ hem $l = 1$ hem de $l = 2$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından aynı değer elde edildi. $v_{\min 0}$ yalnızca $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekanslarında saptandı.



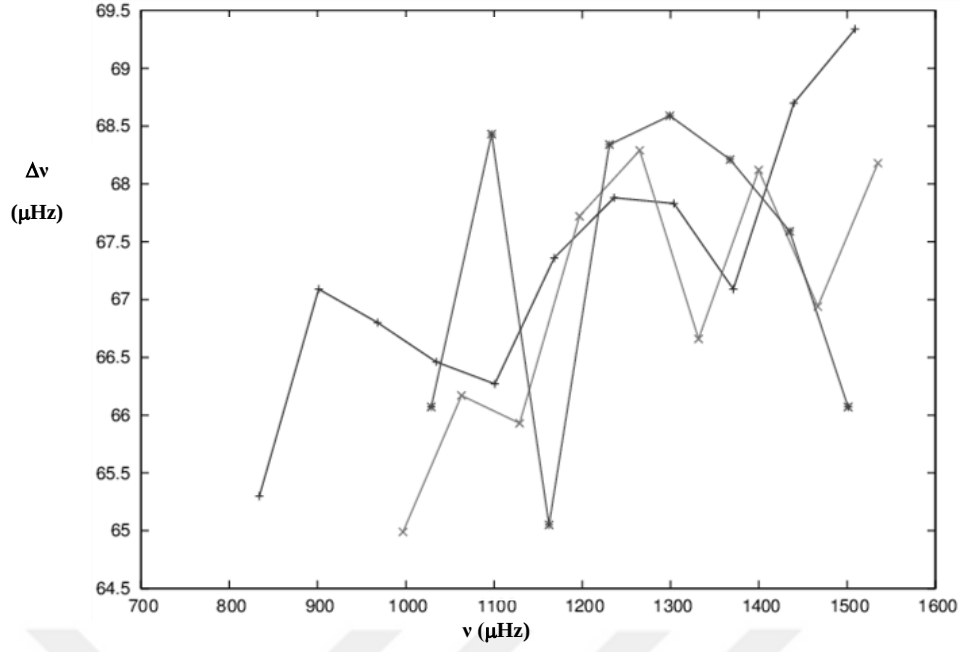
Şekil 3.22. KIC 11295426 yıldızının $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen v - Δv grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi.

KIC 11295426 üç adet gezegene sahiptir (Gilliland et al. 2013). Kepler-68b ve Kepler-68c geçiş yöntemi ile keşfedildi. Kepler-68b'nin boyutu Yer'den büyüktür. Kepler-68c Yer boyutlarına yakındır. Gezegenli sistemde yer alan en dış gezegen Kepler-68d'dir. Gilliland et al. (2013) tarafından bu gezegenin yaklaşık olarak Jüpiter kütlesinde olduğu bulundu. Kane (2015) Kepler-68 gezegenli sisteminin yörünge dinamiklerini ayrıntılı olarak araştırdı. Kepler-68d'nin yörüngesinin yaşanabilir bölge içerisinde yer aldığını kanıtladı.

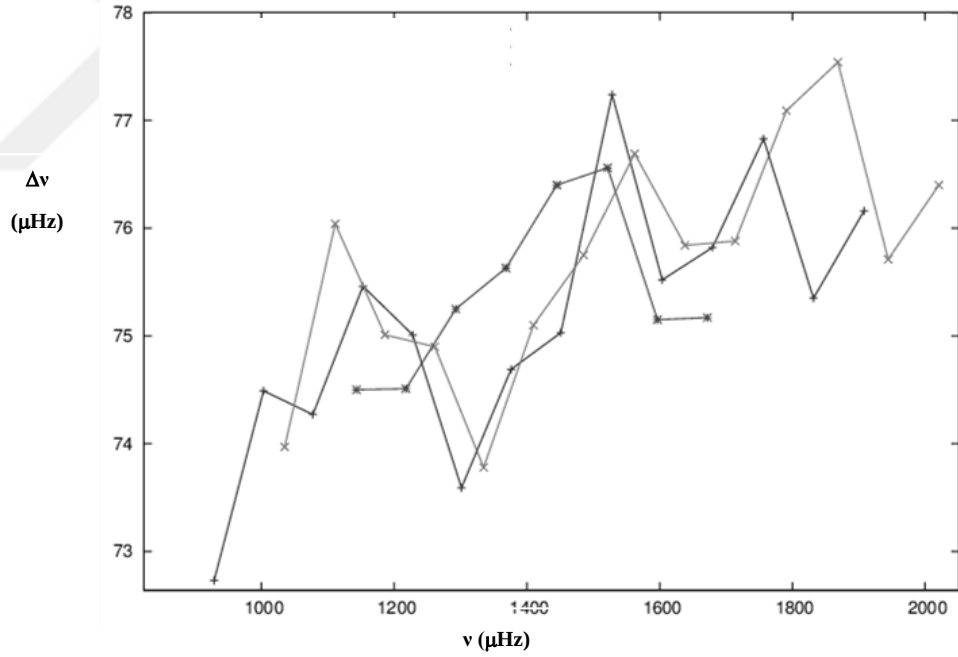
3.1.21. KIC 11401755

KIC 11401755 (Kepler-36) G1 tayf türünden bir altdevdir. V süzgecindeki parlaklığı $9^m.64$ 'dir (Lopez and Fortney 2013). KIC 11401755'in $B-V$ ve $V-K$ renklerindeki parlaklıkları, sırasıyla, 0.72 ve 1.152 kadirdir (Cutri et al. 2003). *Kepler* uzay teleskobu ile yapılan gözlemler sonucunda KIC 11401755'in etrafında iki gezegen keşfedildi (Carter et al. 2012). Gezegen geçişine ait ışık eğrilerinin analizi sonucunda Carter et al. (2012), Kepler-36c'nin Kepler-36b'den daha büyük olduğunu onayladı. Carter et al. (2012) göre Kepler-36b en soğuk iri Yerlerden biridir. Gezegenli sistemde yer alan diğer gezegen Kepler-36c'dir. Kepler-36c'nin küçük Neptün benzeri en sıcak gezegen olduğu keşfedildi (Carter et al. 2012). Aynı zamanda Carter et al. (2012) Kepler-36c'nin H/He zarfa sahip olduğunu önerdi. Kepler-36 gezegen sistemindeki kütle kaybı konusu Lopez and Fortney (2013) tarafından tartışıldı. Lopez and Fortney (2013) kütle kaybını hesaplayarak sistemin oluşumu ve evrimini ortaya çıkardı. Kepler-36 gezegenli sisteminin oluşumu ayrıca Paardekooper et al. (2013) tarafından da araştırıldı. Bu çalışmada oluşum senaryosu kapsamında Kepler-36b ve Kepler-36c gezegenlerinin yörünge dinamiklerinin yapısı incelendi (Paardekooper et al. 2013). Owen and Morton (2016) Kepler-36 gezegenli sisteminin oluşumu ve evrimine yönelik başka bir çalışma da gerçekleştirdi. Owen and Morton (2016), gezegenli sistemin başlangıç koşullarını elde ederek gezegenlerin özek yapılarını tartıştı. Sistemde yer alan gezegenler farklı yoğunlukta olmalarına rağmen birbirlerine çok yakındır.

KIC 11401755'in $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak v 'ye karşı Δv grafiği çizildi. Grafikte referans frekanslarından $v_{\min 0}$ ve $v_{\min 1}$ iyi bir biçimde belirlendi. Bu referans minimumları aynı zamanda $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekansları kullanıldığında da iyi bir şekilde saptandı. $l = 0, 1$ ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde $v_{\min 0}$ ve $v_{\min 1}$ referans frekanslarına ek olarak $\min 2$ 'e ait yarım bir düşüş grafiğinin en düşük frekanslı bölgesinde fark edildi (Şekil 3.23). Fakat $v_{\min 2}$ 'nin hesaplanması için yeterli veri bulunmuyor.



Şekil 3.23. KIC 11401755 yıldızının $l = 0$, 1 ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi.



Şekil 3.24. KIC 11807274 yıldızının $l = 0$, 1 ve 2 dereceli gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. $l = 0$ +, $l = 1$ x ve $l = 2$ dereceli titreşim frekansları * ile gösterildi.

3.1.22. KIC 11807274

KIC 11807274 (*Kepler-50*) evrimleşmiş bir yıldızdır. V süzgecindeki parlaklığı $10^m.54$ 'dir (Høg et al. 2000). KIC 11807274'ün B - V ve V - K renkleri,

sırasıyla, $0^{\text{m}}.480$ ve $1^{\text{m}}.343$ 'dir (Cutri et al. 2003). KIC 11807274 iki kayaç gezegene (*Kepler-50b* ve *Kepler-50c*) sahiptir (Steffen et al. 2013).

KIC 11807274'ün $l = 0$ ve 1 dereceli gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizilen v 'ye karşı Δv grafiğinde iki referans minimumu ($v_{\text{min}0}$ ve $v_{\text{min}1}$) saptandı (Şekil 3.24). Bu tanımlı minimumların yanı sıra v 'ye karşı Δv grafiğinin en düşük frekanslı bölgesi $\text{min}2$ 'nin sonu olarak kabul edildi.



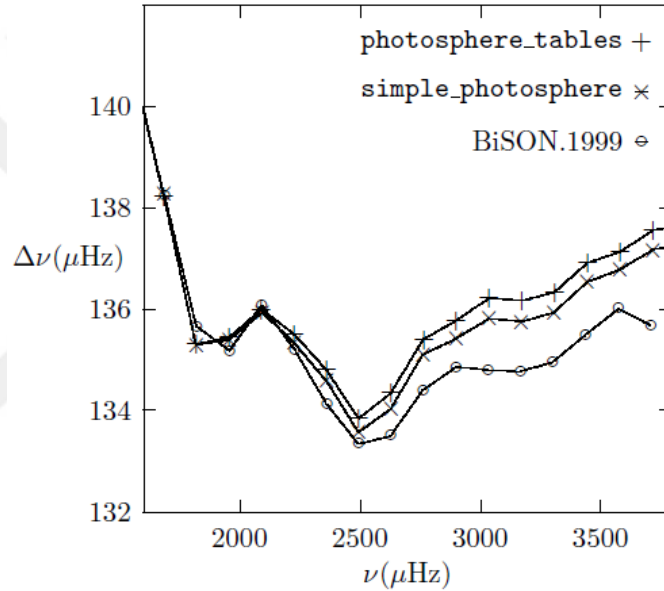
4. İNCELENEN YILDIZLARIN İÇ YAPI MODELLERİ

Gezegenli sistemlerin birçok özelliği barınak yıldızın yapısı ve evrimi ile ilişkilidir. Gezegenlerin temel parametrelerinin duyarlı bir şekilde belirlenmesi barınak yıldızın özelliklerinin iyi belirlenmesine bağlıdır. Özellikle tek yıldızlar için etkin sıcaklık, metal bolluğu ve parlaklıklar (U, B, V, R vb.) gözlemlerden elde edilir. Bu değerler kullanılarak HR diyagramında işaretlenen yıldızın yapısı ve evrimi hakkında bilgiler türetilir. Ancak gözlem değerleri aynı olan farklı kütle ve metal bolluğu içeren birçok yıldız HR diyagramında aynı noktada yer alabilir. Bu nedenle bir yıldızın evrim durumunun anlaşılması için yalnızca HR diyagramının yeterli olmadığı açıktır. Bu amaçla daha ayrıntılı ve duyarlı bilgi edinmek için yıldız iç yapı ve evrim modelleri yapılır. Gerçeğe daha yakın iç yapı modelleri için özeğe ve özeğe yakın katmanlar hakkında gözlem kısıtlarına ihtiyaç vardır. Günümüzde iç yapıya dair gözlem verileri, *Kepler* ve *CoRoT* uzay görevleri sayesinde, asterosismoloji ile duyarlı bir şekilde elde edilmektedir. Yıldız evrim hesaplamaları bu çalışmada MESA evrim kodu (Paxton et al. 2011; 2013) içerisinde yer alan *star* paketi kullanılarak yapıldı.

4.1. MESA Evrim Kodu ile Yıldız Modellemesi

Tez kapsamında ayrıntılı olarak incelenen 22 gezegenli yıldızın iç yapı modelleri yapıldı. İç yapı modellerinde konveksiyon kuramı için standart karışım uzunluğu kuramı (Böhm-Vitense 1958) varsayıldı. Konvektif overshooting etkisi ihmal edildi. Yüksek ve düşük sıcaklıklardaki saydamsızlık için OPAL saydamsızlık tabloları (Iglesias and Rogers 1993; 1996) ve Ferguson et al. (2005) kullanıldı. Nükleer tepkime hızları için, Kunz et al. (2002) ve Cyburt et al. (2010) tarafından güncellenen Angulo et al. (1999) kullanıldı. Yüksek titreşim frekanslarının hesabı için atmosfer koşulları oldukça önemlidir. Yıldızdan yıldıza değişen bu koşulları basite indirmek için MESA evrim kodu içerisinde yer alan *simple_atmosphere* seçeneği kullanıldı (*ayrıntılar için bkz.* Paxton et al. 2011). Elementlerin difüzyonu da hesaba katıldı (*ayrıntılar için bkz.* Paxton et al. 2011). Difüzyon kütlesi $M < 1.2 M_{\odot}$ olan yıldızlar için hesaplandı. Güneş bolluğu Asplund et al. (2009) çalışmasındaki değerler kabul edildi. Güneş değerleri olarak başlangıç hidrojen ve metal bolluğu, sırasıyla, $X = 0.70358$, $Z = 0.0172$, yaş $t = 4.57$ Gy ve karışım uzunluğu parametresi $\alpha = 2.175$ kullanıldı.

Adyabatik titreşim frekansları ADIPLS kodu (Christensen-Dalsgaard 2008) ile türetildi. Model $v_{\max}$ değeri, Brown et al. (1991)'deki bağıntı kullanılarak hesaplandı (*Güneş değerleri* $v_{\max\odot} = 3050 \mu\text{Hz}$ ve $T_{\text{eff}\odot} = 5777 \text{ K}$). Model titreşim frekanslarından elde edilen büyük ve küçük ayrılma için ortalama değerler hesaplandı. Model referans minimumları Yıldız et al. (2014)'daki yöntem ile saptandı. Yıldız evrim kodları yüzeye yakın bölgeleri modellemekte zorlanır. Bu nedenle titreşim frekanslarında yüzey düzeltmesi olarak adlandırılan bir yönteme başvurulur. Bu tez kapsamında incelenen gezegenli yıldızlar için Kjeldsen et al. (2008) tarafından geliştirilen düzeltme model titreşim frekanslarına uygulandı.



Şekil 4.1. $l = 0$ için Güneş'in gözlem ve MESA evrim kodu ile yapılan ve ADIPLS paketi kullanılarak hesaplanan model frekanslarının ν - $\Delta\nu$ grafiğinde gösterimi. Burada "+" işareti *photosphere_tables*, "x" işareti *simple_photosphere* atmosfer koşulları altında MESA evrim kodu ile yapılan Güneş modellerini, "o" işareti ile gösterilenler BiSON (Chaplin et al. 1999) gözlem Güneş frekanslarını göstermektedir.

4.1.2. Güneş modeli

Evrin kodlarının içerdiği fiziksel koşulların hesaplanma yolları ve varsayımları birbirinden farklıdır. Bu yüzden aynı yıldız için farklı kodlarla yapılan modeller birbirinden farklılıklar gösterir. Şüphesiz ki, hakkında en çok bilgi sahibi olduğumuz yıldız Güneş'tir. Temel parametrelerini yüksek duyarlılıkla bildiğimiz Güneş, bizim referans yıldızımız olma özelliğini

taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmada MESA evrim kodu ile modelleme yapmaya ilk olarak Güneş ile başlandı. Bu noktada temel parametreler açısından belirgin bir referans modeli oluşturulması amaçlandı. Güneş modelinde girdi parametreleri olarak kütle $1 M_{\odot}$, metal bolluğu 0.0172 ve yaş da 4.57 Gy kabul edildi. Atmosfer koşulu için iki farklı seçim (*simple_photosphere* ve *photosphere_tables*) yapıldı. Bu iki atmosfer koşulu için gözlenen Güneş yarıçapı, ısıtması ve etkin sıcaklığı gözlenebilir duyarlılıkta elde edilene kadar modelleme yapıldı. Her iki atmosfer koşulu için elde edilen değerler Çizelge 4.1’de verilmektedir. Bu modellerden ADIPLS paketinde hesaplanan frekanslar, Şekil 4.1’de Güneş’in gözlem frekansları (BiSON – Chaplin et al. 1999) ile v ’ye karşı Δv grafiğinde gösterilmektedir. Şekil 4.1’de atmosfer varsayımının farklılaşmasının frekanslar üzerine etkisi çarpıcı biçimde görülür. Yaklaşık olarak 2500 μHz ’den düşük frekanslarda modeller ile gözlemler uyumlu görünmektedir. Bu değerden yüksek frekanslar için uyumda bozulmalar meydana gelmektedir. Yüksek frekanslı titreşim modları yüzeyin hemen altındaki koşullardan daha fazla etkilenir. Ses hızının düşük olduğu yüzeye yakın bu bölgelerde modellemeler çok iyi değildir. Bu nedenle frekanslara bir yüzey düzeltmesi uygulanır. Yüzey düzeltmesinin hesaplanması ve uygulanması ile ilgili literatürde farklı yaklaşımlar (Kjeldsen et al. 2008; Ball and Gizon 2014) mevcuttur. Bu çalışmada frekanslara ADIPLS paketi içerisinde yer alan Kjeldsen et al. (2008) tarafından önerilen yüzey düzeltmesi uygulandı. Ancak bu düzeltmeye rağmen yüksek frekans bölgesinde 1 μHz civarında bir fark görülmektedir. Bu farka rağmen gözlem ve model referans minimumlarının frekans değerleri çok uyumludur.

Çizelge 4.1. İki farklı atmosfer varsayımı altında MESA evrim kodu ile yapılan Güneş modelleri.

	Photosphere Tables	Simple Photosphere
$M(M_{\odot})$	1.00	1.00
$R(R_{\odot})$	1.0003	1.0002
$L(L_{\odot})$	0.99988	1.0003
$T_{eff}(\text{K})$	5774.309	5775.638
α	1.8339	2.175
$t(\text{Gyr})$	4.57	4.57
X	0.70361	0.70361
Y	0.27919	0.27919
Z	0.0172	0.0172

4.1.3. MESA grid modelleri

Yıldız evrim modellerini her bir yıldız için ayrı ayrı yapmak çok fazla zaman alır. Aynı zamanda her yıldızın kendine has özelliklerinden dolayı ayrıntılı olarak modellerin yapılmasına ihtiyaç vardır. Grid modelleme hem zaman kazanmayı hem de bilgisayar işgücünden en iyi şekilde yararlanmayı amaçlar. Ancak grid modellemenin de kaba yaklaşımlarından dolayı bir yıldızın iç yapı ve evrimi ayrıntılı olarak çıkartılamaz. Yalnızca yıldızların iç yapısı ve evrimi hakkında genel bir yaklaşım yapmamızı sağlar.

Çizelge 4.2. Grid modelleme sonucunda elde edilen MESA model parametreleri ile asterosismik parametreleri kullanılarak hesaplanan türevlerin matris biçimine dönüştürülmüş hali.

	dR ($R_{\odot}$)	dL ($L_{\odot}$)	dT _{eff} (K)	dlogg	d δv_{02} (μ Hz)	d Δv (μ Hz)	d v_{max} (μ Hz)	d v_{min0} (μ Hz)	d v_{min1} (μ Hz)	d v_{min2} (μ Hz)
dX = 0.72361 – 0.70361	-2.1095	-4.5268	-0.0770	0.4381	8.3251	7.8728	4.2805	—	8.3165	8.9283
dX = 0.70361 – 0.68361	-2.5436	-4.3005	0.1967	0.5356	1.3712	-0.7919	4.9936	—	-0.7127	-1.5007
dZ = 0.0222 – 0.0172	-0.3118	-0.8510	-0.0569	0.0646	0.9601	1.0081	0.6544	—	1.0603	1.2387
dZ = 0.0172 – 0.0122	-0.4172	-1.3737	-0.1348	0.0885	0.1699	0.3168	0.8993	—	-0.2613	-0.1083
d α = 2.575 – 2.175	-0.1855	-0.0001	0.0927	0.0386	0.9057	1.0600	0.3278	—	1.0022	1.3631
d α = 2.175 – 1.775	-0.1898	-0.0029	0.0083	0.0398	-0.3183	-0.3509	0.3327	—	-0.4676	-0.6647
dt = 2.735 – 0.500 Gyr	0.1141	0.1719	-0.0141	-0.0234	-0.4195	-0.2443	-0.2213	—	-0.3234	-0.3253
dM = 1.30 – 1.20 $M_{\odot}$	2.2602	5.0924	0.1430	-0.3625	-5.1118	-4.6020	-3.5971	—	-4.7768	-5.3716
dX = 0.72361 – 0.70361	-1.7216	-5.5917	-0.5371	0.3477	3.3299	2.7903	3.7074	2.5364	2.4743	1.7198
dX = 0.70361 – 0.68361	-1.7974	-4.9472	-0.3381	0.3668	2.8806	2.8123	3.7680	2.0466	2.8477	3.2649
dZ = 0.0222 – 0.0172	-0.2605	-0.9445	-0.1059	0.0525	0.4742	0.4293	0.5741	0.3397	0.3068	0.3488
dZ = 0.0172 – 0.0122	-0.2419	-0.8035	-0.0799	0.0495	0.4034	0.3979	0.5238	0.3364	—	0.4200
d α = 2.575 – 2.175	-0.1844	0.0041	0.0932	0.0373	0.2381	0.2944	0.3219	0.2585	0.3002	0.1579
d α = 2.175 – 1.775	-0.1891	0.0030	0.0953	0.0385	0.2642	0.2921	0.3305	0.1401	0.2608	0.4591
dt = 2.735 – 0.500 Gyr	0.0769	0.1653	0.0029	-0.0154	-0.2639	-0.1173	-0.1551	-0.1358	-0.1386	—
dM = 1.20 – 1.10 $M_{\odot}$	2.0290	5.7487	0.4227	-0.3062	-3.2828	-2.7130	-3.2689	-2.1220	-2.4734	-2.8774
dX = 0.72361 – 0.70361	-1.3953	-5.5581	-0.6919	0.2747	1.7766	2.1326	3.1385	2.1803	2.8642	—
dX = 0.70361 – 0.68361	-1.5395	-5.6211	-0.6355	0.3056	3.4769	2.5591	3.3957	1.0185	1.8208	3.9662
dZ = 0.0222 – 0.0172	-0.2094	-0.9191	-0.1251	0.0412	0.2893	0.3209	0.4811	0.4260	0.4076	0.4383
dZ = 0.0172 – 0.0122	-0.2111	-0.8401	-0.1045	0.0420	0.3893	0.3515	0.4746	0.2214	0.3805	0.4242
d α = 2.575 – 2.175	-0.1794	0.0210	0.0949	0.0353	-0.0156	0.2569	0.3119	0.3738	0.3910	0.2851
d α = 2.175 – 1.775	-0.1944	0.0158	0.1012	0.0386	0.3233	0.3148	0.3381	0.2562	0.3935	0.5266
dt = 2.735 – 0.500 Gyr	0.0500	0.1254	0.0064	-0.0098	-0.1735	-0.0778	-0.1032	-0.0994	-0.0919	-0.0788
dM = 1.10 – 1.00 $M_{\odot}$	1.7263	5.5487	0.5240	-0.2396	-2.1429	-2.1012	-2.7149	-2.6992	-2.0571	-2.1630
dX = 0.72361 – 0.70361	-0.8848	-5.1492	-0.8449	0.1705	1.5174	1.4497	2.1912	-0.5496	2.3656	1.3802
dX = 0.70361 – 0.68361	-1.0719	-5.2286	-0.7712	0.2077	1.6296	1.6382	2.5345	2.6144	0.7049	0.7642
dZ = 0.0222 – 0.0172	-0.1249	-0.8622	-0.1531	0.0241	0.2199	0.2137	0.3264	0.0564	0.3304	0.1969
dZ = 0.0172 – 0.0122	-0.1555	-0.7820	-0.1178	0.0302	0.1937	0.2436	0.3700	0.4019	0.1994	0.2501
d α = 2.575 – 2.175	-0.1579	0.0482	0.0910	0.0304	0.1735	0.2349	0.2704	0.1113	0.4091	0.2456
d α = 2.175 – 1.775	-0.1811	0.0450	0.1018	0.0351	0.2051	0.2694	0.3116	0.4848	0.3409	0.1716
dt = 2.735 – 0.500 Gyr	0.0293	0.0879	0.0073	-0.0056	-0.1182	-0.0441	-0.0459	-0.0570	-0.0749	-0.0839

Tez kapsamında MESA evrim kodu ile grid modeller yapıldı. Bu modeller yapılırken beş değişken seçildi. Bu değişkenler hidrojen bolluğu (X), konvektif

parametre (α), metal bolluğu (Z), kütle (M) ve yaş (t)'tır. Metal bolluğu için üç değer varsayıldı; 0.0122, 0.0172 ve 0.0222. Hidrojen bolluğu için 0.68361, 0.70361 ve 0.72361 kabul edildi. Kütle aralığı 1.00 - $1.30 M_{\odot}$ olarak belirlendi. Yaş için iki farklı değer kullanıldı; 0.50 ve 2.735 Gy. Grid modelleri yapılırken difüzyon göz ardı edildi. Atmosfer MESA evrim kodu içerisinde bulunan *simple_atmosphere* seçeneği ile elde edildi. Grid modelleri sonucunda yarıçap (R), ısıtma (L), etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey kütleçekimi ($logg$), titreşim frekansları arasındaki küçük ayrılma (δv_{02}), titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılma (Δv), en büyük genlikli modun frekansı (v_{max}) ve referans minimumları (v_{min0} , v_{min1} , v_{min2}) elde edildi.

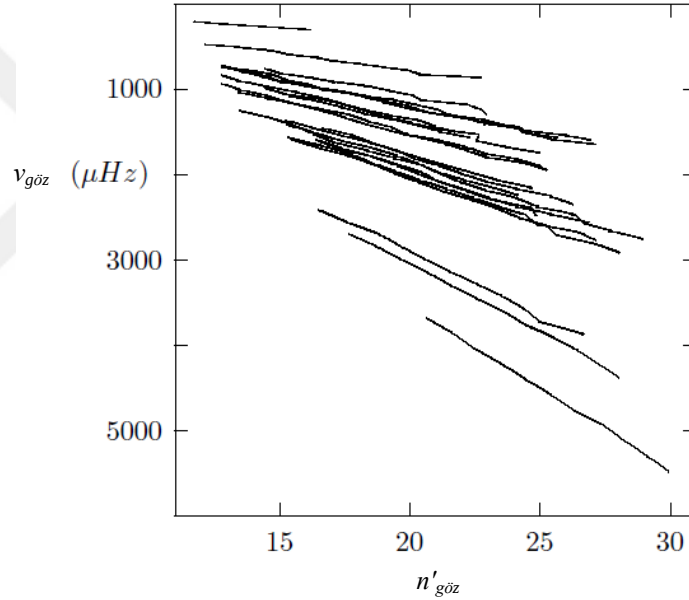
Modeller sonucunda seçilen değişkenlerin türevleri her bir değişken aralığı için hesaplandı. Elde edilen türevler matris biçiminde oluşturulan Çizelge 4.2'de sunuldu. Buradan türevlerin doğrusal bağımsız (*directly independent*) olduğu hesaplandı. Bu nedenle yıldızların tek tek modelleri yapıldı.

4.2. İncelenen Yıldızların MESA Modellerinin Değerlendirilmesi

İncelenen 22 gezegenli yıldızın iç yapı modelleri, tayf yoluyla elde edilen gözlem kısıtları olan etkin sıcaklık ve yüzey kütleçekim ivmesinin model ve gözlem arasındaki değerleri birbirine uyumlu olacak şekilde yapıldı. Bu gözlem kısıtlarının dışında gözlem titreşim frekansları ile bu frekanslar kullanılarak elde edilen asterosismik nicelikler (Δv , δv_{02} ve v_{max}) ile referans minimumları (v_{min0} , v_{min1} ve v_{min2}) göz önüne alındı. Titreşim frekansları yıldızın iç yapısı hakkında doğrudan bilgi taşıdığı için diğer gözlem kısıtlarından daha önemlidir.

Model ve gözlem titreşim frekansları yüksek frekanslı bölgede birbirinden ayrılmaya başlar. Bu ayrışmanın temel sorumlusu asimptotik ilişkide yer alan yüzey terimi (ε)'dir. $\Delta v_{göz}$, $n'_{göz} = v_{göz} / \Delta v_{göz}$ 'e karşı çizildiğinde $n'_{göz} > 25$ olduğu bölgede, özellikle yüksek frekans değerlerinde, ciddi bir ayrışma göze çarpar. Ayrıca bu bölgede belirsizlik de gittikçe artar (bkz. Şekil 3, Yıldız et al. 2016). Aslında bu durum yıldızın hangi evrim aşamasında olduğuna da bağlıdır. Yıldız anakoldan kırmızı deve doğru evrimleştikçe, $n'_{göz}$ değeri değişir. İncelenen 22 gezegenli yıldız için $n'_{göz}$ 'e karşı $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekansları Şekil 4.2'de çizildi. Kırmızı dev olan KIC 10864656'nın gözlem titreşim frekansları $12 < n'_{göz} < 16$ aralığında dağılırken, küçük kütleli anakol yıldızı KIC 6278762'nin gözlem titreşim frekansları $21 < n'_{göz} < 30$ aralığındadır. İncelenen yıldızların

büyük kısmı altdevdir. Bu yıldızların gözlem titreşim frekansları $13 < n'_{göz} < 27$ aralığındadır. Yüksek frekanslar göz önüne alındığında referans minimumlarından v_{min0} , v_{min1} ve v_{min2} 'e göre daha yüksek belirsizlikle saptanır. Tam tersi biçimde en güvenilir referans minimumunun v_{min2} olduğu farklı kütle, metal ve hidrojen bolluklarında yapılan modellerde belirlendi. Altdev yıldızların MESA modellerinden elde edilen titreşim frekansları yalnızca $n'_{göz} < 25$ koşulunu sağlayan gözlem titreşim frekansları ile kıyaslandı. Anakol ve kırmızı dev yıldızlar için bu aralıklar gözlem değerlerine uygun biçimde değiştirildi. Yapılan modeller sonucunda $v-\Delta v$ grafiğindeki gözlem ve model titreşim frekans desen uyumunun gözlem tayf ve asterosismik niceliklere en yakın model parametrelerini ortaya çıkardığı görüldü.



