



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**TESS (TASC) HEDEF LİSTESİNDEKİ SEÇİLMİŞ
BAZI YILDIZLARIN ASTEROSİSMİK
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Sibel ÖRTEL

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

İzmir
2020

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**TESS (TASC) HEDEF LİSTESİNDEKİ SEÇİLMİŞ
BAZI YILDIZLARIN ASTEROSİSMİK
İNCELENMESİ**

Sibel ÖRTEL

Danışman : Prof. Dr. Mutlu YILDIZ

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Astrofizik Yüksek Lisans Programı

İzmir
2020

Sibel Örtel tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan "TESS (TASC) HEDEF LİSTESİNDEKİ SEÇİLMİŞ BAZI YILDIZLARIN ASTEROSİSMİK İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 3.1.2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

Müşahid Can AKAN



Raportör Üye

Linal Ertan



Üye

Mutlu Yıldız



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “TESS (TASC) HEDEF LİSTESİNDEKİ SEÇİLMİŞ BAZI YILDIZLARIN ASTEROSİSMİK İNCELENMESİ” 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.

2 / 1 / 2020

İmzası



Adı-Soyadı

Sibel Örsel

ÖZET**TESS (TASC) HEDEF LİSTESİNDEKİ SEÇİLMİŞ BAZI
YILDIZLARIN ASTEROSİSMİK İNCELENMESİ**

ÖRTEL, Sibel

Yüksek Lisans Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mutlu YILDIZ

Ocak 2020, 65 sayfa

CoRoT ve Kepler gözlemsel verilerine dayanan asterosismik çözümlmeler sayesinde yıldız iç yapı ve evriminin anlaşılmasında yakın zamanda önemli gelişmeler gerçekleşti. Bu tez kapsamında ise NASA TESS hedef yıldız listesindeki güneş benzeri titreşim yapması beklenen 23 yıldız incelendi. Literatürdeki veriler kullanılarak temel parametreler bulundu. 23 yıldız için MESA evrim kodu ile iç yapı modelleri yapıldı ve adyabatik zonklama frekansları ADIPLS paketi kullanılarak hesaplandı. Her bir yıldız için önemli asterosismik nicelikler olan frekanslar arasındaki büyük ayrılma ($\Delta\nu$) ve maksimum genlik frekansı (ν_{\max}) gözlem öncesi tahmin edildi. Ayrıca farklı özelliklere sahip olduğu halde HR diyagramında aynı konumda bulunan modellerin asterosismik yollardan ayırt edilmesinin mümkün olup olmadığı KIC 7747078 yıldızı analiz edilerek araştırıldı. Referans frekanslarının kullanılmasına dayanan yöntemler bu modelleri birbirinden ayırt etme konusunda çok başarılıdır.

Anahtar sözcükler: Asterosismoloji, güneş benzeri titreşimler, yıldız iç yapı ve evrimi, iç yapı modelleri.



ABSTRACT**ASTEROSEISMOLOGICAL STUDY OF SELECTED STARS IN
THE TESS TARGET LIST**

ÖRTEL, Sibel

MSc in, Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Mutlu YILDIZ

January 2020, 65 pages

Significant improvements have been made in understanding the stellar interior and evolution, thanks to asteroseismic analysis based on CoRoT and Kepler observational data. Within the content of this thesis, 23 stars expected to appear sun-like oscillations in NASA TESS target star list were examined. Fundamental parameters were found using the non-asteroseismic data in the literature. MESA evolution code was used to construct their interior models and adiabatic oscillation frequencies were calculated using the ADIPLS package. Important asteroseismic quantities, such as the large separation between oscillation frequencies ($\Delta\nu$) and the maximum amplitude frequency (ν_{\max}), were estimated before observation. In addition, it was investigated by analyzing KIC 7747078 star whether it is possible to differentiate different models in the same position in the HR diagram by asteroseismic methods. Methods based on the use of reference frequencies are very successful in distinguishing these models.

Keywords: Asteroseismology, solar-like oscillations, stellar internal structure and evolution, internal structure models.



ÖNSÖZ

Son yıllarda muazzam ilerleme gösteren asterosismolojinin yıldız iç yapı ve evriminin anlaşılmasındaki rolü çok önemlidir. Biz de bu bağlamda TESS uydusu tarafından gözlenecek güneş benzeri titreşim yapması beklenen bazı yıldızları inceledik. Seçilmiş olan 23 yıldızın tayf ve fotometrik gözlem verileri kullanılarak kütle, ağır element bolluğu gibi değerleri hesaplandı. Hesaplanan bu parametrelerle yıldızların iç yapı modeller yapıldı. Modellerin frekansları hesaplanarak yıldızların Δv ve v_{\max} değer aralığı belirlendi. Buradaki amaç TESS'in gözlem verilerinden önce yıldızların sismik verilerinin tahmin edilmesidir.

Bu 3 yıllık süreçte yanımda duran ve desteğini esirgemeyen herkese çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLULAR DİZİNİ	xx
1 GİRİŞ	1
2 ASTEROSİSMOLOJİ İLE YILDIZ İÇYAPI VE EVRİMİ.....	4
2.1 Yıldız İçyapı ve Evrimi	4
2.1.1 Süreklilik denklemi.....	5
2.1.2 Hidrostatik denge.....	6
2.1.3 Sıcaklık gradyanı	7
2.1.4 Isıl denge.....	8
2.2 Asterosismoloji	9
2.2.1 Vana mekanizması	10
2.2.2 Güneş benzeri titreşimler	10
2.2.3 Kip (mode) ya da Kuantum sayıları.....	12

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.4 p ve g kipi.....	13
2.2.5 Güç tayfi.....	16
2.2.6 Asterosismik Parametreler	16
2.2.7 Ölçek İlişkisi	20
3 SEÇİLMİŞ TESS HEDEF YILDIZLARININ ASTEROSİSMİK OLMAYAN GÖZLEM ÖZELLİKLERİ	23
4 İÇ YAPI MODEL VE ANALİZLERİ	26
4.1 MESA Kodu.....	26
4.2 Güneş	26
4.2.1 Güneş yüzeyindeki element bollukları ve ses hızı	27
4.2.2 Güneş model ve gözlem frekanslarının kıyaslanması.....	29
4.2.3 Sıfır yaş anakolundan bugüne Güneş'in evrimi	31
4.3 TESS Hedef Yıldızlarının Modellenmesi	34
4.3.1 TIC 287096308	38
4.3.2 TIC 38511251	39
4.3.3 TIC 38732418	39
4.3.4 TIC 43255143	40
4.3.5 TIC 51002411	40

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.6 TIC 72651515	40
4.3.7 TIC 96290130	41
4.3.8 TIC 123699670	41
4.3.9 TIC 141201954	42
4.3.10 TIC 180284425	42
4.3.11 TIC 189839944	43
4.3.12 TIC 241257122	43
4.3.13 TIC 258783220	44
4.3.14 TIC 275371234	44
4.3.15 TIC 277548101	45
4.3.16 TIC 282254078	45
4.3.17 TIC 287222433	46
4.3.18 TIC 288183829	46
4.3.19 TIC 355325110	47
4.3.20 TIC 367758676	47
4.3.21 TIC 375621179	48
4.3.22 TIC 413853880	48

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.23 TIC 414783388	48
4.4 HR Diyagramında Biriciklik ve Yaş Sorunu Çözümü (KIC 7747078).....	49
4.5 Hata Hesabı.....	51
4.6 TESS Tarafından Gözlenen İlk Yıldız TOI 197 ve Diğer TESS Yıldızları	52
5 SONUÇLAR	58
KAYNAKLAR DİZİNİ	60
TEŞEKKÜR.....	64
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil

Sayfa

- Şekil 2.1: HR diyagramı üzerinde farklı türdeki zonklamalar gösterilmiştir. ZAMS = SYAK olarak gösterilen düz çizgi sıfır yaş anakolunu göstermektedir. Anakol, alt devler ve devler bölgesindeki yıldızlar güneş benzeri titreşim yapmaktadır (Di Mauro, 2016).....9
- Şekil 2.2 Farklı l ve m modlarının yıldız yüzeyini nasıl böldüğü gösterilmektedir. Genişleme hareketi kesintisiz çizgilerle ve büzülme hareketi de kesikli çizgiler ile gösterilmektedir. Noktalı çizgi ekvatoru temsil etmektedir. Yıldız $\theta = 0$ bakış doğrultusuna göre 45° eğimlidir ve tek bir noktayla gösterilmiştir. Durumların l ve m değerleri sırasıyla şunlardır: 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) $l = 10, m = 5$; l) $l = 10, m = 10$ (Christensen-Dalsgaard, 2014)..... 12
- Şekil 2.3 Güneş modelinin karakteristik frekans döngü grafiğidir. Düz eğri $N/2\pi$ 'yi gösterir. Buradaki N yüzdürme frekansıdır. Kesikli, noktalı kesikli ve üç noktalı kesikli eğriler ise $S_l/2\pi$ 'yi temsil eder. Burada S_l Lamp frekansıdır. Bu eğriler sırasıyla $l=1,2$ ve 3 'ü göstermektedir. Düz çizgiler ise p kipi ($l=1$ için yüksek frekansta) ve g kipi (düşük frekansta) için tipik yayılma bölgelerini gösterir (Christensen-Dalsgaard, 2014)..... 14
- Şekil 2.4 Sol tarafta (2.4 a) basınç (p) tarafından oluşturulan dalgaların tuzaklanma bölgeleri temsil edilmektedir. Merkezden geçen $l = 0$ dalgasıdır. l değeri arttıkça dalga yüzeye yaklaşır. Sağ tarafta (2.4 b) g kipine ait dalgaların tuzaklanma bölgesi temsil edilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi g kipine ait dalgalar yıldızın içerisinde tuzaklanmaktadır (Di Mauro, 2016). 15

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.5 Güneşe ait güç tayfıdır. Kırmızı çizgi ile gösterilen eğri güç tayfını temsil eden Gauss eğrisidir. Eğrinin maksimum olduğu nokta maksimum genlik frekansını göstermektedir (Chaplin ve ark., 2011).	18
Şekil 2.6 Procyon, güneş ve başka yıldızların temsili gauss eğrileri gösterilmektedir (Arentoft ve ark., 2008).	19
Şekil 2.7:1.0-1.3 kütle aralığında olan modellerin $l=0$ frekansları kullanılarak $\Delta v - v$ grafiği oluşturulmuş. Grafikte v_{\min} değerlerinin nasıl değiştiği gösterilmiştir. Bütün modellerin X_C değeri 0.35'tir (Yıldız ve ark., 2014).	20
Şekil 4.1 Model ve gözlemden elde edilen ses hızı farkının görelî yarıçapa göre değişimi görülmektedir. İçi boş daire ile temsil edilen eğri Mod Z150, artı ile temsil edilen eğri ise Mod Z172'yi temsil etmektedir.....	28
Şekil 4.2 Sol taraftaki grafik 4.2 (a) $\delta v - v$, sağ taraftaki grafik 4.2 (b) $\Delta v - v$ arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İçi dolu daireyle çizilen eğri gözlem verilerini, asteriks ile çizilen eğri Mod Z150 ve içi boş daireyle çizilen eğri de Mod Z172 frekanslarını göstermektedir.	30
Şekil 4.3 Güneş modelinin (Mod Z172) HR diyagramı üzerindeki evrim yoludur. Düz çizilen eğri yıldızın anakola oturduğu yeri (ZAMS = SYAK), kesikli çizilen eğri yıldızın anakoldan ayrıldığı yeri (TAMS = TYAK) temsil etmektedir. Asteriks ile çizilen eğri ise Güneş'in evrim yolunu göstermektedir.	31

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- Şekil 4.4: Güneş modeline ait karbon, oksijen, azot ve helyum izotopunun günümüz güneşi içerisinde görelî yarıçapa karşı nasıl dağıldığını göstermektedir.33
- Şekil 4.5 Sol taraftaki grafik 4.5 (a) görelî yarıçapa karşı adyabatik gradyanın nasıl değiştiğini göstermektedir. Sağ taraftaki grafik 4.5 (b) ise görelî yarıçapa karşı ısı kapasitesinin nasıl değiştiğini göstermektedir.34
- Şekil 4.6: Sol tarafta 4.6 (a) KIC 7747078 yıldızı için farklı kimyasal kompozisyona sahip iç yapı modellerinin logaritmik olarak $L - T_{\text{eff}}$ grafiğidir. Yıldızın gözlem verileri nokta ile temsil edildi. Sağ tarafta 4.6 (b) $\Delta v - v$ grafiğinde nokta ile gözlem verileri, içi boş daireleri ile Z124 modeli ve asteriks ile Z220 modeline ait frekans değerlerini göstermektedir.50
- Şekil 4.7: Sol taraftaki $v_{\text{min1}} - Z$, sağ taraftaki ise $v_{\text{min0}} - Z$ grafiğidir. Düz çizgi gözlem frekanslarından belirlenen v_{min1} ve v_{min0} değerini göstermektedir.51

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Tabloda 23 yıldızın fotometrik ve tayfsal parametreleri ile bu parametrelerden hesaplanan R ve L değerleri vardır. İlk sütunda yıldızların TIC numaraları bulunmaktadır. Diğer sütunlarda sırasıyla uzaklık (d), görsel parlaklık (V), demir bolluğu ($[Fe/H]$), tayfsal etkin sıcaklık (T_{eff}), kütle çekim ivmesi ($\log g$), yarıçap (R) ve ışıma- gücü (L) vardır.	25
Tablo 4.1: Tabloda güneş modellerinin başlangıç ve yüzey element bollukları yer almaktadır. Son satırda gözlemden elde edilen değerler vardır.	27
Tablo 4.2: Güneş modellerin konvektif katman yarıçapı ve sıcaklık değerleridir. Son satırda gözlemden elde edilen konvektif katman taban yarıçapı vardır. Modellerin r_{KKT} konvektif katmana ait göreceli yarıçap, T_{KKU} üst konvektif katman sıcaklığı ve T_{KKT} konvektif katmanın taban sıcaklık değerleridir.	29
Tablo 4.3: Mod Z172 için SYAK ve Günümüz'deki Güneş modeline ait etkin sıcaklık, göreceli yarıçap ve konvektif katman taban yarıçapı tabloda verilmiştir. En üst satırda gözlemden elde edilen değerler vardır.	32
Tablo 4.4: Mod Z172'den elde edilen ve gözlemden bulunan yüzey bollukları ile modele ait özepteki C, O, N ve He^3 bolluğu.	33
Tablo 4.5: 23 yıldızın helyum bolluğu değiştirilerek yapılan kalibre modellerin parametreleri yer almaktadır. İlk sütunda yıldızların TIC numarası vardır. Diğer sütunlarda ise kütle (M), yarıçap (R), ışımagücü (L), helyum bolluğu (Y), ağır element bolluğu (Z), yaş, büyük ayrılma (Δv) ve maksimum genlik frekansı (v_{max}) vardır.	36

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

Tablo	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.6: Tabloda 23 yıldızla ait kütle üzerinden yapılan kalibre modellerin parametreleri bulunmaktadır. İlk sütunda yıldızların TIC numarası sonrasında M , R , L , Y , Z , yaş, Δv ve v_{\max} listelenmiştir. Modellerde helyum bolluğu güneş değeri alınmıştır ($Y_{\odot} = 0.279$).....	37
Tablo 4.7: KIC 7747078 yıldızının farklı Z değerleri ile yapılan modellerin Z , Y , yaş, $v_{\min 0}$ ve $v_{\min 1}$ değerleri verilmiştir. En alt satırda yıldızın gözlem frekanslarından belirlenen $v_{\min 0}$ ve $v_{\min 1}$ değerleri yer almaktadır.	51
Tablo 4.8: TOI 197 yıldızı için yaptığımız dört modelin sonuçları yer almaktadır. Bunlar sırasıyla model numarası, kütle (M), yarıçap (R), ışım gücü (L), yoğunluk (ρ), kütle çekim ivmesi ($\log g$) ve yaşıdır.....	53
Tablo 4.9: Katıldığımız TESS projelerine ait modellerin çözümleri. İlk sütunda incelenen yıldızların adları vardır. Sonrasında yarıçap (R), kütle (M), yoğunluk (ρ), ışım gücü (L), yaş, kütle çekim ivmesi ($\log g$) ve referansları bulunmaktadır.	55
Tablo 4.10: Aguirre ve ark. (2019)'nın 16 yıldız ile yapılan inceleme sonuçlarıdır. Sütunlarda sırasıyla TIC numarası, kütle (M), yarıçap (R), kütle çekim ivmesi ($\log g$), yaş, uzaklık (d), kızılilaşma $E(B-V)$ ve evrim aşamaları vardır.	56
Tablo 4.11: Aguirre ve ark. (2019) tarafından incelenen 16 yıldızla ait model ve gözlem verileridir. İlk sütunda yıldızların TIC numarası bulunmaktadır. Sonrasında kütle (M), yarıçap (R), kütle çekim ivmesi ($\log g$), yaş, uzaklık (d), kızılilaşma $E(B-V)$ ve evrim aşamaları yer almaktadır.	57



1 GİRİŞ

Yıldızların temel parametrelerinin iyi belirlenmesi, bizzat yıldızların yapı ve evriminin iyi anlaşılması için gerekli olduğu kadar, gökada gibi daha büyük yapıların anlaşılmasında da çok önemli bir role sahiptir. Bu gök cisimleri bizden çok uzakta olduğu için onlar hakkında bilgi edinebileceğimiz asli kaynak fotondur. Yıldızdan gelen fotonlar tayfölçer ve fotometre ile ölçülür. Bu iki yöntem ile elde edilen gözlem verileri aslında yıldızın yüzeyi hakkında doğrudan bilgi verir. Örneğin, parlaklık, yüzey ağır element bolluğu ($[Fe/H]$, $[O/H]$, vb.), renk ($(B - V)$, $(V - K)$, vb.), etkin sıcaklık (T_{eff}) vb. Tek bir yıldızın kütlesi ise dolaylı yoldan hesaplanabilir. Örtün çift sistemlerde ise gözlem verileri kullanılarak kütle oldukça duyarlı bir şekilde hesaplanabilir. Bu sistemlerdeki ışık ve dikine hız eğrilerindeki değişimlerle bileşenlerin kütlesi bulunabilir. Bir başka yöntem ise anakol yıldızlarında kütle-ışım gücü bağıntısıdır. Hassas bir yöntem olmasa da anakoldaki yıldızların kütlesi bu bağıntıyla belirli bir duyarlılıkta saptanabilir. Zaten, anakoldan ayrılmış olan tek yıldızlar için böyle bir ilişki geçerli değildir. Sonuç olarak, bu yoldan tek yıldızların kütlesini hesaplamak zor bir iştir. Ayrıca bu yöntemler ile yıldızın iç yapısına ait bilgiler doğrudan elde edilemez. Bu yüzden iç yapı modelleri yapılması gerekmektedir.