Şekil 4.2. İncelenen gezegenli ve gezegen adayına sahip yıldızların $n'_{göz} = v_{göz} / \Delta v_{göz}$ karşı $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekans grafiği. Grafikte her bir çizgi bir yıldızı ifade etmektedir. Yüksek frekanstan düşük frekanslı bölgeye doğru yıldız anakoldan kırmızıdev evresine doğru evrimleşir. En düşük frekanslı bölgede sırasıyla KIC 10864656 ve KIC 7199397 yıldızları ayrı biçimde bulunurken, en yüksek frekanslı bölgede KIC 3544595, KIC 9955598 ve KIC 6278762 yıldızları ayrı biçimde görülür. Grafikte $700 \mu\text{Hz} < v_{göz} < 2900 \mu\text{Hz}$ aralığında yoğun bir bölge olarak görülen yıldızlar altdev evresindedir.

Her bir model parametresinin gözlem değerleriyle uyumu, normalize edilmiş χ^2 yöntemi hesaplanarak değerlendirildi. Fonksiyon olarak

$$\chi_{sis}^2 = \frac{1}{N_{frek}} \sum_{i=1}^{N_{frek}} \left(\frac{v_{göz,i} - v_{mod,i}}{\sigma_{göz,i}} \right)^2 \quad 4.1$$

kullanıldı. Burada N_{frek} titreşim frekans sayısı, $v_{göz,i}$ ve $v_{mod,i}$ gözlem ve model titreşim frekans değeri ve $\sigma_{göz,i}$ gözlem titreşim frekansındaki belirsizliktir. Tayf kısıtları için;

$$\chi_{tayf}^2 = \chi_{Teff}^2 + \chi_{logg}^2 \quad 4.2$$

Burada;

$$\chi_{Teff}^2 = \left(\frac{T_{eff,göz} - T_{eff,mod}}{\sigma_{Teff}} \right)^2 \quad 4.3$$

$T_{eff,göz}$ ve σ_{Teff} gözlenen etkin sıcaklık ve ondaki belirsizliktir. $T_{eff,mod}$ model etkin sıcaklığıdır. Asterosismik ve tayf kısıtları için değerler, birbirinden bağımsız biçimde Denklem 4.1 ve 4.2'den elde edildi. Bunlara ek olarak tayf kısıtları için ayrı bir değerlendirme de yapıldı (Denklem 4.3). χ_{Teff}^2 'de olduğu gibi χ_{logg}^2 her bir gezegenli yıldız için hesaplandı. İncelenen yıldızların χ_{tayf}^2 değerleri Çizelge 4.25'de sunuldu. Referans minimumları için belirsizlik $\Delta v/2$ 'ye eşit ya da daha az olarak kabul edildi.

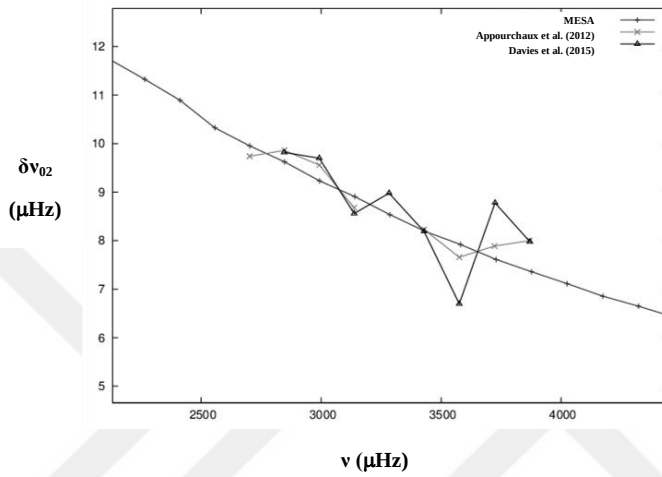
4.3. İncelenen Yıldızların MESA Modelleri

4.3.1. KIC 3544595

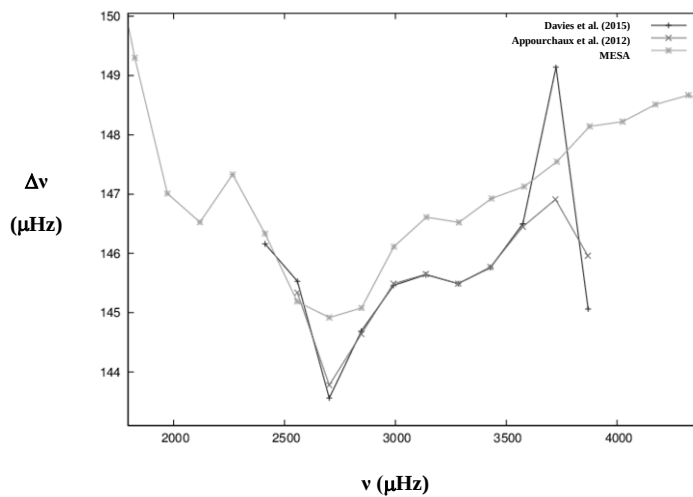
KIC 3544595 yıldızının modellemesinde başlangıç değerleri Ballard et al. (2014) tarafından yapılan model sonuçları varsayıldı. Bu model sonucunda gözlem ile model değerleri arasında uyumsuzluk görüldü. Bu nedenle kütle $0.90 M_{\odot}$ alınarak Güneş bileşiminde yeni bir model daha yapıldı. Model etkin sıcaklığı gözlemden oldukça düşük ve model sismik niceliklerin de gözlemlerle uyumsuz olduğu görüldü. Model değerinin gözlenen etkin sıcaklığa ulaşması için kütle $0.93 M_{\odot}$ alınarak yeni bir model daha yapıldı. Ek olarak metal bolluğu 0.0145 'e azaltılarak $0.90 M_{\odot}$ kütle ile yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda etkin sıcaklık değeri gözleme yakınlaşırken sismik niceliklerin de gözlemlerle uyumlu olduğu görüldü (Çizelge 4.3). Ancak bu parametrelerin tamamen karşılaştırılması için hidrojen bolluğu azaltılarak yeni bir ince ayar modeli daha yapıldı. Elde edilen sonuçlar gözlem ile oldukça uyumludur. Gözlem ve model titreşim frekansları arasındaki uyum için Şekil 3.3 ve 3.4 incelenebilir.

Çizelge 4.3 KIC 3544595 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar şu şekilde sıralanmıştır; model kütlesi (M), başlangıç hidrojen ve metal bolluğu (X ve Z), karışım uzunluğu parametresi (α), yaş (t), etkin sıcaklık (T_{eff}), ısıtma (L), yarıçap (R), yüzey kütleçekim ivmesi ($logg$), model titreşim frekansları arasındaki küçük ve büyük ayrılma ($\delta\nu_{02}$ ve $\Delta\nu$), en büyük genlikli modun frekansı (ν_{max}) ve model referans minimumlarıdır (ν_{min0} , ν_{min1} ve ν_{min2}).

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	$logg$	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
0.90	0.70361	0.0172	2.175	8.40	5505	0.694	0.917	4.467	7.433	146.357	3344.08	3433.99	2608.86	2119.85
0.93	0.70361	0.0172	2.175	6.52	5581	0.749	0.927	4.472	8.702	146.311	3326.75	3286.64	2702.78	2118.91
0.90	0.70361	0.0145	2.175	7.10	5611	0.748	0.917	4.468	8.239	146.376	3312.34	3286.24	2702.01	2118.65
0.90	0.69361	0.0145	2.175	6.31	5658	0.773	0.916	4.468	8.767	146.461	3305.76	3286.73	2702.40	2033.97



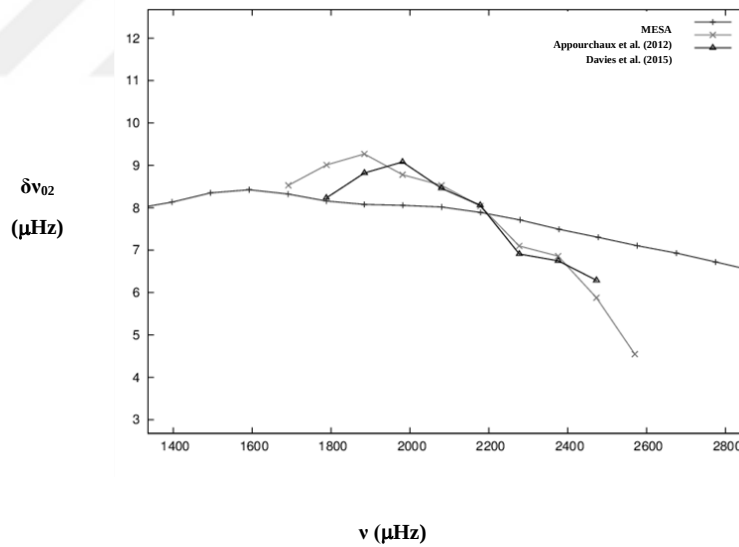
Şekil 4.3 KIC 3544595 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.4 KIC 3544595 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) alınan gözlem titreşim frekansları gösterildi.

4.3.2. KIC 4349452

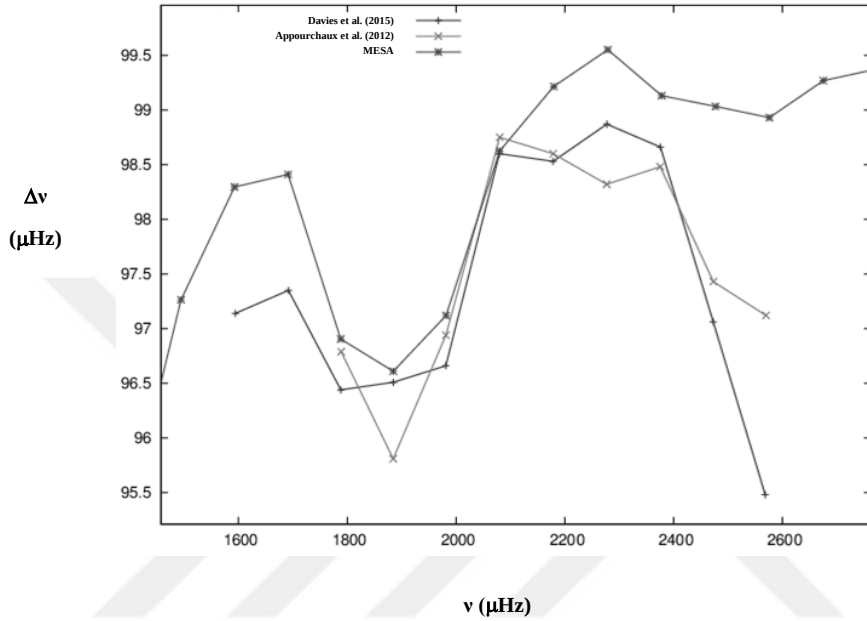
KIC 4349452 yıldızının kimyasal bileşimi Güneş bileşimi alınarak titreşim frekanslarının karşılaştırılması için uygun kütle arandı. Yapılan modeller sonucunda en uygun kütlenin $1.15 M_{\odot}$ olduğu belirlendi. Ancak bu modelin etkin sıcaklığının gözleme yaklaşmadığı görüldü. Titreşim frekansının deseni açısından $\nu-\Delta\nu$ grafiğindeki ν_{min0} ve ν_{min1} gözlemden oldukça farklıdır. Ancak ν_{min0} titreşim frekans verisinin yetersizliğinden dolayı net bir biçimde belirlenemedi. ν_{min1} 'in gözlemle karşılaştırılması için, kütle $1.18 M_{\odot}$ 'e yükseltildi. Hem tayf hem de sismik nicelikler açısından uygun modelin ν_{min1} 'in gözleme yaklaşması olduğuna karar verildi. Bunun için kütle $0.02 M_{\odot}$ arttırıldı. Bu model sonucunda tayf değerleri ile gözlenen sismik niceliklerin modelle oldukça uyumlu olduğu görüldü (Çizelge 4.4). KIC 4349452 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $\nu-\delta\nu_{02}$ grafiği Şekil 4.5'de yer almaktadır. Aynı zamanda gözlem ve model arasındaki uyumun $\nu-\Delta\nu$ grafiğindeki titreşim frekansı deseni açısından da oldukça iyi olduğu belirlendi (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. KIC 4349452 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $\nu-\delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) alınan gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.4. KIC 4349452 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.15	0.70361	0.01720	2.175	3.96	6155	2.176	1.299	4.271	6.864	98.196	2013.80	2377.25	1787.52	1316.92
1.18	0.70361	0.01720	2.175	3.17	6224	2.302	1.307	4.277	7.519	98.313	2029.77	2477.44	1849.62	1343.18
1.20	0.70361	0.02000	2.175	3.39	6162	2.249	1.318	4.278	7.334	98.152	2040.05	2475.78	1841.74	1321.57
1.20	0.71361	0.01720	2.175	3.10	6220	2.323	1.314	4.280	7.596	98.257	2042.90	2476.25	1847.86	1348.74
1.20	0.70361	0.01720	2.175	2.70	6270	2.389	1.312	4.281	7.869	98.346	2040.94	2488.83	1884.50	1397.02

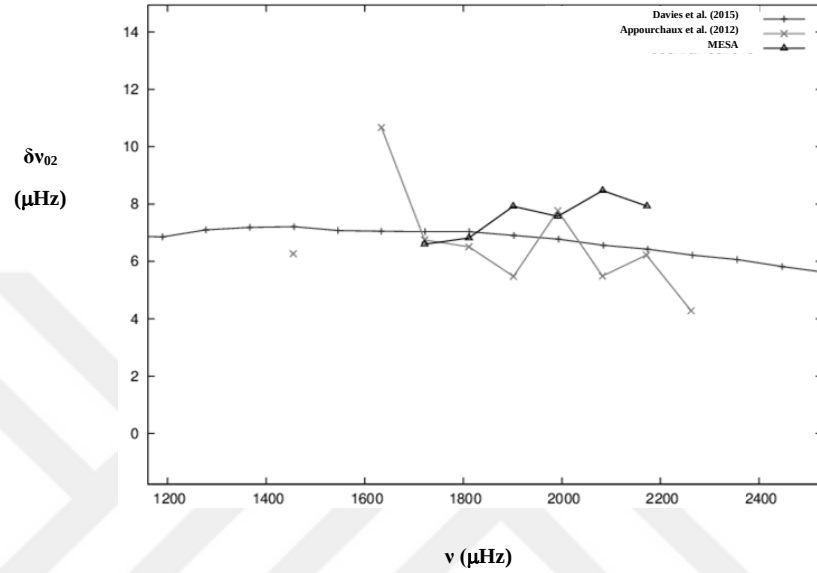


Şekil 4.6. KIC 4349452 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

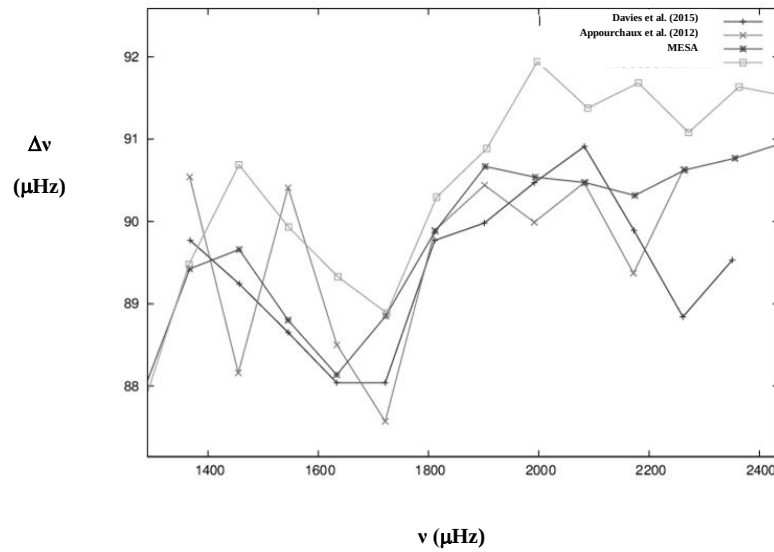
4.3.3. KIC 5866724

Yıldız için ilk model ölçeklendirme ilişkisinden elde edilen kütle ve yarıçap kullanılarak yapıldı. Bu modelin etkin sıcaklığı gözlemden düşük çıktı. Hidrojen bolluğu ve konvektif parametresi değiştirilerek yeni bir model daha yapıldı. Yapılan bu değişiklikler etkin sıcaklıktaki farkı gidermeyince kütle arttırıldı. Kütlenin $1.25 M_{\odot}$ alınarak yapıldığı modelde metal bolluğu gözlem değeri varsayıldı. Bu model sonucunda da etkin sıcaklık, gözlemden daha düşük çıktı. Metal bolluğu 0.02239 alınarak iki farklı karışım uzunluğu parametresi (1.675 ve 1.950) için iki ayrı model yapıldı. Referans minimumları ve sismik nicelikler gözleme yaklaşırken etkin sıcaklıkta hala sorunun devam ettiği görüldü. Bu sorunu çözmek için kütle $1.27 M_{\odot}$ alındı. Bu model sonucunda hem sismik

niceliklerin hem de etkin sıcaklık ve metal bolluğunun gözlem ile uyumlu olduğu görüldü (Çizelge 4.5). KIC 5866724 yıldızının v - δv_{02} grafiği uyumlu MESA modeli ve gözlem titreşim frekansları ($l = 0$ ve 2 dereceli) kullanılarak Şekil 4.7’de çizdirildi. Ancak bu modelin $v_{\min 1}$ ’i gözlemden farklı ve $\sim 70 \mu\text{Hz}$ daha düşüktür (Şekil 4.8).



Şekil 4.7 KIC 5866724 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - δv_{02} grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



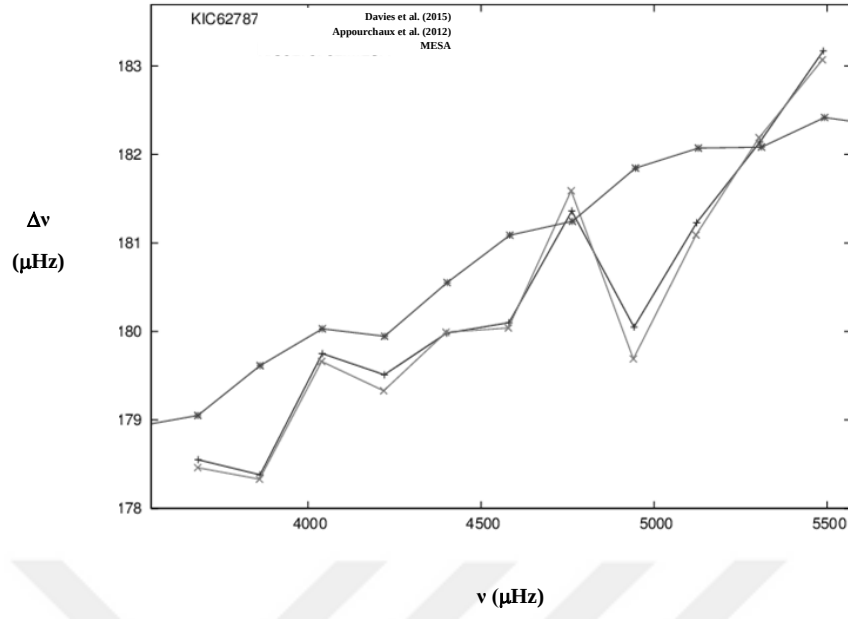
Şekil 4.8 KIC 5866724 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - Δv grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.5 KIC 5866724 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

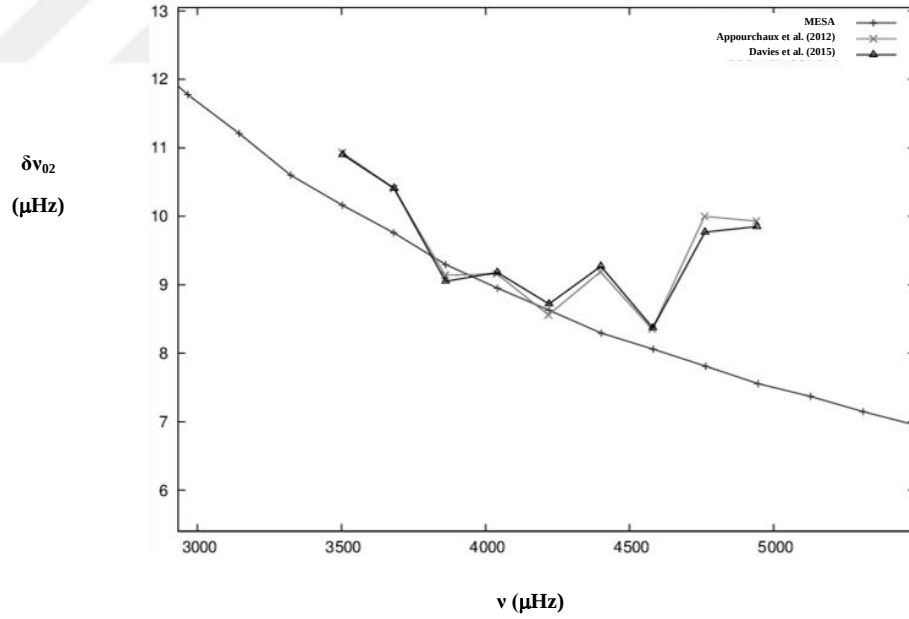
M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.18	0.66160	0.02239	1.530	2.10	5990	2.197	1.378	4.231	7.812	90.448	1861.32	2355.97	1718.04	1201.12
1.18	0.70361	0.02239	2.175	5.30	5898	2.134	1.401	4.217	4.145	89.054	1814.70	1987.67	1542.01	1132.88
1.25	0.70361	0.02540	2.175	2.90	6072	2.132	1.321	4.293	7.146	91.944	2131.03	2222.46	1676.09	1238.06
1.25	0.70361	0.02239	1.675	2.50	5994	2.300	1.408	4.237	7.329	90.393	1887.98	2270.68	1682.72	1234.20
1.25	0.70361	0.02239	1.950	3.00	6063	2.424	1.413	4.234	6.644	90.040	1863.94	2177.87	1635.24	1221.90
1.27	0.70361	0.02239	2.170	2.90	6155	2.608	1.422	4.236	6.476	89.761	1855.84	2174.25	1633.55	1223.31

4.3.4. KIC 6278762

KIC 6278762 yıldızının ilk model değerleri Campante et al. (2015) verileri varsayılarak yapıldı. Elde edilen değerlerin gözlemle uyumsuzluğu nedeniyle kütle $0.73 M_{\odot}$ varsayılarak Güneş bileşiminde yeni bir model yapıldı. Model değerinin gözlem etkin sıcaklığına yakınlaşması için bu değerlerin yetersiz olduğu görüldü. Aynı zamanda model sismik niceliklerinin gözlemden oldukça fazla olduğu saptandı. Bu farkı gidermek için sırasıyla hidrojen ve metal bolluğu değiştirilerek iki ayrı model daha yapıldı. Hidrojen bolluğu değiştirilerek yapılan model değerlerinin gözleme yakınlaşmadığı belirlendi. Metal bolluğu değiştirilerek yapılan modelin etkin sıcaklığının gözleme yakın olduğu görüldü. Ancak sismik niceliklerin gözlemden fazla olması ve ν - $\Delta\nu$ grafiğinde model-gözlem titreşim frekansları arasındaki uyumsuzluktan dolayı yeni bir modele daha ihtiyaç vardır. Bu nedenle yeni modelde hem kütle hem de metal bolluğu artırıldı. Bu model sonucunda hem tayf hem de titreşim frekansları arasındaki büyük ve küçük ayrılmanın gözleme yakınlaştığı saptandı. Model referans minimumunun gözlemle uyumlu olması için ince ayar bir model daha yapıldı. Bu model için kütle $0.74 M_{\odot}$ alındı. Bu modelin değerleri hem tayf hem de sismik nicelikler açısından gözlemle uyumludur (Çizelge 4.6). Ayrıca ν - $\Delta\nu$ grafiğinde model-gözlem titreşim frekansları arasındaki uyum dikkat çekicidir (Şekil 4.9). Ayrıca KIC 6278762 yıldızının gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiğinde saptanan ν_{min0} 'dan daha yüksek frekanslı minimum, MESA model titreşim frekanslarında görülmedi. KIC 6278762 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği Şekil 4.10'da yer almaktadır.



Şekil 4.9 KIC 6278762 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.10 KIC 6278762 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.6 KIC 6278762 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3’deki gibi sıralanmıştır.

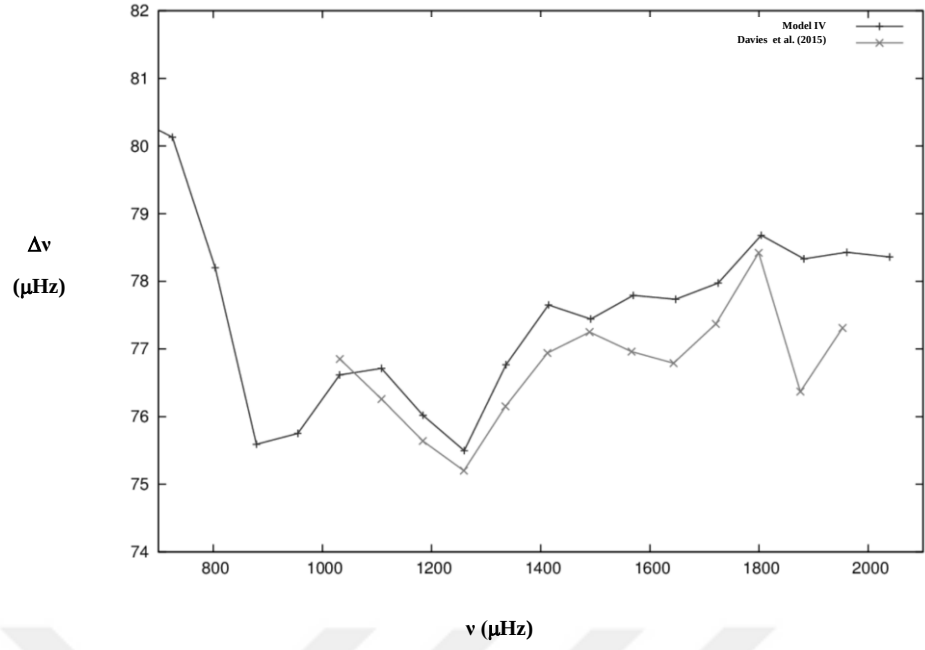
M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	δv_{02} (μHz)	Δv (μHz)	v_{max} (μHz)	v_{min0} (μHz)	v_{min1} (μHz)	v_{min2} (μHz)
0.73	0.70361	0.0172	2.175	10.90	4638	0.215	0.720	4.587	10.605	189.877	4793.40	4543.47	3502.39	2935.95
0.73	0.68361	0.0172	2.175	9.50	4783	0.243	0.719	4.587	10.835	189.859	4733.32	4448.05	3503.83	2815.37
0.73	0.70361	0.0121	2.175	9.40	4951	0.279	0.719	4.587	10.671	190.050	4652.32	4448.80	3503.92	2746.85
0.69	0.70361	0.0071	2.175	11.17	5187	0.323	0.705	4.580	9.172	190.430	4468.52	4259.62	3503.79	2746.59
0.75	0.70361	0.0131	2.175	11.10	5043	0.328	0.752	4.561	8.824	180.516	4329.44	4221.59	3324.32	—
0.74	0.70361	0.0121	2.175	11.66	5072	0.333	0.748	4.559	8.458	180.587	4305.17	4221.51	3323.95	2606.48

4.3.5. KIC 6521045

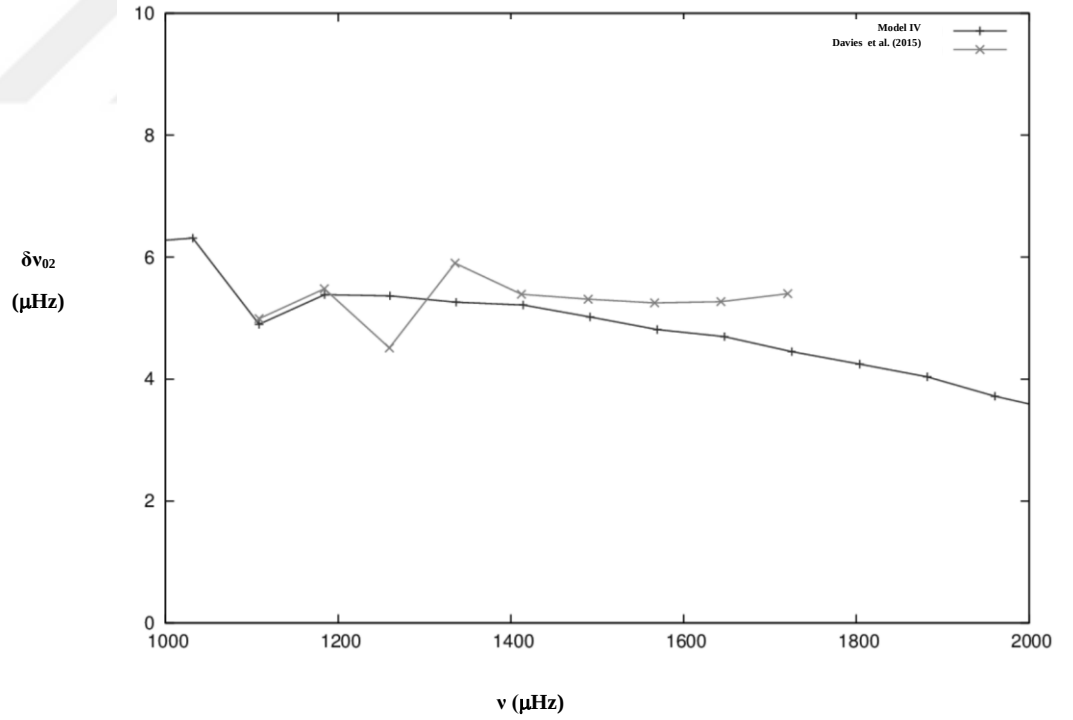
KIC 6521045’in iç yapı modeli ilk olarak Silva Aguirre et al. (2015) tarafından hesaplanan kütle kullanılarak yapıldı (*Model I*). Bu model sonucunda etkin sıcaklık ile büyük ayrılma gözlemden daha fazla elde edildi. Referans minimumlarının (v_{min0} ve v_{min1}) gözlenenden oldukça düşük değere sahip olduğu görüldü. Bu nedenle kütle $1.07 M_{\odot}$ alınarak yeni bir model daha yapıldı (*Model II*). Model II’nin değerleri tayftan elde edilen değerlerle oldukça uyumludur. Sismik açıdan v_{max} ve v_{min1} gözleme göre düşük çıktı. Bu farkın giderilmesi için kütle sabit alınarak başlangıç hidrojen ve metal bolluğu değiştirilerek iki farklı model daha yapıldı (*Model III ve IV*). Bu modeller sonucunda, başlangıç metal bolluğu 0.0192 olan Model IV, hem etkin sıcaklık ve metal bolluğu hem de sismik değerler bakımından gözlemle en uyumlu modeldir. Yapılan bu modelin titreşim frekanslarının gözlem ile karşılaştırılması $v-\Delta v$ ve $v-\delta v_{02}$ grafiklerinde görülür (*Şekil 4.11 ve Şekil 4.12*). Yapılan modellerin sonuçları Çizelge 4.7’de sunuldu.

Çizelge 4.7 KIC 6521045 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3’deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	δv_{02} (μHz)	Δv (μHz)	v_{max} (μHz)	v_{min0} (μHz)	v_{min1} (μHz)	v_{min2} (μHz)
1.10	0.70361	0.0172	2.175	6.630	5924	2.506	1.505	4.124	5.157	77.569	1462.73	1571.96	1222.93	914.91
1.07	0.70361	0.0172	2.175	7.610	5856	2.364	1.496	4.117	5.240	77.277	1448.34	1647.04	1233.64	894.62
1.10	0.70361	0.0192	2.175	7.310	5856	2.407	1.510	4.122	5.011	77.358	1461.47	1647.13	1259.74	894.26
1.10	0.71361	0.0172	2.175	7.240	5879	2.441	1.508	4.123	5.088	77.346	1462.48	1648.17	1232.90	901.03



Şekil 4.11 KIC 6521045 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



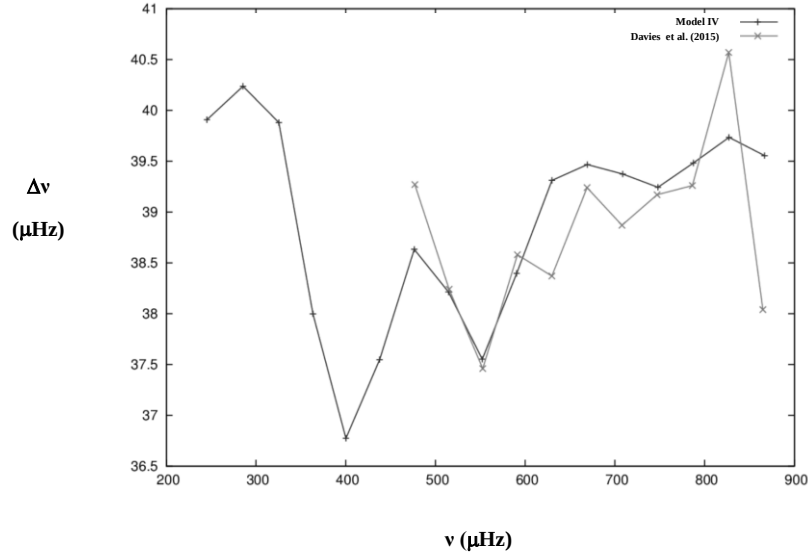
Şekil 4.12 KIC 6521045 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

4.3.6. KIC 7199397

İncelenen yıldızlar arasından KIC 7199397'nin iç yapı modeli ilk defa bu tez kapsamında yapıldı. KIC 7199397'nin iç yapı modeli için MESA evrim kodu kullanıldı. Ölçeklendirme ilişkisinden türetilen kütle ($1.25 M_{\odot}$) ve gözlenen metal bolluğu kullanılarak ilk model yapıldı. Model yapılırken karma modların dışında işi zorlaştıran bir diğer etmen $l = 2$ dereceli gözlem titreşim frekanslarının azlığı oldu. Bu nedenle referans minimumları $l = 2$ dereceli gözlem titreşim frekansları ile kontrol edilemedi. $l = 2$ dereceli titreşim frekanslarının az olmasından dolayı yıldızın küçük ayrılması saptanamadı. Yapılan ilk modelin referans minimumları (ν_{min0} ve ν_{min1}) ve büyük ayrılması gözlemle uyumlu çıktı. Ancak model etkin sıcaklığı gözlemden çok fazla olduğu için metal bolluğu değiştirilerek model yinelendi. Bu durumda da model referans minimumlarının gözlemden oldukça farklı olduğu görüldü. Bu metal bolluğu ilk model değerleri ile kullanılarak etkin sıcaklık düzeltilmesi amaçlandı. Ek olarak hidrojen bolluğu arttırılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu modeller sonucunda model etkin sıcaklığı gözleme yakınladı. Ancak model referans minimumları gözlemden farklılaştı. Bu nedenle metal ve hidrojen bollukları ilk değerlerine döndürülerek, etkin sıcaklık için kütlede değişiklik yapıldı. Yapılan bu model sonucunda hem etkin sıcaklık hem de asterosismik değerler açısından model ile gözlemin iyi biçimde uyumlu olduğu görüldü. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de sunuldu. $l = 0$ dereceli model ve gözlem titreşim frekanslarının davranışı Şekil 4.13'de çizildi.

Çizelge 4.8 KIC 7199397 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.25	0.70361	0.0104	2.175	3.620	5941	6.967	2.495	3.741	3.560	38.977	603.93	746.86	551.30	399.48
1.24	0.70361	0.0104	2.175	3.740	5890	6.700	2.489	3.739	3.441	38.996	604.60	747.95	552.16	400.22
1.25	0.70361	0.0114	2.175	3.850	5719	6.050	2.509	3.736	3.670	38.737	608.69	690.96	532.95	399.08
1.25	0.71361	0.0104	2.175	3.900	5804	6.393	2.504	3.738	3.778	38.837	606.64	706.84	534.23	399.35



Şekil 4.13 KIC 7199397 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - Δv grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

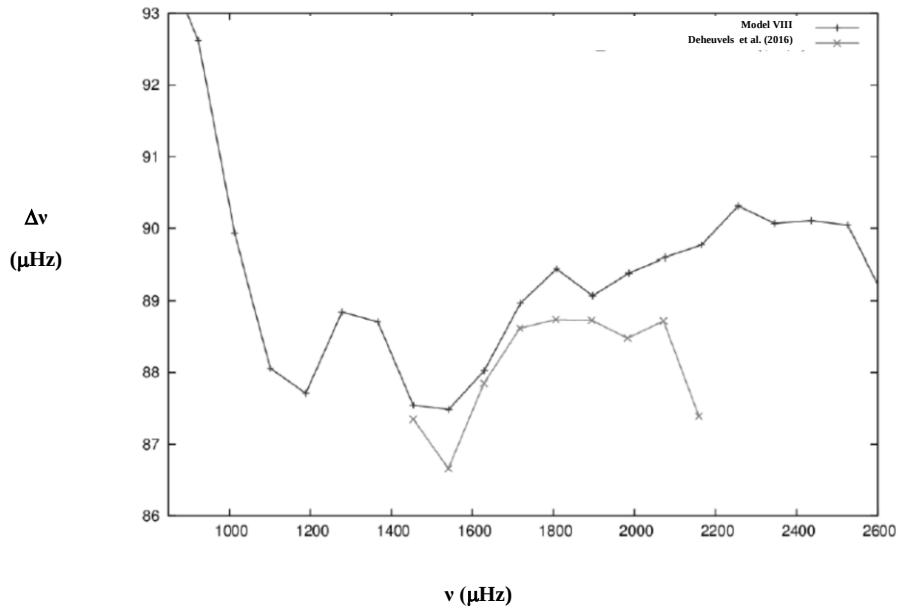
4.3.7. KIC 7296438

KIC 7296438 yıldızının ilk modeli için parametreler Chaplin et al. (2014) çalışmasındaki SDSS ışıkölçüm verilerinden alındı. Bu sonuçlara göre yapılan modelin etkin sıcaklığı gözlemden çok düşük çıktı. Bu nedenle kütle $1.05 M_{\odot}$ alınarak yeni bir model daha yapıldı. Etkin sıcaklık gözlemden ~ 80 K daha fazla elde edildi. Küçük ve büyük ayrılma gözlem civarında elde edildi. Bu modelin referans minimumları gözlemden düşüktür. Referans minimumlarını gözleme yakınlaştırmak için kimyasal bileşim sabit tutularak 3 farklı kütlede (*sırasıyla* 1.07 , 1.10 ve $1.13 M_{\odot}$) modeller yapıldı. Bu modeller sonucunda referans minimumları tek tek kontrol edildi. Referans minimumları açısından gözlemle en uyumlu modelin kütlesi $1.13 M_{\odot}$ 'dir. Ancak bu modelde hem küçük ve büyük ayrılma hem de etkin sıcaklık gözlemden fazladır. Bu farkı gidermek için kütle sabit kabul edilerek hidrojen ve metal bolluğu değiştirildi. Hidrojen bolluğu 0.01 azaltılarak yapılan model sonucunda model değerlerinin tamamında çok az bir değişim oldu. Bunun üzerine metal bolluğu 0.008 artırılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda referans minimumları gözlemden uzaklaşırken, küçük ve büyük ayrılma gözleme yakınlaştı. Etkin sıcaklıktaki değişimin de anlamlı olmasından dolayı bu metal bolluğu sabit alınarak kütle artırıldı. Kütlenin $0.02 M_{\odot}$ artırıldığı model sonucunda küçük ve büyük ayrılma gözleme biraz daha

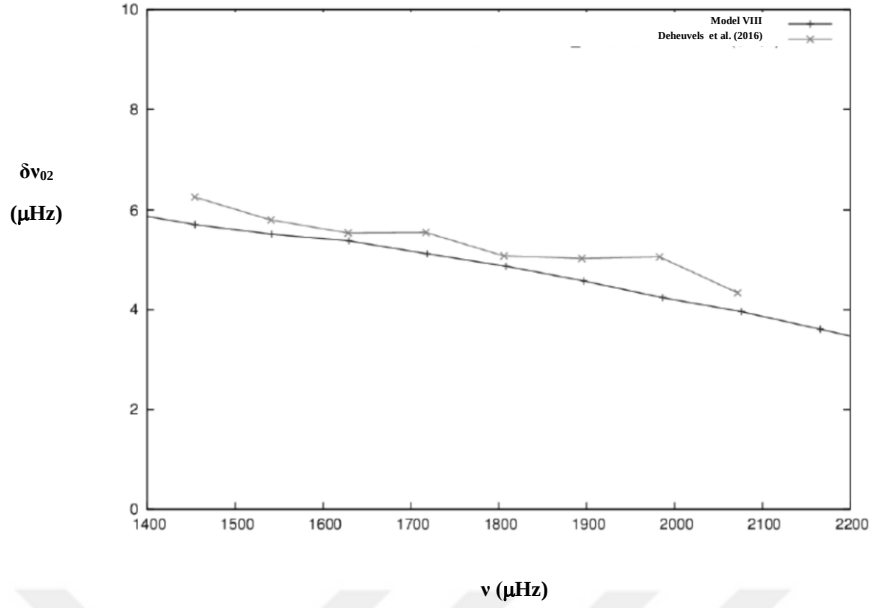
yakınlaştı. Model ve gözlem etkin sıcaklığı arasındaki fark ~ 50 K oldu. $\nu_{\min 0}$ gözleme yakınlaştıkça $\nu_{\min 1}$ 'in bir miktar daha düşük frekansa kaydığı saptandı. Referans minimumlarının gözleme yakınlaşması için kütle 0.03 daha arttırılarak yeni bir model daha yapıldı. Etkin sıcaklık gözlem hata payı içerisinde kalırken, küçük ve büyük ayrılma gözleme oldukça yakındır (Şekil 4.14). Model $\nu_{\min 1}$ 'in gözlemi iyi biçimde temsil ettiği görüldü. Gözlem ve model $\nu_{\min 0}$ 'ları arasındaki fark ise ~ 80 μHz civarındadır (Çizelge 4.9). Gözlem $\nu_{\min 0}$ 'ının saptanmasındaki zorluktan kaynaklı böyle bir farkın oluştuğu düşünülmektedir. Modelden elde edilen $\nu_{\max}$ gözlemde ~ 30 μHz daha düşüktür. KIC 7296438 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $\nu - \delta\nu_{02}$ grafiği Şekil 4.15'de yer almaktadır.

Çizelge 4.9 KIC 7296438 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	$\nu_{\max}$ (μHz)	$\nu_{\min 0}$ (μHz)	$\nu_{\min 1}$ (μHz)	$\nu_{\min 2}$ (μHz)
1.05	0.70361	0.0172	2.175	7.54	5871	1.948	1.351	4.198	5.168	89.017	1740.50	1896.71	1452.36	1100.61
1.07	0.70361	0.0172	2.175	6.81	5913	2.023	1.357	4.202	5.045	89.131	1751.75	1898.18	1471.96	1101.03
1.10	0.70361	0.0172	2.175	5.82	5975	2.140	1.367	4.208	5.457	89.193	1765.38	1976.93	1515.29	1100.43
1.13	0.70361	0.0172	2.175	4.94	6036	2.261	1.377	4.213	5.799	89.245	1778.23	1987.94	1540.54	1118.28
1.13	0.69361	0.0172	2.175	4.61	6032	2.251	1.376	4.214	5.791	89.266	1781.40	1989.34	1541.88	1123.55
1.13	0.70361	0.0250	2.175	7.32	5799	1.953	1.386	4.207	4.825	88.840	1790.71	1973.71	1488.68	1101.03
1.15	0.70361	0.0250	2.175	6.65	5841	2.031	1.393	4.210	4.995	88.844	1797.64	1895.94	1484.90	1132.64
1.18	0.70361	0.0250	2.175	6.01	5831	2.047	1.404	4.215	4.923	88.811	1817.30	1897.14	1541.63	1144.48



Şekil 4.14 KIC 7296438 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $\nu - \Delta\nu$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Deheuvels et al. (2016) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.15. KIC 7296438 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Deheuvels et al. (2016) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

4.3.8. KIC 8077137

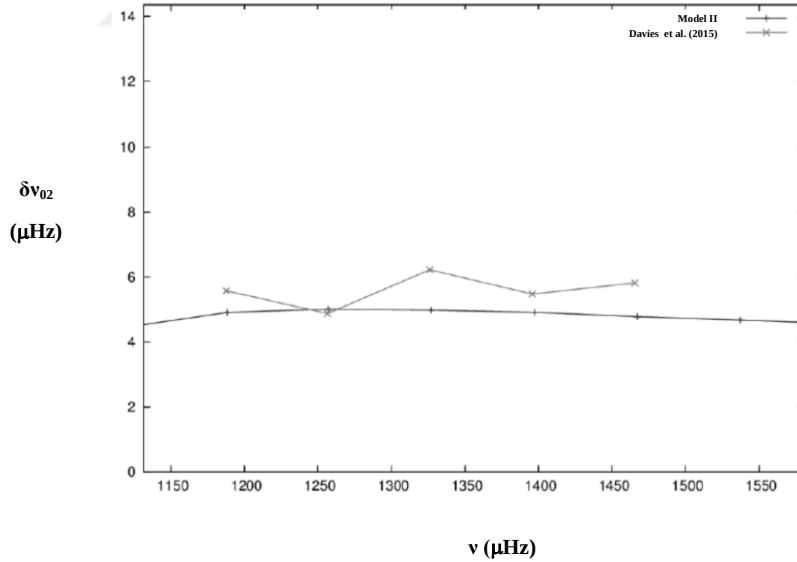
KIC 8077137 yıldızının ilk modeli Silva Aguirre et al. (2015)'den alınan kütle ile Güneş bileşiminde yapıldı. Etkin sıcaklığın gözleme göre oldukça düşük çıkmasından dolayı kütle 0.08 artırılarak yeni bir model daha yapıldı. Etkin sıcaklık gözleme yakınlaşırken, küçük ve büyük ayrılma gözlemden daha fazladır. KIC 8077137 yıldızının gözlem $v-\Delta v$ grafiğinde iyi bir şekilde yalnızca $\text{min}1$ görülmektedir. $v_{\text{min}0}$ güvenilir olmamakla birlikte modellerde $v_{\text{min}1}$ 'in gözlem-model uyumuna öncelik verildi. Bundan dolayı kütle 0.02 azaltılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda $v_{\text{min}1}$ 'in model ve gözlem arasındaki farkı $\sim 8 \mu\text{Hz}$ 'dir. $v_{\text{min}0}$ gözlemden $\sim 60 \mu\text{Hz}$ daha fazladır. $v-\Delta v$ grafiğindeki gözlem ve model titreşim frekans desenleri arasındaki uyum iyidir. Küçük ayrılmanın gözleme ulaşması için metal bolluğu 0.002 oranında azaltılarak yeni bir model daha yapıldı. Küçük ayrılma gözleme yakınlaşırken, $v-\Delta v$ grafiğindeki uyum bozuldu. Bu nedenle metal bolluğu 0.0170 olarak eski değerinde alınarak hidrojen bolluğu 0.01 oranında azaltıldı. Bu model sonucunda küçük ayrılma gözleme yakınlaştı. Ancak $v_{\text{min}1}$ gözlemden $\sim 50 \mu\text{Hz}$ daha yüksek çıktı (Çizelge

4.10). Gözlem ve model titreşim frekans desenleri arasındaki benzerlik v - Δv grafiğinde bozuldu.

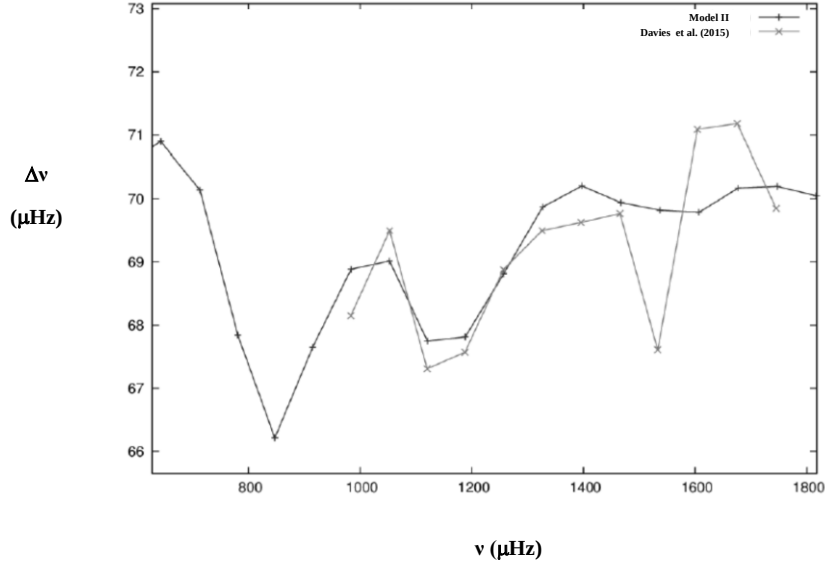
KIC 11807274'e benzer olarak KIC 8077137 yıldızının modelinde de $v_{\min 1}$ 'e öncelik verildi. KIC 8077137 yıldızının $M = 1.18 M_{\odot}$, $Z = 0.0170$ ve $X = 0.69361$ ile yapılan model titreşim frekansları ile gözlem frekansları v - Δv ve v - δv_{02} grafiğinde birbiriyle uyumludur (Şekil 4.16 ve 4.17). Ancak tüm bunlara rağmen $v_{\min 0}$ için uyum elde edilemedi. Buradaki sorun $v_{\min 0}$ 'ın belirlenmesindeki zorluktan kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.10 KIC 8077137 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	δv_{02} (μHz)	Δv (μHz)	v_{max} (μHz)	$v_{\min 0}$ (μHz)	$v_{\min 1}$ (μHz)	$v_{\min 2}$ (μHz)
1.20	0.70361	0.0170	2.175	4.790	6146	3.558	1.666	4.074	4.989	69.467	1278.46	1607.81	1188.91	847.46
1.18	0.70361	0.0170	2.175	5.225	6099	3.427	1.660	4.069	4.922	69.357	1271.12	1594.57	1148.31	847.26
1.18	0.70361	0.0150	2.175	4.710	6185	3.593	1.653	4.073	5.022	69.568	1272.97	1609.11	1189.55	847.74
1.18	0.69361	0.0170	2.175	4.780	6153	3.526	1.655	4.072	4.991	69.570	1273.19	1610.05	1190.51	848.50



Şekil 4.16. KIC 8077137 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - δv_{02} grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

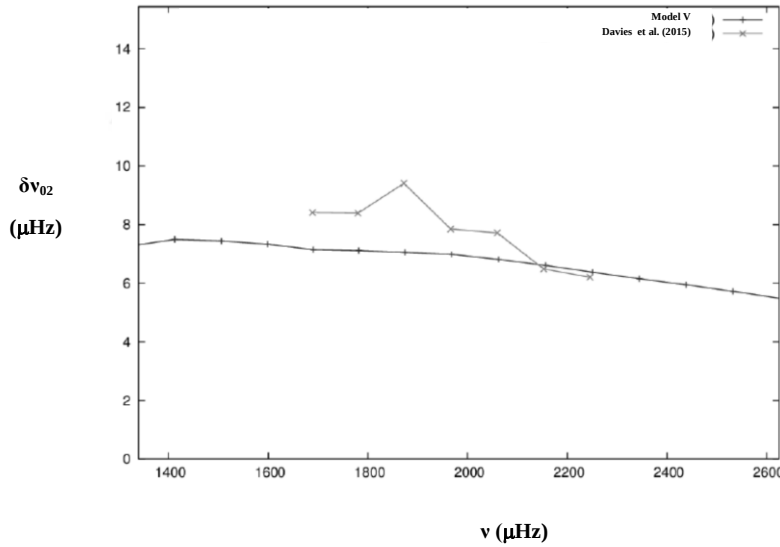


Şekil 4.17. KIC 8077137 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

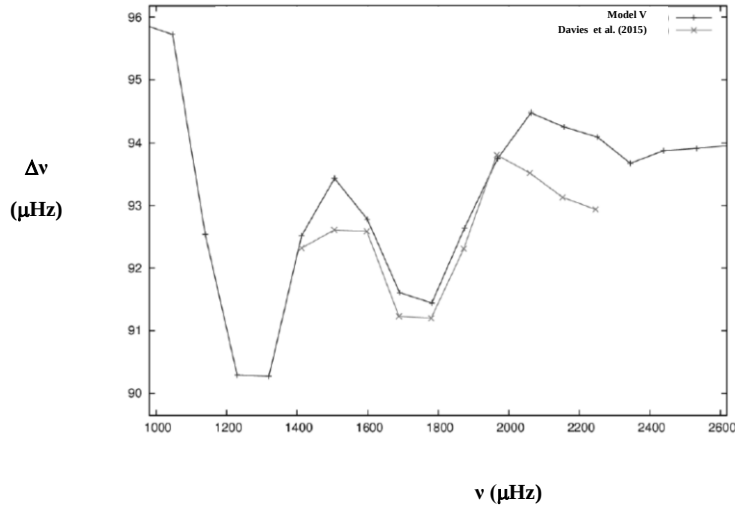
4.3.9. KIC 8292840

KIC 8292840 yıldızının ilk modeli ölçeklendirme ilişkisinden elde edilen kütle ile yapıldı. Model etkin sıcaklık değeri gözleme oldukça yakın çıktı. Küçük ayrılma ve $\nu_{\max}$ gözlemden düşük çıkarken, büyük ayrılma gözlem civarındadır. KIC 8292840 yıldızının gözlem titreşim frekansları ile çizilen ν - $\Delta\nu$ grafiğinde yalnızca $\min 0$ 'ın başlangıcı ve $\min 1$ görülür. Bu nedenle modelde referans minimumlarından $\nu_{\min 1}$ 'in gözleme yaklaşmasına öncelik verildi. Ancak modelden elde edilen $\nu_{\min 1}$ oldukça düşüktür. Bu nedenle kütle 0.02 daha da artırılarak yeni bir model daha yapıldı. Bunun model sonucunda etkin sıcaklık gözlemden daha yüksek çıktı. Sismik niceliklerin gözleme daha da yaklaştığı görüldü. Hem $\nu_{\min 0}$ hem de $\nu_{\min 1}$ 'in gözlemle arasındaki farkın azaldığı ancak yeterli olmadığı fark edildi. Bu nedenle kütle aynı oranda artırıldı. Model sonucunda etkin sıcaklık gözlemden yüksek elde edilirken sismik nicelikler arasındaki uyumun gittikçe artmaya devam ettiği görüldü. $\nu_{\min 1}$ 'in model ile gözlem değeri arasındaki fark 20 μHz 'e indi. ν - $\Delta\nu$ grafiğindeki model ve gözlem frekans desenleri arasında gözle görünür bir uyum oluştu. Etkin sıcaklık dışında diğer değerlerin uyumlu olmasından dolayı tayftan elde edilen değerlerde hata olabileceği düşünüldü. Bunun üzerine literatürde yeniden araştırma yapıldı. Rowe

et al. (2014) çalışmasındaki değerlere ($T_{eff} = 6239 \pm 94$ K, $logg = 4.247 \pm 0.036$, $[M/H] = -0.14$ dex) göre yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucuna göre gözlem ve model ν_{min1} 'i arasında ~ 10 μHz fark oldu. Ayrıca model ve gözlem titreşim frekansları kullanılan ν - $\Delta\nu$ grafiğinde frekans desenleri arasındaki uyum arttı. Modelin gözlenen ν_{min1} 'e yaklaşması için hidrojen bolluğu 0.01 azaltıldı. Bu model sonucunda T_{eff} ve $logg$ değerleri gözlemin hata payı içerisinde kalırken küçük ve büyük ayrılma gözleme yakındır. ν_{max} ise gözlem değerinden ~ 130 μHz daha düşüktür. Referans minimumlarından ν_{min1} gözleminden ~ 5 μHz fazladır. Model ν_{min0} ise gözleminden ~ 100 μHz daha fazladır (Çizelge 4.11). ν_{min0} , $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekanslarının son değeri alındığından dolayı model ile gözlem arasındaki uyumsuzluğun buradan kaynaklandığı düşünülmektedir. ν - $\Delta\nu$ ve ν - $\delta\nu_{02}$ grafiğindeki model titreşim frekansları gözlemi iyi bir şekilde temsil etmektedir (Şekil 4.18 ve 4.19). KIC 8292840 yıldızının ν - $\Delta\nu$ grafiğinde yalnızca ν_{min1} görülmesine rağmen, yıldızın iç yapı modeli sonucunda gözlenen etkin sıcaklık ve asterosismik değerler iyi bir şekilde temsil edildi.



Şekil 4.18. KIC 8292840 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.19. KIC 8292840 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

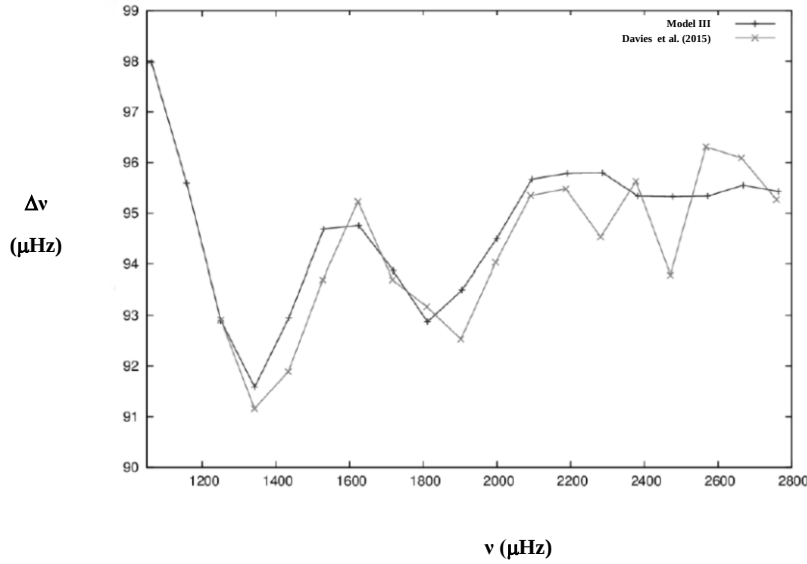
Çizelge 4.11 KIC 8292840 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μ Hz)	$\Delta\nu$ (μ Hz)	ν_{max} (μ Hz)	ν_{min0} (μ Hz)	ν_{min1} (μ Hz)	ν_{min2} (μ Hz)
1.08	0.70361	0.0120	2.175	4.73	6209	2.323	1.319	4.231	6.071	92.658	1826.31	2173.32	1630.26	1228.62
1.10	0.70361	0.0120	2.175	4.19	6255	2.412	1.324	4.235	6.385	92.771	1839.31	2246.75	1687.26	1228.16
1.12	0.70361	0.0120	2.175	3.68	6303	2.500	1.328	4.241	6.733	93.024	1854.38	2343.96	1717.05	1278.36
1.12	0.70361	0.0115	2.175	3.53	6332	2.542	1.326	4.242	6.859	93.037	1855.72	2342.99	1748.50	1269.42
1.12	0.69861	0.0120	2.175	3.48	6328	2.535	1.326	4.242	6.873	93.101	1856.30	2344.64	1742.81	1274.68

4.3.10. KIC 8866102

KIC 8866102 yıldızının ilk modeli Silva Aguirre et al. (2015) çalışmasındaki değerler alınarak yapıldı. $M = 1.23 M_{\odot}$ ve Güneş bileşiminde yapılan modelin etkin sıcaklığı gözlemden düşük çıktı. Bu nedenle kütle $0.02 M_{\odot}$ artırılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda etkin sıcaklık gözleme oldukça yakın elde edildi. Sismik nicelikler açısından yapılan incelemede küçük ve büyük ayrılmanın gözlem ile uyumlu olduğu görüldü. ν_{max} ise gözlemden $\sim 50 \mu\text{Hz}$ daha düşüktür. Referans minimumlarından ν_{min0} ve ν_{min1} gözlemden daha yüksek çıkarken ν_{min2} gözleme oldukça yakındır. ν_{min0} ve ν_{min1} 'i gözleme yakınlaştırmak için metal bolluğu 0.01 artırılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu modelde ν_{min0} gözlemden uzaklaşırken ν_{min1} gözleme daha da yakınlaştı. Bu modelin de etkin sıcaklığı gözlem ile oldukça uyumludur. Küçük ve büyük ayrılma gözlem değerleri civarındadır. Model ve gözlem titreşim

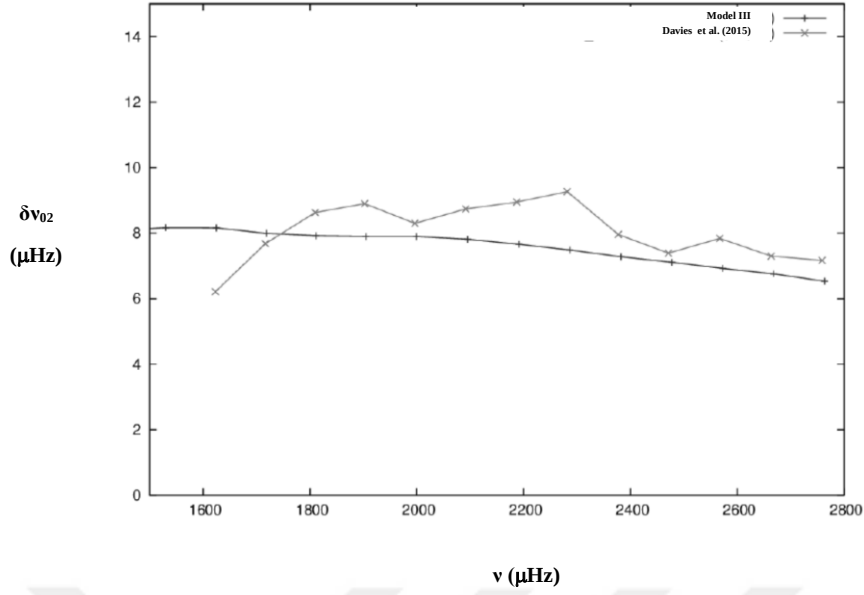
frekansları ν - $\Delta\nu$ grafiğinde çizildiğinde min2 civarındaki frekans deseninin oldukça uyumlu olduğu saptandı. Ancak min1'in düşme yapısı modelden daha farklıdır. Şekil 4.20'nin $\nu > 2200 \mu\text{Hz}$ civarında gözlem değerlerindeki minimum benzeri yapılar ile model uyuşmamaktadır. Fakat bu düşmelerin gözlemdaki hatalardan kaynaklandığı düşünüldü. Model $\nu_{\min 0}$ ve $\nu_{\min 1}$ 'inin gözlemlerle uyumun artmasını sağlamak için hidrojen bolluğu 0.01 arttırıldı. Yapılan bu yeni modelin sonucuna göre $\nu_{\min 1}$ gözleme yaklaşırken, $\nu_{\min 0}$ 'ın hala oldukça yüksek olduğu görüldü (Çizelge 4.12). Frekans deseni açısından ν - $\Delta\nu$ ve ν - $\delta\nu_{02}$ grafiğinde model ve gözlem arasındaki uyum dikkat çekmektedir (Şekil 4.20 ve 4.21). Fakat $\nu_{\min 0}$ 'ın gözlemden farklı çıkmasının temel nedeni $\nu_{\min 0}$ 'ın belirlenmesinde olabilir. $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekanslarında $\nu_{\min 0}$ güvenilir bir şekilde belirlenemediği için $l = 1$ dereceli frekanslardan saptandığı göz önüne alındı.