Son dönemlerde hızla gelişen asterosismoloji ise yıldızları daha iyi anlayabilmemizi sağlayan muazzam yöntemler sunmaktadır. Tez kapsamında güneş benzeri titreşim yapan anakol sonrası yıldızlar araştırılmıştır. Güneş benzeri titreşimlere ilişkin ilk kanıtlar, Leighton ve ark. (1962) tarafından güneş diski üzerinde yapılan doppler hız gözlemleri ile elde edildi. Güneş yüzeyindeki bu titreşimlerin 5 dakikalık periyotlar ile salınım yaptığı keşfedildi. 13 yıl sonra Deubner (1975) tarafından yapılan gözlemler ile güneş salınımlarının küresel özellikleri ve modsal yapıları hakkındaki teorik hipotezler (Ulrich, 1970; Leighton ve ark., 1962) doğrulandı. Bu çalışmalar helyosismolojinin temellerini oluşturdu. Güneş benzeri titreşimlerin salınım genlikleri çok düşük olduğu için uzak yıldızlarda gözlemi çok zordur. Bu yüzden Güneş dışındaki yıldızlarda bu titreşimlerin kaydedilebilmesi için 90'lı yılların başında mütevazî gözlemler başlamıştır (Brown ve ark. 1991; Kjeldsen ve ark. 1995; Bouchy ve Carrier 2001). Daha sonrasında uydu teleskopları olan CoRoT (Baglin ve ark. 2013) ve özellikle

Kepler (Borucki ve ark. 2010; Gilliland ve ark. 2010) ile yapılan fotometrik gözlemler sayesinde olağanüstü bir ilerleme kaydedildi. 2018 yılında fırlatılan TESS (Ricker ve ark. 2014) verileri sayesinde bu ilerleme süreci devam etmektedir. Bu tezde TESS asterosismik bilim konsorsiyumu (TASC) tarafından belirlenen güneş benzeri titreşim yapması beklenen hedef yıldızlar araştırılmış ve asterosismik olan ve olmayan parametreler önceden hesaplanmıştır. Konsorsiyumun belirlediği ilk elli hedef yıldızın fotometrik ve tayf verileri SIMBAD ve GAIA (DR1 ve DR2) veri tabanından alındı. Bu elli yıldız içerisinde V , B , ve K parlaklığı, $[Fe/H]$, T_{eff} , kütle çekim ivmesi ($\log g$) ve uzaklık (d) değerleri tam olan 23 yıldız var. Fotometrik ve tayf parametreleri kullanılarak 23 yıldızın kütle, yarıçap gibi temel parametreleri hesaplandı. Hesaplanan bu parametreler ile MESA (Paxton ve ark., 2011; Paxton ve ark., 2013) evrim kodu kullanılarak yıldızın HR diyagramındaki konumuna göre modeller yapıldı. Yapılan modellerin adyabatik zonklama frekansları ADIPLS (Christensen-Dalsgaard, 2008b) paketi kullanılarak hesaplandı. Her yıldızın hesaplanan model frekansları için gözlenecek olası frekans aralıkları belirlendi. Aralık belirlenirken Kepler mirası yıldızların gözlem verileri (Yıldız ve ark. 2019;) kullanıldı. Belirlenen aralıktaki frekanslarla model verileri kullanılarak yıldızın sismik parametreleri hesaplandı.

HR diyagramında aynı noktada özellikleri bir birinden çok farklı yıldızlar yer alabilir. Aynı ışımagücü ve etkin sıcaklığa sahip olan bu yıldızların kütle, kimyasal bileşim (kompozisyon) ve yaşları arasında ciddi farklar olması mümkündür. Bu modelleri birbirinden ayırt etmediğimiz sürece, HR diyagramındaki konumundan giderek yıldızların özelliklerini hesaplama yöntemi oldukça yüksek belirsizliğe sahip olacaktır. Modelleri birbirinden ayırt etmek için yeni asterosismik yöntemler geliştirebiliriz. Bu tez kapsamında, KIC 7747078 yıldızı için örnek bir analiz yöntemi geliştirilip uygulandı (*bkz.* Kısım 4.4).

Bölüm 2’de yıldız iç yapı ve evrimi hakkında genel bir bilgi verilmiş, yıldız evrimi ile asterosismik parametrelerin nasıl değiştiği incelenmiştir. Bölüm 3’te seçilmiş TESS hedef yıldızlarının gözlem verileri ve özellikleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Gözlem verileri kullanılarak kütle, ışımagücü ve yarıçap gibi parametrelerin nasıl hesaplandığı anlatılmıştır. Bölüm 4’te güneş ve 23 TESS

yıldızı için yapılan iç yapı modellerinin nasıl yapıldığı ve analiz sonuçları anlatılmıştır. Bölüm 5'te yapılan çalışmanın sonuçları sunulmuştur.



2 ASTEROSİSMOLOJİ İLE YILDIZ İÇYAPI VE EVRİMİ

2.1 Yıldız İçyapı ve Evrimi

Yıldız, özeğinde nükleer tepkimeler ile muazzam enerji üreten, ürettiği bu enerjiyi merkez bölgelerinden dış katmanlarına aktaran ve etrafına yayan, büyük ölçüde hidrostatik dengeye sahip olan ya da denge civarında değişim gösteren gök cisimidir. Bu gök cisimleri tıpkı canlılar gibi doğar, yaşar ve ölürler. Bir yıldızın doğabilmesi için yıldızlararası ortamda bulunan gaz ve tozdan oluşan bulutun ya kendi içerisinde (Jeans kriterleri) ya da dış etmenler (şok dalgaları vb.) ile tedirgin edilerek çökmeye başlaması gerekir. Çökmekte olan bulut içerisindeki parçacıklar kütle merkezine doğru hareket ederken potansiyel enerji kaybeder. Kaybedilen potansiyel enerji kinetik enerjiye, kinetik enerji de ısı enerjisine dönüşür. Bu durum Virial kuramı ile açıklanabilir. Bu kuram denge civarındaki bir yapının potansiyel (Ω) ve iç enerjisi (U) arasındaki ilişkiyi tanımlar. Çökmenin erken döneminde (eşisılı süreçte) geçerli değildir. Hidrostatik dengeye ulaşmış bir yıldızın iç enerjisi potansiyel enerjisinin mutlak değerinin yarısı kadardır (Karttunen ve ark., 2007):

$$U = -\frac{1}{2} |\Omega|. \quad (2.1)$$

Kaybedilen potansiyel enerjinin yarısı olan iç enerjinin büyük bir kısmı ısı kinetik enerjidir, bu da yıldızın iç bölgelerinin sıcaklığının artması anlamına gelir. Yıldız öncesi cismin özeğindeki sıcaklık hidrojen yakabilecek değere ($\sim 10^7$ K) ulaştığı zaman yıldız doğar. Nükleer tepkimenin gerçekleştiği yıldız, hidrostatik dengeye ulaşır ve anakola yerleşir. Bu denge yıldızın kütle çekim kuvveti ile basınç kuvveti arasındadır. Bu iki kuvvet birbirini dengelediği sürece yıldız şeklini koruyacaktır. Eğer basınç kuvveti baskınsa yıldız genişleyecek, tam tersi çekim kuvveti baskın olursa yıldız kütle merkezine doğru çökecektir.

Anakol evresindeki yıldız, özeğindeki hidrojeni yakıp bitirdiği zaman bu

evreden ayrılır. Artık, özekte nükleer tepkime işlemi gerçekleşmediği için enerji üretimi söz konusu değildir. Bu yüzden az önce bahsettiğimiz hidrostatik denge bozulacak ve yıldız içerisindeki basınç kuvveti çekim kuvvetine yenik düşecektir. Bu da çökmeye yol açar. Çökme ile özeğin hemen dışında bulunan katmanda sıcaklık hidrojen yakabilecek seviyeye ulaşır ve kabuk yanması denilen olay gerçekleşir. Bu süreçte yıldızın özeği çökerken kabukta üretilen enerjiyle yıldızın dış katmanları genişlemeye başlar. Yüzey sıcaklığı azalırken yarıçapı artar, yıldız kırmızı dev koluna gelir ve tırmanışa geçer. Tırmanış küçük kütleli yıldızlarda ($0.8 < M < 2.0 M_{\text{güneş}}$) helyum flaş gerçekleşene kadar devam eder. Helyum flaş olayı yozlaşmış özekte helyum tutuşmasının bir sonucudur. Bu olay gerçekleştiği zaman artık özekte üçlü alfa (helyum yanması) adı verilen nükleer tepkime ile enerji üretilir ve yıldız ilerleyen süreçte hidrostatik dengeye kavuşarak yatay kola oturur. Bu evrede helyum yanması sonucunda karbon açığa çıkar. Yıldız özeğindeki helyum bittiği zaman karbon özeğe sahip olur. Bu aşamada özekte nükleer tepkimeler tekrar durur ve özek çökerek helyum kabuk yakma sürecini başlatır. Böylece, yıldız çift kabuk yakma süreci olan asimptotik dev koluna ulaşır. Ancak küçük kütleli yıldızlarda özek karbon yakmak için yeterli olan sıcaklığa erişemez. Yıldızın dış katmanları yıldızlararası ortama dağılır ve gezegenimsi bulutsu olarak adlandırılan gökcismi oluşur. Zaman içerisinde bulutsu dağıldığında geriye beyaz cüce kalır. Çok daha büyük kütleli yıldızlarda ise ($M > 6-10 M_{\text{güneş}}$) yakma işlemi görece daha hızlı bir şekilde devam eder ve yıldız son aşamada süpernova geçirerek dış katmanlarını yıldızlararası ortama fırlatır. Patlama sonrasında geriye yıldızın kütesine bağlı olarak nötron yıldızı ya da kara delik kalır.

Yıldızların evrim süreçlerini ve iç yapılarını anlayabilmek için modeller yapılmaktadır. Bu evrim ve iç yapı modelini yapabilmek için dört iç yapı denkleminin sayısal yoldan çözülmesi gerekir. Bu denklemler şunlardır: kütle sürekliliği, hidrostatik denge, sıcaklık gradyanı ve ısıl denge (thermal balance) denklemi.

2.1.1 Kütle sürekliliği

Kütlesi M , yarıçapı R olan bir küre düşünelim. Bu kürenin merkezine r

uzaklıkta olan dr kalınlığındaki kabuğun kütlesi dM_r olduğuna göre (Karttunen ve ark., 2007),

$$\frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho \quad (2.2)$$

olacaktır. Bu eşitlik süreklilik (kütle korunum) denklemi olarak adlandırılır. Denklem 2.2 yarıçapa göre kütlenin küre içerisinde nasıl dağıldığını anlatmaktadır.

2.1.2 Hidrostatik denge

Bir yıldızın fiziksel yapısını koruyabilmesi için hidrostatik dengeye sahip olması gerekir. Bu denge durumu momentum denkleminin özel halidir. Momentum denklemi akışkan fiziğinde aşağıdaki gibi yazılabilir (Thompson, 2006):

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla p - \rho \nabla \psi. \quad (2.3)$$

Eşitlikte ρ yoğunluk, u maddenin hızı, p basınç ve ψ potansiyeldir. $-\nabla \psi$ kütle çekim ivmesini ifade eder. $u=0$ olarak kabul edersek denklemin sol tarafı sıfır olacaktır,

$$\nabla p = -\rho \nabla \psi. \quad (2.4)$$

Basınç kuvvetleri ile kütle çekim kuvvetinin eşit olduğu durum hidrostatik denge olarak adlandırılmaktadır. Yıldızların yapısını koruyabilmesi için çok önemli bir kuvvetler dengesi olayıdır.

2.1.3 Sıcaklık gradyanı

Üçüncü denklem yıldız içerisinde sıcaklığın yarıçapa göre nasıl değiştiğini ifade eder. Bu eşitlik enerjinin nasıl aktarıldığına bağlıdır. Enerjinin aktarıldığı yollarsa şunlardır: iletim (conduction), konveksiyon ve ışıma (radyasyon). İletim yoluyla enerji aktarımı *normal* yıldızlarda çok sınırlıdır. Çünkü enerji taşıyan elektronlar başka bir parçacıkla çarpışana kadar bu enerjiyi kısa bir mesafe taşıyabilir. Bu yolla enerji aktarımı sadece sıkı (compact) cisimler için önemlidir. Örneğin beyaz cüceler ve nötron yıldızları gibi fotonun ortalama serbest yolunun son derece kısa olduğu ortamlar için.

Işıma (radyasyon) yoluyla enerji aktarımı yıldız içerisindeki sıcak bölgelerden salınan fotonun daha soğuk bölgelere etkin bir şekilde ilerlemesidir. Eğer yıldızın iç kısımlarından salınan enerji tamamen radyasyon yoluyla taşınırsa yıldızın ışıma dengesine sahip olduğu söylenir. Işıma sıcaklık gradyanı enerji akısına göre aşağıdaki gibidir (Karttunen ve ark., 2007):

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{3\kappa\rho}{16\sigma T^3} F_r. \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5 de κ saydamsızlık parametresi, σ Stefan-Boltzmann sabiti ve F_r enerji akısını gösterir. Sıcaklık gradyanının negatif olması sıcaklığın dış katmanlara doğru azaldığı anlamına gelir.

Işımayla enerji aktarımı verimsiz hale geldiğinde sıcaklık gradyanı çok daha keskin olacaktır. Bu noktada enerjiyi ışımadan daha verimli taşıyan konveksiyon başlar. Konveksiyonla aktarım şu şekildedir: ortamda bulunan sıcak gazın daha soğuk üst katmanlara hareket ederek enerjisini kaybedip tekrardan alt katmanlara batması olayıdır. Bu yolla ortamdaki madde karışır ve kimyasal olarak homojen bir ortam elde edilir. Işıma ve iletim yollarıyla sadece enerji taşındığı için ortamdaki materyal karışmaz.

Konvektif sıcaklık gradyanını incelemek için, konvektif hücreyi

gökyüzünde yükselen bir balon gibi düşünelim. Balonla birlikte hareket eden gazın da adyabatik işleme uyduğunu varsayalım. Bu durumda (Karttunen ve ark., 2007),

$$T \propto P^{1-\frac{1}{\gamma}}. \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.6'da γ adyabatik üstür. Bu sıcaklık ve basınç arasındaki ilişkinin türevini alarak konvektif sıcaklık gradyanına ulaşırız:

$$\frac{dT}{dr} = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T}{P} \frac{dP}{dr}. \quad (2.7)$$

Eşitlik 2.5 ve 2.7'de verilen sıcaklık gradyanlarından hangisi daha keskinse ilgili katmanda o eşitliğin rolü daha sınırlı kalıyor. Örneğin Güneş için, iç kısımlarda enerji foton yoluyla taşındığı için sıcaklık gradyanı eşitlik 2.5 ile temsil edilir. Daha üst katmanlara gidildikçe radyasyonla enerji aktarımı sırasında sıcaklık gradyanının mutlak değeri gittikçe artar. Yani üst katmanlara ışımaya daha az enerji taşır. Bu durumda radyatif sıcaklık gradyanının mutlak değeri adyabatik sıcaklık gradyanının değerinden daha keskin olacaktır. Artık devreye konvektif hareket girer ve enerji bu yolla üst katmanlara taşınır. Sıcaklık gradyanı da 2.7 denkleminde temsil edilir.

2.1.4 Isıl denge

Yıldız, sıcaklığı genel olarak değişmiyor ise ısıl dengede demektir. Yani özekte üretilen enerji yüzeye taşınarak ışımaya şeklinde salınır. Durumu daha iyi anlayabilmek için bir küre düşünelim. Bu kürenin r yarıçapında, dr kalınlığında ve dM_r kütlesinde bir kabuk parçası alalım. r yarıçapındaki yüzeyden geçen ışıma miktarı L_r olsun. Bu durumda,

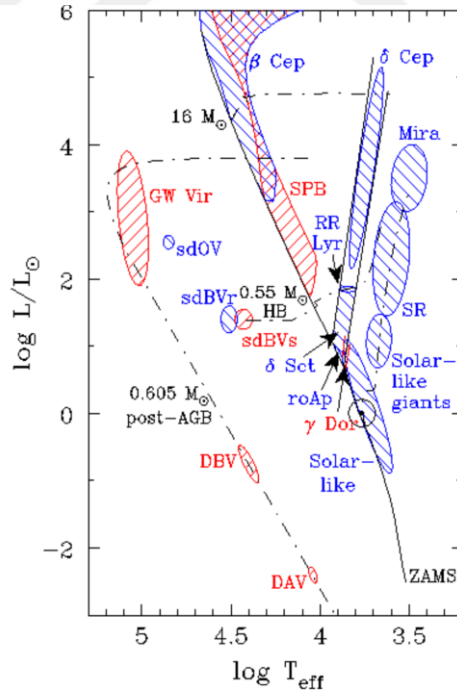
$$dL_r = L_{r+dr} - L_r = \varepsilon dM_r, \quad (2.8)$$

$$\frac{dL_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho \varepsilon, \quad (2.9)$$

olarak elde edilir. Eşitlik 2.8 ve 2.9 da yer alan ε bir gramda birim zamanda üretilen enerji miktarıdır. dL_r ise dM_r kütleli kabuk parçasında üretilen ışıma gücü miktarıdır. Yayılan enerjinin tamamı yıldızın özeğinde üretilir. Dış katmanlardaki enerji üretimi ihmal edilebilir (Karttunen ve ark., 2007).

2.2 Asterosismoloji

Yıldızlar yaşamları boyunca titreşim yapmaktadır. Şekil 2.1’de yıldızların yaptıkları titreşim türleri gösterilmektedir. HR diyagramında görüldüğü üzere yıldızlar birbirinden farklı kütleyle, iç yapıya ve evrim aşamasına sahip olsalar bile



Şekil 2.1: HR diyagramı üzerinde farklı türdeki zonklamalar gösterilmiştir. ZAMS = SYAK olarak gösterilen düz çizgi sıfır yaş anakolunu göstermektedir. Anakol, alt devler ve devler bölgesindeki yıldızlar güneş benzeri titreşim yapmaktadır (Di Mauro, 2016).

titreşim, zonklama yapmaktadır. Titreşim veya zonklamanın oluşması için yıldızın iç yapısına bağlı olarak farklı mekanizmalar çalışır. Dış katmaları ışıma dengesinde olan yıldızlarda zonklama mekanizması vana mekanizması olarak adlandırılır. Zarfı konvektif olan yıldızlarda ise mekanizma konvektif hücrelerin stokastik işlemlerine dayanmaktadır. Konvektif zarflı yıldızlar küçük genlikli güneş benzeri titreşimler üretirken, vana mekanizması ise, Cepheid yıldızlarında olduğu gibi, büyük genlikli zonklamaları oluşturur.