Şekil 4.20. KIC 8866102 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.12 KIC 8866102 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	$\nu_{\min 0}$ (μHz)	$\nu_{\min 1}$ (μHz)	$\nu_{\min 2}$ (μHz)
1.25	0.70361	0.0176	2.175	2.12	6362	2.717	1.359	4.269	7.898	94.543	1967.09	2478.31	1857.73	1342.19
1.25	0.70361	0.0186	2.175	2.32	6320	2.659	1.362	4.267	7.611	94.464	1964.94	2521.74	1830.79	1342.00
1.25	0.71361	0.0176	2.175	2.46	6308	2.639	1.362	4.266	7.495	94.463	1966.80	2477.49	1811.56	1342.41



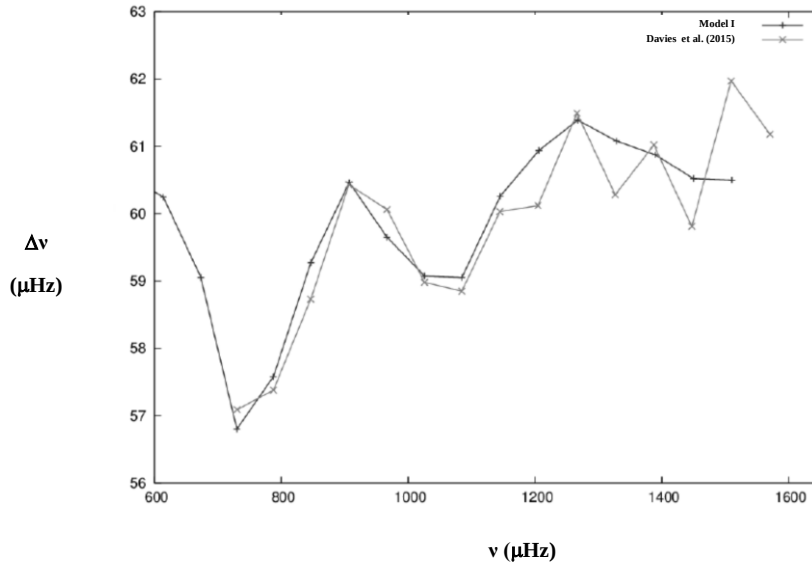
Şekil 4.21. KIC 8866102 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - δv_{02} grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

4.3.11. KIC 9414417

KIC 9414417 yıldızının ilk modeli Silva Aguirre et al. (2015) çalışmasındaki değerler ile yapıldı. Modelin hem tayf hem de asterosismik parametreleri gözlemle çok farklı çıktığı için kütle $1.17 M_{\odot}$ ve metal bolluğu 0.0127 alınarak yeni bir model yapıldı. Model sonucunda etkin sıcaklık gözlemden ~ 80 K düşük çıktı. Küçük ve büyük ayrılma gözlemle uyumlu çıkarken $\nu_{\max}$ 'ın gözlemden ~ 70 μHz daha düşük çıktığı saptandı. Referans minimumları ($\nu_{\min 0}$ ve $\nu_{\min 1}$) da $\nu_{\max}$ 'a benzer şekilde gözlemden daha düşük çıktı. Modelden elde edilen titreşim frekansları gözlem ile birlikte ν - $\Delta\nu$ grafiğinde çizildiğinde model referans minimumlarının gözleme göre daha düşük frekanslara doğru kaydığı görüldü. Referans minimumlarını gözleme yakınlaştırmak için kütle $0.1 M_{\odot}$ arttırıldı. Metal bolluğu 0.0165 alındı. Modelin sonucunda etkin sıcaklık ile sismik niceliklerden küçük ve büyük ayrılma gözlemle oldukça uyumludur. Referans minimumlarından $\nu_{\min 0}$ gözleme oldukça yakın elde edilirken, $\nu_{\min 1}$ 'in ~ 15 μHz daha düşük olduğu belirlendi. $\nu_{\min 1}$ $l = 1$ dereceli gözlem titreşim frekanslarının son değeri alındığı için uyumsuzluğun buradan kaynaklandığı düşünüldü. Model ve gözlem titreşim frekansları ν - $\Delta\nu$ ve ν - δv_{02}

grafiğinde çizildi (Şekil 4.22 ve 4.23). Model ve gözlem titreşim frekans desen uyumunun oldukça iyi olduğu görüldü. $M = 1.27 M_{\odot}$ ve $Z = 0.0165$ kullanılarak hidrojen bolluğu 0.01 azaltılıp yeni bir model daha yapıldı. Bu modelin yapılma amacı, model $\nu_{\min 1}$ 'inin gözleme yakınlaştırılmasıdır. Ancak model sonuçları $M = 1.27 M_{\odot}$, $X = 0.70361$ ve $Z = 0.0165$ modelinden daha uyumsuz çıktığı için bir önceki model en uyumlu model seçildi (Çizelge 4.13).

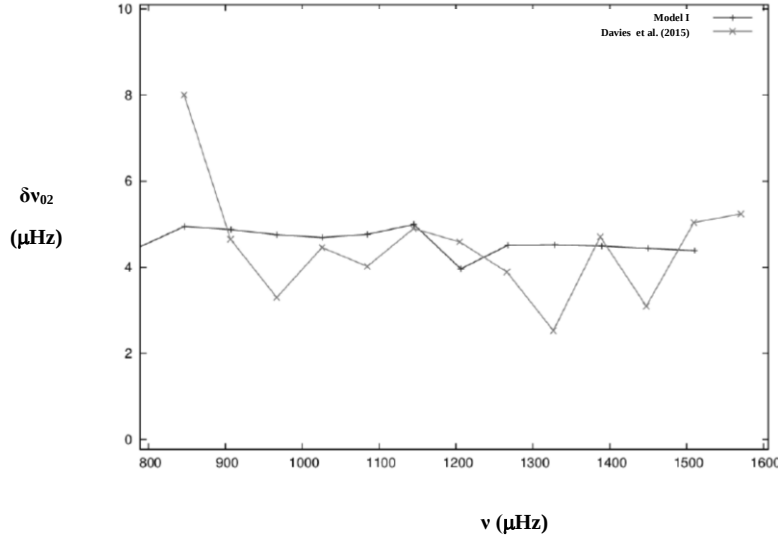
Tez kapsamında daha önceden rastlanmamış bir biçimde, KIC 9414417 yıldızının gözlem titreşim frekanslarında min0 değerinden daha yüksek frekanslı bir minimum (*min-1*) saptandı. Gözlem titreşim frekanslarında görülen yeni minimum modelde de saptandı. KIC 9414417 yıldızı için min-1'e ilişkin bulgu model frekanslarında da görüldü (Şekil 4.22). min-1'in güneş benzeri titreşim yapan yıldızların temel parametrelerine etkisi için daha ayrıntılı çalışmaların yapılması gereklidir.



Şekil 4.22. KIC 9414417 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.13 KIC 9414417 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.27	0.70361	0.0165	2.175	3.89	6236	4.718	1.863	4.001	4.613	59.818	1074.18	1066.29	742.51	433.54
1.17	0.70361	0.0127	2.175	4.74	6172	4.312	1.819	3.986	4.701	59.707	1043.42	1003.69	697.45	435.47
1.27	0.69361	0.0165	2.175	3.56	6304	4.892	1.857	4.004	4.687	59.926	1075.28	1085.43	759.46	433.42

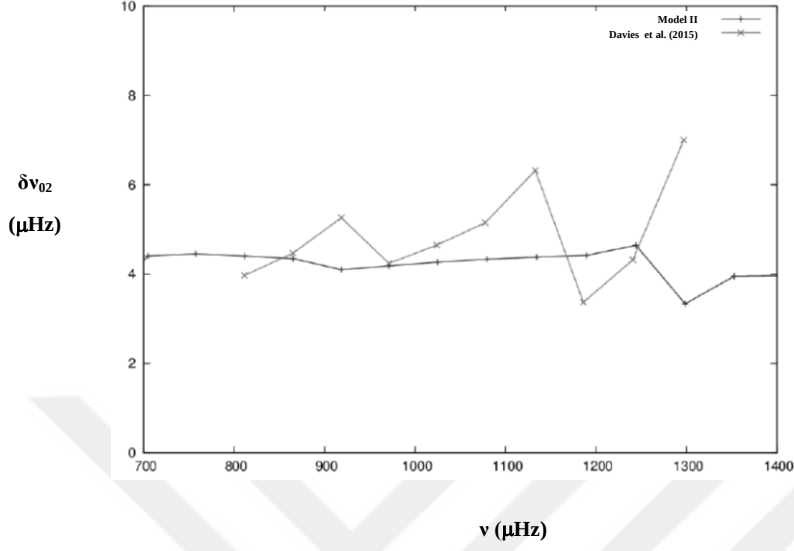


Şekil 4.23 KIC 9414417 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - δv_{02} grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

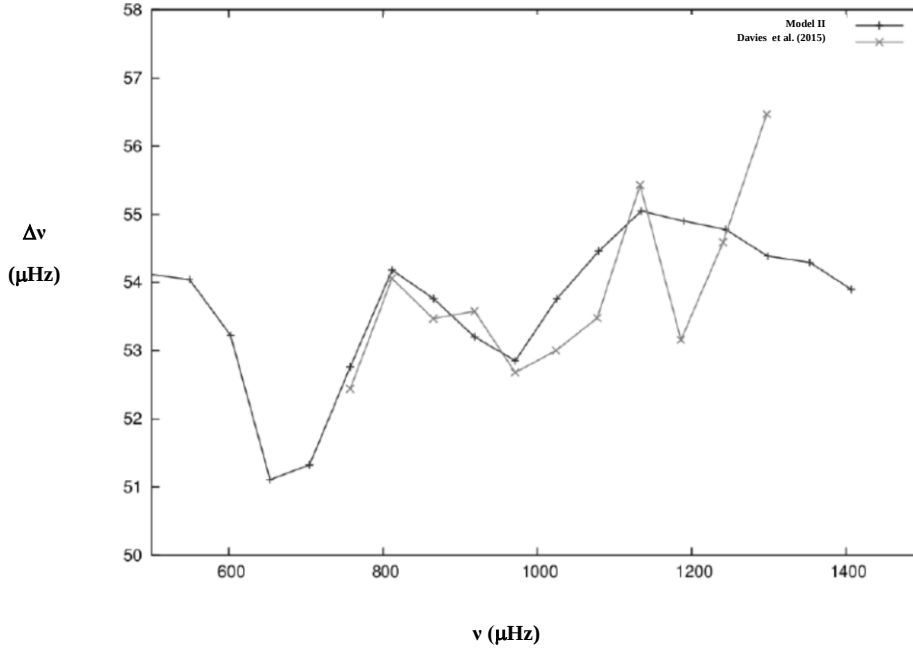
4.3.12. KIC 9592705

KIC 9592705 yıldızının ilk modeli Silva Aguirre et al. (2015) sonuçlarına göre yapıldı. Modelin etkin sıcaklığı gözlemden daha fazla çıktı. Bu nedenle kütle azaltılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu modelde etkin sıcaklık gözleme yakın elde edildi ve büyük ayrılma da gözlemle uyumlu çıktı. Referans minimumlarından $v_{\min 0}$ $l = 1$ dereceli titreşim frekanslarından saptanan değere oldukça yakındır. Ancak v - Δv grafiğinde frekans desenleri karşılaştırıldığında benzerlik yoktur. $v_{\min 1}$ ise $l = 1$ dereceli titreşim frekanslarından elde edilen gözlemden ~ 50 μHz daha düşüktür. Yapılan model sonucuna göre $v_{\min 2}$ gözlemden ~ 80 μHz daha düşüktür. KIC 9592705'in $v_{\min 2}$ $l = 0$ dereceli gözlem titreşim frekanslarından en düşük olanı kabul edildi. Bu nedenle model $v_{\min 2}$ 'nin düşük çıkmasının nedeni belirlenmesindeki zorluktan kaynaklı olabilir. $v_{\min 0}$ ve $v_{\min 2}$ 'nin durumundan dolayı modeller $v_{\min 1}$ 'e yakınlaştırıldı. Bu nedenle metal bolluğu $Z = 0.0265$ alınarak aynı kütle ile yeni bir model daha yapıldı. Bu modelde de etkin sıcaklık gözleme oldukça yakındır. Model ile gözlem $v_{\min 1}$ 'leri arasında uyum elde edildi. v - Δv ve v - δv_{02} grafiğindeki frekans deseninin de iyi sonuç verdiği görüldü (Şekil 4.24 ve 4.25). Yıldızın gözlemde görülen $v_{\min 0}$ 'ı modelde elde edilemedi. İnce ayar yapmak için hidrojen bolluğu değiştirilerek

yeni bir model daha yapıldı. Ancak sonuçların gözlemden uzaklaştığı görüldü (Çizelge 4.14).



Şekil 4.24. KIC 9592705 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\delta v_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



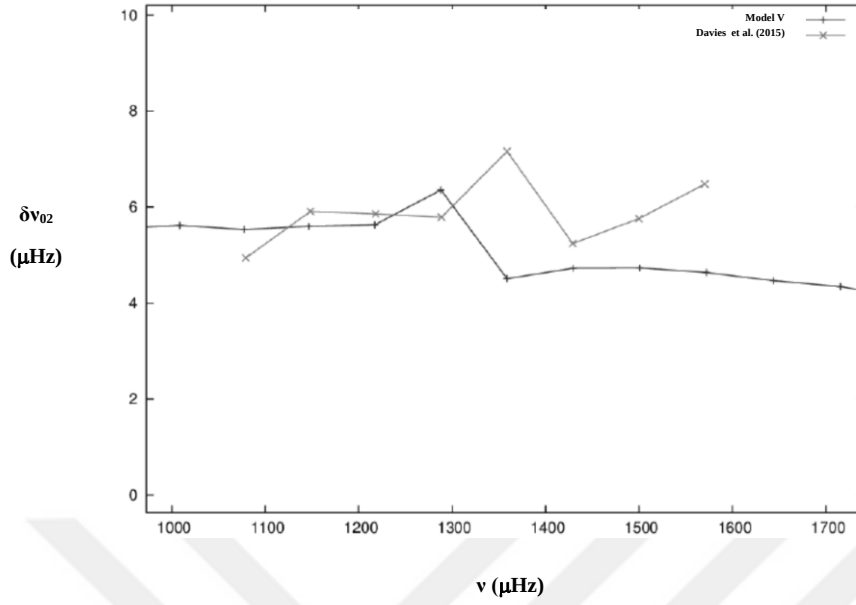
Şekil 4.25. KIC 9592705 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.14 KIC 9592705 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

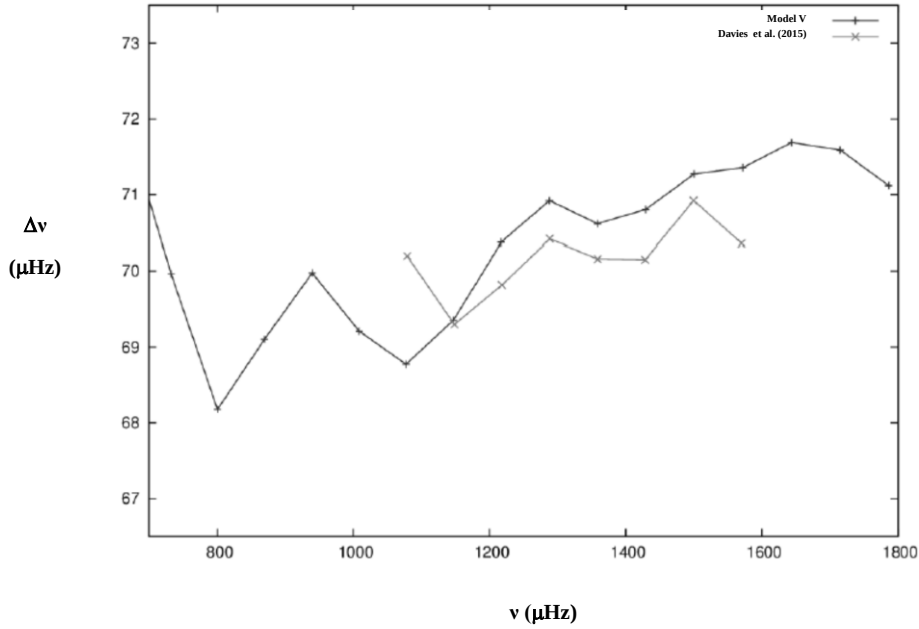
M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.45	0.70361	0.0285	2.175	3.550	6104	5.551	2.110	3.951	4.066	53.806	966.38	1249.42	916.50	678.00
1.45	0.70361	0.0265	2.175	3.300	6187	5.801	2.099	3.955	4.242	54.008	969.96	1298.63	963.65	670.41
1.50	0.70361	0.0285	2.175	2.985	6264	6.165	2.111	3.965	4.186	54.162	985.92	9999.99	1013.87	705.30
1.45	0.71361	0.0285	2.175	3.885	6037	5.347	2.116	3.948	4.227	53.687	966.22	1215.13	884.57	652.46

4.3.13. KIC 10514430

KIC 10514430 yıldızının ilk modeli ölçeklendirme ilişkisinden türetilen kütle ile yapıldı. Bu model sonucunda elde edilen etkin sıcaklık ile tayf değeri arasında 80 K kadar bir fark çıktı. Bu model sonucunda elde edilen sismik niceliklerden büyük ayrılma gözleme yakındır. Küçük ayrılma ise gözlemden daha düşüktür. Referans minimumları açısından modelin ν_{min0} 'ı gözleme yakın çıkarken, ν_{min1} gözlemden $\sim 100 \mu\text{Hz}$ daha fazladır. Etkin sıcaklığı tayf değerine yakınlaştırmak için $M = 1.07 M_{\odot}$ alınarak ikinci bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda etkin sıcaklık tayf değerine oldukça yakın çıktı. ν_{min1} gözlemden $\sim 75 \mu\text{Hz}$ fazla çıkarken ν_{min0} gözlemlle uyumludur. KIC 10514430 yıldızının gözlem ν - $\Delta\nu$ grafiğinde ν_{min1} 'in saptanmasındaki güçlük model yapılırken de görüldü. Bu nedenle ν_{min0} 'a öncelik verilerek büyük ve küçük ayrılmayı gözleme yakınlaştırmak için hem Z hem de X değiştirilerek iki farklı model daha yapıldı. $M = 1.07 M_{\odot}$ ve $Z = 0.0152$ ile yapılan model sonucuna göre, ν_{min0} $50 \mu\text{Hz}$ daha düşük çıktı (Çizelge 4.15). Büyük ve küçük ayrılma ise çok az değişti. Hidrojen bolluğu 0.02 arttırılarak yapılan diğer modelde ν_{min0} gözleme oldukça yakındır. Ancak ν - $\Delta\nu$ grafiğinde model ile gözlem titreşim frekans desenleri uyuşmamaktadır. Bu nedenle metal bolluğu 0.0162 ile 0.0152 olan iki model arasında yaklaşım yapılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda küçük ve büyük ayrılma gözleme yakınlaştı. ν_{min1} gözlemden $\sim 70 \mu\text{Hz}$ daha fazla saptandı. ν_{min0} ise gözlemden $\sim 25 \mu\text{Hz}$ daha düşük belirlendi. ν - $\Delta\nu$ ve ν - $\delta\nu_{02}$ grafiğinde model ile gözlem titreşim frekansları arasındaki uyum dikkat çekmektedir (Şekil 4.26 ve 4.27).



Şekil 4.26. KIC 10514430 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - δv_{02} grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.27. KIC 10514430 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - Δv grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.15 KIC 10514430 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

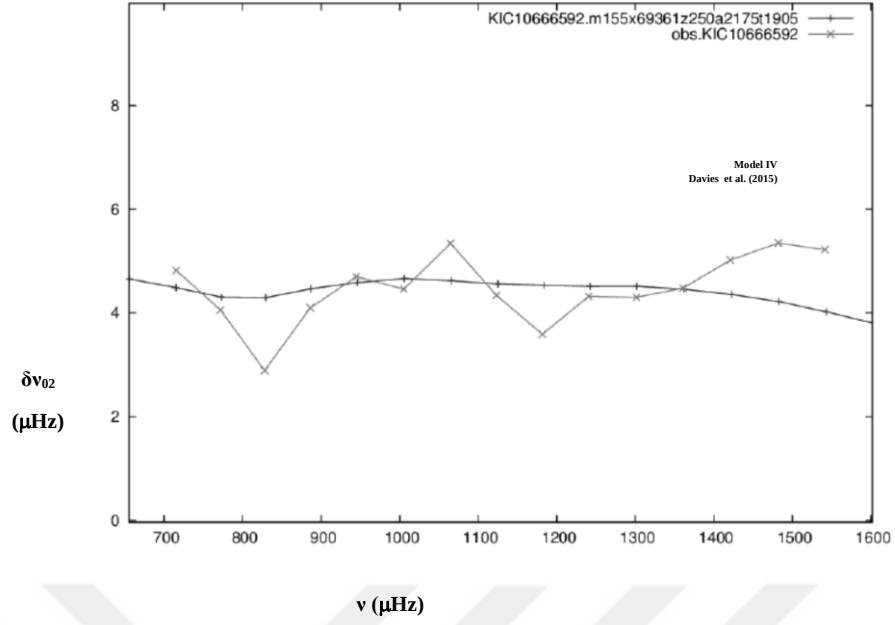
M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.10	0.70361	0.0162	2.175	7.040	5869	2.754	1.607	4.067	5.081	70.383	1288.93	1433.18	1123.76	799.73
1.07	0.70361	0.0162	2.175	7.990	5797	2.575	1.593	4.063	5.161	70.508	1283.81	1431.76	1079.36	802.03
1.07	0.70361	0.0152	2.175	7.270	5876	2.712	1.591	4.064	5.118	70.496	1278.36	1359.37	1077.89	800.61
1.07	0.72361	0.0152	2.175	8.550	5777	2.549	1.596	4.061	5.081	70.358	1281.20	1428.64	1065.15	800.43
1.07	0.70361	0.0159	2.175	7.525	5846	2.664	1.593	4.063	5.215	70.433	1278.42	1385.52	1077.42	800.36

4.3.14. KIC 10666592

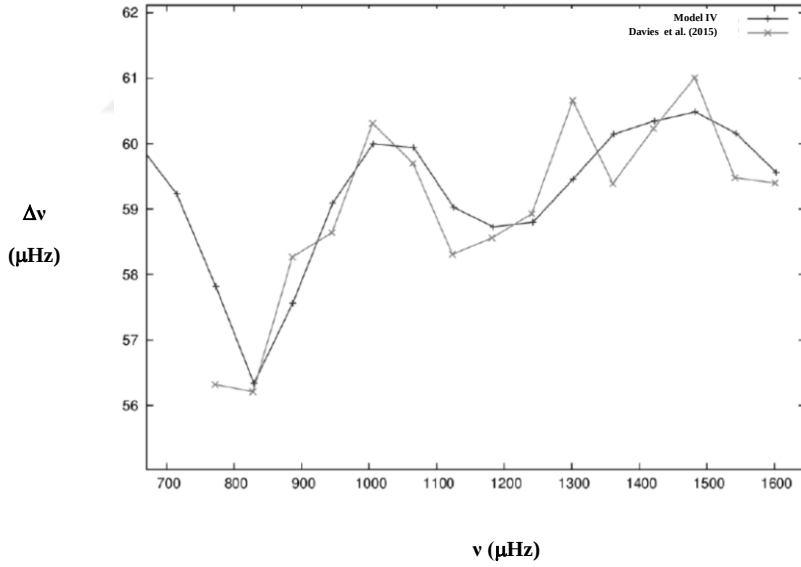
Silva Aguirre et al. (2015) çalışmasında hesaplanan kütle ve bolluklarla KIC 10666592 yıldızının ilk modeli yapıldı. Bu model sonucunda etkin sıcaklık gözlemden daha fazla çıktı. Buna ek olarak üç referans minimumun da gözlemden çok daha yüksek olduğu belirlendi. Bu modelde ν_{min0} , titreşim frekanslarından en yüksek değer kabul edildi. Etkin sıcaklık ve asterosismik parametreleri gözleme yakınlaştırmak için kütle $0.05 M_{\odot}$ azaltılarak yeni bir model daha yapıldı. Yeni modelin parametrelerinden etkin sıcaklık gözleme yakınlaştırmak, bu modelde de ν_{min0} titreşim frekanslarından en son değer kabul edildi. $M = 1.55 M_{\odot}$ ve $Z = 0.0230$ alınarak yeni bir model daha yapıldı. Benzer biçimde ν_{min0} titreşim frekanslarından en son değer kabul edildi. Referans minimumların yapısına ve ν - $\Delta\nu$ grafiğine bakıldığında gözlem ile model titreşim frekans desenlerinin benzer ancak bir miktar düşük frekanslı bölgeye kaydığı görüldü. Bunun üzerine hidrojen bolluğu 0.01 azaltılarak $Z = 0.0250$ ve $M = 1.55 M_{\odot}$ ile yeni bir model daha yapıldı (Çizelge 4.16). Referans minimumlarının belirlenme zorluğu hesaba katıldığında ν - $\Delta\nu$ grafiğindeki titreşim desenleri arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu belirlendi (Şekil 4.29). Bu modelde de ν_{min0} , titreşim frekanslarından en yüksek değer kabul edildi. KIC 10666592 yıldızının MESA model ve gözlem titreşim frekansları ($l = 0$ ve 2 dereceli) kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği Şekil 4.27'de yer almaktadır.

Çizelge 4.16 KIC 10666592 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.60	0.70361	0.0250	2.175	1.680	6481	6.331	1.998	4.041	4.368	59.414	1154.14	1635.04	1304.98	887.74
1.55	0.70361	0.0250	2.175	2.140	6279	5.631	2.008	4.023	4.326	58.874	1124.63	1598.28	1143.84	786.64
1.55	0.70361	0.0230	2.175	1.920	6399	5.966	1.990	4.030	4.249	59.224	1134.28	1603.52	1199.47	829.64
1.55	0.69361	0.0250	2.175	1.905	6381	5.919	1.993	4.029	4.440	59.165	1132.46	1602.59	1219.63	829.24



Şekil 4.28 KIC 10666592 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $\nu - \delta v_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.29. KIC 10666592 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $\nu - \Delta v$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

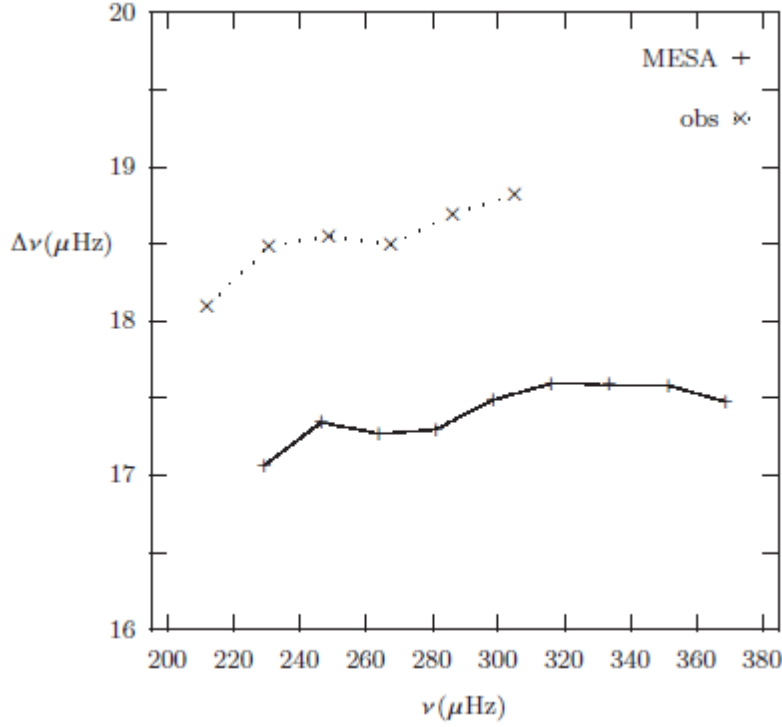
4.3.15. KIC 10864656

KIC 10864656'nın iç yapı modeli yapılırken iki zorlukla karşılaşıldı. Bunlardan biri, yıldızın karma mod göstermesidir. Bu nedenle KIC 10864656'nın

referans minimumları farklı dereceli gözlem titreşim frekansları ile kontrol edilemedi. Bir diğer zorluk yıldızın gözlem titreşim frekans verisinin çok az olmasıdır. KIC 10864656'nın gözlem titreşim frekans verileri v - Δv grafiğinde yalnızca min1 yöresinde toplanır (*Şekil 4.30*).

Yıldızın başlangıç modelinin parametreleri Quinn et al. (2015)'dan alındı. Model-gözlem arasındaki uyumsuzluktan dolayı Güneş bileşimine dönerek yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda T_{eff} ve $logg$ gözleme yakınlaştırılırken, titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılma, en büyük genlikli modun frekansı ve v_{min1} 'in gözlemden daha düşük olduğu görüldü. Sismik değerlerin yakınlaştırılması için kütle $0.04 M_{\odot}$ oranında arttırıldı. Böylece v_{min1} gözleme daha da yakınladı. Ancak büyük ayrılma ve en büyük genlikli frekans gözlemden daha fazla çıktı. Bu farkı gidermek için hidrojen ve metal bollukları değiştirilerek üç farklı model yapıldı. Bu modellerin sonucunda büyük ayrılmanın çok az değiştiği görüldü. Bu durumda kütle değiştirilerek yeni bir model daha yapıldı. Ancak model etkin sıcaklığı ile gözlenen arasında $100 K$ 'den daha fazla farklılık görüldü. Kütle ve kimyasal bileşim tekrar değiştirilerek yeni bir model daha yapıldı ($M = 1.10 M_{\odot}$, Güneş bileşimi). Bu model sonucunda hem büyük ayrılma hem de v_{min1} gözlemden daha düşük çıktı.

Model parametreleri üzerinden gidilerek tam bir çözüm elde edilemediği için uç değerlere gidildi. Bunun için kütle ve kimyasal bileşim sınır değerlerde alınarak yeni modeller yapıldı. Modellerden $1.58 M_{\odot}$ ve $1.60 M_{\odot}$ kütleleri için yapılan modellerin etkin sıcaklıklarının gözlemle uyumlu olduğu belirlendi. Ancak, ilginç olarak, model v_{min1} değeri v_{max} ile eşit çıktı. Bu parametrelerin ikisinin de gözlemden yüksek olduğu görüldü. Bu farkı gidermek için kütle $0.05 M_{\odot}$ arttırılarak hidrojen bolluğu 0.72361 ve metal bolluğu da 0.0250 alındı (*Çizelge 4.17*). Bu model sonucunda genel anlamda tüm değerler gözleme yakınladı. Özellikle v - Δv grafiğinde model-gözlem titreşim frekansları arasındaki uyumun ve v_{min1} 'in gözleme oldukça yakın olmasından dolayı bu model, gözlemi iyi bir şekilde temsil etmektedir (*Şekil 4.30*). Ayrıca bu modelin titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılma ve yüzey kütleçekim ivmesi de gözleme yakındır. Hem bileşimin hem de kütle sınırları zorlandığı için daha fazla değişikliğin çözüm olmayacağı düşünüldü.



Şekil 4.30 KIC 10864656 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Quinn et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

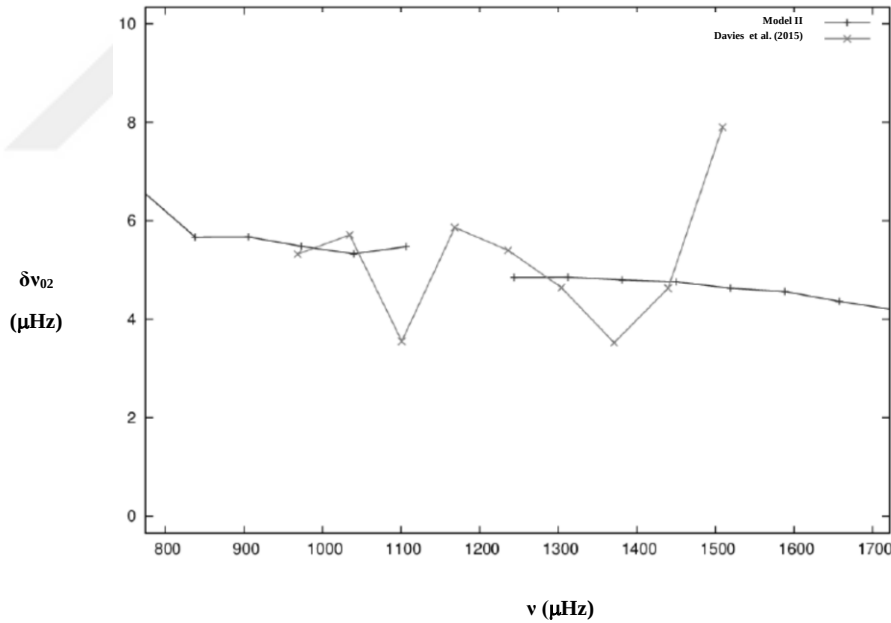
Çizelge 4.17 KIC 10864656 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.35	0.70361	0.0172	2.175	3.928	5040	10.755	4.307	3.300	—	17.398	237.64	—	256.77	—
1.39	0.70361	0.0172	2.175	3.539	5093	11.417	4.345	3.305	—	17.478	239.17	—	264.96	—
1.35	0.72361	0.0172	2.175	4.501	5067	10.953	4.301	3.301	—	17.436	237.67	—	262.74	—
1.35	0.70361	0.0146	2.175	3.572	5117	11.484	4.318	3.298	—	17.398	234.65	—	261.09	—
1.35	0.70361	0.0186	2.175	4.135	5076	11.118	4.317	3.298	—	17.393	235.70	—	263.49	—
1.39	0.68361	0.0172	2.175	3.083	5066	11.249	4.360	3.301	—	17.423	238.16	—	261.48	—
1.49	0.68361	0.0172	2.175	2.399	5090	12.003	4.462	3.312	—	17.421	243.18	—	263.76	—
1.29	0.68361	0.0172	2.175	4.058	5049	10.364	4.214	3.299	—	17.639	237.00	—	258.72	—
1.10	0.70361	0.0172	2.175	8.250	5023	9.381	4.050	3.264	—	17.393	219.38	—	263.76	—
1.58	0.72361	0.0300	2.175	3.673	4972	10.224	4.316	3.366	—	18.530	278.86	—	301.35	—
1.60	0.72361	0.0300	2.175	3.502	4902	9.712	4.326	3.369	—	18.573	283.08	—	286.78	—
1.65	0.72361	0.0250	2.175	2.753	5019	12.158	4.618	3.326	—	17.346	253.17	—	273.86	—

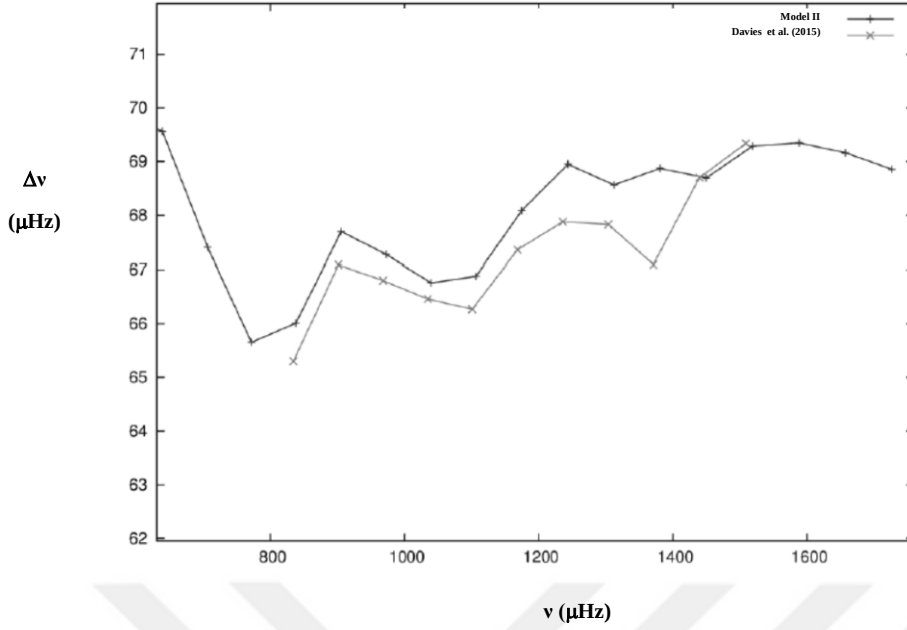
4.3.16. KIC 11401755

KIC 11401755 yıldızının ilk modeli Carter et al. (2012) çalışmasının değerleri ile yapıldı. Bu model sonucunda sismik nicelikler açısından uyum görülürken referans minimumlarından ν_{min0} 'ın değeri $\sim 35 \mu\text{Hz}$ daha yüksek çıktı. Bunun yanı sıra model etkin sıcaklığı ile gözlem arasındaki fark $\sim 80 \text{ K}$ 'dir. Bu

nedenle metal bolluğu 0.001 oranında arttırıldı. Yapılan yeni model sonucunda $l = 1$ dereceli titreşim frekans değerlerinden alınan $\nu_{\min 0}$ değerinin gözlem ile çok uyumlu olduğu belirlendi. Ancak $\nu_{\min 1}$ için model ile gözlem değeri arasında 20 μHz fark çıktı. Bu farkın giderilmesi için kütle $1.07 M_{\odot}$ azaltılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda ise $\nu_{\min 1}$ gözlemden farklı çıktı. Bu yüzden $M = 1.10 M_{\odot}$, $X = 0.71361$ ve $Z = 0.0135$ kullanılarak yeni bir model daha yapıldı (Çizelge 4.18). Bu model sonucunda da $\nu_{\min 1}$ 'in gözlem ile uyuşmadığı görüldü. Yapılan modeller arasından hem sismik hem de etkin sıcaklık ve yüzey kütleçekimi açısından en uygun model değerleri; $M = 1.10 M_{\odot}$, $X = 0.70361$ ve $Z = 0.0135$ 'dir. Bu modelin aynı zamanda sismik olarak elde edilen $\log g$ (4.045) ile de uyumlu olduğu saptandı. KIC 11401755 yıldızının MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ ve ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği Şekil 4.31 ve 4.32'de yer almaktadır.



Şekil 4.31. KIC 11401755 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.32. KIC 11401755 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

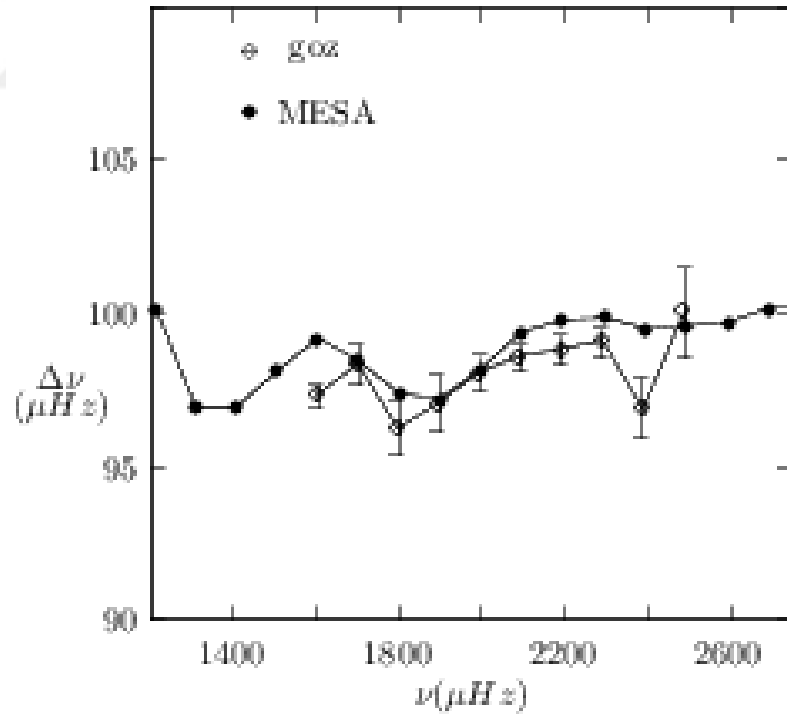
Çizelge 4.18 KIC 11401755 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.10	0.70361	0.0125	2.175	5.60	6043	3.210	1.637	4.051	5.029	67.984	1224.11	1405.70	1082.72	9999.99
1.10	0.70361	0.0135	2.175	5.93	5998	3.116	1.637	4.051	5.020	68.035	1228.69	1371.86	1081.60	796.84
1.07	0.70361	0.0135	2.175	6.78	5921	2.944	1.633	4.041	5.135	67.693	1208.83	1373.16	1033.97	9999.99
1.10	0.71361	0.0135	2.175	6.47	5948	3.045	1.645	4.047	5.055	67.774	1221.87	1374.19	1034.76	9999.99

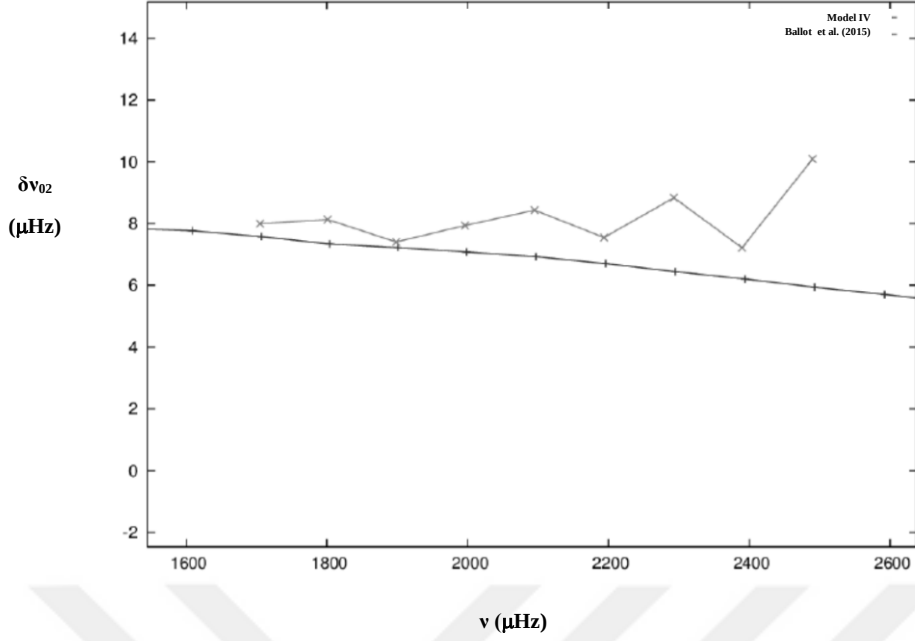
4.3.17. HD 52265

KIC 11807274'e benzer olarak HD 52265'in MESA modellerinde de ν_{max} ve ν_{min1} 'e öncelik verildi. HD 52265 yıldızının iç yapı modeline Escobar et al. (2015) yer alan kütle ($M = 1.24 M_{\odot}$) ile başlandı. Yapılan model sonucunda etkin sıcaklık tayf değerine yakın çıkarken, sismik niceliklerin gözlem ile uyumsuz olduğu görüldü. Bu nedenle kütle $1.40 M_{\odot}$ alınarak model yeniden hesaplandı (*Model I*). Model I'in etkin sıcaklığı, tayf değerine yaklaşırken büyük ayrılmanın ve referans minimumlarının gözlemde yüksek olduğu görüldü. Büyük ayrılmanın azaltılması için kütle $0.05 M_{\odot}$ oranında azaltılarak model yeniden hesaplandı (*Model II*). Model II sonucunda sismik değerler azalırken modelin

etkin sıcaklığı gözlemden uzaklaştı. Bu nedenle başlangıç metal bolluğu azaltılarak ($Z_i = 0.0311$) aynı kütle ile yeni bir model daha yapıldı (*Model III*). Model III'ün etkin sıcaklığı gözleme oldukça yakındır. Ancak sismik niceliklerdeki uyumsuzluğun devam ettiği görülür. Özellikle küçük ayrılmadaki farklılığın giderilmesi için hidrojen bolluğu azaltılarak yeni bir modelle gözleme en yakın hale getirildi (*Model IV*). Fakat referans minimumlarındaki tutarsızlıktan ve büyük ayrılmadaki önemli farktan dolayı yıldızın kütle ve metal bolluğu azaltılarak yeni bir model daha yapıldı (*Model V*). Burada kullanılan model değerleri aynı zamanda Γ_1 etkisi gözetilerek yapılan Yıldız et al. (2017) makalesinde bulunan değerlerdir. Model V sonucunda etkin sıcaklık ve yüzey kütleçekim ivmesinin gözlem ile uyduğu fark edildi. Sismik niceliklerden küçük ve büyük ayrılma ile $v_{\max}$ gözleme oldukça yakın çıkarken, referans minimumlarından yalnızca $v_{\min 0}$ biraz yüksektir. Yapılan modellerin tüm sonuçları Çizelge 4.19'da yer almaktadır. Model V ile gözlem titreşim frekansları $v-\Delta v$ grafiğinde çizildi (Şekil 4.33). HD 52265 için min0 dışında $v-\Delta v$ grafiğinde model ve gözlem titreşim frekansları birbiriyle uyumludur.



Şekil 4.33. HD 52265 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $v-\Delta v$ grafiği. Daire ile MESA modelinden elde edilen, çember ile Ballot et al. (2011) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.34 HD 52265 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları ile çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Ballot et al. (2011) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.19 HD 52265 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

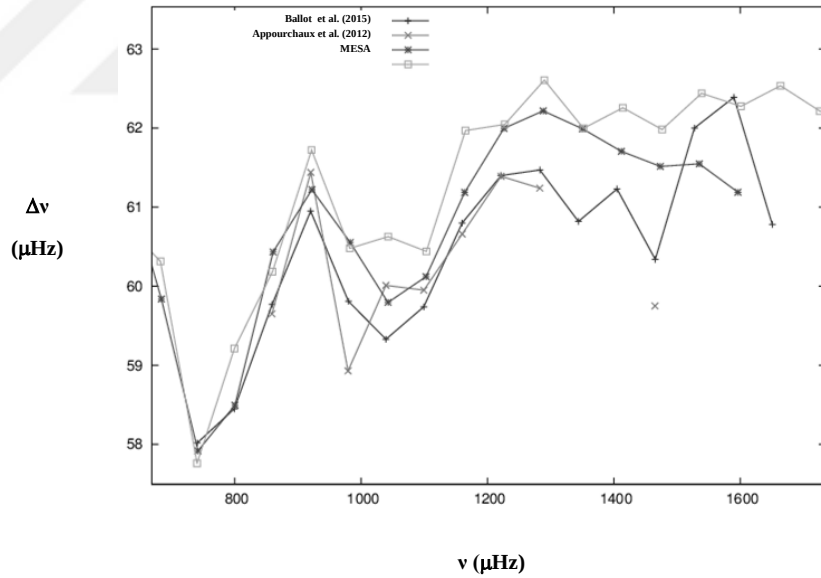
M	X	Z	α	t	T_{eff}	L	R	logg	$\delta\nu_{02}$	$\Delta\nu$	ν_{max}	ν_{min0}	ν_{min1}	ν_{min2}
($M_{\odot}$)				(Gyr)	(K)	($L_{\odot}$)	($R_{\odot}$)		(μHz)	(μHz)	(μHz)	(μHz)	(μHz)	(μHz)
1.40	0.70361	0.0365	2.175	1.710	6131	2.416	1.380	4.305	8.994	98.857	2176.48	2597.46	1930.25	1465.69
1.35	0.70361	0.0365	2.175	2.830	6028	2.219	1.368	4.296	7.660	98.525	2153.90	2494.14	1900.61	1411.02
1.35	0.70361	0.0311	2.175	1.990	6156	2.395	1.362	4.300	8.548	98.890	2150.21	2597.26	1923.27	1411.47
1.35	0.70361	0.0419	2.175	3.710	5904	2.053	1.371	4.294	6.828	98.301	2166.88	2393.89	1866.37	1412.08
1.35	0.69361	0.0365	2.175	2.390	6078	2.286	1.366	4.297	8.098	98.690	2151.31	2496.05	1901.89	1411.54

4.3.18.KIC 3632418

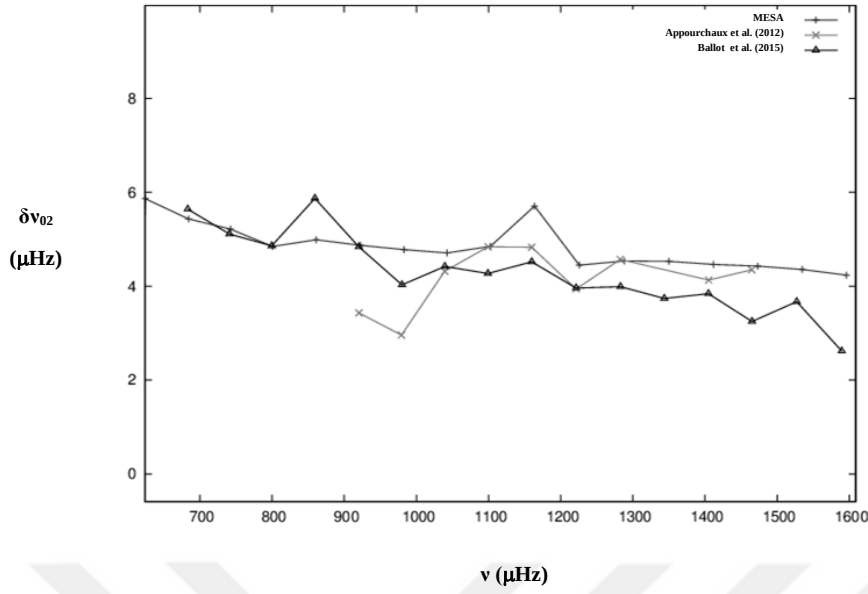
Beş gezegenli yıldız (KIC 3632418, KIC 9955598, KIC 10963065, KIC 11295426 ve KIC 11807274) için gözlem etkin sıcaklığı Lejeune et al. (1998) çizelgelerinden kontrol edildi.

KIC 3632418 yıldızının kütle ve yarıçapı ölçeklendirme ilişkisinden türetildi. Bu değerler kullanılarak ilk model yapıldı. Model etkin sıcaklığının gözlemde düşük çıkmasından dolayı yeni bir model daha yapıldı. Bu modelde kütle sabit alınarak hidrojen ve metal bollukları değiştirildi. Metal bolluğu için Lejeune et al. (1998) çizelgelerinden yardım alındı. Gözlenen B-V için uzaklık 104.10 pc varsayıldı. Elde edilen metal bolluğu ile yapılan model sonucunda ν_{min1}

hariç diğer gözlem değerleriyle uyum iyi çıktı. Ayrıca ν - $\Delta\nu$ grafiğinde model ve gözlem titreşim frekans desenleri arasında farklılık saptandı. Bu farklılığın gözlem titreşim frekanslarının yetersiz olmasından kaynaklı olabileceği düşünüldü. Bu sonuçları kontrol etmek için Lejeune et al. (1998) çizelgeleri kullanılarak V-K üzerinden yeniden model parametreleri türetildi. Bu durumda kütlesi $1.22 M_{\odot}$ ve metal bolluğu 0.0148'e azaltılan yeni bir model yapıldı. Bu modelde hidrojen bolluğu 0.71'e artırılarak karışım uzunluğu parametresi B-V'ye yakınlaştırılan modelle aynı alındı. Bu model sonucunda hem tayf hem de sismik değerlerin gözlemden düşük olduğu belirlendi (Çizelge 4.20). Titreşim frekansları arasındaki küçük ayrılma gözlemde yüksek çıktı. KIC 3632418 yıldızının titreşim frekansları Davies et al. (2015)'de sunulan değerlerle güncellendi. Yeni titreşim frekansları ile kontrol edilen model değerlerine göre B-V yaklaşımı yapılarak türetilen değerlerin gözlemle uyumlu olduğu görüldü (Şekil 4.35). KIC 3632418 yıldızının MESA model ve gözlem titreşim frekansları ($l = 0$ ve 2 dereceli) kullanılarak çizdirilen ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği Şekil 4.36'da yer almaktadır.



Şekil 4.35 KIC 3632418 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.36 KIC 3632418 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen $\nu - \delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

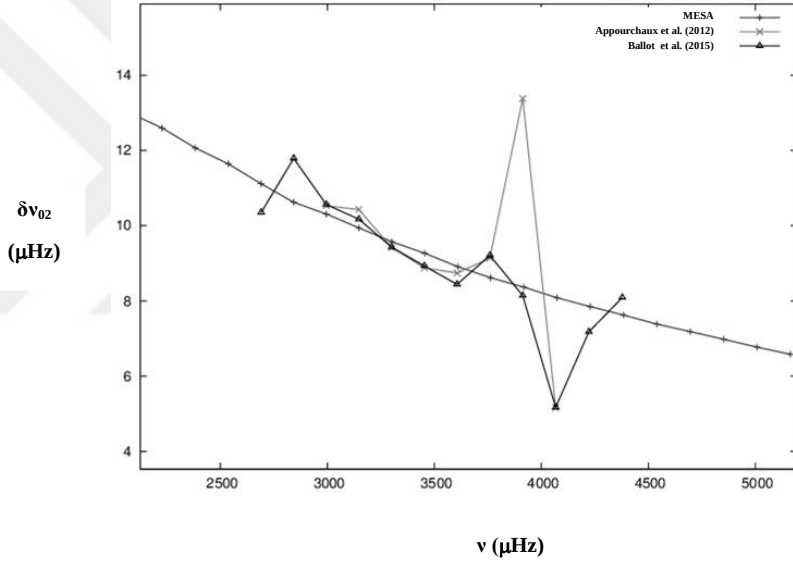
Çizelge 4.20 KIC 3632418 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.27	0.6977	0.01426	1.14	2.88	5999	3.926	1.837	4.014	4.580	60.288	1126.41	—	1395.45	912.45
1.32	0.7096	0.01845	1.29	3.22	5874	3.656	1.848	4.025	4.640	61.440	1169.11	—	1184.70	835.02
1.27	0.6990	0.01800	2.18	3.97	6208	4.550	1.846	4.009	4.481	60.941	1096.52	—	1065.54	762.41
1.22	0.7100	0.01480	2.18	4.60	6151	4.392	1.848	3.991	4.785	59.829	1055.92	1341.44	1000.35	701.23

4.3.19.KIC 9955598

KIC 9955598 yıldızının ilk modeli ölçeklendirme ilişkisinden türetilen kütle ile başlatıldı. Model sonucunda elde edilen etkin sıcaklığın gözlemden uzak olduğu fark edildi. KIC 9955598 yıldızı için $d = 67.50 \text{ pc}$ varsayımı yapılarak gözlenen $B-V$ ve $V-K$ renkleri Lejeune et al. (1998) çizelgelerindeki değerlere yaklaştırıldı. Bunun sonucunda $T_{eff} = 5400 \text{ K}$ ve $Z = 0.0061$ elde edildi. Kütle $0.92 M_{\odot}$ bulundu. Bu değerler kullanılarak yapılan MESA modelinin sonucunda yaş $\sim 14 \text{ Gy}$ çıktı. Bu yaş gökada yaşından (13.8 Gy – Pasquini et al. 2004) daha büyük olduğu için anlamsızdır. Bu farkı gidermek için hidrojen bolluğu farklı modeller yapıldı. Yapılan modellerin gözlenen asterosismik değerlerle uyumsuz olmasından dolayı karışım uzunluğu parametresi değiştirilerek yeniden model

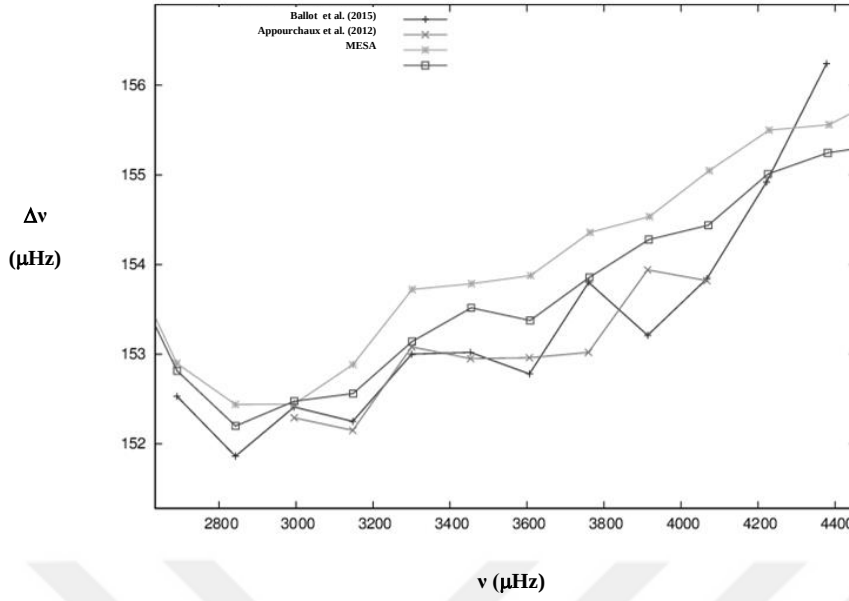
yapıldı. Modelin gözleme yakınlaşması için Güneş bolluğu kullanılarak yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılma gözlemden fazla çıkarken, etkin sıcaklıkta da uyumsuzluk görüldü. Gözlenen büyük ayrılmaya yakınlaşmak için kütle $0.96 M_{\odot}$ alındı. Yeni metal bolluğu 0.022 olarak belirlendi. Bu model sonucunda büyük ayrılma gözleme yakınlaşmasına rağmen etkin sıcaklık tam zıt bir davranışta bulundu. Etkin sıcaklığı gözleme yakın elde etmek için $Z = 0.0172$ ve 0.022 modelleri arasında kütle için yaklaşım yapılarak kütle $0.93 M_{\odot}$ ve metal bolluğu 0.0203 belirlendi (Çizelge 4.21). Elde edilen parametrelerle yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda hem asterosismik hem de tayf nicelikleri açısından model ile gözlem arasında iyi bir uyum ortaya çıktı (Şekil 4.37 ve 4.38).