2.2.1 Vana mekanizması

Zarfı ışıma dengesinde olan bir yıldızda vana mekanizmasıyla üretilen zonklamalar görülür (Karttunen ve ark., 2007). Vana mekanizması yıldızın radyatif katmanında bulunan iyonların ve atomların enerji çıkışını engellemesi olayıdır. İyonun elektrona sahip olması daha geniş kesit alana sahip olmasına neden olur ve fotonun geçişi engellenir. Böylece üst katmanlara enerji aktarımı sınırlı kalır. Yukarıda bahsettiğimiz hidrostatik denge üst katmanlarda bozulmuş olur. Yani bu bölgenin üstünde bulunan katmanlarda kütle çekim kuvveti baskın gelerek büzülme başlar. Büzülme işlemi o katmandaki saydamsızlık azalana kadar devam edecektir. Bu işlem sırasında kaybedilen potansiyel enerji sayesinde ortamın sıcaklığı artar. Sıcaklığın artmasıyla atomlar uyartılmaya başlar. Uyartılan atomların kesit alanı daha büyük olacağı için enerji çıkışı hala sağlanamaz ve ortamın sıcaklığı artmaya devam eder. Atomlar iyonlaşmaya başladığı zaman kesit alanları küçülür ve bu durum saydamsızlığın azalmasına sebep olur. Saydamsızlık yeteri kadar azaldığı zaman içeride hapsolan enerji dışarıya çıkmaya başlar ve dış katmanlara giderken uyguladığı basınç ile yıldızı tekrardan şişirir. Yıldızın yarıçapının genişlemesi ve hapsolan enerjinin kaçmasıyla ortam soğumaya başlar. O bölgede bulunan iyonlar tekrardan elektron yakalayarak saydamsızlığın artmasına neden olur. Enerji tekrardan alt katmanda birikmeye başlar ve bu işlem kendini tekrarlayarak devam eder. Genelde büyük kütleli yıldızlarda görülen zonklama oluşumu böyledir.

2.2.2 Güneş benzeri titreşimler

Tez kapsamında ilgilendiğimiz yıldızlar güneş benzeri titreşim yapmaktadır.

Bu tür titreşimlerin, hem anakol evresinde hem de devler bölgesindeki yıldızlarda gözlenen bir titreşim türü olduğu Şekil 2.1’de görülüyor. Bu titreşimlerin oluşabilmesi için yıldızın konvektif dış katmana sahip olması gerekir. Titreşim genlikleri çok düşüktür. Örneğin güneşte $l=0$ moddaki frekansın genliği 18.7 ± 0.7 cm s^{-1} , $l=1$ modu için 25.2 ± 0.9 cm s^{-1} dir (Kjeldsen ve ark., 2008). Güneş yarıçapı ile kıyaslandığında bu değerler çok küçüktür. Fakat düşük genlikli bu titreşimler sayesinde yıldızın farklı katmanları hakkında bilgilere ulaşılır. Yani aynı bir geminin sonar ile deniz tabanını taraması gibi güneş benzeri titreşimler de yıldızın iç katmanlarını tarar. Bu titreşimler ses hızında (c_s) (Christensen-Dalsgaard, 2014),

$$c_s = \sqrt{\Gamma_1 \frac{p}{\rho}}, \quad (2.10)$$

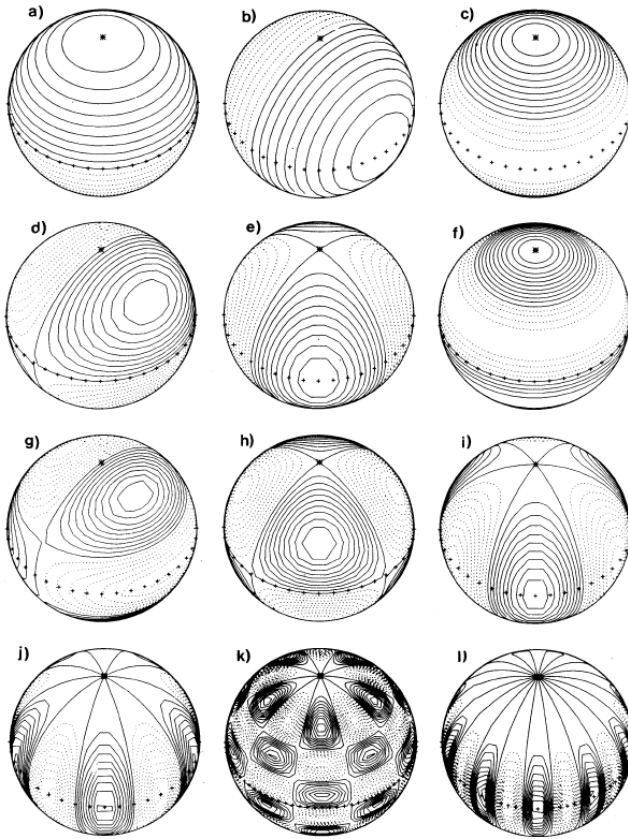
hareket eden ses dalgalarıdır. Bu eşitlikte Γ_1 birinci adyabatik üstür. (p/ρ) ise ideal gaz denkleminde $(T \mathcal{R}/\mu)$ ’ye eşittir. Denklemde (p/ρ) yerine $(T \mathcal{R}/\mu)$ yazılabilir:

$$c_s = \sqrt{\Gamma_1 \frac{\mathcal{R}}{\mu} T}. \quad (2.11)$$

Denklem (2.11)’de ses hızının sıcaklığa bağlı olduğu gibi birinci adyabatik üsse ve ortalama molekül ağırlığına (μ) da bağlı olduğu görülmektedir. Farklı katmanlar farklı sıcaklık ve μ değerlerine, dolayısıyla farklı ses hızına sahiptir. Yıldızın merkezine doğru gidildikçe sıcaklık arttığı için ses hızı da artacaktır. Bu ses hızındaki değişim radyal doğrultuda düğüm noktaları arasındaki mesafenin farklı oluşmasına sebep olur. Tek bir kipteki düğümler (nodes) arasındaki yer değiştirmelerin (displacements) frekansı aynı olduğundan, ses hızının yüksek olduğu bir bölgede düğümler arasındaki mesafe daha fazla olacaktır. Bu durum göz önüne alındığında özekten yüzeye doğru gidildikçe düğümler arasındaki mesafe azalır.

2.2.3 Kip (mode) ya da Kuantum sayıları

Yıldızlar değişik kiplerde zonklama yaparlar. Bunlar p ve g kipleri olarak adlandırılır. Bu kipler n , l ve m kuantum sayıları ile ifade edilir. n radyal doğrultudaki düğüm sayılarını temsil eder. l yıldızın yüzeyini bölen toplam dilim sayısını ve m ise dikey şekilde bölünmeyi temsil etmektedir. $l-m$ 'de yatay bölünmeyi verir. Şekil 2.2'de l ile m kuantum sayılarının yıldız yüzeyini nasıl böldüğü gösterilmiştir. Örneğin şekil 2.2 a'da $l = 1$ ve $m = 0$ 'dır. Bu durumda yüzey iki parçaya bölünür. Yarımkürelerden biri genişlerken diğeri büzülmemektedir. Şekil 2.2 h'de $l = 3$ ve $m = 2$ 'dir. l ve m sayılarına göre yüzeyde 2 dikey ve 1 yatay bölünme olacaktır. Yüzeydeki toplam parça sayısı ise 8'dir. Bu durumda yan yana olan parçalar birbirine zıt hareket eder.



Şekil 2.2 Farklı l ve m modlarının yıldız yüzeyini nasıl böldüğü gösterilmektedir. Genişleme hareketi kesintisiz çizgilerle ve büzülme hareketi de kesikli çizgiler ile gösterilmektedir. Noktalı çizgi ekvatoru temsil etmektedir. Yıldız $\theta = 0$ bakış doğrultusuna göre 45° eğimlidir ve tek bir noktayla gösterilmiştir. Durumların l ve m değerleri sırasıyla şunlardır: 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) $l = 10$, $m = 5$; l) $l = 10$, $m = 10$ (Christensen-Dalsgaard, 2014).

2.2.4 p ve g kipi

Bir yıldızın titreşim özellikleri temel iki frekansa göre belirlenir. Bunlar Lamb frekansı (S_l) ve Brunt-Vaisala frekansıdır (N). Lamb frekansının karesi (Christensen-Dalsgaard, 2014),

$$S_l^2 = (k_h c_s)^2 = \frac{l(l+1)}{r^2} c_s^2 \quad (2.12)$$

şeklinde verilir. k_h yatay dalga sayısını temsil eder. Brunt-Vaisala (yüzdürme) frekansının karesi (Christensen-Dalsgaard, 2014) ise

$$N^2 = g \left(\frac{1}{\Gamma_1} \frac{d \ln p}{dr} - \frac{d \ln \rho}{dr} \right) \quad (2.13)$$

biçiminde yazılabilir. Bu frekans biraz daha karmaşık olduğu için ortamın ideal gaz yasasına uyduğunu varsaydığımızda Brunt-Vaisala frekansı (Christensen-Dalsgaard, 2014),

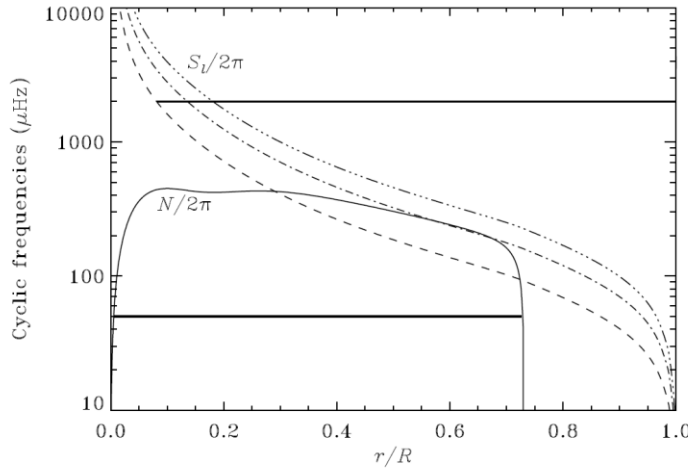
$$N^2 = g^2 \frac{\rho}{p} (\nabla_{ad} - \nabla + \nabla_\mu) \quad (2.14)$$

olarak elde edilir. Denklem 2.14'teki ortam, adyabatik ve ortalama molekül ağırlığı gradyanları, sırasıyla,

$$\nabla = \frac{d \ln T}{d \ln p}, \nabla_{ad} = \left(\frac{\partial \ln T}{\partial \ln p} \right)_{ad}, \nabla_\mu = \frac{d \ln \mu}{d \ln p}$$

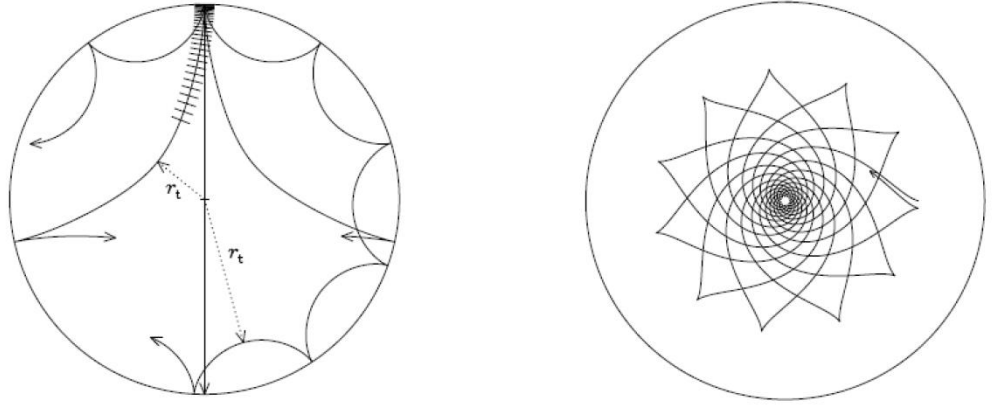
şeklinde tanımlıdır.

Kip türleri bu iki frekans kullanılarak belirlenir. Eğer frekans S_l ve N frekansından büyük ise geri çağırıcı kuvvet basınçtır ve zonklama p kipi olarak adlandırılır. Bu kipteki dalgalar akustik özelliğe sahiptir. Güneş benzeri titreşim yapan yıldızların yüzeyinde gözlenen titreşimler de bu kipe aittir. Bu dalgaların ne kadar derine daldığı l kuantum sayısına bağlıdır. Şekil 2.4'de p kipine ait dalganın nasıl tuzaklandığı ve döndüğü, derinliğe göre l değerinin nasıl değiştiği şematik olarak gösterilmiştir. Eğer dalga merkezden geçiyor ise $l = 0$ 'dır. l 'nin değeri arttıkça dalganın döndüğü nokta yüzeye yaklaşır. Bir diğer durum ise frekansın S_l ve N frekanslarından küçük olmasıdır. Bu durumda dalgalarının geri çağırıcı kuvveti yüzdürme kuvvetidir ve g kipi olarak adlandırılır. Güneş benzeri titreşim yapan yıldızlarda g kipine ait dalgalar yıldızın iç kısımlarında tuzaklandığı için yüzeyde gözlenmez. Bunun sebebi konvektif katmandır. Konvektif katman homojen bir ortam olduğu için $\nabla\mu = 0$ 'dır. Ayrıca yüzeye yakın bölge hariç ∇ neredeyse adyabatik değerdedir. Bunların sonucu olarak N frekansı sıfırın altına düşer. Negatif frekans olmadığı için bu bölgede g kipine ait dalgalar görülmez. Şekil 2.4 b'de bu kipteki dalgaların yıldız içerisinde nasıl tuzaklandığı gösterilmiştir. g kipine ait titreşimler beyaz cüce gibi sıkışık cisimlerde gözlenirler.



Şekil 2.3 Güneş modelinin karakteristik frekans döngü grafiğidir. Düz eğri $N/2\pi$ 'yi gösterir. Buradaki N yüzdürme frekansıdır. Kesikli, noktalı kesikli ve üç noktalı kesikli eğriler ise $S_l/2\pi$ 'yi temsil eder. Burada S_l Lamp frekansıdır. Bu eğriler sırasıyla $l=1,2$ ve 3 'ü göstermektedir. Düz çizgiler ise p kipi ($l=1$ için yüksek frekansta) ve g kipi (düşük frekansta) için tipik yayılma bölgelerini gösterir (Christensen-Dalsgaard, 2014).

Şekil 2.3'te standart bir güneş modeli için yayılım (propagation) diyagramı verilmiştir (Christensen-Dalsgaard, 2014). Kesikli, noktalı kesikli ve üç noktalı kesikli eğriler $l=1, 2, 3$ için Lamb frekansını, düz eğri ise Brunt-Vaisala frekansını temsil etmektedir. Üstteki yatay çizgi p kipinde $l=1$ 'deki yüksek frekanslı dalganın yayılım bölgesini gösterir. Altta yatay çizgi ise düşük frekanslı g kipine ait dalganın yayılım bölgesini temsil eder. p kipi yıldızın merkezinden yüzeyine kadar yayılabilirken g kipinin yayılım bölgesi ise merkez ile $\sim 0.7 R_{\odot}$ yarıçapı arasındadır.



Şekil 2.4 Sol tarafta (2.4 a) basınç (p) tarafından oluşturulan dalgaların tuzaklanma bölgeleri temsil edilmektedir. Merkezden geçen $l=0$ dalgasıdır. l değeri arttıkça dalga yüzeye yaklaşır. Sağ tarafta (2.4 b) g kipine ait dalgaların tuzaklanma bölgesi temsil edilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi g kipine ait dalgalar yıldızın içerisinde tuzaklanmaktadır (Di Mauro, 2016).

2.2.4.1 Karma kip

Karma kip yıldızın evrimleşmesi ile ortaya çıkar. Bu kipe ait titreşimlerin özelliği yüzeyde p kipi gibi davranırken özekte g özelliği göstermesidir. Anakol evriminin sonunda yıldız kütlelerinin önemli bir kısmı özekte toplanırken, kabuk yakmanın sonucunda dış katmanlar da genişler. Özekteki kütle çekim kuvvetinin artmasıyla g kipindeki titreşimlerin frekansı artar. Aynı zamanda, dış katmanların genişlemesiyle yıldızın yarıçapı büyür ve p kipindeki dalgaların yolu uzar. Bu durum p kipine ait dalgaların frekansının azalmasına neden olur. Anakol evresinde g kipinin frekansı p kipine göre daha düşükken artık yıldızın evrimleşmesiyle

birbirlerine yaklaşıp. Sonuç olarak evrimleşmiş yıldızlarda bu iki farklı kipe ait frekansların birbiriyle eşleşmesinden dolayı karma kip ortaya çıkar.

2.2.5 Güç tayfı

Güneş benzeri titreşimlerin etkisi tayf ve fotometrik gözlemlerde kendini gösterir. Tayfta yapılan gözlemlerde yıldızın bize doğru yaklaşan parçası maviye doğru kayarken bizden uzaklaşan kısmı kırmızıya kayar. Fotometride ise bu etki ışık şiddetindeki değişimdir. Fakat güneş benzeri titreşimlerin genlikleri çok küçük olduğu için belirlenmesi zordur. Hassas ölçüm yapan cihazlara ihtiyaç vardır. Güneş dışındaki diğer yıldızlar nokta kaynak olarak görülmektedir. Yıldızları disk şeklinde göremediğimiz için güneş benzeri titreşimlerin fotometrik yöntemle belirlenmesi için CoRoT, Kepler, TESS ve PLATO gibi uzay projeleri çok önemlidir. Yer konuşlu teleskoplar ise yıldızların tayfındaki değişimlerden güneş benzeri titreşimlerin saptanmasında yararlıdır. Örnek olarak, Şekil 2.5'deki tarak görüntüsünü andıran grafik güneşin güç tayfını göstermektedir.