Şekil 4.37 KIC 9955598 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu_{02}$ grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.21 KIC 9955598 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
0.990	0.7559	0.02312	2.090	7.00	5142	0.529	0.918	4.508	9.507	153.415	3797.82	3602.81	2880.85	—
0.923	0.87061	0.00610	2.175	14.10	5365	0.624	0.916	4.480	4.662	149.136	3448.58	3329.36	2589.88	2147.74
0.900	0.70361	0.01720	2.175	7.11	5477	0.638	0.888	4.495	8.629	153.647	3575.17	3565.65	2836.26	2223.45
0.940	0.70361	0.02200	2.175	6.25	5383	0.610	0.899	4.503	9.452	154.038	3674.92	3616.08	2930.62	2232.69
0.899	0.70361	0.01720	2.020	6.50	5415	0.606	0.885	4.497	9.369	154.333	3615.97	3665.29	2955.10	2231.89
0.943	0.70361	0.02200	2.215	6.25	5411	0.625	0.901	4.503	9.374	153.842	3660.79	3611.91	2925.33	2230.20
0.960	0.70361	0.02200	2.575	7.00	5540	0.694	0.905	4.502	8.736	153.203	3650.65	3601.02	2902.28	2224.25
0.927	0.70361	0.02030	2.175	6.57	5426	0.625	0.896	4.500	9.134	153.831	3633.92	3609.31	2918.54	2228.40



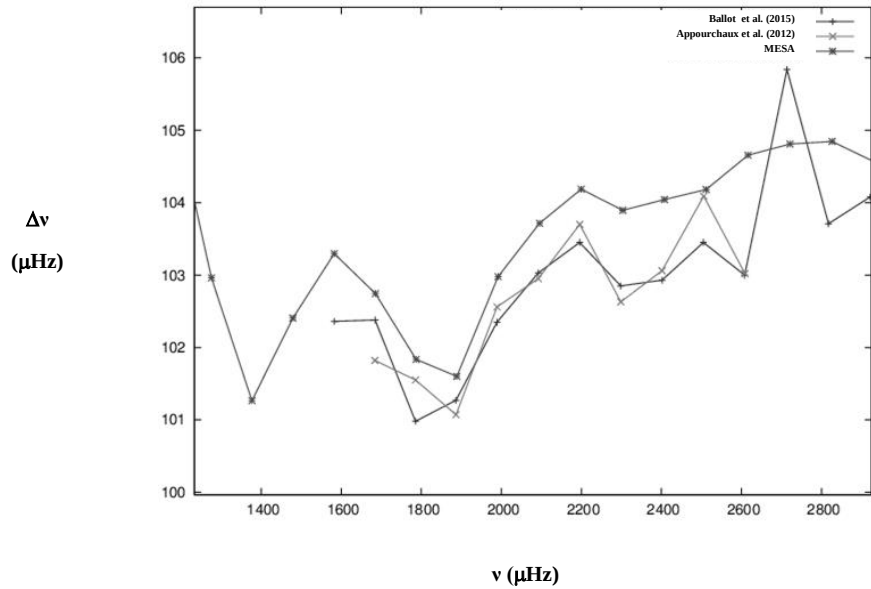
Şekil 4.38 KIC 9955598 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

4.3.20.KIC 10963065

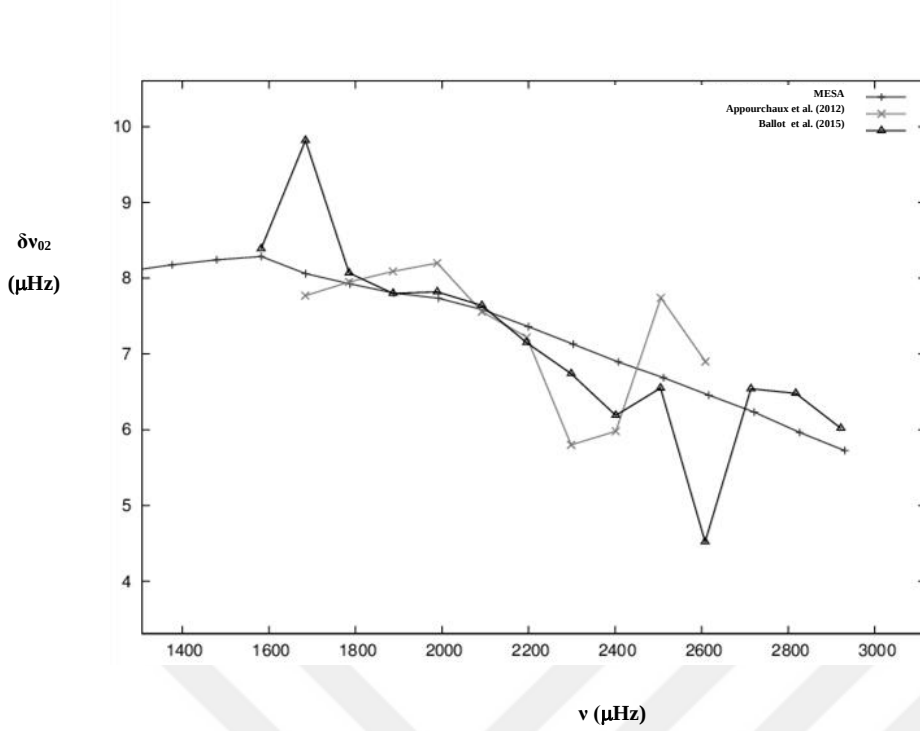
KIC 10963065'in uzaklığı gözlenen $B-V$ ve $V-K$ renkleri Lejeune et al. (1998) çizelgelerinde kullanılarak 91 pc kabul edildi. Aynı zamanda yıldızın gözlenen $\nu_{\max}$ 'ı kullanılarak asterosismik ölçeklendirme ilişkisinden kütlesi hesaplandı. Tüm bu bilgiler ışığında KIC 10963065'in parametreleri türetildi ($M = 1.08 M_{\odot}$, $Z = 0.0140$ ve $T_{\text{eff}} = 6120$ K). Ancak bu model sonucunda gözlem titreşim frekansları model frekanslarına yaklaşamadı. Metal bolluğu yerine kütlede sorun olduğu fark edildi. Metcalfe et al. (2012) tarafından AMP evrim kodu ile modellenen KIC 10963065 yıldızının değerleri varsayıldı. MESA evrim kodu ile yapılan bu model sonucunda AMP'de varsayılan hidrojen bolluğunun ($X = 0.74450$) oldukça fazla olduğu model ile gözlemin kıyaslanması sonucunda ortaya çıktı. Hidrojen bolluğu 0.72625'e düşürülerek aynı kütle için model yinelandı. Bu model sonucunda elde edilen titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılmanın gözlemden oldukça fazla olduğu fark edildi. Bu farkı gidermek için karışım uzunluğu parametresi 2.140 alındı. Ancak büyük ayrılmanın çakıştırılması için yeterli olmadığı görüldü. Bu nedenle hidrojen bollukları 0.71361 ve 0.70361 olan iki farklı karışım uzunluğu parametresi 2.075 ve 2.470 seçilerek ayrı

modeller yapıldı. $X = 0.70361$ ve $\alpha = 2.470$ modelinin büyük ayrılmasının gözleme daha yakın olduğu görüldü. Ancak karışım uzunluğu parametresinin yüksek değerlerde olmasından dolayı modelin fiziksel olarak anlamlı olmayacağı düşünüldü. Bu farkı gidermek için iki ayrı model daha yapıldı (*I. model*: $M = 1.10 M_{\odot}$, $X = 0.71361$, $Z = 0.0140$ ve $\alpha = 2.175$; *II. model*: $M = 1.06 M_{\odot}$, $X = 0.69361$, $Z = 0.0140$ ve $\alpha = 2.175$). Bu model sonuçlarına göre hidrojen bolluğunu alt sınıra getirerek ($X = 0.68690$), $M = 1.03 M_{\odot}$ kütleli bir modelin daha yapılmasına karar verildi. Model sonucunda elde edilen büyük ayrılma gözlemle oldukça uyumlu olurken, titreşim frekansları arasındaki küçük ayrılma ve referans minimumlarının gözlemle arasındaki uyum bozuldu. Gözlem kısıtları altında en uyumlu modelin $M = 1.10 M_{\odot}$, $X = 0.71361$, $Z = 0.014$, $\alpha = 2.175$ olduğu belirlendi. MESA model ve gözlem titreşim frekanslarının (Appourchaux et al. 2012; Davies et al. 2015) ν - $\Delta\nu$ ve ν - $\delta\nu_{02}$ grafiği Şekil 4.39 ve 4.40'da çizdirildi. KIC 10963065 yıldızı için yapılan tüm modeller Çizelge 4.22'de sunuldu.

Tez kapsamında daha önceden rastlanmamış bir biçimde, KIC 10963065 gezegenli yıldızının gözlem titreşim frekanslarında min-1 saptandı. Ancak bu yeni referans minimumu MESA model frekansları ile onaylanmadı.



Şekil 4.39 KIC 10963065 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.40 KIC 10963065 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - δv_{02} grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

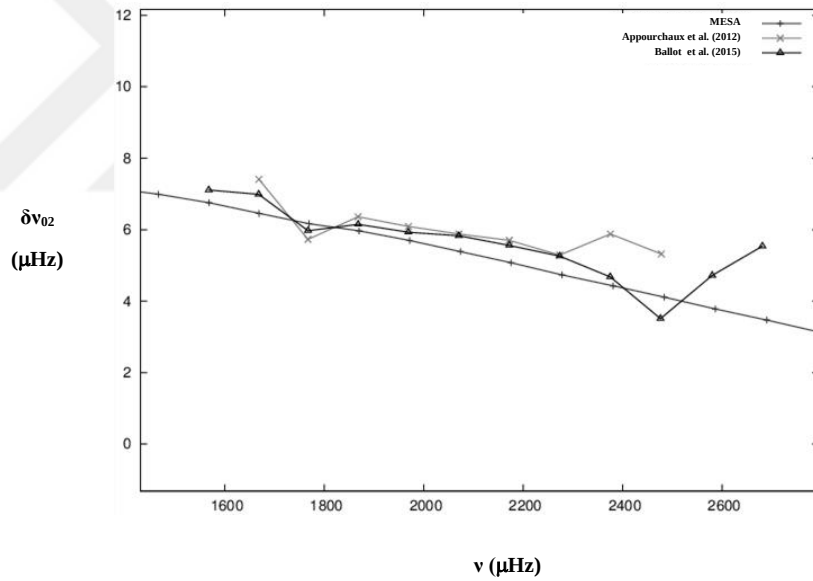
Çizelge 4.22 KIC 10963065 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	δv_{02} (μHz)	Δv (μHz)	v_{max} (μHz)	v_{min0} (μHz)	v_{min1} (μHz)	v_{min2} (μHz)
1.11	0.74450	0.01253	1.930	4.38	5970	1.754	1.240	4.297	7.362	103.247	2165.93	2375.48	1837.42	1372.75
1.08	0.72625	0.01175	2.175	4.40	6091	1.855	1.225	4.295	7.176	103.484	2137.76	2382.30	1842.78	1378.15
1.08	0.69361	0.01400	2.175	3.60	6137	1.906	1.223	4.296	7.659	103.663	2136.70	2412.14	1840.58	1378.76
1.08	0.69361	0.01400	2.140	3.60	6126	1.906	1.227	4.293	7.638	103.171	2124.70	2466.60	1828.30	1371.25
1.08	0.71361	0.01400	2.075	4.50	6019	1.782	1.229	4.292	7.149	103.046	2136.53	2388.23	1855.24	1374.10
1.08	0.70361	0.01400	2.470	4.50	6156	1.955	1.231	4.291	6.719	102.815	2105.76	2296.79	1835.38	1374.26
1.06	0.69361	0.01400	2.175	4.25	6088	1.845	1.223	4.289	7.083	102.953	2105.56	2348.83	1854.84	1370.89
1.03	0.68690	0.01400	2.175	4.84	6050	1.761	1.210	4.285	6.659	103.239	2096.72	2341.50	1819.65	1301.22
1.10	0.71361	0.01400	2.175	4.00	6090	1.882	1.234	4.297	7.364	103.384	2145.88	2394.44	1859.19	1376.93

4.3.21.KIC 11295426

KIC 11295426 yıldızının ilk modelleri ölçeklendirme ilişkisinden türetilen değerlere göre yapıldı. İlk modelin sonucunda etkin sıcaklık gözlemden daha düşük çıktı. Bu nedenle kütle $1.03 M_{\odot}$ alındı. Bu kütle kullanılarak yapılan model sonucuna göre hidrojen bolluğu azaltıldı. Etkin sıcaklık gözleme yaklaşıırken titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılmanın gözleme uymadığı görüldü. Kütle $1.14 M_{\odot}$ ve metal bolluğu 0.02758 alınarak bu uyumsuzluk giderildi. Ancak

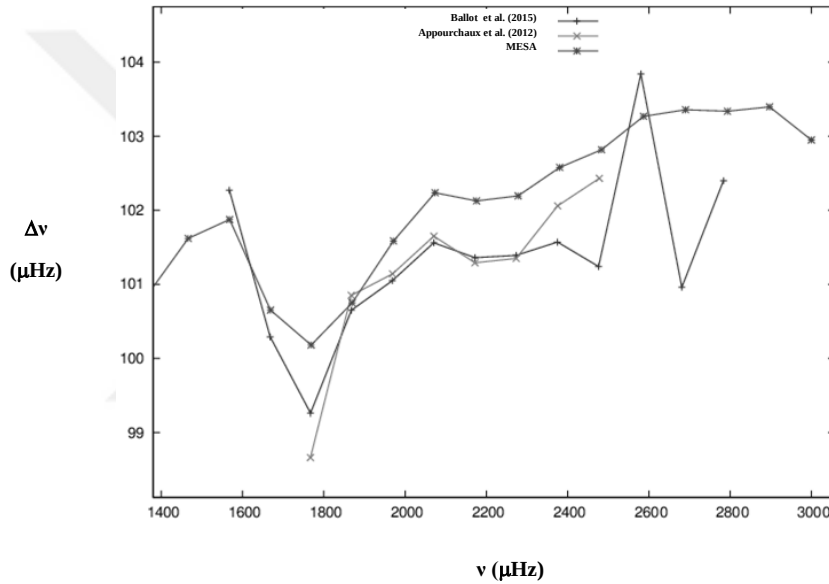
referans minimumları açısından kıyaslandığında modelin geliştirilmesi gerektiği düşünüldü. Gözlem kısıtları altında KIC 11295426'nın $\log g = 4.20$ ve uzaklığı 150 pc varsayıldı. Lejeune et al. (1998) çizelgeleri ile gözlenen V-K rengine yakın parametreler hesaplandı. KIC 11295426'nın türetilen atmosferik parametreleri $T_{eff} = 5834 K$ ve $Z = 0.0180$ 'dir. Bu değerler için kütle değiştirilerek yeni bir model daha yapıldı. $1.04 M_{\odot}$ olarak alınan kütle kullanılarak yapılan modelde referans minimumlarındaki uyumsuzluğun giderilmediği görüldü. Bu nedenle $1.14 M_{\odot}$ ve $Z = 0.02758$ ile $1.04 M_{\odot}$ ve $Z = 0.018$ modelleri göz önüne alınarak ortalama bir model daha yapıldı (Çizelge 4.23). Fakat v_{min0} ve titreşim frekansları arasındaki büyük ayrılma gözleme yakınlaştırılamadı. KIC 11295426 yıldızının MESA model ve gözlem titreşim frekansları ($l = 0$ ve 2 dereceli) kullanılarak çizdirilen v - δv_{02} ve v - Δv grafiği Şekil 4.41 ve 4.42'de sunulmaktadır.



Şekil 4.41 KIC 11295426 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ ve 2 dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen v - δv_{02} grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

Çizelge 4.23 KIC 11295426 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	logg	$\delta\nu_{02}$ (μHz)	$\Delta\nu$ (μHz)	ν_{max} (μHz)	ν_{min0} (μHz)	ν_{min1} (μHz)	ν_{min2} (μHz)
1.05	0.70530	0.02168	1.880	6.69	5753	1.491	1.231	4.278	6.112	102.201	2117.76	2256.64	1723.73	1306.93
1.05	0.70530	0.02168	1.430	6.69	5476	1.242	1.240	4.277	6.159	101.348	2139.27	2252.12	1745.08	1281.05
1.03	0.70530	0.02168	2.175	9.25	5712	1.441	1.228	4.273	4.238	101.694	2095.06	2120.08	1733.35	1263.72
1.03	0.68361	0.02168	2.175	7.55	5803	1.531	1.226	4.274	4.882	101.765	2085.36	2275.43	1726.73	1282.47
1.07	0.71361	0.02168	2.175	8.08	5756	1.522	1.242	4.279	4.661	101.716	2119.49	2275.76	1732.57	1279.97
1.03	0.70361	0.01626	2.175	6.85	5888	1.615	1.223	4.276	5.376	102.049	2080.42	2245.25	1705.30	1311.20
1.01	0.69361	0.01626	2.175	6.99	5889	1.596	1.215	4.273	5.299	102.021	2066.80	2175.34	1703.07	1306.52
1.10	0.70361	0.02758	2.175	8.00	5705	1.486	1.249	4.286	4.588	102.198	2164.17	2340.76	1778.77	1297.85
1.12	0.70361	0.02758	2.175	7.24	5743	1.554	1.261	4.286	4.920	101.639	2154.61	2276.39	1768.42	1364.51
1.14	0.70361	0.02758	2.175	6.49	5783	1.617	1.268	4.288	5.310	101.612	2161.43	2272.83	1797.51	1363.40
1.04	0.70361	0.01800	2.175	7.14	5852	1.588	1.228	4.277	5.181	101.991	2089.95	2176.37	1707.32	1309.53
1.10	0.70361	0.02360	2.175	6.81	5807	1.602	1.252	4.284	5.196	101.808	2130.56	2238.61	1769.16	1364.83
1.10	0.70361	0.02360	1.999	6.50	5752	1.539	1.251	4.285	5.544	101.981	2148.42	2278.38	1769.06	1364.17



Şekil 4.42 KIC 11295426 yıldızının MESA model ve gözlem $l = 0$ dereceli titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - $\Delta\nu$ grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

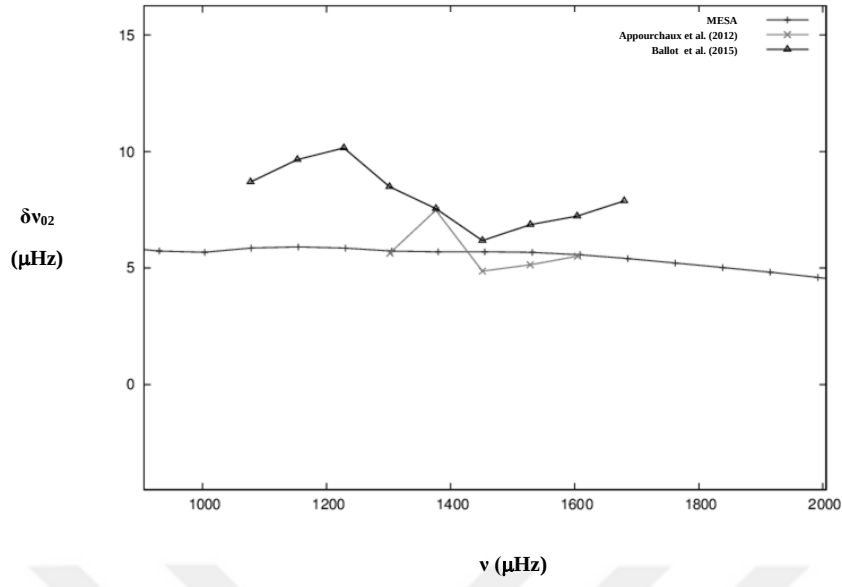
4.3.22.KIC 11807274

KIC 11807274 yıldızının ilk modeli Chaplin et al. (2013) ve Huber et al. (2013) çalışmalarında yer alan değerler ile yapıldı. Model sonucunda gözlemle uyumsuzluktan dolayı, kütle $1.24 M_{\odot}$ varsayılarak Güneş bileşiminde yeni bir model daha yapıldı. Bu model sonucunda etkin sıcaklığın gözlemden 10 K daha fazla olduğu görüldü. Buna ek olarak, sismik niceliklerin (ν_{max} hariç) ve ν_{min0} 'ın gözlemden farklı olduğu belirlendi. Ancak KIC 11807274 yıldızının ν_{min0} 'ı, $\nu_{göz}$ - $\Delta\nu_{göz}$ grafiğindeki saçılmadan dolayı güvenilir değildir. Gözlem ν - $\delta\nu_{02}$

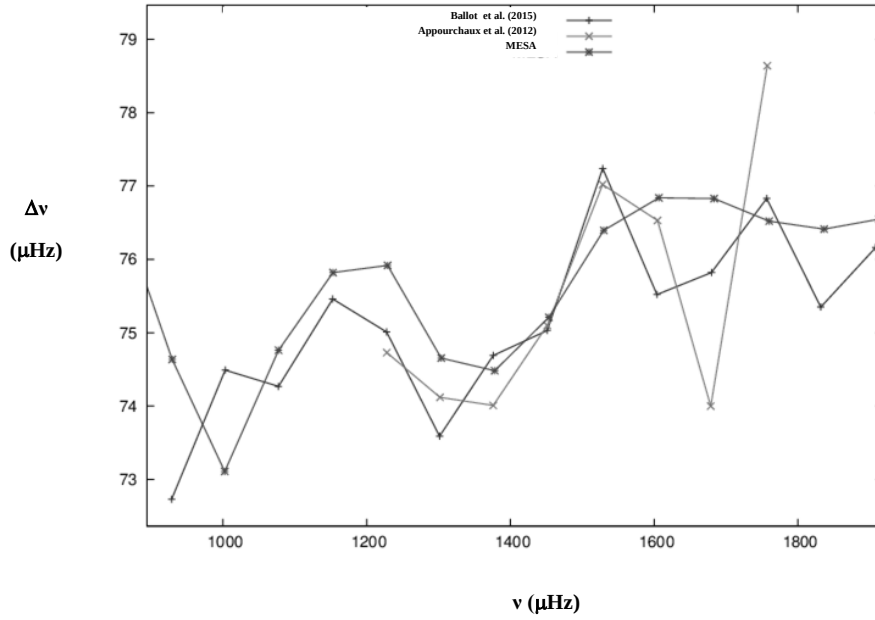
grafiğindeki inişli-çıkışlı yapıdan dolayı titreşimler arasındaki küçük ayrılmanın hata payı oldukça fazladır. Bu nedenle modellerin kontrolü zor olmakla birlikte net bir sonuca ulaşmayı engelledi. Tayf değerlerini elde etmek için kütle arttırılarak yeni bir model daha yapıldı. Ancak bu durum gözlemlere ulaşmada yeterli gelmedi. Bu nedenle metal bolluğu 0.0192 alınarak yeni bir model daha yapıldı. Referans minimumlarından $v_{\min1}$ öncelikli olarak çakıştırılmadı. Bunun için kütle $1.29 M_{\odot}$ alındı. Bu model sonucunda etkin sıcaklık gözlemden düşük çıkarken $v_{\min1}$ gözlemden yüksek çıktı. Hem gözlenen $v_{\min1}$ hem de gözlenen $v_{\max}$ göz önüne alınarak yapılan model sonuçları birbirinden farklı çıktı. Bu nedenle güvenilirliği yükseltmek için gözlem kısıtları altında yıldızın sismik $\log g = 4.145$, $d = 245 pc$ ve $B-V = 0^m.52$ olarak kabul edilerek Lejeune et al. (1998) çizelgelerindeki V-K rengi çakıştırıldı. KIC 11807274'ün çizelgelerden elde edilen sonuçları $M = 1.288 M_{\odot}$, $Z = 0.0128$ ve $T_{eff} = 6130 K$ 'dir. Bu değerler kullanılarak yapılan iç yapı modelinde KIC 11807274'ün $v-\Delta v$ grafiğinde model ve gözlem frekansları arasında farklılık olduğu saptandı. Grafikteki uyumun arttırılması için metal bolluğu 0.0197-0.0202 aralığında alındı. $Z = 0.0197-0.0202$ kullanılarak yapılan modellerin sonucunda etkin sıcaklık gözleme yakınladı. Ancak bu modellerde $v-\Delta v$ grafiğinde $v_{\min1}$ gözlemden farklı çıktı. Buna rağmen $Z = 0.0197$ metal bolluğu kullanılarak yapılan modelin sonucunda $v-\Delta v$ grafiğinde $v_{\min0}$ hariç model ve gözlem titreşim frekansları arasında iyi bir uyum elde edildi. Yalnızca gözlenen $v_{\min1}$ 'e yaklaşım yapılması için iki ayrı model daha yapıldı ($M = 1.18 M_{\odot}$, $Z = 0.0128$, $X = 0.70361-0.72361$). Bu modellerin de iyi sonuç vermediği, $v-\Delta v$ grafiğinde ve tayftan elde edilen değerlerle kıyaslanması sonucunda fark edildi. Ancak gözlem $v_{\min1}$ ile en iyi uyum sağlayan modelin $M = 1.18 M_{\odot}$, $Z = 0.0128$ ve $X = 0.72361$ olduğu görüldü. Tüm model sonuçları Çizelge 4.24'de sunuldu. En iyi kabul edilen modelin titreşim frekansları gözlem ile birlikte $v-\delta v_{02}$ ve $v-\Delta v$ grafiğinde Şekil 4.43 ve 4.44'de çizdirildi.

Çizelge 4.24 KIC 11807274 yıldızının MESA modelleri. Sütunlar Çizelge 4.3'deki gibi sıralanmıştır.

M ($M_{\odot}$)	X	Z	α	t (Gyr)	T_{eff} (K)	L ($L_{\odot}$)	R ($R_{\odot}$)	$\log g$	δv_{02} (μHz)	Δv (μHz)	v_{max} (μHz)	$v_{\min0}$ (μHz)	$v_{\min1}$ (μHz)	$v_{\min2}$ (μHz)
1.24	0.70361	0.0172	2.175	3.78	6235	3.371	1.576	4.136	5.413	76.274	1465.69	1840.58	1380.30	1003.53
1.26	0.70361	0.0172	2.175	3.50	6209	3.351	1.584	4.139	5.370	76.256	1477.41	1883.83	1381.85	1004.83
1.26	0.70361	0.0192	2.175	3.87	6183	3.315	1.589	4.136	5.430	76.060	1471.20	1833.76	1334.42	1002.74
1.29	0.70361	0.0192	2.175	3.41	6177	3.349	1.600	4.140	5.609	76.051	1486.32	1839.26	1379.75	1003.49
1.29	0.70361	0.0202	2.175	3.62	6140	3.285	1.604	4.138	5.259	75.885	1483.36	1836.20	1342.97	1002.68
1.29	0.70361	0.0197	2.175	3.52	6154	3.313	1.603	4.139	5.445	75.918	1483.52	1836.36	1336.72	1002.52
1.18	0.70361	0.0128	2.175	3.72	6170	3.123	1.548	4.130	5.414	76.213	1453.28	1683.56	1302.05	927.98
1.18	0.72361	0.0128	2.175	4.56	6237	3.266	1.550	4.129	5.360	76.270	1441.72	1801.12	1352.31	960.46



Şekil 4.43 KIC 11807274 yıldızının $l = 0$ ve 2 dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - δv_{02} grafiği. + ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve Δ ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.



Şekil 4.44 KIC 11807274 yıldızının $l = 0$ dereceli MESA model ve gözlem titreşim frekansları kullanılarak çizdirilen ν - Δv grafiği. * ile MESA modelinden elde edilen, x ile Appourchaux et al. (2012) ve + ile Davies et al. (2015) gözlem titreşim frekansları gösterildi.

4.4. İncelenen Yıldızların MESA Model Sonuçları

Bu tez kapsamında MESA evrim kodu ile 22 gezegenli ve gezegen adayına sahip yıldızın iç yapı modelleri yapıldı. Yapılan modellerin tüm sonuçları Çizelge 4.25'te listenmektedir. Çizelgenin son sütununda bu tez kapsamında incelenen yıldızların χ^2_{tayf} değerleri sunuldu. Bu değerlendirmede MESA evrim kodu ile yapılan iç yapı modellerine ait etkin sıcaklık ($T_{eff,mod}$) ve yüzey kütleçekim ivmesinin logaritması ($logg_{mod}$) ile tayftan elde edilen etkin sıcaklık ($T_{eff,göz}$) ve yüzey kütleçekim ivmesinin logaritması ($logg_{göz}$) ile hataları (σ_{Teff} ve σ_{logg}) kullanılarak χ^2_{tayf} Denklem 4.2'de hesaplandı. Değerlendirmede $logg_{göz}$ değerleri bulunmayan yıldızların χ^2_{tayf} değerleri hesaplanırken yalnızca χ^2_{Teff} hesaba katıldı.

İncelenen yıldızlardan en düşük kütleli KIC 6278762 yıldızı ($0.74 M_{\odot}$), en büyük kütleli KIC 10864656 ($1.65 M_{\odot}$) yıldızıdır. KIC 6278762 yıldızı aynı zamanda listede bulunan en küçük yarıçaplı ($0.75 R_{\odot}$) ve en yaşlı (11.66 Gy) yıldızdır. En genç yıldız KIC 10666592 olup 1.91 Gy yaşındadır. İncelenen yıldızlar $5000 \text{ K} < T_{eff,mod} < 6400 \text{ K}$ aralığında ve başlangıç metal bollukları ($Z_{0,mod}$) $0.01 < Z_{0,mod} < 0.0265$ aralığında değişmektedir.

Çizelge 4.25 İncelenen yıldızların MESA model sonuçları. Sütunlar şu şekilde sıralanmaktadır; a) Yıldız adı, MESA evrim kodu ile hesaplanan kütle (M_{mod}), yüzey helyum bolluğu ($Y_{yüzeymod}$), başlangıç metal bolluğu (Z_{0mod}), yaş (t_{mod}), etkin sıcaklık ($T_{eff,mod}$), ısıtma (L_{mod}), yarıçap (R_{mod}), yüzey kütleçekim ivmesinin logaritması ($logg_{mod}$) ve Denklem 4.2'den hesaplanan χ^2_{tayf} değerleri. b) Yıldız adı, model titreşim frekansları arasındaki küçük ve büyük ayrılma ($\delta\nu_{02}$ ve $\Delta\nu$), en büyük genlikli modun frekansı (ν_{max}) ve model referans minimumlarıdır (ν_{min0} , ν_{min1} ve ν_{min2}).

Yıldız	M_{mod} ($M_{\odot}$)	$Y_{yüzeymod}$	Z_{0mod}	t_{mod} (Gyr)	$T_{eff,mod}$ (K)	L_{mod} ($L_{\odot}$)	R_{mod} ($R_{\odot}$)	$logg_{mod}$	χ^2_{tayf}
HD 52265	1.23 ± 0.02	0.2739	0.0225	3.14	6144	2.24	1.32 ± 0.02	4.29	0.1
KIC 3544595	0.90 ± 0.08	0.2578	0.0145	6.31	5658	0.77	0.92 ± 0.02	4.47	2.7
KIC 3632418	1.27 ± 0.18	0.2830	0.0180	3.97	6208	4.55	1.85 ± 0.06	4.01	0.4
KIC 4349452	1.20 ± 0.15	0.2792	0.0172	2.70	6270	2.39	1.31 ± 0.06	4.28	0.0
KIC 5866724	1.27 ± 0.07	0.2145	0.0224	2.90	6155	2.61	1.42 ± 0.03	4.24	1.1
KIC 6278762	0.74 ± 0.14	0.2442	0.0121	11.66	5072	0.33	0.75 ± 0.04	4.56	0.6
KIC 6521045	1.10 ± 0.06	0.2248	0.0192	7.31	5856	2.41	1.51 ± 0.02	4.12	0.3
KIC 7199397	1.24 ± 0.13	0.2860	0.0104	3.74	5890	6.70	2.49 ± 0.03	3.74	1.9
KIC 7296438	1.13 ± 0.10	0.2196	0.0172	4.94	6036	2.26	1.38 ± 0.04	4.21	10.2
KIC 8077137	1.18 ± 0.08	0.2794	0.0170	5.23	6099	3.43	1.66 ± 0.02	4.07	0.1
KIC 8292840	1.12 ± 0.25	0.2894	0.0120	3.48	6328	2.54	1.33 ± 0.08	4.24	1.0
KIC 8866102	1.25 ± 0.12	0.2778	0.0186	2.32	6320	2.66	1.36 ± 0.04	4.27	0.0
KIC 9414417	1.27 ± 0.13	0.2799	0.0165	3.89	6236	4.72	1.86 ± 0.04	4.00	0.1
KIC 9592705	1.45 ± 0.09	0.2699	0.0265	3.30	6187	5.80	2.10 ± 0.02	3.96	0.0
KIC 9955598	0.89 ± 0.07	0.2368	0.0166	8.22	5412	0.60	0.88 ± 0.02	4.50	5.5
KIC 10514430	1.07 ± 0.05	0.2271	0.0159	7.53	5846	2.66	1.59 ± 0.02	4.06	0.4
KIC 10666592	1.55 ± 0.01	0.2814	0.0250	1.91	6381	5.92	1.99 ± 0.01	4.03	0.4
KIC 10864656	1.65 ± 0.14	0.3036	0.0250	2.75	5019	12.16	4.62 ± 0.08	3.33	4.1
KIC 10963065	1.10 ± 0.07	0.2214	0.0140	4.00	6090	1.88	1.23 ± 0.03	4.30	0.0
KIC 11295426	1.10 ± 0.02	0.2303	0.0236	6.81	5807	1.60	1.25 ± 0.01	4.28	0.0
KIC 11401755	1.10 ± 0.05	0.2085	0.0135	5.93	5998	3.12	1.64 ± 0.02	4.05	1.7
KIC 11807274	1.29 ± 0.07	0.2767	0.0197	3.52	6154	3.31	1.60 ± 0.02	4.14	2.2

Yıldız	$\langle\delta\nu_{02,mod}\rangle$ (μHz)	$\langle\Delta\nu_{mod}\rangle$ (μHz)	$\nu_{max,mod}$ (μHz)	$\nu_{min0,mod}$ (μHz)	$\nu_{min1,mod}$ (μHz)	$\nu_{min2,mod}$ (μHz)
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

5. İNCELENEN GEZEĞEN VE GEZEĞEN ADAYLARI İÇİN TEMEL PARAMETRE HESABI

Kepler ve *CoRoT* uzay görevleri ve yer tabanlı gözlemler sayesinde keşfedilen gezegen sayısı üç bini aştı¹. Yaklaşık 600 yıldız birden fazla gezegene sahiptir. Gezegenlerin yanı sıra onaylanmayı bekleyen beş bine yakın gezegen adayı bulunuyor. Gezegen keşiflerinin artması gezegenli sistemlerin oluşum ve evrimi hakkında daha duyarlı bilgilerin türetilmesi açısından önemlidir. Gezegenlerin temel özelliklerinin iyi belirlenmesi barınak yıldızın temel parametrelerinin iyi belirlenmesine bağlıdır. Gözlenen gezegenli yıldızların büyük çoğunluğunun dış katmanları konvektiftir. Böylece bu yıldızlarda gezegenlerin yanı sıra güneş benzeri titreşimler de gözlenir. Yüksek duyarlıklılı ve uzun periyotlu gözlemler sayesinde güneş benzeri titreşimlerin frekansları bu yıldızlarda ölçülebilir. Buradan da, yıldız parametreleri asterosismik yöntemlerle elde edilir. Bu titreşim frekansları kullanılarak yıldızın ait temel parametreler ile yıldızın evrim durumu yüksek duyarlılıkla saptanır.

Gezegenlerin büyük çoğunluğu geçiş (*transit*) yöntemi, bir kısmı da dikine hız yöntemi kullanılarak keşfedilmiştir. Bu iki yöntemle saptanan gezegenlerin özellikleri yıldız parametrelerine bağlılık gösterir. Yıldız yarıçapı ve yıldız kütlelerinin yüksek bir hassasiyetle belirlenmesi oldukça önemlidir. Gezegenin geçiş yapması ile barınak yıldızın akısında belirli bir miktar azalma olur. Geçiş yöntemi bu akı değişiminin gözlemine dayanmaktadır. Geçiş sırasındaki akı ile geçişin olmadığı durumdaki akı farkının kıyaslanmasıyla gezegenin yarıçapı, yıldızın yarıçapı cinsinden elde edilir. Asterosismik yoldan bulunan yıldız yarıçapı ile bu şekilde gezegenin yarıçapı da daha duyarlı saptanır. Geçiş yöntemi genellikle çember yörünge varsayımı altında gerçekleşir. Bir başka varsayım da gezegenin yörünge doğrultusu ile bakış doğrultusunun çakışık olmasıdır ($i = 90^\circ$) Eğer bu durum geçerli değilse, etki parametresi (b)'nin hesaplanması gereklidir. Etki parametresi (*impact parameter*), geçişin tam ortasında gezegen merkezinin yıldız merkezine uzaklığı olarak tanımlanır;

$$b = \frac{a}{R_y} * \cos i \quad 5.1$$

¹ <http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/> (Son Erişim Tarihi: 22.05.2017)

burada a yarı-büyük eksen uzunluğunu, R_y yıldız yarıçapını ve i eğiklik açısını göstermektedir. Etki parametresi aynı zamanda geçiş zamanları, akı ve yörünge periyodu kullanılarak da hesaplanır (Seager and Mallen-Ornelas 2003). Sismik olarak elde edilen duyarlı yıldız yarıçapını ve yarı-büyük eksen Denklemler 5.1’de yerine koyarak i açısı hesaplanır. Gezegen kütlesi, yıldız kütlesi ile kıyaslanamayacak derecede küçük olduğundan yarı-büyük eksen uzunluğu Kepler’in 3. yasasından bulunur:

$$a = \left(\frac{P^2 G M_y}{4\pi^2} \right)^{1/3} \quad 5.2$$

Bu denklemde P yörünge periyodu, G evrensel kütleçekim sabiti ve M_y yıldız kütlesidir. Yıldız kütlesi sismik yöntemden, yörünge periyodu da geçiş yönteminden hesaplanırsa yarı-büyük eksen uzunluğu Denklem 5.2’den duyarlı bir şekilde hesaplanabilir.

Gezegen keşif yöntemlerinden bir diğeri dikine hızdır. Bu yöntem tayf gözlemlerinden elde edilen dikine hız eğrilerinin incelenmesine dayanır. Dikine hız eğrileri kullanılarak yarı genlik (K), P , basıklık (e) ve a türetilir. Elde edilen bu parametreler ile Kepler’in 3. Yasası birleştirilirse gezegenin kütlesi yıldız kütlesi cinsinden elde edilir;

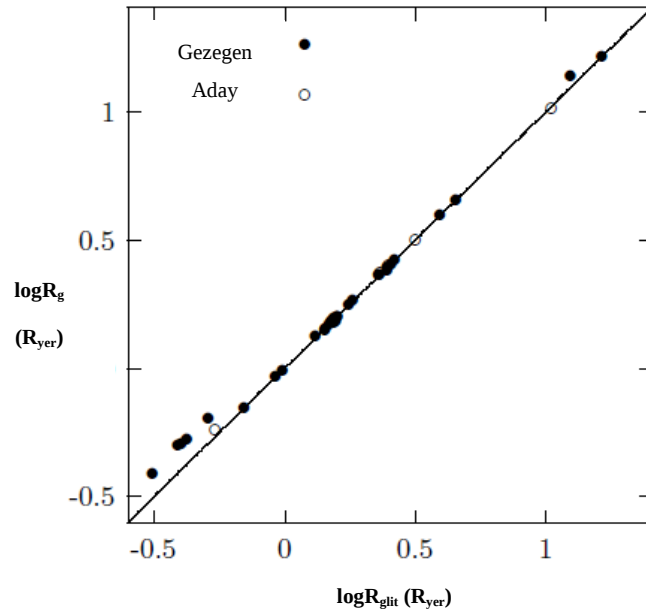
$$M_g \sin i = M_y^{2/3} K (1 - e^2)^{1/2} (P/2\pi G)^{1/3} \quad 5.3$$

Burada M_g gezegenin kütlesidir (Lebreton and Goupil 2014).

Bu çalışma kapsamında incelenen 22 yıldızla ait toplamda 36 gezegen, 5 gezegen adayı bulunmaktadır. Bu gezegenlerden 30 tanesi birden fazla gezegenin barındığı 11 yıldızla ait sistemlerde yer alıyor. Literatürde yer alan çalışmalara göre gezegenlerin 24 tanesi kayaç yapıda olup geriye kalan 12 tanesi gaz yapıdadır. Gezegenlerden 31 tanesi ve gezegen adaylarının hepsi geçiş yöntemi ile gözlenmiştir. Geriye kalan 5 gezegen ise dikine hız yöntemi ile saptanmıştır. İncelenen gezegenli yıldızlara ait geçiş yöntemi ile keşfedilen gezegenlerin ve gezegen adaylarının temel parametreleri ile yörünge parametreleri Denklem 5.2 ve 5.3’den tekrar hesaplandı. Hesaplama yapılırken Rowe et al. (2015) tarafından derlenen en güncel parametreler kullanıldı. Hesaplanan gezegen yarıçapı (R_g), i ve a Çizelge 5.1’de yer almaktadır. Dikine hız gözlemleri literatürde mevcut olan 5 gezegenin kütlesi Denklem 5.3’te kullanılarak tekrar hesaplandı. Denklemde M_y

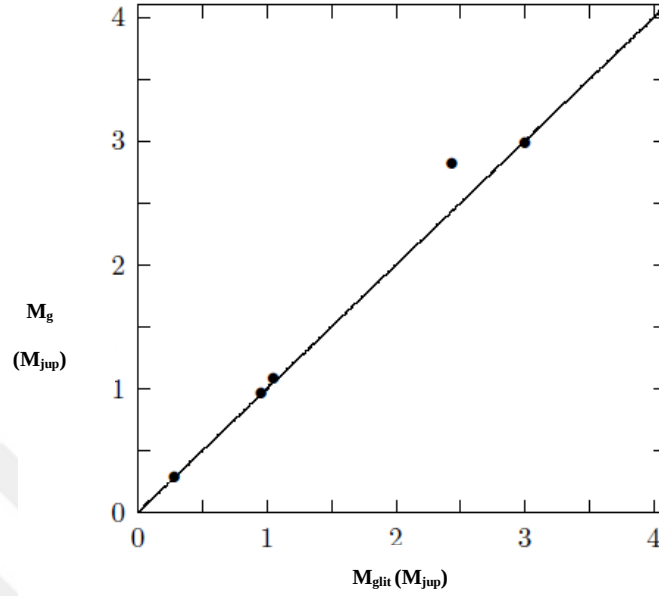
yerine sismik olarak hesaplanan yıldız kütlesi kullanıldı. Kütlesi hesaplanan 5 gezegene ait literatürden elde edilen parametreler Çizelge 5.2’de sunulmaktadır. Basıklık değeri olmayan gezegenler için çember yörünge varsayımı yapıldı. Eğiklik açısı gözlenmeyen gezegenlerin kütlesi alt sınır olan M_{sin} şeklinde Çizelge 5.2’de belirtildi.

Gezegen ve gezegen adaylarının güncellenen yarıçaplarının literatürden alınanlarla kıyası Şekil 5.1’de sunulmaktadır. Kepler-2b, Kepler-432b ve Kepler-444c, d, e ve f gezegenlerindeki güncelleme dikkat çekicidir. Bu gezegenlerin yarıçapları literatür (*transit*) yarıçaplarından yaklaşık olarak %25 daha fazla elde edildi. Bu durumun temel nedeni transit yarıçaplarının akı oranına göre belirlenmesidir. Burada elde edilen yıldız yarıçapı birçok gözlemsel hata barındırır ve duyarlılığı düşüktür. Tez kapsamında uygulanan yöntemle ise yıldız yarıçapı % 1’e ulaşan duyarlılıkla elde edildi. Küçük yarıçaplı gezegenleri barındıran yıldızların, gezegen yarıçaplarının yıldız yarıçapına oranı çok küçük olduğu için yıldız yarıçapında yapılan ufak değişimler gezegen yarıçapını önemli biçimde etkiler. Bu nedenle 1 R_{yer} yarıçapından daha küçük gezegenlerdeki düzeltme daha dikkat çekicidir.



Şekil 5.1 Yarıçapı güncellenen gezegen (daire) ve gezegen adaylarının (çember) Rowe et al. (2015) ‘e karşı tez kapsamında hesaplanan değerleri.

Dikine hız ölçümleri yapılan 5 gezegenin güncellenen kütlesi Şekil 5.2’de karşılaştırılmaktadır. Kepler-432c gezegenindeki fark kayda değerdir. Kepler-432c’nin kütlesi literatür kütlesinden %16 daha fazla bulundu.



Şekil 5.2 Literatürden alınan gezegen kütlesine karşı tez kapsamında hesaplanan gezegen kütlesi grafiği.

Çizelge 5.1 Bu çalışma kapsamında incelenen 22 gezegenli yıldız arasından geçiş yöntemi ile keşfedilen gezegenlerin ve gezegen adaylarının güncellenmiş parametreleri listelenmektedir. P yörünge periyodu, R_{glit} gezegen yarıçapının literatürdeki değeri, R_g gezegen yarıçapı, a yarı büyük eksen uzunluğu, i eğiklik açısını göstermektedir. Tabloda yer alan P ve R_{glit} Rowe ve ark. (2015)’dan alınırken; R_g , a ve i bu çalışmada hesaplandı.

<i>Gezegen</i>	<i>P</i> (d)	<i>R_{plut}</i> (<i>R_⊕</i>)	<i>R_g</i> (<i>R_⊕</i>)	<i>a</i> (AU)	<i>i</i> (°)
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

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

Çizelge 5.2. Bu çalışma kapsamında incelenen 22 gezegenli yıldız arasından dikine hız yöntemi ile keşfedilen gezegenlerin güncellenmiş parametreleri listelenmektedir. *P* yörünge periyodu, *a* yarı büyük eksen uzunluğu, *e* yörünge basıklığı, *M_{glit}* gezegen kütlesinin literatürdeki değeri, *M_{tur}* gezegen kütlesinin türü, *M_g* güncellenen gezegen kütlesini göstermektedir. Tabloda yer alan *P*, *a*, *e*, *M_{glit}* ve *M_{tur}* literatürden alındı.

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



6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gezegenlerin temel parametrelerinin iyi belirlenmesi barınak yıldızın parametrelerinin iyi belirlenmesine bağlıdır. Gezegenler hakkında bilgi edinmek için barınak yıldızların temel parametreleri yüksek duyarlılıkla elde edilmelidir. Birçok yıldızın yüzey metal bolluğu ve etkin sıcaklığı tayf ve ışıkölçüm gözlemleri sayesinde belirlenir. Ancak yıldızın temel parametrelerinin iyi belirlenmesi asterosismik yöntemlere dayanır. Asterosismik yöntemlerin esası da yıldız iç yapısı hakkında doğrudan bilgi taşıyan titreşim frekanslarının saptanmasıdır.

Bu tez kapsamında 40 güneş benzeri titreşim yapan barınak yıldız incelendi. Gözlem verileri yeterli olan güneş benzeri titreşim sergileyen 22 barınak yıldızın MESA evrim kodu kullanılarak iç yapı modelleri tayf ve sismik gözlem kısıtlar altında yapıldı. Farklı evrim basamaklarında yer alan 22 yıldızın MESA evrim kodu ile yapılan iç yapı modellerinden kütle (M), yarıçap (R), başlangıç kimyasal bollukları (X_0 , Y_0 ve Z_0), ve yaşları (t) hesaplandı. *CoRoT* ve *Kepler* tarafından gözlenen bu barınak yıldızların titreşim frekansları incelenerek frekanslar arasındaki büyük ayrılma ($\Delta\nu$) ile küçük ayrılma ($\delta\nu_{02}$) ve en büyük genlikli modun frekansı ($\nu_{\max}$) saptandı. Bunlara ek olarak Yıldız et al. (2014)'de ayrıntılı olarak açıklanan referans minimumları ($\nu_{\min0}$, $\nu_{\min1}$, $\nu_{\min2}$) da yıldızların ν - $\Delta\nu$ grafiklerinden elde edildi.

İncelenen barınak yıldızlar arasında KIC 7199397 yıldızının ilk kez bu tez kapsamında iç yapı modeli yapılarak temel parametreleri hesaplandı. KIC 3632418, KIC 9955598, KIC 10963065, KIC 11295426 ve KIC 11807274 yıldızlarının gözlem kısıtlarının geliştirilmesi için Lejeune et al. (1998) tarafından hesaplanan renk-etkin sıcaklık çizelgeleri kullanıldı.

Araştırılan barınak yıldızların titreşim frekansları ayrıntılı olarak analiz edildi. $\nu_{\text{göz}}-\Delta\nu_{\text{göz}}$ grafiklerinde incelenen yıldızların büyük çoğunluğunun iki referans minimuma ($\nu_{\min0}$ ve $\nu_{\min1}$) sahip olduğu görüldü. Bu minimumların yanı sıra KIC 3632418, KIC 8866102, KIC 9592705, KIC 10666592 ve KIC 11807274 yıldızlarında tam ya da kısmen $\min2$ saptandı. Farklı kütle ve metal bolluğuna sahip modelleri kıyasladığımızda $\nu_{\min2}$ 'de diğer referans minimumlarına göre daha az değişim olduğu görülmektedir. Asimptotik ilişkideki yüzey teriminin etkisi

yüksek frekanslı bölgede arttığı için araştırılan barınak yıldızların $v\text{-}\Delta v$ grafiklerinde bu bölgelerde yüksek dalgalanmalar fark edildi. Bu nedenle bazı durumlarda saptanan $v_{\min 0}$ 'ların yeterince belirli olmadığı görüldü. $v\text{-}\Delta v$ grafiklerinde gözlem ve model frekans desenlerinin uyumu diğer yöntemlerle elde edilen gözlem parametrelerinin kıyaslanması bakımından önemlidir. Tez kapsamında incelenen yıldızların model ve gözlem $v\text{-}\Delta v$ grafiklerindeki uyumun en yüksek olduğu model sonuçlarının gözlem değerlerini iyi biçimde sağladığı saptandı. Böylece yapılan iç yapı modellerinde yalnızca tayf ve sismik nicelikleri elde etmenin yeterli olmadığı görüldü.

İncelenen barınak yıldızların kütlesi iç yapı modelleri sonucunda $0.74 M_{\odot} \leq M_y \leq 1.65 M_{\odot}$ aralığında elde edildi. İncelenen yıldızlardan en düşük kütleli KIC 6278762 yıldızı ($0.74 M_{\odot}$), en büyük kütleli KIC 10864656 ($1.65 M_{\odot}$) yıldızıdır. KIC 6278762 yıldızı aynı zamanda listede bulunan en küçük yarıçaplı ($0.75 R_{\odot}$) ve en yaşlı (11.66 Gy) yıldızdır. En genç yıldız KIC 10666592 olup 1.91 Gy yaşındadır. İncelenen yıldızlar $5000 \text{ K} < T_{\text{eff,mod}} < 6400 \text{ K}$ aralığında ve başlangıç metal bollukları $0.01 < Z_{0,\text{mod}} < 0.0265$ aralığında değişmektedir.

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

Bu tez kapsamında incelenen 22 barınak yıldızına ait 36 gezegen ve 5 gezegen adayının temel parametreleri tekrar hesaplandı. Geçiş yapan gezegenlerin ve gezegen adaylarının yarı-büyük eksen uzunluğu (a), eğiklik açısı (i) ve yarıçapı (R_g) güncellendi. Dikine hız yöntemi ile keşfedilen gezegenlerin ise kütleleri güncellendi. 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. Kepler-432c ve HD 52265b gezegenlerinin kütlelerindeki farklar kayda değerdir. Kepler-432c'nin kütlesi %16, HD 52265b'nin %3 literatür değerinden daha fazla bulundu. Geçiş yöntemi

ile keşfedilen gezegenlerin yarıçapları $0.35 R_{yer} < R_g < 16.50 R_{yer}$ aralığındadır. Yarıçapları elde edilen gezegenlerin büyük kısmı kayaç gezegen boyutlarında ($\sim 1-2 R_{yer}$) olup bunların dışında 2 dev gaz gezegenin (*Kepler-432b*: $\sim 1.23 R_{jup}$ ve *Kepler-2b*: $\sim 1.46 R_{jup}$) yarıçapları da güncellendi. Eğiklik açıları 90° derece civarında çıkan ($85^\circ < i < 90^\circ$) 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* yıldızına yakınlığı ve boyutundan dolayı bir sıcak Jüpiter'dir. İncelenen 5 gezegen adayının yarıçap aralığı $0.55 R_{yer} < R_{g,aday} < 10.50 R_{yer}$ 'dir. Yarı büyük eksen uzunlukları da $0.10 AB < a < 0.65 AB$ aralığındadır. Dikine hız ölçümleri yapılan 5 gezegenin kütlesi de bu tez kapsamında 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 M_{sini} cinsinden hesaplanarak $0.95 M_{jup} < M_g < 3 M_{jup}$ aralığındadır. Gezegenlerden en düşük kütleli *Kepler-25d* ($\sim 92 M_{yer}$), en büyük kütleli *Kepler-432c* ($\sim 3 M_{jup}$)'dir.

Gezegenli yıldızların incelenmesi yıldızların yanı sıra gezegen oluşumu hakkında da oldukça önemli bilgiler sunar. Gezegen oluşumu ile ilgili araştırmalarda üzerinde en çok durulan konu yıldızın kimyasal bileşimidir. İleriye dönük yapılması düşünülen çalışmalardan biri incelenen gezegenli yıldızların titreşim frekansları kullanılarak kimyasal bileşimlerinin ortaya çıkarılmasıdır. Böylece gezegenli yıldızların gezegensiz yıldızlardan farkı aydınlatılabilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adams E. R., Ciardi D. R., Dupree A. K., Gautier T. N., Kulesa C. et al.,** 2012, “Adaptive Optics Images of Kepler Objects of Interest”, *AJ*, 144, 42p.
- Aerts C., Christensen-Dalsgaard J., Kurtz D. W.,** 2010, “Astero-seismology, Astronomy and Astrophysics Library. ISBN 978-1-4020-5178-4. Springer Science+Business Media B.V.
- Angulo C., Arnould M., Rayet M., Descouvemont P., Baye D. et al.,** 1999, “A compilation of charged-particle induced thermonuclear reaction rates”, *Nuclear Physics A*, 656, 3p.
- Appourchaux T., Michel E., Auvergne M., Baglin A., Toutain T., Baudin F. et al.** 2008, “CoRoT sounds the stars: p-mode parameters of Sun-like oscillations on HD 49933”, *A&A*, 488, 705p.
- Appourchaux T., Chaplin W. J., Garcia R. A., Gruberbauer M., Verner G. A. et al.,** 2012, “Oscillation mode frequencies of 61 main-sequence and subgiant stars observed by Kepler”, *A&A*, 543, A54, 55p.
- Arentoft T., Kjeldsen H., Bedding T. R., Bazot M., Christensen-Dalsgaard J. et al.,** 2008, “A Multisite Campaign to Measure Solar-like Oscillations in Procyon. I. Observations, Data Reduction, and Slow Variations”, *ApJ*, 687, 1180p.
- Asplund M., Grevesse N., Sauval A. J., Scott P.,** 2009, “The Chemical Composition of the Sun”, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 47, 481p.
- Baglin A., Auvergne M., Barge P., Deleuil M., Catala C. et al,** 2006, “Scientific Objectives for a Minisat: CoRoT”, *Proceedings of "The CoRoT Mission Pre-Launch Status - Stellar Seismology and Planet Finding (ESA SP-1306). Editors: M. Fridlund, A. Baglin, J. Lochard and L. Conroy*, 33, 138p.
- Ball W. H., Gizon L.,** 2014, “ A new correction of stellar oscillation frequencies for near-surface effects”, *A&A*, 564, A105
- Ballard S., Chaplin W. J., Charbonneau D., Desert, J-M., Fressin F. Et al.,** 2014, “Kepler-93b: A Terrestrial World Measured to within 120 km, and a Test Case for a New Spitzer Observing Mode”, *ApJ*, 790, 12p.
- Ballot J., Gizon L., Samadi R., Vauclair G., Benomar O., Brunnt H., et al.,** 2011, “Accurate p-mode measurements of the G0V metal-rich CoRoT target HD 52265”, *A&A*, 530, A97

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Baker N., Kippenhahn R.**, 1962, "The Pulsations of Models of δ Cephei Stars. With 17 Figures in the Text", *Zeitschrift für Astrophysik*, Vol. 54, p.114
- Beck P. G., De Ridder J., Aerts C., Kallinger T., Hekker S., García R. A., Mosser B., Davies G. R.**, 2012, "Fast core rotation in red-giant stars as revealed by gravity-dominated mixed modes", *Nature*, 481, 55p.
- Bedding T. R., Kjeldsen H.**, 2003, "Solar-like Oscillations", *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 20, 203p.
- Bedding T. R., Kjeldsen H., Butler R. P., McCarthy C., Marcy G. W., O'Toole S. J., Tinney C. G., Wright J. T.**, 2004, "Oscillation Frequencies and Mode Lifetimes in α Centauri A", *ApJ*, 614, 380p.
- Bedding T. R., Kjeldsen H., Arentoft T., Bouchy F., Brandbyge J. et al.**, 2007, "Solar-like Oscillations in the G2 Subgiant β Hydri from Dual-Site Observations", *ApJ*, 663, 1315p.
- Bedding T.R., Mosser B., Huber D., Montalbán J., Beck P. et al.**, 2011, "Gravity modes as a way to distinguish between hydrogen- and heliumburning red giant stars", *Nature*, 471, 139p.
- Belkacem K., Samadi R., Goupil M. J., Dupret M. A., Brun A. S., Baudin F.**, 2009, "Stochastic excitation of nonradial modes. II. Are solar asymptotic gravity modes detectable?" *A&A*, 494, 191p.
- Benomar O., Masuda K., Shibahashi H., Suto Y.**, 2014, "Determination of three-dimensional spin-orbit angle with joint analysis of asteroseismology, transit lightcurve, and the Rossiter-McLaughlin effect: Cases of HAT-P-7 and Kepler-25", *PASJ*, 66, 94p.
- Bond H. E., Gilliland R. L., Schaefer G. H., Demarque P. et al.**, 2015, "Hubble Space Telescope Astrometry of the Procyon System", *ApJ*, 813, 106p.
- Borucki W. J., Koch D., Basri G., Batalha N., Brown T. et al.**, 2010, "Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results", *Science*, 327, 977p.
- Borucki W. J., Koch D. G., Basri G., Batalha N., Brown T. M., Bryson S. T. et al.**, 2011, "Characteristics of Planetary Candidates Observed by Kepler. II. Analysis of the First Four Months of Data", *ApJ*, 736, 19p.
- Bouchy F., Carrier F.**, 2001, "P-mode observations on α Cen A", *A&A*, 374, L5

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Böhm-Vitense E.**, 1958, “Über die Wasserstoffkonvektionszone in Sternen verschiedener Effektivtemperaturen und Leuchtkräfte. Mit 5 Textabbildungen”, *Zeitschrift für Astrophysik*, 46, 108p.
- Brown T.M., Gilliland R.L., Noyes R.W., Ramsey L.W.**, 1991, “Detection of possible p-mode oscillations on Procyon”, *ApJ*, 368, 599p.
- Bruntt H., Basu S., Smalley B., Chaplin W. J., Verner G. A. et al.**, 2012, “Accurate fundamental parameters and detailed abundance patterns from spectroscopy of 93 solar-type Kepler targets”, *MNRAS*, 423, 122p.
- Butler R. P., Vogt S. S., Marcy G. W., Fischer D. A., Henry G. W., Apps K.**, 2000, “Planetary Companions to the Metal-rich Stars BD -10°3166 and HD 52265”, *ApJ*, 545, 504p.
- Campante T. L., Handberg R., Mathur S., Appourchaux T.; Bedding T. R. et al.**, 2011, “Asteroseismology from multi-month Kepler photometry: the evolved Sun-like stars KIC 10273246 and KIC 10920273”, *A&A*, 534, 14p.
- Campante T. L., Barclay T., Swift J. J., Huber D., Adibekyan V. Zh., Cochran W., Burke C. J. et al.**, 2015, “An Ancient Extrasolar System with Five Sub-Earth-size Planets”, *ApJ*, 799, 170p.
- Campante T. L., Lund M. N., Kuszewicz J. S., Davies G. R., Chaplin W. J., Albrecht S., Winn J. N., Bedding T. R., Benomar O., Bossini D et al.**, 2016, “Spin-Orbit Alignment of Exoplanet Systems: Ensemble Analysis Using Asteroseismology”, *ApJ*, 819, 85p.
- Carter J. A., Agol E., Chaplin W. J., Basu S., Bedding T. R., Buchhave L. A., Christensen-Dalsgaard J., Deck K. M., Elsworth Y., Fabrycky D. C. et al**, 2012, “Kepler-36: A Pair of Planets with Neighboring Orbits and Dissimilar Densities”, *Science*, 337, 556p.
- Casagrande L., Silva Aguirre V., Schlesinger K. J., Stello D., Huber D., Serenelli A. M., Schönrich R., Cassisi S., Pietrinferni A., Hodgkin S., Milone A. P., Feltzing S., Asplund M.**, 2016, "Measuring the vertical age structure of the Galactic disc using asteroseismology and SAGA", *MNRAS*, 455, 987p.
- Chaplin W. J., Appourchaux T., Elsworth Y., García R. A., Houdek G. et al.**, 2010, “The Asteroseismic Potential of Kepler: First Results for Solar-Type Stars”, *ApJL*, 713, L169