2.2.6 Asterosismik Parametreler

Yıldızların M , R , T_{eff} ve yaş gibi temel parametreleri asterosismik parametreler kullanılarak çok hassas bir şekilde hesaplanmaktadır. Bu asterosismik parametreler şunlardır: küçük ayrılma, büyük ayrılma, maksimum genlik frekansı ve yeni referans frekansları olan minimumlar.

p kipindeki düşük l ve yüksek n değerlerine sahip olan titreşim frekansları (ν_{nl}) asimptotik ilişki ile iyi bir şekilde karakterize edilir (Tassoul, 1980):

$$\nu_{nl} = \left(n + \frac{l}{2} + \alpha_n \right) \Delta\nu. \quad (2.15)$$

$\Delta\nu$ komşu modlar arasındaki frekans farkının ortalamasıdır. α_n ise yüzey etkilerine bağlı bir faktördür. Eşitlik 2.15'te parantez içerisine 1 ekleyip çıkarttığımız zaman,

$$\nu_{nl} = \left(n - 1 + \frac{l+2}{2} + \alpha_n \right) \Delta\nu = \nu_{n-1,l+2}, \quad (2.16)$$

ν_{nl} ve $\nu_{n-1,l+2}$ frekansları birbirine eşit çıkmaktadır. Yıldızda bu n ve l koşuluna uygun gözlem frekanslarına bakıldığında değerler birbirine çok yakındır. Bu frekanslar arasındaki fark, titreşim frekansları arasındaki küçük ayrılma ($\delta\nu$) olarak adlandırılır (Christensen-Dalsgaard, 1988):

$$\delta\nu \cong \nu_{nl} - \nu_{n-1,l+2}. \quad (2.17)$$

Bu asterosismik parametre anakol yıldızları için çok iyi bir yaş belirteçidir. Yıldızın yaşını belirlemek için l sayısı 0 ve 2 olan p kipindeki frekanslar kullanılır. Çünkü bu iki moda ait dalgalar özeğin yapısına çok duyarlıdır. $l=0$ 'a ait dalga özekten geçerken, $l=2$ 'ye ait dalga nükleer özeğin dış sınırı civarından dönmektedir. Anakol evresindeki yıldız özeğinde hidrojeni nükleer tepkimeler ile helyuma dönüştürür. Bu dönüşüm sırasında özekteki ortalama molekül ağırlığı değişir. Eşitlik 2.11'de ses hızının μ 'ye bağlı olduğu gösterilmişti. Bu durumda ses dalgalarının hızı değişir ve iki frekans arasındaki fark yıldız anakolda evrimleştikçe azalır. Güneş için $\delta\nu$ değeri $\sim 9.8 \mu\text{Hz}$ 'dir (Chaplin ve ark1999). Ortalama olarak yıldız anakol evresine başladığında $\delta\nu$ değeri $\sim 15 \mu\text{Hz}$ iken anakoldan ayrılırken bu değer $\sim 5 \mu\text{Hz}$ ' e kadar düşmektedir. Sınır değerlerine baktığımız zaman güneşin ömrünü yarılacağı burada da açıkça görülmektedir.

Yukarıda değindiğimiz büyük ayrılma ise, nl kipi ile l 'si aynı n 'si ise 1 eksik olan kipi frekansları arasındaki fark,

$$\Delta\nu = \nu_{nl} - \nu_{n-1,l}, \quad (2.18)$$

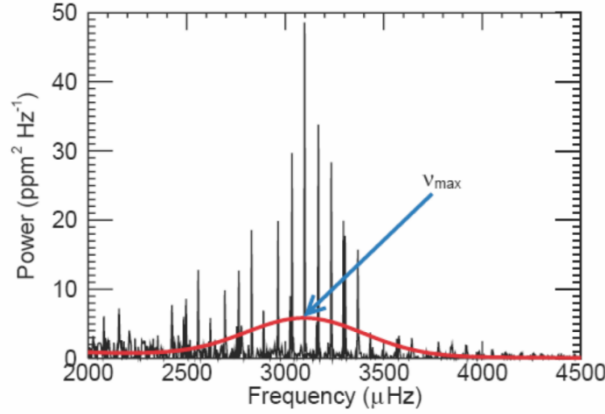
olarak tanımlanır. Bu asterosismik parametrenin ses hızıyla olan ilişkisi şu şekildedir:

$$\Delta\nu = \left(2 \int_0^r \frac{dr}{c}\right)^{-1}. \quad (2.19)$$

Bu parametre yıldızın ortalama yoğunluğunun kareköküyle doğru orantılıdır (Ulrich, 1986);

$$\frac{\langle\Delta\nu\rangle}{\langle\Delta\nu_{\odot}\rangle} = \left(\frac{\bar{\rho}}{\bar{\rho}_{\odot}}\right)^{0.5} = \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^{0.5} \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^{-1.5}. \quad (2.20)$$

Eşitlikte $\bar{\rho}$ yıldızın ortalama yoğunluğunu temsil eder. Yıldızın evrimleşmesiyle $\Delta\nu$ değeri azalır. Güneşin büyük ayrılma değeri ise $\sim 135 \mu\text{Hz}$ 'dir (Chaplin ve ark1999).

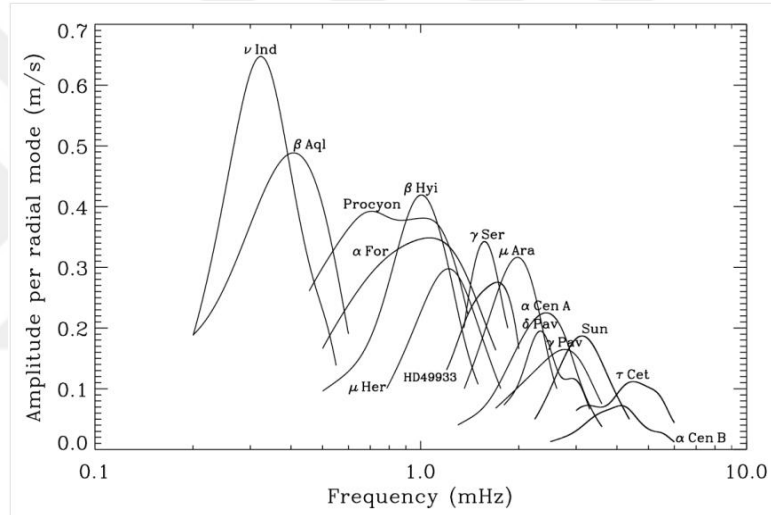


Şekil 2.5 Güneşe ait güç tayfıdır. Kırmızı çizgi ile gösterilen eğri güç tayfını temsil eden Gauss eğrisidir. Eğrinin maksimum olduğu nokta maksimum genlik frekansını göstermektedir (Chaplin ve ark., 2011).

Maksimum genlik frekansı (v_{\max}), güç tayfını en iyi şekilde temsil eden Gauss eğrisi ile belirlenir. Eğrinin maksimum yaptığı tepe noktasından indirilen dikmenin gösterdiği frekans değeri v_{\max} 'ı verir. Şekil 2.5'te güneşin güç tayfında v_{\max} değerinin nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Bu asterosimik parametre yıldızın kütle çekim ivmesi ve etkin sıcaklığına bağlıdır (Brown ve ark., 1991):

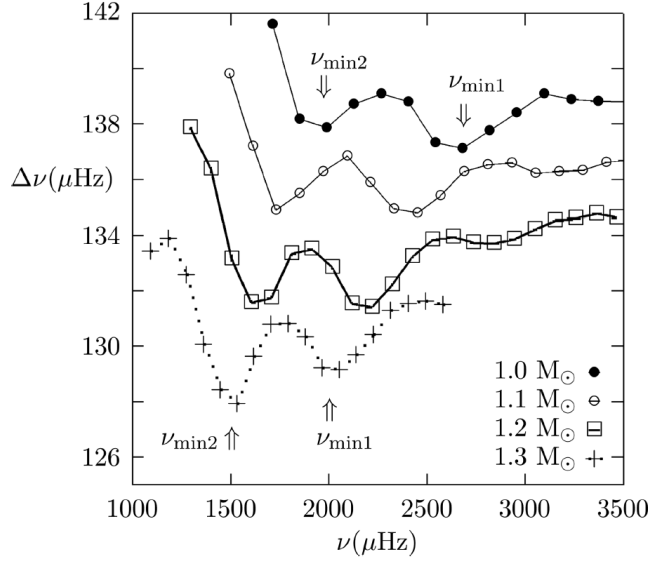
$$\frac{v_{max}}{v_{max\odot}} = \frac{g}{g_{\odot}} \left(\frac{T_{eff}}{T_{eff\odot}} \right)^{-0.5} \quad (2.21)$$

Maksimum genlik frekansının bazı durumlarda belirlenmesi zordur ve belirsizliği fazladır. Özellikle sıcak yıldızlarda gauss eğrisi çift tepeli olarak elde edilebilir. Şekil 2.6'da Güneş, Öncü (Procyon) ve başka yıldızlar için frekans-genlik grafiği verilmiştir. Görüldüğü gibi bazı yıldızlarda temsili gauss eğrisi v_{max} değerini net bir şekilde gösterirken, Öncü gibi yıldızlarda eğri çift tepeli olarak çıkmaktadır. Bu da maksimum genlik frekansının hangisi olduğuna karar vermemizi zorlaştırır.



Şekil 2.6 Procyon, güneş ve başka yıldızların temsili gauss eğrileri gösterilmektedir (Arentoft ve ark., 2008).

Bu nedenle, Yıldız ve ark. (2014) v_{max} yerine kullanılabilir yeni bir referans frekansı keşfettiler. $\Delta v - \nu$ grafiğine bakıldığında minimum değerler (v_{min}) olduğu görülmüştür. Bu minimumlar aslında yıldızın He II iyonlaşma bölgesinin kusurlarıdır (glitches). v_{min} değerleri yıldızın M , ağır element bolluğu (Z) ve T_{eff} gibi temel parametrelerine bağlı olarak değişir. Şekil 2.7'te kütle değişikçe minimumların nasıl kaydığı görülmektedir. Modellerin hepsinde merkezdeki hidrojen bolluğu eşittir ($X_C=0.35$). Yüksek frekansta görülen minimum v_{min1} ve düşük frekansta görülen minimum v_{min2} olarak adlandırılmıştır. Kare ile temsil edilen $1.2 M_{\odot}$ kütleli modelin v_{min1} frekansının sağ yanında v_{min0} frekansı da



Şekil 2.7:1.0-1.3 kütle aralığında olan modellerin $l=0$ frekansları kullanılarak $\Delta\nu - \nu$ grafiği oluşturulmuş. Grafikte ν_{\min} değerlerinin nasıl değiştiği gösterilmiştir. Bütün modellerin X_C değeri 0.35 'tir (Yıldız ve ark., 2014).

görülmektedir. Değişim $\nu_{\min 0}$ civarında sığ olduğu için diğer minimumlara kıyasla belirlenmesi biraz daha zordur. Grafikte görüldüğü üzere kütle artmasıyla minimum değerler daha düşük frekanslara kaymaktadır. Sadece kütle ile değil diğer yıldız parametrelerine bağlı olarak da minimumlar yer değiştirmektedir.

2.2.7 Ölçek İlişkisi

Yıldızın frekanslarından elde edilen asterosismik parametrelerle yıldızın temel parametreleri hesaplanabilir. Özellikle güneş benzeri titreşim yapan yıldızlarda frekanslardan elde edilen $\Delta\nu$ ve ν_{\max} kullanılmaktadır. Gözlem verileri kaliteli olmayan yıldızlarda tek tek bireysel frekanslar elde edilemese bile $\Delta\nu$ ve ν_{\max} değerlerine ulaşılabilir. Bu iki ana parametreyle birlikte tayftan ya da renkten yıldızın T_{eff} 'i biliniyorsa M , R , ρ ve g 'nin doğrudan tahmini yapılabilir. Eşitlik 2.20 ve 2.21'de ρ ve g 'nin $\Delta\nu$, ν_{\max} ve T_{eff} ile olan ilişkisi verilmiştir. Kjeldsen ve Bedding (1995) kütle ve yarıçap için ölçek ilişkisini (scaling relation) türetmiştir:

$$\frac{M}{M_{\odot}} \cong \left(\frac{\nu_{\max}}{\nu_{\max\odot}} \right)^3 \left(\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_{\odot}} \right)^{-4} \left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}\odot}} \right)^{1.5}, \quad (2.22)$$

$$\frac{R}{R_{\odot}} \cong \left(\frac{v_{max}}{v_{max\odot}} \right) \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}} \right)^{-2} \left(\frac{T_{eff}}{T_{eff\odot}} \right)^{0.5}. \quad (2.23)$$

Burada kullanılan güneş değerleri şöyledir: $v_{max\odot} = 3050 \mu Hz$, $\Delta v_{\odot} = 135 \mu Hz$ ve $T_{eff\odot} = 5777 K$ 'dir. Bu eşitlikler kullanılarak güneş benzeri titreşim yapan yıldızların kütle ve yarıçapı duyarlı bir şekilde hesaplanabilir. Burada kütle ve yarıçapın hassasiyeti T_{eff} , Δv ve v_{max} değerlerine bağlıdır. Bir önceki bölümde maksimum genlik frekansının belirlenmesinin zor ve belirsizliğinin yüksek olduğundan bahsetmiştik. Bu yüzden literatürde farklı asterosismik parametreler kullanılarak değişik ölçek ilişkileri türetilmiştir.

2.2.7.1 Klasik ölçek ilişkilerinde iyileştirmeler

Daha iyi kütle ve yarıçap hesabı yapabilmek için bazı araştırma grupları ölçek ilişkisini geliştirilmiştir (White ve ark., 2011; Mosser ve ark., 2013; Sharma ve ark., 2016; Guggenberger ve ark. 2016; Yıldız ve ark. 2016). Güneş benzeri titreşim yapan yıldızlarda Γ_{1s} ve μ değerleri sabit olarak kabul ediliyordu. Yıldız ve ark. 2016'da yaptıkları çalışmada bu tür titreşim yapan yıldızların hepsinde Γ_{1s} 'in sabit olarak alınamayacağını göstermiştir. 5200 ile 5800 K arasında kalan yıldızlarda Γ_{1s} yaklaşık olarak aynı değere sahiptir ve bu bölgedeki yıldızlar klasik ölçek ilişkisiyle iyi bir şekilde temsil etmektedir. Fakat bu aralık dışında kalan yıldızlarda Γ_{1s} 'in değeri değişmektedir. Bu değişmeden dolayı klasik ölçek ilişkisindeki belirsizlik artmaktadır. İlişkide Γ_{1s} etkisini de göz önünde bulundurarak daha duyarlı bir ölçek ilişkisi geliştirilmiştir. Γ_{1s} 'in Δv ile ilişkisi,

$$\frac{\Delta v / \Delta v_{\odot}}{(\rho / \rho_{\odot})^{0.5}} = f_{\Delta v} = 0.430 \frac{\Gamma_{1s}}{\Gamma_{1s\odot}} + 0.570 \quad (2.26)$$

şeklindedir (Yıldız ve ark., 2016). Bu durumda ölçek ilişkisi,

$$\frac{M}{M_{\odot}} \cong \left(\frac{v_{max}}{v_{max\odot}} \right)^3 \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}} \right)^{-4} \left(\frac{T_{eff} \Gamma_{1s\odot}}{T_{eff\odot} \Gamma_{1s}} \right)^{1.5} f_{\Delta v}^4, \quad (2.27)$$

$$\frac{R}{R_{\odot}} \cong \left(\frac{v_{max}}{v_{max\odot}} \right) \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}} \right)^{-2} \left(\frac{T_{eff} \Gamma_{1s\odot}}{T_{eff\odot} \Gamma_{1s}} \right)^{0.5} f_{\Delta v}^2. \quad (2.28)$$

bu şekilde iyileştirilmiştir (Yıldız ve ark., 2016).

2.2.7.2 Alternatif ölçek ilişkileri

Yıldız ve ark.(2014) v_{max} yerine daha duyarlı olan minimum frekansları keşfetti. Bu yeni parametreleri kullanarak daha duyarlı kütle ve yarıçap hesabı yapabilmek için klasik ölçek ilişkisine alternatif olarak yeni bir ölçek ilişkisi sundular. Klasik ölçek ilişkisindeki v_{max} yerine v_{min1} kullanılarak alternatif ölçek ilişkileri elde edildi (Yıldız ve ark., 2014). Daha sonrasında MESA evrim kodu kullanarak yapılan modellerden yeni ölçek ilişkisi türetilmiştir (Yıldız ve ark., 2019):

$$\frac{M}{M_{\odot}} \approx \left(\frac{v_{min1}}{v_{min1\odot}} \right)^{0.892} \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}} \right)^{2.42}, \quad (2.29)$$

$$\frac{R}{R_{\odot}} \approx \left(\frac{v_{min1}}{v_{min1\odot}} \right)^{0.156} \left(\frac{\Delta v}{\Delta v_{\odot}} \right)^{0.92}. \quad (2.30)$$

3 SEÇİLMİŞ TESS HEDEF YILDIZLARININ ASTEROSİSMİK OLMAYAN GÖZLEM ÖZELLİKLERİ

Tez kapsamında incelenen yıldızlar TESS uydusunun hedef yıldız listesinden seçildi. TESS uydusu Nisan 2018'de fırlatılmış, öncelikli görevi gezegen keşfi olan bir gözlem uydusudur. Barınak yıldızların önünden geçen gezegenleri keşfetmek için gereken şey yıldızın yüksek duyarlıklı ışık değişiminin kaydedilmesidir. Bu değişimler yıldızların asterosismik özelliklerinin keşfi için de çok uygundur. Bu yüzden TESS misyonu kapsamındaki TESS Asterosismik Bilim Konsorsiyumu (TESS Asteroseismic Science Consortium - TASC) tarafından farklı çalışma grupları oluşturulmuştur. Bizim esas olarak ilgilendiğimiz çalışma grupları WG1, WG2 ve WG7'dir. Bu gruplarda incelenecek yıldızlar sırasıyla şu özelliklere sahiptir; öte gezegene sahip yıldızlar, güneş benzeri titreşim yapan yıldızlar, kırmızı devler. Tez çalışması içerisinde bu konsorsiyum tarafından hazırlanan TESS Sürüm (Version) 6 hedef yıldız listesindeki ilk 50 yıldız seçildi. Belirlenen bu hedef yıldızlar için hem literatürde hem de SIMBAD veri tabanında tarama yapıldı. Fotometrik ve tayf gözlem verileri yani parlaklık (V), paralaks (π), metal bolluğu ($[Fe/H]$), kütle çekim ivmesi ($\log g$) ve tayfsal etkin sıcaklık (T_{eff}) verileri eksiksiz olan yıldızlar belirlendi. İlk 50 yıldız içerisinde bu parametrelerin hepsine sahip olan 23 yıldız bulundu.

Belirlenen yıldızların SIMBAD veri tabanından alınan V parlaklık değerleri Tablo 3.1'de dördüncü sütunda yer almaktadır. İncelenen yıldızlar parlak yıldızlardır, $V = 2.68 - 7.36$ kadir aralığında değişmektedir. Parlak yıldızların seçilmiş olmasının sebebi TESS uydusu tarafından gözlenecek olan yıldızların aynı zamanda yer konuşlu teleskoplar ile de gözlenebilmesi içindir. Tabloda ikinci sütunda yıldızların uzaklık değeri yer almaktadır. İncelenen yıldızlar Güneş komşuluğundaki yakın yıldızlardır. 23 yıldızın 12'sinin paralaksı *Gaia* veri salımı 1 (DR1)'de verilirken, *Gaia* veri salımı 2 (DR2)'de ise 21 yıldızın paralaksı (*Gaia* Collaboration, 2018) verisi mevcuttur. *Hipparcos* (van Leeuwen, 2007) verilerinde ise 23 yıldızın da paralaksı bulunmaktadır. Bu durumda 21 yıldız için *Gaia DR2* uzaklık değeri kullanılırken geriye kalan 2 yıldız için *Hipparcos* uydusu tarafından belirlenen değerler kullanıldı. Bu 23 yıldız içerisinde bize en yakın olan yıldız 9 pc ötemizdeyken, en uzak yıldız ise 83 pc uzaklıktadır.