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chaplin W.J., Christensen-Dalsgaard J., Elsworth Y., Howe R., Isaak G.R., Larsen R.M., New R., Schou J., Thompson M.J., Tomczyk S.,** 1999, “Rotation of the solar core from BiSON and LOWL frequency observations”, *MNRAS*, 308, 405p.
- Chaplin W. J., Elsworth Y., Howe R., Isaak G. R., McLeod C. P., Miller B. A., van der Raay H. B., Wheeler S. J., New R.,** 1996, “BiSON performance”, *Solar Physics*, 168, 1p.
- Chaplin W. J. and Miglio A.,** 2013, “Asteroseismology of Solar-Type and Red-Giant Stars”, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 51, 353p.
- Chaplin W. J., Basu S., Huber D., Serenelli A., Casagrande L. et al,** 2014, “Asteroseismic Fundamental Properties of Solar-type Stars Observed by the NASA Kepler Mission”, *ApJS*, 210, 22p.
- Christensen-Dalsgaard J., Frandsen S.,** 1983, "Radiative transfer and solar oscillations", *International Astronomical Union and Akademiia Nauk SSSR, Colloquium on Problems of Solar and Stellar Oscillations*, 66th, Nauchny, Ukrainian SSR, Sept. 1-5, 1981. *Solar Physics*, 82, 165p.
- Christensen-Dalsgaard, J.,** 1988, “Study of solar structure based on p-mode helioseismology”, *Seismology of the Sun and Sun-Like Stars*, 450p.
- Christensen-Dalsgaard, J.,** 2002, “Helioseismology”, *Reviews of Modern Physics*, 74, 1073p.
- Christensen-Dalsgaard J.,** 2008, “ADIPLS—the Aarhus adiabatic oscillation package”, *Astrophysics and Space Science*, 316, 113p.
- Christensen- Dalsgaards J.,** 2010, “Lecture Notes on Stellar Oscillations”, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, and Teoretisk Astrofysik Center, Danmarks Grundforskningsfond
- Christensen- Dalsgaards J., Kjeldsen H., Brown T. M., Gilliland R. L., Arentoft T. et al.,** 2010, “Asteroseismic Invetigation of Known Planet Hosts in the Kepler Field”, *ApJ*, 713, L164
- Christensen-Dalsgaard J.,** 2016, “Asteroseismology with solar-like oscillations”, arXiv:1602.06838
- Christiansen J. L., Ballard S., Charbonneau D., Madhusudhan N., Seager S., Holman M. J., Wellnitz D. D. et al.,** 2010, “Studying the Atmosphere of the Exoplanet HAT-P-7b Via Secondary Eclipse Measurements with EPOXI, Spitzer, and Kepler” *ApJ*, 710, 97p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ciceri S., Lillo-Box J., Southworth J., Mancini L., Henning T., Barrado D., 2015,** “Kepler-432 b: a massive planet in a highly eccentric orbit transiting a red giant”, *A&A*, 573, L5
- Cutri R. M., Skrutskie M. F., van Dyk S., Beichman C. A., Carpenter J. M., Chester T., Cambresy L., Evans T. et al., 2003,** “The 2MASS All-Sky Catalog of Point Source Catalog”, The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog, NASA/IPAC Infrared Science Archive.
- Cyburt R. H., Amthor A. M., Ferguson R., Meisel Z., Smith K., Warren S., Heger A. et al., 2010,** “The JINA REACLIB Database: Its Recent Updates and Impact on Type-I X-ray Bursts”, *ApJS*, 189, 240p.
- Davies G. R., Silva Aguirre V., Bedding T. R., Handberg R., Lund M. N., Chaplin W. J., Huber D., White T. R., Benomar O., Hekker S. et al., 2015,** “Oscillation frequencies for 35 Kepler solar-type planet-hosting stars using Bayesian techniques and machine learning”, *MNRAS*, 456, 2138p.
- Deheuvels S., Brandao I., Silva Aguirre V., Ballot J., Michel E., et al., 2016,** “Measuring the extent of convective cores in low-mass stars using Kepler data: toward a calibration of core overshooting”, *A&A*, 589, A93
- Deheuvels S., Doğan G., Goupil M. J., Appourchaux T., Benomar O. et al., 2014,** “Seismic constraints on the radial dependence of the internal rotation profiles of six Kepler subgiants and young red giants”, *A&A*, 564, 24p.
- Deubner F.-L., 1975,** “Observations of low wavenumber nonradial eigenmodes of the Sun”, *A&A*, 44, 371p.
- Di Mauro M.P., 2017,** “A review on Asteroseismology”, arXiv:1703.07604
- Di Mauro M.P., Cardini D., Catanzaro G., Ventura R., Barban C., Bedding T. R. et al., 2011,** “Solar-like oscillations from depths of the red-giant star KIC 4351319 observed with Kepler”, *MNRAS*, 415, 3783p.
- Dintrans B., Brandenburg A., Nordlund Å., Stein R. F., 2005,** "Spectrum and amplitudes of internal gravity waves excited by penetrative convection in solar-type stars", *A&A*, 438, 365p.
- Doğan G., Metcalfe T. S., Deheuvels S., Di Mauro M. P., Eggenberger P. et al., 2013,** “Characterizing Two Solar-type Kepler Subgiants with Asteroseismology: KIC 10920273 and KIC 11395018”, *ApJ*, 763, 10p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dressing C. D., Adams E. R., Dupree A. K., Kulesa C., McCarthy D.,** 2014, “Adaptive Optics Images. III. 87 Kepler Objects of Interest”, *ApJ*, 148, 78p.
- Dressing C. D., Charbonneau D., Dumusque X., Gettel S., Pepe F., Collier Cameron A., Latham D. W., Molinari E. et al.,** 2015, “The Mass of Kepler-93b and The Composition of Terrestrial Planets”, *ApJ*, 800, 135p.
- Ducati J. R.,** 2002, “VizieR Online Data Catalog: Catalogue of Stellar Photometry in Johnson's 11-color system.”, CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues, 2237, 0
- Dupuy T. J., Kratter K. M., Kraus A. L., Isaacson H., Mann A. W., Ireland M. J., Howard A. W., Huber D.,** 2016, “Orbital Architectures of Planet-hosting Binaries. I. Forming Five Small Planets in the Truncated Disk of Kepler-444A”, *ApJ*, 817, 80p.
- Dziembowski W. A., Pamyatnykh A. A. & Sienkiewicz R.,** 1991, “Helium content in the solar convective envelope from helioseismology”, *MNRAS*, 249, 602p.
- Escobar M. E., Théado S., Vauclair S., Ballot J., Charpinet S., Dolez N., Hui-Bon-Hoa A., Vauclair G., Gizon L., Mathur S. et al.,** 2012, “Precise modeling of the exoplanet host star and CoRoT main target HD 52265”, *A&A*, 543, A96
- Everett M. E., Howell S. B., Silva D. R., Szkody P.,** 2013, “Spectroscopy of Faint Kepler Mission Exoplanet Candidate Host Stars”, *ApJ*, 771, 107p.
- Ford E. B., Rowe J. F., Fabrycky D. C., Carter J. A., Holman M. J., Lissauer J. J., Ragozzine D., Steffen J. H., Batalha N. M., Borucki W. J. et al.,** 2011, “Transit Timing Observations from Kepler. I. Statistical Analysis of the First Four Months”, *ApJS*, 197, 2p.
- Fossat E.,** 1991, “The IRIS network for full disk helioseismology: Present status of the programme”, *Solar Physics*, 133, 12p.
- Gabriel A. H., Grec G., Charra J., Robillot J.-M., Roca Cortés T., Turck-Chièze S. et al.,** 1995, “Global oscillations at low frequency from the SOHO mission (GOLF)”, *Solar Physics*, 162, 61p.
- Gai N., Basu S., Chaplin W.J., Elsworth Y.,** 2011, “An In-depth Study of Grid-based Asteroseismic Analysis”, *ApJ*, 730, 16p.
- García R. A., Davies G. R., Jimenez A., Ballot J., Mathur S., Salabert D. et al.,** 2013, “The Sun-as-a-star observations: GOLF & VIRGO on SoHO, and BiSON network”, *JPhCS*, 440, a2040

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- García R. A., Turck-Chièze S., Jiménez-Reyes S. J., Ballot J., Pallé P.L., Eff-Darwich A., Mathur S., Provost J., 2007, "Tracking Solar Gravity Modes: The Dynamics of the Solar Core", Science, 316, 1591p.**
- García R. A., Pérez Hernández F., Benomar O., Silva Aguirre V., Ballot J., Davies G. R., Doğan G., Stello D., Christensen-Dalsgaard J., Houdek G. et al., 2014, "Study of KIC 8561221 observed by Kepler: an early red giant showing depressed dipolar modes", A&A, 563, 84p.**
- Gilliland R. L., McCullough P. R., Nelan E. P., Brown T. M., Charbonneau D., Nutzman P., Christensen-Dalsgaard J., Kjeldsen H., 2011, "Asteroseismology of the Transiting Exoplanet Host HD 17156 with Hubble Space Telescope Fine Guidance Sensor", ApJ, 726, 2p.**
- Gilliland R. L., Marcy G. W., Rowe J. F., Rogers L., Torres G., Fressin F., Lopez E. D., Buchhave L. A., Christensen-Dalsgaard J., Désert J.-M., 2013, "Kepler-68: Three Planets, One with a Density between that of Earth and Ice Giants", ApJ, 766, 40p.**
- Gizon L., Ballot J., Michel E., Stahn T., Vauclair G., Bruntt H., Quirion P.-O., Benomar O., Vauclair S., Appourchaux T. et al., 2013, "Seismic constraints on rotation of Sun-like star and mass of exoplanet", PNAS, 110, 13267p.**
- Goldreich P., Murray N., Kumar P., 1994, "Excitation of solar p-modes", ApJ, 424, 466p.**
- Grec G., Fossat E., Pomerantz M., 1983, "Full-disk observations of solar oscillations from the geographic South Pole: latest results", Solar Physics, 82, 55p.**
- Grundahl F., Kjeldsen H., Frandsen S., Andersen M., Bedding T., Arentoft T., Christensen-Dalsgaard J., 2006, "SONG: Stellar Oscillations Network Group. A global network of small telescopes for asteroseismology and planet searches", Memorie della Societa Astronomica Italiana, 77, 458p.**
- Hadden S., Lithwick Y., 2014, "Densities and Eccentricities of 139 Kepler Planets from Transit Time Variations", ApJ, 787, 80p.**
- Hadden S., Lithwick Y., 2016, "Numerical and Analytical Modeling of Transit Timing Variations", ApJ, 828, 44p.**
- Harvey J. W., Hill F., Hubbard R. P., Kennedy J. R., Leibacher J. W., Pintar J. A. et al., 1996, "The Global Oscillation Network Group (GONG) project", Science, 272, 1284p.**

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hekker S., Gilliland R. L., Elsworth Y., Chaplin W. J., De Ridder J., Stello D., Kallinger T., Ibrahim K. A., Klaus T. C., Li J., 2011,** "Characterization of red giant stars in the public Kepler data", MNRAS, 414, 2594p.
- Høg E., Fabricius C., Makarov V. V., Urban S., Corbin T., Wycoff G., Bastian U., Schwekendiek P., Wicenec A., 2000,** "The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars", A&A, 355, L27
- Houdek, G., 2006,** in ESA SP-624, Proc. SOHO 18 / GONG 2006 / HELAS I Conf. Beyond the spherical Sun, ed. K. Fletcher, (ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands)
- Howell S. B., Rowe J. F., Bryson S. T., Quinn S. N., Marcy G. W., Isaacson H., Ciardi D. R., Chaplin W. J., Metcalfe T. S., Monteiro M. J. P. F. G et al., 2012,** "Kepler-21b: A 1.6 R_{Earth} Planet Transiting the Bright Oscillating F Subgiant Star HD 179070", ApJ, 746, 123p.
- Houk N., Swift C., 1999,** "Michigan catalogue of two-dimensional spectral types for the HD Stars, Vol. 5", Michigan Spectral Survey, Ann Arbor, Dep. Astrono. Univ. Michigan, 5, 0p.
- Huber D., Bedding T. R., Stello D., Hekker S., Mathur S. et al., 2010,** "Testing Scaling Relations for Solar-like Oscillations from the Main Sequence to Red Giants Using Kepler Data", ApJ, 743, 10p.
- Huber D., Bedding T. R., Arentoft T., Gruberbauer M., Guenther D. B., Houdek G., Kallinger T., Kjeldsen H., Matthews J. M., Stello D., Weiss W. W., 2011,** "Solar-like Oscillations and Activity in Procyon: A Comparison of the 2007 MOST and Ground-based Radial Velocity Campaigns", ApJ, 731, 9p.
- Huber D., Ireland M. J., Bedding T. R., Howell S. B., Maestro V., Mérand A., Tuthill P. G., White T. R., Farrington C. D., Goldfinger P. J. et al., 2012,** "Validation of the exoplanet Kepler-21b using PAVO/CHARA long-baseline interferometry", MNRAS, 423, L16
- Huber D., Chaplin W. J., Christensen-Dalsgaard J., Gilliland R. L., Kjeldsen H., Buchhave L. A., Fischer D. A., Lissauer J. J. et al., 2013,** "Fundamental Properties of Kepler Planet-candidate Host Stars using Asteroseismology", ApJ, 767, 127p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Huber D., Silva Aguirre V., Matthews J. M., Pinsonneault M. H., Gaidos E., García R. A., Hekker S., Mathur S., Mosser B. et al.,** 2014, “Revised Stellar Properties of Kepler Targets for the Quarter 1-16 Transit Detection Run”, *ApJS*, 211, 2p.
- Iglesias C. A., Rogers F. J.,** 1993, “Radiative opacities for carbon- and oxygen-rich mixtures”, *ApJ*, 412, 752p.
- Iglesias C. A., Rogers F. J.,** 1996, “Updated Opal Opacities “, *ApJ*, 464, 943p.
- Jeffery C. S., Saio H.,** 2016, "Radial pulsation as a function of hydrogen abundance", *MNRAS*, 458, 1352p.
- Kane S. R.,** 2015, “Stability of Earth-mass Planets in the Kepler-68 System”, *ApJL*, 814, L9
- Kallinger T., Mosser B., Hekker S., Huber D., Stello D. et al.,** 2010, “Asteroseismology of red giants from the first four months of Kepler data: Fundamental stellar parameters”, *A&A*, 522, 14p.
- Kaltenegger L., Sasselov D.,** 2011, “Exploring the Habitable Zone for Kepler Planetary Candidates”, *ApJ*, 736, L25
- Kjeldsen, H., Bedding, T. R.,** 1995, “Amplitudes of stellar oscillations: the implications for asteroseismology”, *A&A*, 293, 106p.
- Kjeldsen H., Bedding T.R., Viskum M., Frandsen S.,** 1995, “Solar-like oscillations in η Boo”, *AJ*, 109, 146p.
- Kjeldsen H., Bedding T.R., Christensen-Dalsgaard J.,** 2008, "Correcting Stellar Oscillation Frequencies for Near-Surface Effects", *ApJL*, 683, L175
- Kjeldsen H., Bedding T.R., Butler R.P., Christensen-Dalsgaard J., Kiss L.L., McCarthy C., Marcy G.W., Tinney C. G., Wright J. T.,** 2005, “Solar-like Oscillations in α Centauri B”, *ApJ*, 635, 1281p.
- Kraus A. L., Ireland M. J., Huber D., Mann A. W., Dupuy T. J.,** “The Impact of Stellar Multiplicity on Planetary Systems. I. The Ruinous Influence of Close Binary Companions”, 2016, *AJ*, 152, 8p.
- Kunz R., Fey M., Jaeger M., Mayer A., Hammer J. W., Staudt G. et al.,** 2002, “Astrophysical Reaction Rate of $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ ”, *ApJ*, 567, 643p.
- Lebreton Y., Goupil M. J.,** 2012, "Seismic signature of envelope penetrative convection: the CoRoT star HD 52265", *A&A*, 544, L13

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lebreton Y., Goupil M. J.**, 2014, "Astero-seismology for "à la carte" stellar age-dating and weighing. Age and mass of the CoRoT exoplanet host HD 52265", A&A, 569, A21
- Leighton R. B., Noyes R. W., Simon G. W.**, 1962, "Velocity Fields in the Solar Atmosphere. I. Preliminary Report", ApJ, 135, 474p.
- Lejeune T., Cuisinier F., Buser R.**, 1998, "A standard stellar library for evolutionary synthesis. II. The M dwarf extension", A&AS, 130, 65p.
- Lopez E. D., Fortney J. J.**, 2013, "The Role of Core Mass in Controlling Evaporation: The Kepler Radius Distribution and the Kepler-36 Density Dichotomy", ApJ, 776, 2p.
- Marcy G. W., Isaacson H., Howard A. W., Rowe J. F., Jenkins J. M., Bryson S. T., Latham D. W., Howell S. B., Gautier T. N. III, Batalha N. M. et al.**, 2014, "Masses, Radii, and Orbits of Small Kepler Planets: The Transition from Gaseous to Rocky Planets", ApJS, 210, 20p.
- Matthews J. M., Kusching R., Guenther D. B., Walker G. A. H., Moffat A. F. J. et al.**, 2004, "No stellar p-mode oscillations in space-based photometry of Procyon", Nature, 430, 51p.
- Mathur S., Hekker S., Trampedach R., Ballot J., Kallinger T. et al.**, 2012, "A Uniform Astero-seismic Analysis of 22 Solar-type Stars Observed by Kepler", ApJ, 749, 14p.
- Mazumdar A., Antia H. M.**, 2001, "Seismic study of stellar convective cores", A&A, 377, 192p.
- Mazumdar A., Monteiro M. J. P. F. G., Ballot J., Antia H. M., Basu, S. et al.**, 2013, "Measurement of Acoustic Glitches in Solar-type Stars from Oscillation Frequencies Observed by Kepler", ApJ, 782, 17p.
- Mazeh T., Perets H. B., McQuillan A., Goldstein E. S.**, 2015, "Photometric Amplitude Distribution of Stellar Rotation of KOIs—Indication for Spin-Orbit Alignment of Cool Stars and High Obliquity for Hot Stars", ApJ, 801, 3p.
- Metcalf T. S., Chaplin W. J., Appourchaux T., García R. A., Basu S. et al.**, 2012, "Astero-seismology of the Solar Analogs 16 Cyg A and B from Kepler Observations", ApJL, 748, L10

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Metcalf T. S., Creevey O. L., Doğan G., Mathur S., Xu, H. et al.**, 2014, “Properties of 42 Solar-type Kepler Targets from the Asteroseismic Modeling Portal”, *ApJS*, 214, 13p.
- Michel E., Baglin A.**, 2012, In *Second CoRoT Symposium: Transiting Planets, Vibrating stars and their connection*, ed. A. Baglin, M. Deleuil, E. Michel, C. Moutou.
- Miglio A., Montalbán J., Baudin F., Eggenberger P., Noels A., Hekker S., De Ridder J., Weiss W., Baglin A.**, 2009, "Probing populations of red giants in the galactic disk with CoRoT", *A&A*, 503, L21
- Molenda-Zakowicz J., Sousa S. G., Frasca A., Uytterhoeven K., Briquet M. et al.**, 2013, “Atmospheric parameters of 169 F-, G-, K- and M-type stars in the Kepler field”, *MNRAS*, 434, 1422p.
- Montalbán J., Miglio A., Noels A., Scuflaire R., Ventura P.**, 2010, "Seismic Diagnostics of Red Giants: First Comparison with Stellar Models", *ApJL*, 721, L182-L188
- Mosser B., Goupil M. J., Belkacem K., Marques J. P., Beck P. G. et al.**, 2012, “Characterization of the power excess of solar-like oscillations in red giants with Kepler”, *A&A*, 537, 15p.
- Naef D., Mayor M., Pepe F., Queloz D., Santos N. C., Udry S., Burnet M.**, 2001, “The CORALIE survey for southern extrasolar planets. V. 3 new extrasolar planets”, *A&A*, 375, 205p.
- Narita N., Sato B., Hirano T., Tamura M.**, 2009, “First Evidence of a Retrograde Orbit of a Transiting Exoplanet HAT-P-7b”, *PASJ*, 61, L35
- Nutzman P., Gilliland R. L., McCullough P. R., Charbonneau D., Christensen-Dalsgaard J., Kjeldsen H., Nelan E. P., Brown T. M., Holman M. J.**, 2011, “Precise Estimates of the Physical Parameters for the Exoplanet System HD 17156 Enabled by Hubble Space Telescope Fine Guidance Sensor Transit and Asteroseismic Observations”, *ApJ*, 726, 3p.
- Ortiz M., Gandolfi D., Reffert S., Quirrenbach A., Deeg H. J., Karjalainen R., Montañés-Rodríguez P., Nespral D., Nowak G., Osorio Y., Palle E.**, 2015, “Kepler-432 b: a massive warm Jupiter in a 52-day eccentric orbit transiting a giant star”, 2015, *A&A*, 573, L6

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Owen J. E., Morton T. D.**, 2016, “The Initial Physical Conditions of Kepler-36 b and c”, *ApJL*, 819, L10
- Paardekooper S.-J., Rein H., Kley W.**, 2013, “The formation of systems with closely spaced low-mass planets and the application to Kepler-36”, *MNRAS*, 434, 3018p.
- Pál A., Bakos G. Á., Torres G., Noyes R. W., Latham D. W., Kovács Géza, Marcy G. W., Fischer D. A., Butler R. P., Sasselov D. D. et al.**, 2008, “HAT-P-7b: An Extremely Hot Massive Planet Transiting a Bright Star in the Kepler Field”, *ApJ*, 680, 1450p.
- Pasquini L., Bonifacio P., Randich S., Galli D., Gratton R.G.**, 2004, “VLT Observations of Beryllium in a Globular Cluster: A clock for the early Galaxy and new insights into Globular Cluster formation”, *The Messenger*, 117, 50p.
- Paxton B., Bildstein L., Dotter A., Herwig F., Lesaffre P., Timmes F.**, 2011, “Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA)”, *ApJS*, 192, 35p.
- Paxton B., Cantiello M., Arras P., Bildsten L., Brown E.F. et al.**, 2013, “Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Planets, Oscillations, Rotation, and Massive Stars”, *ApJS*, 208, 42p.
- Ramya P., Reddy B. E., Lambert D. L.**, 2012, “Chemical compositions of stars in two stellar streams from the Galactic thick disc”, *MNRAS*, 425, 3188p.
- Rauer H.**, 2013, “The PLATO 2.0 Mission”, *EPSC*, 8, 707p.
- Ricker G. R., Winn J. N., Vanderspek R., Latham D. W., Bakos G. A., Bean J. L. et al.**, 2014, “Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)”, *SPIE*, 9143, E20
- Rowe J. F., Bryson S. T., Marcy G. W., Lissauer J. J., Jontof-Hutter D., Mullally F., Gilliland R. L., Isaacson H., Ford E., Howell S. B. et al.**, 2014, “Validation of Kepler's Multiple Planet Candidates. III. Light Curve Analysis and Announcement of Hundreds of New Multi-planet Systems”, *ApJ*, 784, 45p.
- Rowe J. F., Coughlin J. L., Antoci V., Barclay T., Batalha N. M., Borucki W. J. et al.**, 2015, “Planetary Candidates Observed by Kepler. V. Planet Sample from Q1-Q12 (36 Months)”, *ApJS*, 217, 16p.
- Quinn Samuel N., White Timothy. R., Latham David W., Chaplin William J., Handberg Rasmus, Huber Daniel, Kipping David M., Payne Matthew J., Jiang Chen, Silva Aguirre Victor et al.**, 2015, “Kepler-432: A Red Giant Interacting with One of its Two Long-period Giant Planets”, *ApJ*, 803, 49p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Santos N. C., Sousa S. G., Mortier A., Neves V., Adibekyan V., Tsantaki M., Delgado Mena E., Bonfils X., Israelian G., Mayor M., Udry S., 2013,** “SWEET-Cat: A catalogue of parameters for Stars With ExoplanETs. I. New atmospheric parameters and masses for 48 stars with planets”, *A&A*, 556, A150
- Santos N. C., Adibekyan V., Mordasini C., Benz W., Delgado-Mena E., Dorn C., Buchhave L., Figueira P., Mortier A., Pepe F. et al., 2015,** “Constraining planet structure from stellar chemistry: the cases of CoRoT-7, Kepler-10, and Kepler-93”, *A&A*, 580, L13
- Schuler S. C., Vaz Z. A., Katime S. O. J., Cunha K., Smith V. V., King J. R., Teske J. K., Ghezzi L., Howell S. B., Isaacson H., 2015,** “Detailed Abundances of Stars with Small Planets Discovered by Kepler. I. The First Sample”, *ApJ*, 815, 5p.
- Seager S., Mallen-Ornelas G., 2003,** “A Unique Solution of Planet and Star Parameters from an Extrasolar Planet Transit Light Curve”, *ApJ*, 585, 1038p.
- Silva Aguirre V., Casagrande L., Basu S., Campante T. L., Chaplin W. J., Huber D., Miglio A., Serenelli A. M., Ballot J., Bedding T. R., Christensen-Dalsgaard J., Creevey O. L., Elsworth Y., García R. A., Gilliland R. L., Hekker S., Kjeldsen H., Mathur S., Metcalfe T. S., Monteiro M. J. P. F. G., Mosser B., Pinsonneault M. H., Stello D., Weiss A., Tenenbaum P., Twicken J. D., Uddin K., 2012,** “Verifying Asteroseismically Determined Parameters of Kepler Stars Using Hipparcos Parallaxes: Self-consistent Stellar Properties and Distances”, *ApJ*, 757, 11p.
- Silva Aguirre V., Davies G. R., Basu S., Christensen-Dalsgaard J., Creevey O., Metcalfe T. S., Bedding T. R., Casagrande L., Handberg R., Lund M. N. et al., 2015,** “Ages and fundamental properties of Kepler exoplanet host stars from asteroseismology”, *MNRAS*, 452, 2127p.
- Soriano M., Vauclair S., Vauclair G., Laymand M., 2007,** “The CoRoT primary target HD 52265: models and seismic tests”, *A&A*, 471, 885p.
- Sozzetti A., Torres G., Latham D. W., Stefanik R. P., Korzennik S. G., Boss A. P., Carney B. W., Laird J. B., 2009,** “A Keck HIRES Doppler Search for Planets Orbiting Metal-Poor Dwarfs. II. On the Frequency of Giant Planets in the Metal-Poor Regime”, *ApJ*, 697, 544p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Spiegel D. S., Burrows A.**, 2010, “Atmosphere and Spectral Models of the Kepler-field Planets HAT-P-7b and TrES-2”, *ApJ*, 722, 871p.
- Steffen J. H., Fabrycky D. C., Ford E. B., Carter J. A., Désert J.-M., Fressin F., Holman M. J., Lissauer J. J., Moorhead A. V., Rowe J. F. et al.**, 2012, “Transit timing observations from Kepler - III. Confirmation of four multiple planet systems by a Fourier-domain study of anticorrelated transit timing variations”, *MNRAS*, 421, 2342p.
- Steffen J. H., Fabrycky D. C., Agol E., Ford E. B., Morehead R. C., Cochran W. D., Lissauer J. J., Adams E. R., Borucki W. J., Bryson S. al.**, 2013, “Transit timing observations from Kepler - VII. Confirmation of 27 planets in 13 multiplanet systems via transit timing variations and orbital stability”, *MNRAS*, 428, 1077p.
- Stello D., Meibom S., Gilliland R. L., Grundahl F. et al.**, 2011, “Amplitudes of Solar-like Oscillations: Constraints from Red Giants in Open Clusters Observed by Kepler”, *ApJL*, 737, 6p.
- Tassoul M.**, 1980, “Asymptotic approximations for stellar nonradial pulsations”, *ApJS*, 43, 469p.
- Valliappan S. P., Karoff C.**, 2012, “Is one month of observations enough? A case study on Kepler-21”, *AN*, 333, 987p.
- Vandakurov Y. V.**, 1966, "The Stability of Radial Stellar Pulsation", *Astronomicheskii Zhurnal*, 43, 1009p.
- Van Eylen V., Albrecht S.**, 2015, “Eccentricity from Transit Photometry: Small Planets in Kepler Multi-planet Systems Have Low Eccentricities”, *ApJ*, 808, 126p.
- Van Eylen V., Lund M. N., Silva Aguirre V., Arentoft T., Kjeldsen H., Albrecht S., Chaplin W. J., Isaacson H., Pedersen M. G., Jessen-Hansen J. et al.**, 2014, “What Asteroseismology can do for Exoplanets: Kepler-410A b is a Small Neptune around a Bright Star, in an Eccentric Orbit Consistent with Low Obliquity”, *ApJ*, 782, 14p.
- van Leeuwen F.**, 2007, “Validation of the new Hipparcos reduction”, *A&A*, 474, 653p.
- Vauclair S., Laymand M., Bouchy F., Vauclair G., Hui Bon Hua A., Charpinet S., Bazot M.**, 2008, “The exoplanet-host star ι Horologii: an evaporated member of the primordial Hyades cluster”, *A&A*, 482, L5

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Walker G., Matthews J., Kuschnig R., Johnson R., Rucinski S., Pazder J. et al.,** 2003, “The MOST Asteroseismology Mission: Ultraprecise Photometry from Space”, *PASP*, 115, 1023p.
- Walkowicz L. M., Basri G. S.,** 2013, “Rotation periods, variability properties and ages for Kepler exoplanet candidate host stars”, *MNRAS*, 436, 1883p.
- White T. R., Bedding T. R., Stello D., Christensen-Dalsgaard J., Huber D., Kjeldsen H.,** 2012, “Calculating Asteroseismic Diagrams for Solar-like Oscillations”, *ApJ*, 743, 13p.
- Winn Joshua N., Johnson John Asher, Albrecht Simon, Howard Andrew W., Marcy Geoffrey W., Crossfield Ian J., Holman Matthew J.,** 2009, “HAT-P-7: A Retrograde or Polar Orbit, and a Third Body”, *ApJ*, 703, L99
- Wright D. J., Chené A.-N., De Cat P., Marois C., Mathias P., Macintosh B., Isaacs J., Lehmann H., Hartmann M.,** 2011, “Determination of the Inclination of the Multi-planet Hosting Star HR 8799 Using Asteroseismology”, *ApJ*, 728, L20
- Xie J.-W.,** 2014, “Transit Timing Variation of Near-resonance Planetary Pairs. II. Confirmation of 30 Planets in 15 Multiple-planet Systems”, *ApJS*, 210, 25p.
- Yıldız M., Çelik Orhan Z., Aksoy Ç., Ok S.,** 2014, “Fundamental properties of solar-like oscillating stars from frequencies of minimum $\Delta\nu$ - I. Model computations for solar composition”, *MNRAS*, 441, 2148p.
- Yıldız M., Çelik Orhan Z., Kayhan C.,** 2015, “Fundamental properties of solar-like oscillating stars from frequencies of minimum $\Delta\nu$ - II. Model computations for different chemical compositions and mass”, *MNRAS*, 448, 3689p.
- Yıldız M., Çelik Orhan Z., Kayhan C.,** 2017, “Fundamental properties of Kepler and CoRoT targets - IV. Masses and radii from frequencies of minimum $\Delta\nu$ and their implications”, *MNRAS*, in submitted.

ÖZGEÇMİŞ

Cenk KAYHAN, T. C. vatandaşı olup, 1987, ADANA, Ceyhan doğumludur. İlkokulu Ceyhan'da Remzi Oğuz Arık İlköğretim Okulu'nda, ortaokul ve lise eğitimini Adana'da Özel Bilfen Koleji ile Özel Adana Koleji'nde tamamladı. 2005 - 2007 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü'nde eğitim görerek, 2007 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'ne kayıtlılandı. Burada lisans eğitimini 3.'lük derecesi ile tamamladıktan sonra 2011 yılında yine Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilimdalı'nda Yüksek Lisans programına kayıtlanarak burada "Geri Tayf Türü Yıldızların Uçlaşmaölçümü" başlıklı tezini 2013 yılında vererek mezun olmuştur. Aynı yıl içerisinde Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimine başlamıştır. SCI kapsamlı dergide 3 adet yayını bulunmaktadır.