Tayf verilerinden elde edilen $[Fe/H]$ parametresi -0.48 ile 0.33 arasında değişmektedir. Tablo 3.1'in dördüncü sütununda bu parametre verilmiştir. İncelenen yıldızlar arasında metalce fakir yıldızlar olduğu gibi metalce zengin yıldızlar da var. Tayf verilerinden elde edilen bir diğer parametre ise tayfsal etkin sıcaklıktır (T_S). İncelediğimiz yıldızların tayfsal etkin sıcaklıkları 4750 – 6047 K aralığındadır. Tayftan elde edilen bir diğer parametre ise kütle çekim ivmesidir ($\log g$) ve 3.30 – 3.86 aralığında değişim göstermektedir. $\log g$ parametrelerine göre, bütün yıldızların anakolu terk ettiği söylenebilir. İy yapı modelleri yapıldığında anakolu terk etmiş olan 23 yıldızdan bazılarının kırmızı dev kolunu tırmanırken geriye kalanların ise anakolu henüz terk ettiği saptandı.

Bu gözlem verileri kullanılarak yıldızlara ait tahmini kütle (M), yarıçap (R) ve ağır element bolluğu (Z) hesabı yapılmaktadır. Kütle hesabı yapılırken şöyle bir yol izliyoruz; SIMBAD veri tabanından alınan görsel parlaklık (V) ile *Gaia* ve *Hipparcos* veri tabanından alınan paralakstan elde edilen uzaklık değeri kullanılarak yıldızın salt parlaklığına (M_V) ulaşılır. Bolometrik düzeltme ve renk- T_{eff} tabloları (Lejeune ve ark., 1998) kullanılarak da M_V parlaklığından bolometrik parlaklık (M_{bol}) elde edilir. Tablodan elde edilen bolometrik parlaklıktan da yıldızın ışım gücü (L) hesaplanır. Işım gücü bağıntısında ($L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$) hesaplanan L ile tayftan veya renkten elde edilen etkin sıcaklık kullanılarak yıldızın yarıçapına ulaşılır. Tayf $\log g$ 'si ve yarıçap kullanılarak yıldızın kütlesi ($M_{\text{FT}\pi}$) hesaplanır. $M_{\text{FT}\pi}$ 'nin alt indisi ' $FT\pi$ ' fotometri, tayf ve paralaksı (π) temsil etmektedir. Bu yolla hesaplanan kütlenin değeri birçok gözlemsel parametreye bağlıdır. Bu yüzden duyarlı bir kütle hesabı yapılabilmesi için gözlemden elde edilen verilerin oldukça hassas ölçülmesi gerekir. Bu parametrelerden bir tanesi de Z 'dir. Tayf gözleminden elde edilen $[Fe/H]$ parametresi kullanılarak, $Z_* = 10^{[Fe/H]} Z_{\odot}$ eşitliğinden ağır element bolluğu hesaplanır. Eşitlikte Z_{\odot} güneşin ağır element bolluğunu temsil etmektedir. Bu değer 0.0134'tür.

Tablo 3.1 Tabloda 23 yıldızın fotometrik ve tayfsal parametreleri ile bu parametrelerden hesaplanan R ve L değerleri vardır. İlk sütunda yıldızların TIC numaraları bulunmaktadır. Diğer sütunlarda sırasıyla uzaklık (d), görsel parlaklık (V), demir bolluğu ($[Fe/H]$), tayfsal etkin sıcaklık (T_{eff}), kütle çekim ivmesi ($\log g$), yarıçap (R) ve ışıma-gücü (L) vardır.

TIC	d (pc)	V (mag)	$[Fe/H]$ (dex)	T_{eff} (K)	$\log g$	R (R_{\odot})	L (L_{\odot})
38511251	9.11 ± 0.03	3.54 ± 0.01	0.09 ± 0.05	5012 ± 77	3.74 ± 0.15	2.38 ± 0.08	3.20 ± 0.05
38732418	74.22 ± 0.53	7.12 ± 0.01	0.12 ± 0.12	4750 ± 52	3.20 ± 0.10	4.35 ± 0.11	8.64 ± 0.21
43255143	10.77 ± 0.05	2.80 ± 0.01	0.02 ± 0.05	5766 ± 60	3.71 ± 0.02	2.77 ± 0.06	7.63 ± 0.14
51002411	64.34 ± 0.19	7.13 ± 0.01	0.20 ± 0.09	4980 ± 52	3.35 ± 0.10	3.27 ± 0.07	5.91 ± 0.09
72651515	58.73 ± 0.12	7.06 ± 0.01	0.14 ± 0.09	4930 ± 52	3.30 ± 0.10	3.17 ± 0.07	5.34 ± 0.07
96290130	60.97 ± 0.14	6.72 ± 0.01	-0.26 ± 0.05	5059 ± 12	3.43 ± 0.04	3.59 ± 0.03	7.58 ± 0.11
123699670	22.62 ± 0.15	5.04 ± 0.01	-0.06 ± 0.06	5365 ± 52	3.70 ± 0.10	2.49 ± 0.06	4.61 ± 0.10
141201954	56.95 ± 0.13	6.64 ± 0.01	-0.48 ± 0.06	4955 ± 55	3.52 ± 0.09	3.69 ± 0.09	7.35 ± 0.10
180284425	36.43 ± 0.09	6.35 ± 0.01	0.29 ± 0.13	4880 ± 52	3.35 ± 0.10	2.82 ± 0.06	4.04 ± 0.06
189839944	76.08 ± 0.32	7.36 ± 0.01	0.13 ± 0.05	5060 ± 92	3.45 ± 0.11	3.33 ± 0.12	6.51 ± 0.12
241257122	37.17 ± 0.05	6.22 ± 0.01	-0.06 ± 0.07	4972 ± 29	3.86 ± 0.05	2.90 ± 0.04	4.60 ± 0.06
258783220	56.70 ± 0.18	6.18 ± 0.01	-0.12 ± 0.06	5420 ± 52	3.53 ± 0.22	3.61 ± 0.07	10.10 ± 0.16
275371234	40.96 ± 0.06	6.57 ± 0.01	0.33 ± 0.05	4969 ± 92	3.60 ± 0.11	2.72 ± 0.10	4.06 ± 0.05
277548101	29.74 ± 0.07	5.94 ± 0.01	0.25 ± 0.15	4937 ± 150	3.62 ± 0.15	2.69 ± 0.16	3.85 ± 0.05
282254078	30.43 ± 0.15	5.05 ± 0.01	-0.04 ± 0.05	5639 ± 20	3.74 ± 0.03	2.94 ± 0.04	7.85 ± 0.15
287096308	66.03 ± 0.16	7.07 ± 0.01	0.18 ± 0.06	4786 ± 52	3.32 ± 0.25	3.89 ± 0.09	7.12 ± 0.10
287222433	54.52 ± 0.11	6.92 ± 0.01	-0.04 ± 0.06	4950 ± 52	3.37 ± 0.10	3.11 ± 0.07	5.20 ± 0.07
288183829	43.97 ± 0.19	5.64 ± 0.01	-0.34 ± 0.06	5532 ± 52	3.56 ± 0.10	3.42 ± 0.07	9.83 ± 0.18
355325110	59.94 ± 0.15	6.91 ± 0.01	-0.08 ± 0.05	4999 ± 15	3.61 ± 0.05	3.34 ± 0.03	6.25 ± 0.09
367758676	11.56 ± 0.16	2.68 ± 0.01	0.26 ± 0.10	6047 ± 62	3.78 ± 0.03	2.77 ± 0.08	9.19 ± 0.34
375621179	13.44 ± 0.06	3.71 ± 0.01	-0.19 ± 0.05	5062 ± 57	3.54 ± 0.14	3.15 ± 0.08	5.86 ± 0.11
413853880	71.80 ± 0.31	6.89 ± 0.01	0.03 ± 0.05	4962 ± 45	3.39 ± 0.12	4.11 ± 0.08	9.20 ± 0.16
414783388	83.90 ± 0.42	7.25 ± 0.01	0.08 ± 0.05	5024 ± 10	3.58 ± 0.03	3.93 ± 0.04	8.85 ± 0.17

4 İÇ YAPI MODEL VE ANALİZLERİ

Bir önceki bölümde bahsedilen yöntemle hesaplanan kütle üzerinde birçok parametrenin etkisi vardır. Bu parametreler ne kadar hassas belirlenirse hesaplanan kütle için duyarlılığı da o kadar artar. Böylece iç yapı modelleri yaparken hesaplanan bu kütle ile yıldız için iyi bir yaş tahmini yapılmış olur. Yapılan hesaplardan elde edilen parametreler ile MESA evrim kodunu kullanarak yıldız iç yapı modelleri yapılmıştır. İç yapı modellerinin adyabatik titreşim frekansları ADIPLS paketi kullanılarak hesaplanmıştır.

4.1 MESA Kodu

MESA, Paxton ve ark. (2011; 2013) tarafından geliştirilen ve sürekli iyileştirilen bir evrim kodudur. Bu çalışmada yıldızların iç yapı modelleri için MESA evrim koduna ait sürüm 10000 kullanılmıştır. Yıldız iç yapı modelini yaparken kodun içinde bulunan star paketi seçilmiştir. Modeller yapılırken dönme ve difüzyon işlemleri dahil edilmemiştir. Ancak Güneş iç yapı modeli için, difüzyon hesaba katılmıştır. İçyapı modellerinin girdi (input) parametreleri şunlardır; kütle, ağır element bolluğu, helyum bolluğu ve konvektif parametre. Bu girdi parametreleri kullanılarak HR diyagramında gözlem verilerine en uygun iç yapı modeli elde edildikten sonra model ile birlikte FGONG çıktı dosyası üretilir. Bu dosya MESA kodu içerisinde bulunan ADIPLS paketi (Christensen-Dalsgaard, 2008b) kullanılarak yıldızın adyabatik titreşim frekansları hesaplanır. MESA'nın bu sürümü için güneş kalibrasyonundan elde edilen parametreler $Z=0.0172$, $Y=0.27944$ ve $\alpha=2.160$ 'tır.

4.2 Güneş

İçinde yaşadığımız doğanın ve canlıların varlığını devam ettirebilmesi için Güneş çok önemli bir kaynaktır. Diğer yıldızlara kıyasla bize (Yer) en yakın yıldız olması gelen ışığın yıldızlararası ortamda bulunan gaz ve tozdan etkilenmeden ulaşmasını sağlar. Bu sayede kaliteli veriler elde edilir. Buna istinaden güneşin temel parametrelerini öğrenmek, evrim ve iç yapısını iyi bir şekilde kavrayabiliriz. Ancak hala tam olarak anlayamadığımız bazı problemler vardır. Güneşi daha iyi

anlayabilmek, problemleri görebilmek için farklı ağır element bolluklarında (Z) MESA evrim kodunu kullanarak Güneş modelleri yapıldı. Yapılan modellerden elde edilen parametreler (konvektif katman taban yarıçapı, yüzeydeki element bollukları, ses hızı, vb.) ile gözlemlerden elde edilen parametreleri karşılaştırdık. Daha sonrasında modellerin frekansları hesaplandı. Model ve gözlem frekanslarından küçük ve büyük ayrılma değerleri elde edildi. Yapılan bu karşılaştırmalar sayesinde Güneş'in iç yapısını daha iyi bir şekilde kavrama fırsatı elde edilmiştir. Güneş için iki farklı Z bolluğunda model yapıp hangisinin gözlemlerden elde edilen veriler ile daha uyumlu olduğunu görmeye çalıştık. Bu iki modelde başlangıç Z değerleri 0.0172 ile 0.0150 olarak alındı. Y ve α değerlerini değiştirerek modeller kalibre edildi.

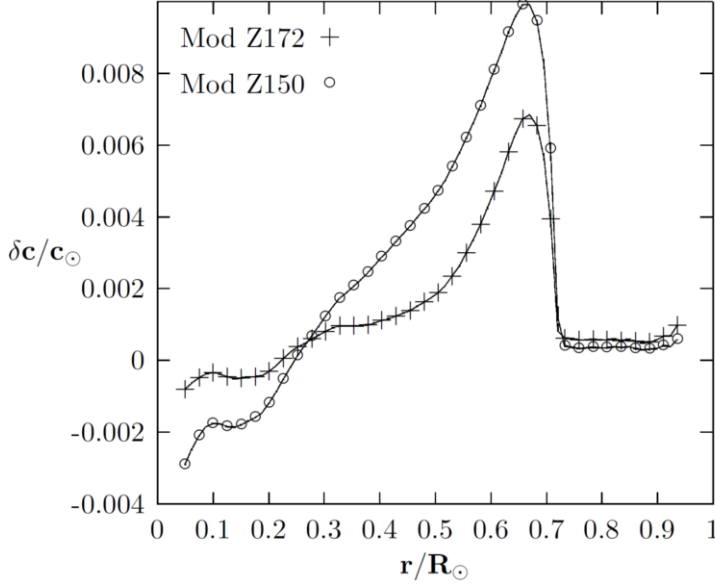
4.2.1 Güneş yüzeyindeki element bollukları ve ses hızı

Güneş'i daha iyi temsil eden bir model yapabilmek için farklı metal bolluklarında modeller yaptık. Bu modelleri yaparken de gözlem verilerinden elde edilen helyum ve metal bolluklarını göz önünde bulundurarak ilerledik. Güneş yüzey helyum bolluğunun gözlemsel değeri Basu ve Antia (1995)'nin çalışmasından, metal bolluğunun değeri de Asplund ve ark. (2009) çalışmasından alındı. Gözlem verileri Tablo 4.1'de 3. satırda yer almaktadır.

Tablo 4.1: Tabloda güneş modellerinin başlangıç ve yüzey element bollukları yer almaktadır. Son satırda gözlemden elde edilen değerler vardır.

Model	X_0	Y_0	Z_0	X_s	Y_s	Z_s
Mod Z172	0.7034	0.2794	0.0172	0.7328	0.2515	0.0157
Mod Z150	0.7178	0.2672	0.0150	0.7486	0.2395	0.0137
Gözlem	-	-	-	0.7366	0.25	0.0134

İlk yaptığımız modelde (Mod Z172) başlangıç Z değeri 0.0172'dir. Model kalibre edildikten sonra gözlemlerden elde edilen veriler ile karşılaştırıldı. Model ve gözlem verilerinde yüzey helyum (Y_s) bolluğu uyumlu sonuç verirken yüzey



Şekil 4.1 Model ve gözlemden elde edilen ses hızı farkının görel yarıçapa göre değişimi görülmektedir. İçi boş daire ile temsil edilen eğri Mod Z150, artı ile temsil edilen eğri ise Mod Z172'yi temsil etmektedir.

metal (Z_S) bollukları arasında 0.0023 kadar fark görüldü. Z_0 değerini azaltarak bu farkı ortadan kaldırıp model ve gözlemi uyumlu hale getirmeyi denedik. Beklendiği gibi Mod Z150 de Z_S değeri gözlem ile daha uyumlu sonuç vermiştir. Modelin Z_S değeri 0.0137 olarak elde edildi ve farkın 0.0003'e düştüğü görüldü. Ancak bu sefer de başka uyumsuzluklarla karşılaşıldı. Bunlardan ilki Z_0 azaldıkça sadece Z_S değil aynı zamanda Y_S de azalmaktadır. Yani gözlem ile modelde, Z_S için uyum yakalanırken Y_S için yakalanan uyum bozulmuştur.

Başlangıç Y ve Z değerlerinin değişmesi sadece yüzeyde gözlediğimiz helyum ve metal bolluğunu değil aynı zamanda yıldızın içerisindeki ses hızını da etkilemektedir. Şekil 4.1'e baktığımızda modelden elde edilen ses hızı ile gözlemlerden elde edilen ses hızı farkını görmekteyiz. Grafikte görel yarıçapa karşı ses hızı farkı çizdirilmiştir. Üstten geçen eğri (içi boş daire ile temsil edilen) Mod Z150'ye, alttan geçen eğri ise (artı ile temsil edilen) Mod Z172'ye aittir. Burada ses hızının ağır metal bolluğuna nasıl duyarlı olduğunu görüyoruz. $r/R_⊙ \approx 0.7$ civarında ses hızı farkı iki modelde de maksimum değerine ulaşmıştır. Bu bölge konvektif katmanın tabanı yani radyatif katmandan konvektif katmana geçişin olduğu bölgedir ve geçiş bölgesi (tachocline) olarak adlandırılır. Model ile bu bölgedeki ses hızı iyi bir şekilde temsil edilememektedir. Mod Z150 de o bölgedeki ses hızı farkı yaklaşık olarak 0.01 iken, Z_0 'ın artması ile bu fark 0.007

civarına kadar düşmüştür. Burada gözlem ile uyum elde edebilmek için başlangıç metal bolluğunun artırılması gerektiği görülmektedir.

Modelleri yaparken göz önüne aldığımız bir diğer nokta ise konvektif katman taban yarıçapıdır (r_{KKT}). Basu ve Antia (1997) helyosismik ölçümlerden $r_{\text{KKT}} = 0.713 \pm 0.001$ olarak hesaplamıştır. Tablo 4.2’de konvektif katman yarıçapı ve sıcaklıkları görülmektedir. Gözlem taban yarıçapına baktığımızda her iki modelde de fark olmasına rağmen Mod Z172’den elde edilen sonuç gözlemden elde edilen değere daha yakındır.

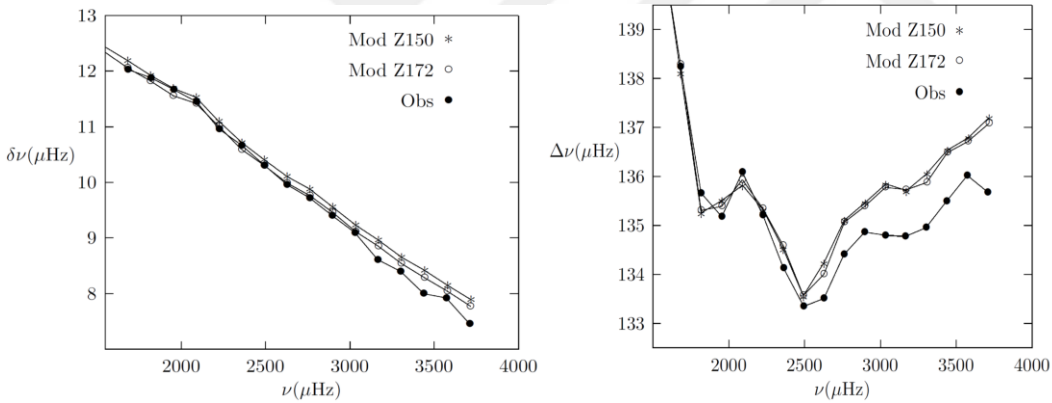
Tablo 4.2 Güneş modellerin konvektif katman yarıçapı ve sıcaklık değerleridir. Son satırda gözlemden elde edilen konvektif katman taban yarıçapı vardır. Modellerin r_{KKT} konvektif katmana ait göreceli yarıçap, T_{KKU} üst konvektif katman sıcaklığı ve T_{KKT} konvektif katmanın taban sıcaklık değerleridir.

Model	r_{KKT}/R_{\odot}	T_{KKU} (K)	T_{KKT} (K)
Mod Z172	0.7202	6435.6	2,132,267
Mod Z150	0.7244	6418.7	2,065,116
Gözlem	0.713	-	-

4.2.2 Güneş model ve gözlem frekanslarının kıyaslanması

Güneş gözlem frekansları Chaplin ve ark. (1999)’nın BiSON verilerinden alınmıştır. Buradan alınan frekanslar ile yaptığımız modellerin frekanslarından hesaplanan küçük ayrılma ($\delta\nu$) ve büyük ayrılma ($\Delta\nu$) değerleri karşılaştırıldı. Bu karşılaştırmalar, Şekil 4.2 a ve 4.2 b’de görülmektedir. Sırası ile bu şekilleri inceleyecek olursak; Şekil 4.2 a’da gözlem ile modeller arasındaki küçük ayrılma uyumu dikkat çekicidir. Mod Z172 frekanslarından hesaplanan küçük ayrılma değerleri gözlem değerlerine daha yakındır. Model ve gözlem frekanslarından hesaplanan ortalama küçük ayrılma ($\langle\delta\nu\rangle$) değeri ise şöyledir: Mod Z172 için 10.20 μHz , Mod Z150 için 10.31 μHz ve gözlem değeri ise 9.84 μHz ’dir.

Şekil 4.2 b'ye baktığımız zaman her iki modelde de düşük frekanslarda gözlem ile modeller uyum sağlanmasına rağmen frekans arttıkça aradaki fark artmaktadır. Bu durum aslında küçük ayrılma grafiğinde de görülmektedir. Model ile gözlem frekanslarından elde edilen parametreler arasındaki bu fark ses hızından kaynaklanmaktadır. Ses hızındaki değişiklik düğümler arasındaki dalganın periyodunu ve frekansın değişmesine neden olacaktır. Yüzeyde ve merkezde aynı miktarda ses hızı değiştirildiğinde aynı etkiler gözlenmez. Merkezde ses hızının yüksek olması nedeniyle burada bir değişim yapıldığı zaman yüzeyden fark edilmez. Yüzeyde ise ses hızının düşük olmasından dolayı ses hızında yapılan ufak bir değişimin etkileri net bir şekilde görülür. Modellerde de yüzeye yaklaştıkça ses hızı iyi bir şekilde temsil edilememektedir. Şekil 4.2b'de görülen gözlem ve model frekansları arasındaki farkın sebebi bu olabilir. Gözlem ve modellerin $\Delta\nu$ değerleri şunlardır: Mod Z172 için 136.41 μHz , Mod Z150 için 136.43 μHz ve gözlem $\Delta\nu$ değeri 135.15 μHz (Chaplin ve ark., 1999).

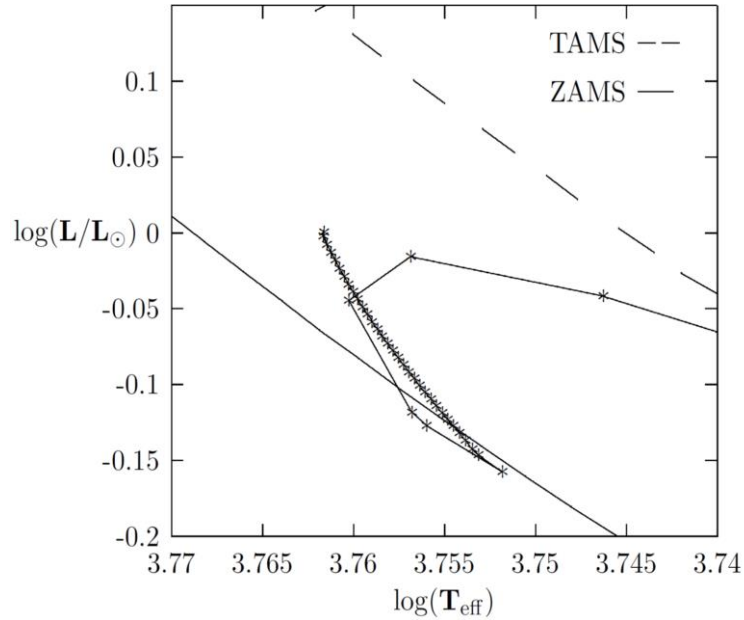


Şekil 4.2 Sol taraftaki grafik 4.2 (a) $\delta\nu - \nu$, sağ taraftaki grafik 4.2 (b) $\Delta\nu - \nu$ arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İçi dolu daireyle çizilen eğri gözlem verilerini, asteriks ile çizilen eğri Mod Z150 ve içi boş daireyle çizilen eğri de Mod Z172 frekanslarını göstermektedir.

Sismik verilerden elde edilen parametreler kıyaslandığında yaptığımız güneş modelleri içerisinde Mod Z172'nin genel olarak daha uyumlu olduğu görülmektedir. Mod Z150 de ise Z_S değeri gözlem ile uyum sağlarken incelediğimiz diğer parametrelerde aynı uyum söz konusu değildir. Bu sebeple diğer modeller yapılırken güneş değerleri Mod Z172 modelinden alınmıştır.

4.2.3 Sıfır yaş anakolundan bugüne Güneş'in evrimi

Güneş modelleri hesaplanırken yaşı 4.57 milyar yıl olarak aldık. Şekil 4.3'te güneşe ait modellerin anakola geldiği nokta ve üzerinde kat ettiği yol görülmektedir. Bu süreç içerisinde güneşin iç yapısı, element bolluğu, yarıçapı gibi temel özelliklerinde değişimler gerçekleşmiştir. Bu değişimlerin nasıl olduğunu yıldız iç yapı ve evrim modelleri yaparak görmek mümkündür. HR diyagramına baktığımızda güneşin anakol evresine başladığı zaman ile şimdiki ışımagücü arasında fark olduğu görülmektedir. Tablo 4.3'te sıfır yaş anakol (SYAK) evresiyle şimdiki Güneş'e ait bazı parametreler karşılaştırıldı. SYAK evresinden bu yana Güneş'in yarıçapı ve etkin sıcaklığı artmıştır. Yapılan modelde yıldızın anakola oturduğu andan günümüze gelene kadar konvektif katman kalınlığının arttığı görülmektedir. Bu da demek oluyor ki güneş anakolu terk ettiğinde şu an sahip olduğu sıcaklık ve yarıçapta olmayacaktır. Konvektif katmanda daha derinlere inerek yıldızın iç kısımlarını karıştıracaktır. Güneşin daha derin katmanlarının da konveksiyon ile karışması yüzeyde gözlenen bolluklarının değişmesine neden olacaktır. Difüzyon sayesinde çöken ağır elementler tekrardan yüzeye taşınacaktır.



Şekil 4.3 Güneş modelinin (Mod Z172) HR diyagramı üzerindeki evrim yoludur. Düz çizilen eğri yıldızın anakola oturduğu yeri (ZAMS = SYAK), kesikli çizilen eğri yıldızın anakoldan ayrıldığı yeri (TAMS = TYAK) temsil etmektedir. Asteriks ile çizilen eğri ise Güneş'in evrim yolunu göstermektedir.

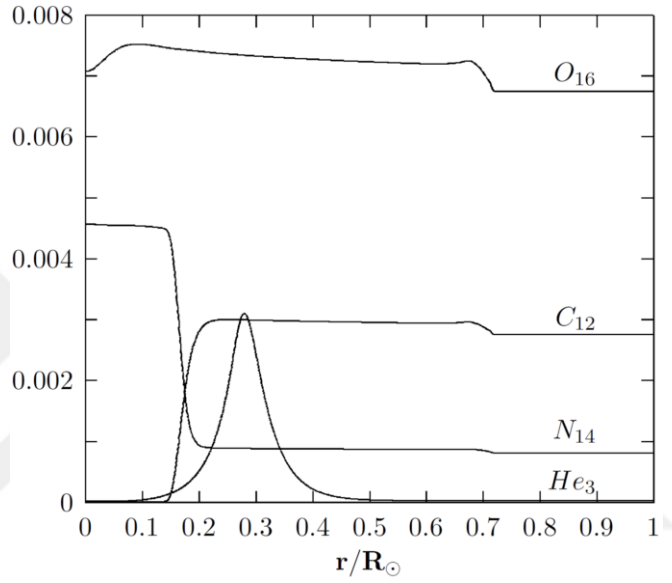
Tablo 4.3 Mod Z172 için SYAK ve Günümüz'deki Güneş modeline ait etkin sıcaklık, görelî yarıçap ve konvektif katman taban yarıçapı tabloda verilmiştir. En üst satırda gözlemden elde edilen değerler vardır.

Zaman	r_{KKT}/R_{\odot}	r/R_{\odot}	$T_{\text{eff}}(\text{K})$
Gözlem	0.713	1.00	5777
Model	0.720	1.00	5777
SYAK	0.649	0.89	5681

Yapılan güneş modelinde geçmişten bugüne yüzeyinde gözlenen metal bolluklarının nasıl değiştiği Tablo 4.4'te verilmiştir. Tabloda helyum ve ağır element bolluğunda azalma olduğu görülmektedir. Hidrojenden daha ağır olan elementler zamanla güneşin kendi çekim kuvveti ile daha alt katmanlara doğru gömülmektedir. Bu da zaman içerisinde yüzeyde gözlediğimiz ağır element bolluklarının azalmasına yol açmaktadır. Yıldız içerisindeki metal bolluğu değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir. Yüzey ile konvektif katmanın tabanı arasında kalan bölgede C, O ve N'nin değişmediğini görüyoruz. Bunun nedeni o bölgenin konveksiyon ile sürekli karıştırılmasıdır. Konvektif katmanın tabanıyla özeğin dış sınırı arasında kalan bölgede üçünün de bolluğunda bir artış olduğu görülüyor. Bu artışın sebebi yıldız içerisindeki difüzyondur. Yaklaşık olarak 0.2 ile 0.4 R_{\odot} arasında, yani nükleer özeğin hemen üzerindeyse He^3 görülmektedir. Bu bölgede p-p çevriminin kısmen gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Sıcaklık çevrimin tamamlanması için yeterli olmadığından bu bölgede helyum izotopuna rastlanmaktadır. Özekte He^3 'ün He^4 'e hızlı bir şekilde dönüşmesinden dolayı bu bölgede He^3 görülmemektedir. Diğer elementlerin özekteki durumuna bakıldığında oksijende bir miktar azalma görülürken, karbonda ciddi bir miktarda azalma ve azotta da artış görülmektedir. Bu durum, özekte CNO çevriminin sınırlı gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Güneş modelinde SYAK ile günümüz özeğindeki C, O, N ve He^3 için karşılaştırma yapıldığında C, N ve He^3 'de zaman içerisinde artış görülürken, O'da azalma söz konusudur.

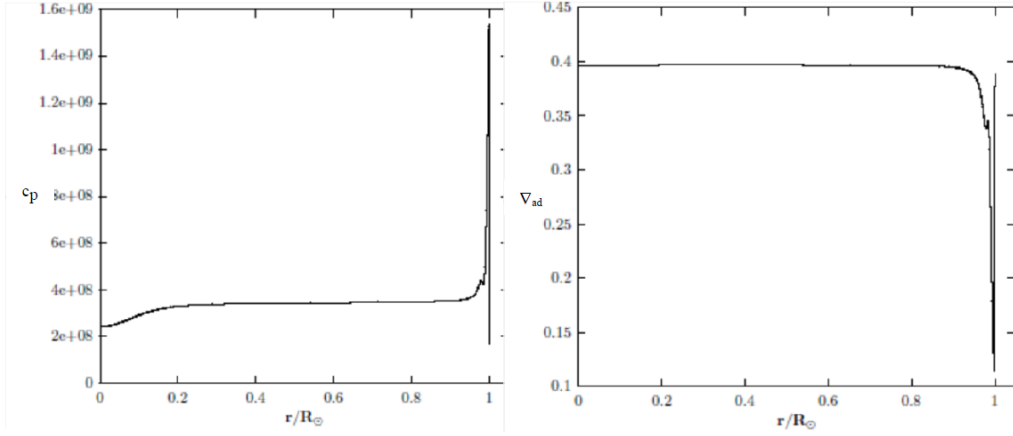
Tablo 4.4 Mod Z172'den elde edilen ve gözlemden bulunan yüzey bollukları ile modele ait özetteki C, O, N ve He³ bolluğu.

Zaman	X _s	Y _s	Z _s	X _O (x10 ⁻³)	X _C (x10 ⁻⁵)	X _N (x10 ⁻³)	X _{He³} (x10 ⁻³)
Gözlem	0.7366	0.25	0.0134	----	----	----	----
Model	0.7328	0.2515	0.0157	7.08	1.82	4.57	4.23
SYAK	0.7069	0.2760	0.0171	7.38	1.34	4.45	0.73



Şekil 4.4: Güneş modeline ait karbon, oksijen, azot ve helyum izotopunun günümüz güneşi içerisinde göreceli yarıçapa karşı nasıl dağıldığını göstermektedir.

Şekil 4.5 a'ya bakıldığında güneşin hemen yüzeyin altı hariç adyabatik gradyan 0.4 civarındadır. Bu durum bize Güneş'i (kısmen de olsa) adyabatik olarak inceleyebileceğimizi söylemektedir. Yüzeyin hemen altında adyabatik gradyanın hızlı bir şekilde azalıp arttığı görülüyor. Şekil 4.5 b'deki grafiğe baktığımız zaman adyabatik gradyanın minimum olduğu noktada ısı kapasitesinin (c_p) maksimum değerine ulaştığını görüyoruz. Adyabatik gradyandaki bu azalma ile c_p 'nin yüzeyin hemen altında hızlı bir şekilde artmasının sebebi yüzeyin hemen altının iyonizasyon bölgesi olmasıdır.



Şekil 4.5 Sol taraftaki grafik 4.5 (a) görelî yarıçapa karşı adyabatik gradyanın nasıl değiştiğini göstermektedir. Sağ taraftaki grafik 4.5 (b) ise görelî yarıçapa karşı ısı kapasitesinin nasıl değiştiğini göstermektedir.

4.3 TESS Hedef Yıldızlarının Modellenmesi

Bölüm 3'te gösterilen hesaplama yoluyla yıldızların tahmini kütle vb. salt parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan kütle üzerinde birçok parametrenin etkisi olduğunu söylemiştik. Ancak tez kapsamında kullanılan TESS hedef yıldızları yakın olduğu için esas olarak T_{eff} ve $\log g$ parametreleri hesaplanan kütlelerin duyarlılığı üzerinde etkilidir. Bu sebeple gözlem verilerinden elde edilen parametrelerin mümkün olduğunca hassas belirlenmesi çok önemlidir.

TESS tarafından seçilmiş yıldızların gözlem titreşim frekansları henüz elde edilmediği için iç yapı modelini yaparken iki farklı yoldan ilerledik. Yıldızların gözlemsel olarak T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$, π ve V parlaklığı bilindiğinden, T_{eff} , $\log g$ ve $[Fe/H]$ kullanılarak BC hesaplanır. π ve V parlaklığı kullanılarak M_V elde edilir. M_V ve BC'den de yıldızın ışımagücü L hesaplanır. L 'si ve T_{eff} 'i bilinen bir yıldızın R 'si de biliniyor demektir. $\log g$ tayftan bulunduğundan kütle hesabı yapılabilir. Bu yöntemin geçerliliği büyük oranda $\log g$ 'nin ne kadar yüksek duyarlılıkla belirlendiğine bağlıdır. Birinci yöntemde bu yoldan kütle tahmini yaparak hesaplanan L değerini veren Y 'yi bulmaya dayanır. İkinci yöntem ise $Y_{\odot} = 0.279$ değeri kullanılarak aynı ışımagücünü verecek olan kütle bulmaktır. Bu iki yolda, hem helyum bolluğu hem de kütle üzerinden kalibre iç yapı modelleri yapıldı. Her iki yoldan yapılan modellerde hesaplanan Z bolluğu ve Güneş'in alfa değeri

($\alpha_0=2.160$) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Birkaç yıldız için ilk hesaplanan değerler kullanıldığında her iki yoldan da yapılan modeller ile bir çözüme ulaşılamamıştır. Bu yıldızlar için yapılan iç yapı modellerinde yaşın gökada yaşından çok daha fazla çıkmış olmasıdır. Bu sorunu çözebilmek için bir yol arandığında yıldızlara ait tayf sıcaklığı (T_S) yerine renkten elde edilen sıcaklık ($T_{(B-V)}$) alınarak tekrardan modeller yapılmıştır. Yapılan yeni model yaşlarına bakıldığında sorunun çözüldüğü görülmüştür. Sorunun çözümü için diğer bir yol ise literatürden sorunlu yıldızla ait farklı bir çalışmadan elde edilen T_{eff} , $\log g$ ve $[Fe/H]$ değerleri alınarak tekrardan kütle hesabı yapılmış ve modeller elde edilmiştir.

MESA evrim kodu ile yapılan iç yapı modellerinin titreşim frekansları Bölüm 4.1'de anlatılan ADIPLS paketiyle hesaplanmıştır. Seçilmiş TESS hedef yıldızlarının gözlem verilerini temsil edecek frekans aralığını belirleyebilmek için Kepler mirası yıldızlarına ait gözlem frekansları kullanıldı. Kepler yıldızlarına ait gözlem frekanslarının ν_{max} 'a göre nasıl bir aralıkta dağıldığına bakıldı. Bu yıldızların alt ve üst frekans değerleri yaklaşık olarak maksimum genlik frekansının %22 altında ve üstünde dağılım göstermektedir. Elde edilen bu frekans dağılımı kullanılarak TIC yıldızlarına ait modellerde maksimum genlik frekansı hesaplandıktan sonra alt ve üst frekans değerleri belirlenmiştir. Böylece TIC yıldızlarına ait gözlem frekansları alınmadan önce model frekanslarından bir frekans aralığı tahmin edilmiştir.

Tablo 4.5: 23 yıldızın helyum bolluğu değiştirilerek yapılan kalibre modellerin parametreleri yer almaktadır. İlk sütunda yıldızların TIC numaraları vardır. Diğer sütunlarda ise kütle (M), yarıçap (R), ısıma gücü (L), helyum bolluğu (Y), ağır element bolluğu (Z), yaş, büyük ayrılma (Δv) ve maksimum genlik frekansı (ν_{\max}) vardır.

TIC	$M (M_{\odot})$	$R (R_{\odot})$	$L (L_{\odot})$	$\log g$	Y	Z	Yaş (10^9 yıl)	Δv (μHz)	ν_{\max} (μHz)
38511251	1.13 ± 0.18	2.38 ± 0.08	3.20 ± 0.05	3.74 ± 0.15	0.218 ± 0.054	0.013 ± 0.001	9.7 ± 3.9	39.3 ± 3.7	657 ± 99
38732418	1.09 ± 0.12	4.35 ± 0.11	8.64 ± 0.21	3.20 ± 0.10	<0.2400	0.013 ± 0.002	----	----	----
43255143	1.44 ± 0.07	2.77 ± 0.06	7.63 ± 0.14	3.71 ± 0.02	0.251 ± 0.019	0.012 ± 0.001	9.7 ± 1.2	35.7 ± 1.5	572 ± 12
51002411	0.87 ± 0.10	3.27 ± 0.07	5.91 ± 0.09	3.35 ± 0.10	0.332 ± 0.055	0.015 ± 0.002	12.6 ± 3.4	21.1 ± 1.3	268 ± 27
72651515	0.73 ± 0.08	3.17 ± 0.07	5.34 ± 0.07	3.30 ± 0.10	>0.3272	0.014 ± 0.001	>20	----	----
96290130	1.27 ± 0.05	3.59 ± 0.03	7.58 ± 0.11	3.43 ± 0.04	0.209 ± 0.014	0.009 ± 0.001	5.5 ± 0.6	22.1 ± 0.6	320 ± 13
123699670	1.13 ± 0.12	2.49 ± 0.06	4.61 ± 0.10	3.70 ± 0.10	0.319 ± 0.053	0.011 ± 0.001	4.4 ± 1.2	36.6 ± 2.4	578 ± 58
141201954	1.64 ± 0.17	3.69 ± 0.09	7.35 ± 0.10	3.52 ± 0.09	0.027 ± 0.004	0.006 ± 0.001	5.7 ± 1.4	23.7 ± 1.5	380 ± 34
180284425	0.65 ± 0.07	2.82 ± 0.06	4.04 ± 0.06	3.35 ± 0.10	>0.3500	0.016 ± 0.003	>30	----	----
189839944	1.14 ± 0.15	3.33 ± 0.12	6.51 ± 0.12	3.45 ± 0.11	0.295 ± 0.060	0.013 ± 0.001	5.8 ± 1.9	23.5 ± 2.0	335 ± 37
241257122	2.22 ± 0.13	2.90 ± 0.04	4.60 ± 0.06	3.86 ± 0.05	<0.0500	0.011 ± 0.001	----	----	----
258783220	1.61 ± 0.36	3.61 ± 0.07	10.10 ± 0.16	3.53 ± 0.22	0.296 ± 0.101	0.010 ± 0.001	1.4 ± 0.8	25.2 ± 2.9	392 ± 86
275371234	1.08 ± 0.14	2.72 ± 0.10	4.06 ± 0.05	3.60 ± 0.11	0.275 ± 0.056	0.017 ± 0.001	9.2 ± 3.1	31.1 ± 2.7	479 ± 53
277548101	1.10 ± 0.21	2.69 ± 0.16	3.85 ± 0.05	3.62 ± 0.15	0.240 ± 0.071	0.015 ± 0.003	10.3 ± 5.0	32.0 ± 4.3	502 ± 76
282254078	1.73 ± 0.07	2.94 ± 0.04	7.85 ± 0.15	3.74 ± 0.03	0.114 ± 0.007	0.011 ± 0.001	3.3 ± 0.3	36.0 ± 0.9	619 ± 19
287096308	1.15 ± 0.29	3.89 ± 0.09	7.12 ± 0.10	3.32 ± 0.25	0.290 ± 0.113	0.014 ± 0.001	13.1 ± 8.3	18.7 ± 2.5	218 ± 55
287222433	0.83 ± 0.09	3.11 ± 0.07	5.20 ± 0.07	3.37 ± 0.10	0.290 ± 0.048	0.011 ± 0.001	18.0 ± 4.9	22.2 ± 1.4	282 ± 28
288183829	1.55 ± 0.17	3.42 ± 0.07	9.83 ± 0.18	3.56 ± 0.10	0.268 ± 0.044	0.008 ± 0.001	1.7 ± 0.5	26.8 ± 1.7	413 ± 41
355325110	1.66 ± 0.09	3.34 ± 0.03	6.25 ± 0.09	3.61 ± 0.05	<0.1100	0.011 ± 0.001	----	----	----
367758676	1.68 ± 0.11	2.77 ± 0.08	9.19 ± 0.34	3.78 ± 0.03	<0.1850	0.016 ± 0.002	----	----	----
375621179	1.26 ± 0.19	3.15 ± 0.08	5.86 ± 0.11	3.54 ± 0.14	0.207 ± 0.047	0.009 ± 0.001	5.9 ± 2.2	27.0 ± 2.2	413 ± 58
413853880	1.51 ± 0.19	4.11 ± 0.08	9.20 ± 0.16	3.39 ± 0.12	0.162 ± 0.031	0.012 ± 0.001	4.5 ± 1.4	19.7 ± 1.4	295 ± 36
414783388	2.15 ± 0.08	3.93 ± 0.04	8.85 ± 0.17	3.58 ± 0.03	<0.1000	0.013 ± 0.001	----	----	----

Tablo 4.6: Tabloda 23 yıldızın ait kütle üzerinden yapılan kalibre modellerin parametreleri bulunmaktadır. İlk sütunda yıldızların TIC numarası sonrasında M , R , L , Y , Z , yaş, Δv ve v_{\max} listelenmiştir. Modellerde helyum bolluğu güneş değeri alınmıştır ($Y_{\odot} = 0.279$).

TIC	$M (M_{\odot})$	$R (R_{\odot})$	$L (L_{\odot})$	logg	Z	Yaş (10^9 yıl)	Δv (μHz)	v_{\max} (μHz)
38511251	0.95	2.38	3.20	3.66	0.013	12.4	36.0	550
38732418	<0.78	4.35	8.64	----	0.013	-----	----	----
43255143	1.39	2.77	7.63	3.70	0.012	2.8	35.0	552
51002411	1.07	3.27	5.91	3.44	0.015	8.5	23.3	329
72651515	0.93	3.17	5.34	3.40	0.014	13.9	22.9	305
96290130	1.00	3.59	7.58	3.33	0.009	8.5	19.6	252
123699670	1.21	2.49	4.60	3.73	0.011	4.4	38.3	621
141201954	<0.77	3.76	7.63	----	0.006	>20	----	----
180284425	0.90	2.82	4.04	3.50	0.016	16.9	26.9	379
189839944	1.21	3.33	6.51	3.48	0.014	5.2	24.3	356
241257122	0.88	2.90	4.60	3.46	0.011	15.4	25.5	351
258783220	1.65	3.60	10.10	3.54	0.010	1.4	25.4	401
275371234	1.06	2.72	4.06	3.59	0.017	9.5	30.9	470
277548101	0.96	2.69	3.85	3.56	0.015	13.0	29.9	440
282254078	1.44	2.94	7.85	3.66	0.011	2.4	32.4	512
287096308	0.97	3.58	6.73	3.32	0.014	12.3	19.4	250
287222433	0.87	3.11	5.20	3.39	0.011	16.4	22.7	296
288183829	1.52	3.42	9.83	3.55	0.008	1.7	26.7	407
355325110	0.95	3.34	6.25	3.37	0.011	11.2	21.3	280
367758676	1.48	2.77	9.19	3.72	0.016	2.4	36.1	576
375621179	0.99	3.15	5.86	3.44	0.009	9.2	23.8	324
413853880	1.03	4.11	9.20	3.23	0.012	8.9	16.2	202
414783388	1.18	3.93	8.85	3.32	0.013	5.5	18.7	250

4.3.1 TIC 287096308

TIC 287096308 yıldızı anakoldan ayrılmış, kırmızı dev kolunu tırmanan bir yıldızdır. Bu yıldıza ait SIMBAD'dan alınan parlaklık ve renk değerleri sırası ile şöyledir: $V = 7^m.07$, $B-V = 1.01$ ve $V-K = 2.25$ 'tir. Literatürden alınan uzaklık ve tayf değerleriyse şunlardır; $d = 65.87 \pm 0.16$ pc, $[Fe/H] = 0.18$ dex, $T_S = 4786$ K, $\log g = 3.30$. Bu veriler kullanılarak TIC 287096308 yıldızının tahmini kütlesi $1.101 M_{\odot}$ 'tir. $[Fe/H]$ değeri kullanılarak hesaplanan ağır element bolluğu ise 0.014 'tür.

Hesaplanan değerler ile yıldızın iki farklı yoldan modeli yapılmıştır. Y değeri değiştirilerek yapılan modelin helyum bolluğu 0.178 olarak elde edilmiştir. Yaşı ise 15.1×10^9 yıldır. Helyum bolluğu güneş değeri alınarak başlangıç kütle değeri değiştirilerek yapılan modelde kütle $0.78 M_{\odot}$ ve yaş 27.8×10^9 yıl olarak saptandı. Modellerin yaşı gökada yaşından (13.5×10^9 yıl) çok daha büyük çıkmıştır. Bunun bir sebebi yıldızın gözlem verileri olabilir. Bu yüzden Bölüm 4.3'te bahsedildiği gibi sorunu çözebilmek için öncelikle etkin sıcaklık değeri değiştirildi. Tayftan elde edilen tayfsal etkin sıcaklık ($T_S = 4786$ K) yerine ($B-V$) renginin gösterdiği etkin sıcaklık değeri ($T_{BV} = 4916$ K) kullanılarak iki farklı yöntemle bu yıldıza ait iç yapı modelleri tekrar yapıldı. Yeni etkin sıcaklık değeri ile hesaplanan kütle $M_{FT\pi} = 0.94 M_{\odot}$ 'tir. Bu kütle kullanılarak helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibre modelden elde edilen sonuçlar şunlardır; $Y = 0.290$ ve $t = 13.1 \times 10^9$ yıl. Güneş helyum bolluğu kullanılarak kütle üzerinden yapılan kalibre modelde ise $M = 0.97 M_{\odot}$ ve $t = 12.3 \times 10^9$ yıldır. Böylece etkin sıcaklığın değiştirilmesi ile ilk yapılan modellerde karşılaşılan yaş sorunu çözülmüştür.

TIC 287096308 yıldızı için yaptığımız modellerde etkin sıcaklığın kütle ve özellikle yaş üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Sıcaklığın 130 K değiştirilmesi ile yaş Gökada yaşının altına inmiştir. Genellikle bu sıcaklık üzerinde yapılan değişiklik hata sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu yüzden özellikle kırmızı dev kolunu tırmanan yıldızlar için sıcaklığın yüksek duyarlılıkta belirlenmesi model ile yapılan yaş tahmininde çok önemlidir.

4.3.2 TIC 38511251

Hedef listesinden seçilmiş olan TIC 38511251 yıldızı anakoldan ayrılmış, kırmızı dev kolunu tırmanan bir diğer yıldızdır. Yıldızın SIMBAD'dan alınan parlaklık ve renk değerleri şunlardır: $V = 3^m.54$, $B-V = 0.92$ ve $V-K = 2.11$ 'dir. Literatürden alınan uzaklık ve tayf gözlem verileri: $d = 9.07 \pm 0.03$ pc, $[Fe/H] = 0.09$ dex, $T_S = 5012$ K, $\log g = 3.74$. Bu veriler ile yıldızın hesaplanan tahmini kütlesi $1.134 M_{\odot}$ 'tir. $[Fe/H]$ değeri kullanılarak elde edilen ağır element bolluğu da $Z = 0.013$ 'tür.

Tahmini kütleyi kullanarak helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibre modelde oldukça düşük bir helyum bolluğuna ulaşılmıştır ($Y = 0.218$). Helyum kalibre modelinin yaşı ise 9.7×10^9 yıldır. Bu modelde, helyum bolluğunun çok düşük çıkması yıldızın $\log g$ değerinden kaynaklanıyor olabilir. Güneş helyum bolluğu kullanılarak kütle üzerinden yapılan kalibre modelde ise kütle $0.95 M_{\odot}$ çıkmıştır. Bu modelin yaşı 12.4×10^9 yıldır.

4.3.3 TIC 38732418

Tabloda ikinci sırada yer alan TIC 38732418 yıldızı kırmızı dev kolunu tırmanmaktadır. Yıldızın SIMBAD'dan alınan fotometrik verileri şöyledir: $V = 7^m.12$, $B-V = 1.80$ ve $V-K = 2.43$. Literatürden alınan diğer parametrelerin değerleri ise şunlardır: $d = 73.68 \pm 0.53$ pc, $[Fe/H] = 0.12$ dex, $T_S = 4750$ K, $\log g = 3.20$. Bu veriler kullanılarak TIC 38732418 yıldızına ait tahmini kütle $M_{FT\pi} = 1.09 M_{\odot}$ ve ağır element bolluğu $Z = 0.013$ olarak hesaplanmıştır.

$M_{FT\pi}$ kullanılarak helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibre modelde helyum bolluğu <0.240 değerinden daha düşük çıkmaktadır. Güneş helyum bolluğu alınarak kütle üzerinden yapılan kalibre modelde ise kütle <0.783 değerinin altındadır. Yapılan modellerin yaşı gökada yaşından fazla çıkmıştır. Bu yüzden yıldızın ait gözlem verileri özellikle de T_{eff} ve $\log g$ değerleri gözden geçirilmesi gerekir.

4.3.4 TIC 43255143

TIC 43255143 anakoldan ayrılmış bir yıldızdır. Yıldıza ait SIMBAD'dan alınan parlaklık ve renk değerleri sırası ile şöyledir; $V = 2^m.80$, $B-V = 0.63$ ve $V-K = 1.52$ 'dir. Literatürden alınan uzaklık ve tayf verileri sırasıyla şunlardır; $d = 10.72 \pm 0.05$ pc, $[Fe/H] = 0.02$ dex, $T_S = 5766$ K, $\log g = 3.71$. Bu yıldızın tahmini kütlesi $M_{FT\pi} = 1.439 M_{\odot}$ 'tir. $[Fe/H]$ değeri kullanılarak hesaplanan ağır element bolluğu ise $Z = 0.012$ 'dir.

Tablo 4.5 ve 4.6'da bu yıldız için yapılan modellerden elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Yıldızın tahmini kütlesi alınarak helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibre modelde $Y = 0.251$ 'dir. Bu modele ait yaş 2.9×10^9 yıldır. Diğer yöntemle yapılan kalibre modelde ise kütle $1.39 M_{\odot}$ ve yaş 2.8×10^9 çıkmıştır. Bu sonuçlara göre TIC 43255143 yıldızının gözlem verilerinin oldukça hassas olduğu söylenebilir.

4.3.5 TIC 51002411

TIC 51002411 yıldızı kırmızı dev kolunu tırmanmaktadır. Bu yıldızın parlaklık ve renk değerleri sırasıyla $V = 7^m.13$, $B-V = 1.04$ ve $V-K = 2.28$ 'dir. Literatürden elde edilen diğer gözlem parametreleri ise Tablo 3.1'de verilmiştir. Bu verilerle TIC 51002411 yıldızının tahmini kütlesi $0.87 M_{\odot}$ ve ağır element bolluğu ise $Z = 0.015$ olarak hesaplandı.

$0.87 M_{\odot}$ kütlesi kullanarak helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibre modelde $Y = 0.332$ olarak elde edildi. Bu modelde elde edilen helyum bolluğu yüksek çıkmıştır. Modelin yaşı da 12.6×10^9 yıl çıktı. Güneş helyum bolluk değeri kullanılarak kütle üzerinden yapılan kalibre modelde ise $M = 1.07 M_{\odot}$ ve yaş 8.5×10^9 yıl olarak elde edildi. Bu durumda yıldızın $\log g$ 'si gözden geçirilebilir.

4.3.6 TIC 72651515

Bu yıldız kırmızı dev kolunu tırmanmaktadır. Yıldızın literatürden alınan fotometri, tayf ve uzaklık değerleri sırasıyla şöyledir: $V = 7^m.06$, $B-V = 1.02$, $V-K = 2.33$, $[Fe/H] = 0.14$ dex, $T_S = 4930$ K, $\log g = 3.30$ ve $d = 58.61 \pm 0.12$ pc.

Burada TIC 72651515 yıldızının tahmini kütlesi $M_{FT\pi} = 0.73 M_{\odot}$ olarak hesaplandı. Ağır element bolluğu ise $Z = 0.014$ olarak elde edildi.

Tablo 4.5’de yıldıza ait iç yapı model sonuçlarına yer verilmiştir. Hesaplanan kütle ile yapılan iç yapı modelinden elde edilen helyum bolluğu 0.327’den ve yaşı da 20×10^9 yıldan fazla çıkmaktadır. Güneş helyum bolluğunu kullanarak yaptığımız kütle kalibre modelde ise kütle $0.93 M_{\odot}$ ve yaş 13.9×10^9 yıl olarak elde edildi. Her iki yoldan yapılan modellerin yaşı şu an kabul gören gökada yaşından fazladır. Elde edilen sonuçlara göre T_{eff} ve özellikle $\log g$ değeri gözden geçirilmelidir.

4.3.7 TIC 96290130

Kırmızı dev kolunu tırmanmakta olan TIC 96290130 yıldızına ait parlaklık ve renk değerleri SIMBAD veri tabanından alınmıştır. Bu değerler sırasıyla şunlardır; $V = 6^m.72$, $B-V = 0.88$ ve $V-K = 2.13$. Literatürden alınan diğer değerler ise uzaklık ve tayftan elde edilen demir bolluğu, etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesidir. Bu parametrelerin değerleri sırasıyla şöyledir; $d = 60.83 \pm 0.14$ pc, $[Fe/H] = -0.26$ dex, $T_S = 5059$ K, $\log g = 3.43$. Bu veriler kullanılarak yıldızın tahmini kütlesi $M_{FT\pi} = 1.27 M_{\odot}$ ve ağır element bolluğu $Z = 0.009$ olarak hesaplandı.

Tahmini kütle ile yapılan kalibre modelde helyum bolluğu 0.209 olarak elde edildi. Modelin yaşı 5.6×10^9 yıldır. Güneş helyum bolluğu kullanılarak yaptığımız kalibre modelde ise kütle $1.00 M_{\odot}$ olarak elde edildi. Bu modelin yaşı ise 8.5×10^9 yıldır. İlk modelde helyum bolluğunun düşük çıkması $\log g$ değerinin hatalı olduğunu işaret ediyor olabilir.

4.3.8 TIC 123699670

TIC 123699670 yıldızı anakoldan ayrılmış bir yıldızdır. Bu yıldıza ait; $V = 5^m.04$, $B-V = 0.08$ ve $V-K = 1.92$ olarak SIMBAD’den alınmıştır. Uzaklık ve tayftan değerleri ise şunlardır; $d = 22.47 \pm 0.15$ pc, $[Fe/H] = -0.06$ dex, $T_S = 5365$ K, $\log g = 3.70$. Buradan TIC 123699670 yıldızının tahmini kütlesi $M_{FT\pi} = 1.13$

M_{\odot} olarak hesaplanmıştır. $[Fe/H]$ değeri kullanılarak ağır element bolluğu da $Z = 0.011$ olarak saptanmıştır.

Helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibre model için $Y = 0.319$ olarak elde edildi. Modelin yaşı 4.4×10^9 yıldır. Bir diğer yöntem olan güneş helyum bolluğu ile yapılan kalibre modelde ise kütle $1.21 M_{\odot}$ ve yaş 4.4×10^9 yıl olarak çıktı. Bu yıldız için yapılan her iki modelin kütleleri birbirinden farklı olsa da modellerden belirlenen yaşlar aynıdır.

4.3.9 TIC 141201954

Kırmızı dev kolunu yeni tırmanmaya başlayan TIC 141201954 yıldızına ait görsel parlaklık ve renk değerleri sırasıyla $V = 6^m.60$, $B-V = 0.90$ ve $V-K = 2.18$ kadirdir. Bu yıldızın V , B ve K parlaklık değerleri SIMBAD'dan alınmıştır. Alınan bu değerlerden iki farklı renk değeri elde edilmiştir. Yıldızın görsel parlaklık ve renk değerleri şöyledir: $V = 6^m.60$, $B-V = 0.90$ ve $V-K = 2.18$. Literatürden alınan uzaklık ve tayf Değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Böylece TIC 141201954 yıldızının hesaplanan kütlesi ve ağır element bolluğu sırasıyla $M_{FT\pi} = 1.63 M_{\odot}$ ve $Z = 0.006$ 'dır.

Hesaplanan kütle kullanılarak yapılan kalibre modelde helyum bolluğu çok düşük çıkmıştır ($Y = 0.027$). Modele ait yaş 5.7×10^9 yıldır. Güneş helyum bolluğu kullanılarak yapılan kalibre modelde elde edilen kütle $0.769 M_{\odot}$ 'den daha küçük bir değere sahiptir. Bu modelin yaşı ise 20×10^9 yıldan daha büyüktür. TIC141201954 yıldızına ait literatürde yer alan farklı çalışmalardan T_{eff} , $[Fe/H]$ ve $\log g$ değerleri değiştirilerek modeller yapılmıştır. Bu parametrelerin değiştirilmesiyle yeniden yapılan modeller ile de anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Bu yüzden yıldızın uygun bir şekilde modellenmesi için hem tayf hem de fotometri gözlem verilerinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

4.3.10 TIC 180284425

Kırmızı dev kolunu tırmanan bu yıldızın ait parlaklık ve renk değerleri; $V = 6^m.35$, $B-V = 1.06$ ve $V-K = 2.40$ 'tır. Literatürden alınan uzaklık ve tayf verileri

sırasıyla: $d = 36.33 \pm 0.09$ pc, $[Fe/H] = 0.29$ dex, $T_S = 4880$ K, $\log g = 3.35$. Bu yıldızın hesaplanan kütlesi ve ağır element bolluğu $M_{FT\pi} = 0.65 M_{\odot}$ ve $Z = 0.016$ 'dir.

0.65 M_{\odot} kütlesi kullanılarak yapılan kalibre modelde helyum bolluğu 0.350'den daha fazladır. Ayrıca bu modele ait yaş 30×10^9 yıldan fazladır. Bu modelde belirlenen Y bolluğu ve yaş problemlidir. Güneş helyum bolluğu alınıp kütle değiştirilerek yapılan model kütlesi 0.91 M_{\odot} iken yaş $\sim 17 \times 10^9$ yıl olarak belirlendi. Her iki modelden elde edilen yaş gökada yaşından büyüktür. Bu yüzden yıldızın özellikle de $\log g$ gözlem değeri gözden geçirilmelidir.

4.3.11 TIC 189839944

TIC 189839944 yıldızı kırmızı dev kolunu tırmanmaktadır. Bu yıldızın ait gözlem değerleri: $V = 7^m.36$, $B-V = 0.92$, $V-K = 2.18$, $[Fe/H] = 0.13$ dex, $T_S = 5060$ K, $\log g = 3.45$ ve $d = 75.77 \pm 0.32$ pc. Buradan kütle $M_{FT\pi} = 1.14 M_{\odot}$ ve ağır element bolluğu ise $Z = 0.014$ olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan kütleden Y değiştirilerek ilk model yapılmıştır. Bu kalibre modelde helyum bolluğu $Y = 0.296$ 'tır. Modelin yaşı 5.8×10^9 yıldır. Y güneş değeri alınarak yapılan modelde ise kütle $M = 1.21 M_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. Kütle kalibre modelinin yaşı ise 5.2×10^9 yıldır. Böylece gözlem değerleri kullanarak bu yıldızın ait uygun modeller yapılmıştır.

4.3.12 TIC 241257122

Kırmızı dev kolunu tırmanan bu yıldızın SIMBAD'dan alınan parlaklık ve renk değerleri şöyledir: $V = 6^m.22$, $B-V = 1^m.00$ ve $V-K = 2^m.29$. Bu yıldızın ait literatürden alınan uzaklık ve tayftan değerleri; $d = 37.12 \pm 0.05$ pc, $[Fe/H] = -0.06$ dex, $T_S = 4972$ K, $\log g = 3.86$ 'dir. Böylece TIC 241257122 yıldızının kütlesi $M_{FT\pi} = 2.22 M_{\odot}$ ve ağır element bolluğu $Z = 0.011$ olarak hesaplanmıştır.

2.22 M_{\odot} kütlesi kullanılarak yapılan kalibre modelde helyum bolluğu < 0.050 değerinden daha az çıkmıştır. Bu He bolluğu oldukça küçük bir değerdir. Diğer yöntemden elde edilen kütle ise $M = 0.88 M_{\odot}$ 'dir. Bu modelin yaşı 15.4×10^9

yıldır. Bu modelde de yaş evrenin yaşından büyüktür. Yapılan bu modeller evrenin yaşı ve kimyasal bolluğu açısından gerçekçi değildir. Bu yüzden yıldız ait T_{eff} ve $\log g$ değerleri kontrol edilmelidir.

4.3.13 TIC 258783220

TIC 258783220 yıldızı kırmızı dev koluna tırmanmaya başlamadan önceki çukurda yer almaktadır. Bu yıldızın ait parlaklık değerleri SIMBAD veri tabanından alınmış ve renk değerleri hesaplanmıştır. Sırasıyla bu değerler şöyledir: $V = 6^{\text{m}}.18$, $B-V = 0.69$ ve $V-K = 1.71$. Literatürden alınan uzaklık ve tayftan parametreleri; $d = 56.53 \pm 0.18$ pc, $[Fe/H] = -0.12$ dex, $T_S = 5420$ K, $\log g = 3.53$ 'tür. Bu veriler kullanılarak TIC 258783220 yıldızının kütlesi $1.61 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. $[Fe/H]$ değerinden ağır element bolluğu da $Z = 0.010$ olarak belirlenmiştir.

Hesaplanan kütle ile helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibrasyon ile modelin Y değeri 0.296 'dır. Bu modele ait yaş 1.4×10^9 yıldır. Modelin helyum bolluğu güneş değeri alınarak yapılan kalibre modelde kütle $M = 1.65 M_{\odot}$ ve yaşı da 1.4×10^9 yıl çıkmıştır. TIC 258783220 yıldızı için iki yoldan da yapılan modeller oldukça uyumludur. Buradan da bu yıldızın ait gözlem parametrelerinin oldukça hassas belirlendiği söylenebilir.

4.3.14 TIC 275371234

TIC 275371234 yıldızı kırmızı dev kolundadır. SIMBAD'dan alınan görsel bölgedeki parlaklık ve renk değerleri sırasıyla şöyledir: $V = 6^{\text{m}}.57$, $B-V = 1.01$ ve $V-K = 2.37$. Literatürden alınan uzaklık ve tayfsal parametrelerin değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Bu parametreler kullanılarak yıldızın kütlesi $M_{\text{FT}\pi} = 1.08 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. Yıldızın tayftan elde edilen $[Fe/H]$ değerinden hesaplanan ağır element bolluğu ise $Z = 0.017$ 'dir.

Belirlenen kütle ile yapılan kalibre model için helyum bolluğu $Y = 0.275$ ve modelin yaşı 9.2×10^9 yıl olarak elde edildi. Güneş helyum bolluğu kullanılarak yapılan kütle kalibre modelinde ise kütle $M = 1.06 M_{\odot}$ ve yaş 9.5×10^9 yıl

çıkıştır. Bu yıldız için yapılan model sonuçları birbiri ile uyumludur. Gözlem verilerinin kaliteli olduğu söylenebilir.

4.3.15 TIC 277548101

Anakoldan ayrılmış olan TIC 277548101 yıldızına ait parlaklık ve renk değerleri sırası ile şöyledir: $V = 5^m.94$, $B-V = 1.03$ ve $V-K = 2.26$. Literatürden alınan uzaklık ve tayf verileri ise şunlardır: $d = 29.67 \pm 0.07$ pc, $[Fe/H] = 0.25$ dex, $T_S = 4937$ K, $\log g = 3.62$. Fotometrik ve tayf verileri kullanılarak TIC 277548101 yıldızının kütlesi $M_{FT\pi} = 1.01 M_{\odot}$ ve ağır element bolluğu $Z = 0.015$ olarak hesaplanmıştır.

1.01 M_{\odot} kütlesi kullanılarak yapılan helyum kalibre modeli için $Y = 0.240$ ve yaşı da 10.3×10^9 yıl olarak elde edildi. Aynı şekilde kütle üzerinden yapılan kalibre modelinde ise $M = 0.96 M_{\odot}$ ve 13.0×10^9 yıl çıkmıştır. Her iki modelde de çözüme ulaşılmıştır.

4.3.16 TIC 282254078

TIC 282254078 kırmızı dev kolunu tırmanan bu yıldızın gözlem parametreleri; $V = 5^m.05$, $B-V = 0.72$ ve $V-K = 1.44$, $d = 30.28 \pm 0.15$ pc, $[Fe/H] = -0.04$ dex, $T_S = 5639$ K, $\log g = 3.74$ 'tür. Bu verilerle yıldızın kütlesi $M_{FT\pi} = 1.74 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. $[Fe/H]$ değerinden $Z = 0.011$ olarak belirlenmiştir.

Hesaplanan kütle kullanılarak yapılan kalibre modelin helyum bolluğu çok düşüktür ($Y = 0.114$). Bu modelin yaşı 3.2×10^9 yıl çıkmıştır. Bu kadar genç bir yıldızın bu kadar düşük He bolluna sahip olması gerçekçi bir durum değildir. Diğer yöntemle yapılan kalibre modelde ise kütle $M = 1.44 M_{\odot}$ ve yaşı da 2.4×10^9 yıl olarak elde edilmiştir. İlk modelde düşük çıkan Y değeri göz önünde alındığında yıldızın $\log g$ değerinin hatalı olduğunu, gözden geçirilmesi gerekmektedir. Böylece M değerinin yeniden hesaplanarak ilk modelin yeniden yapılması ile farklı Y değerinde çözüm aranabilir.

4.3.17 TIC 287222433

Kırmızı dev kolunu tırmanan bir yıldızdır. Parlaklık ve parlaklıktan elde edilen renk değerleri sırası ile şöyledir: $V = 6^m.92$, $B-V = 0.98$ ve $V-K = 2.27$. Bu yıldızın ait Uzaklık ve tayf parametreleri literatürden alınmıştır. Bu parametreler sırasıyla; $d = 54.41 \pm 0.11$ pc, $[Fe/H] = -0.04$ dex, $T_S = 4950$ K, $\log g = 3.30$ 'dur. Yıldızın ait bu parametreler kullanılarak kütle ve ağır element bolluğu $M_{FT\pi} = 0.83 M_{\odot}$ ve $Z = 0.011$ olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan kütle ile yapılan kalibre modelde elde edilen helyum bolluğu $Y = 0.291$ 'tir. Modelin yaşı 18.0×10^9 yıl olarak çıkmıştır. Bu da gökadanın yaşından büyük bir değerdir. Diğer yöntemle yapılan model için güneş helyum bolluğu kullanılmıştır. Bu modelde elde edilen kütle ve yaş değerleri sırasıyla $M = 0.87 M_{\odot}$ ve 16.4×10^9 yıldır. Bu modelde de yaş gökada yaşından büyüktür. Yaşın daha küçük olduğu modeller yapabilmek için TIC 287096308 yıldızında yapıldığı gibi tayf sıcaklığı yerine B-V renginin gösterdiği etkin sıcaklık kullanılabilir. Eğer bu yöntemde yeterli gelmezse yıldızın gözlem $\log g$ değeri gözden geçirilmelidir.

4.3.18 TIC 288183829

TIC 288183829 yıldızı şu an kırmızı dev kolu öncesinde yer alan çukurdadır. Yıldızın ait V parlaklığı ve renk değerleri şöyledir: $V = 5^m.64$, $B-V = 0^m.68$ ve $V-K = 1^m.72$. Yıldızın diğer gözlem değerleri Tablo 3.1'de listelenmiştir. Bu parametreler kullanılarak TIC 288183829 yıldızının tahmini kütlesi $M_{FT\pi} = 1.55 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ağır element bolluğu ise $Z = 0.008$ 'dir.

$1.55 M_{\odot}$ kütlesi kullanılarak helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibre modelde $Y = 0.268$ olarak elde edilmiştir. Modelin yaşı 1.7×10^9 yıldır. Güneş helyum bolluğu kullanılarak yapılan diğer yöntemde ise kütle değiştirilmiştir. Elde edilen kütle $M = 1.53 M_{\odot}$ ve yaşı da 1.7×10^9 yıldır. Her iki modelden elde edilen yaşlar ve kütle birbirine yakın çıkmıştır. Bu da bu yıldızın ait gözlem parametrelerinin oldukça iyi belirlendiğine işarettir.

4.3.19 TIC 355325110

TIC 355325110 yıldızı kırmızı dev kolunu tırmanmaktadır. Bu yıldızın ait parlaklık ve renk değerleri sırası ile $V = 6^m.91$, $B-V = 0.93$ ve $V-K = 2.19$ 'dur. Literatürden alınan uzaklık ve tayftan elde edilen diğer değerler ise $d = 59.78 \pm 0.15$ pc, $[Fe/H] = -0.08$ dex, $T_S = 4999$ K, $\log g = 3.61$ 'dir. Bu veriler kullanılarak TIC 355325110 yıldızının tahmini kütlesi $M_{FT\pi} = 1.64 M_{\odot}$ ve ağır element bolluğu $Z = 0.011$ olarak hesaplanmıştır.

Yıldızın tahmini kütlesi kullanılarak yapılan modelde helyum bolluğu 0.110 değerinden daha düşük çıkmıştır. Yıldızın güneş helyum bolluğuna sahip olduğu varsayıldığında, yapılan kalibre modelin kütlesi $M = 0.95 M_{\odot}$ ve yaşı 11.2×10^9 yıl olarak elde edilmiştir. İkinci yöntem ile yapılan model bir çözüm verirken helyum kalibre modeli ile çok düşük Y değeri bulunduğu için çözüme ulaşılamamıştır. Bu durum hesapladığımız kütlenin doğru olmamasından kaynaklanıyor olabilir. Bu yüzden de kütle hesabında kullanılan $\log g$ değeri gözden geçirilmelidir.

4.3.20 TIC 367758676

TIC 367758676 yıldızı HR diyagramında anakol evresiyle kırmızı dev kolu arasında yer alan çukurdadır. Bu yıldızın SIMBAD'dan alınan parlaklık ve renk değerleri şöyledir: $V = 2^m.68$, $B-V = 0.57$ ve $V-K = 1.19$. Literatürden alınan uzaklık ve tayf değerleri sırasıyla $d = 11.40 \pm 0.16$ pc, $[Fe/H] = 0.26$ dex, $T_S = 6047$ K, $\log g = 3.78$ 'dir. Gözlem verileri kullanılarak yıldızın tahmini kütlesi $M_{FT\pi} = 1.68 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. $[Fe/H]$ değeri ile hesaplanan ağır element bolluğu ise $Z = 0.016$ 'dir.

Hesaplanan kütle ile yapılan modelde helyum bolluğu 0.185 değerinin altında çıkmıştır. Yıldızın helyum bolluğu güneş değeri olarak kabul edildiğinde yıldızın kütlesi $M = 1.48 M_{\odot}$ ve yaşı da 2.4×10^9 yıl elde edilmiştir. Kütle kalibre modelinde çözüme ulaşılırken helyum üzerinden yapılan kalibre modelinde Y düşük çıktığı için çözüme ulaşılamamıştır. İlk yapılan modelde de kütle hesabını yeniden yapmak gerekir. Bunun içinse literatürde yer alan farklı $\log g$ değerlerine

bakılmalıdır.

4.3.21 TIC 375621179

TIC 375621179 kırmızı dev kolunu tırmanan yıldızın V , B ve K parlaklık değerleri SIMBAD veri tabanından alınmıştır. Yıldızın parlaklık ve renk değerleri sırası ile $V = 3^m.71$, $B-V = 0.85$ ve $V-K = 2.05$ 'dir. Literatürden alınan uzaklık ve tayftan parametreleri şöyledir: $d = 13.38 \pm 0.06$ pc, $[Fe/H] = -0.19$ dex, $T_S = 5062$ K, $\log g = 3.54$. Bu veriler kullanılarak yıldızın tahmini kütlesi $M_{FT\pi} = 1.26 M_{\odot}$ ve ağır element bolluğu $Z = 0.009$ olarak hesaplanmıştır.

Helyum bolluğu üzerinden yapılan kalibre modelde yıldızın Y değeri 0.207 ve yaşı 5.9×10^9 yıl olarak elde edilmiştir. Yıldızın helyum bolluğu güneş değeri alındığında kalibre modelinden elde edilen kütle ve yaş değerleri sırasıyla $0.99 M_{\odot}$ ve 9.2×10^9 yıldır.

4.3.22 TIC 413853880

Kırmızı dev kolunu tırmanan bir yıldızdır. Bu yıldızın ait parlaklık ve renk değerleri şöyledir: $V = 6^m.89$, $B-V = 0.96$ ve $V-K = 2.21$. Literatürden alınan uzaklık ve tayfsal parametreleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Böylece bu yıldızın kütlesi $M_{FT\pi} = 1.52 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. Ağır element bolluğu ise $Z = 0.012$ 'dir.

Tahmini kütle ile yapılan kalibre modelde helyum bolluğu $Y = 0.162$ olarak elde edilmiştir. Modelin yaşı 4.5×10^9 yıldır. Yıldızın güneş helyum bolluğuna sahip olduğunu varsayarak yapılan kalibre modelin kütlesi $M = 1.03 M_{\odot}$ ve yaşı da 8.9×10^9 yıl olarak çıkmıştır. Modellerin yaşına bakıldığında her ikisi de gökada yaşının altındadır. Ancak helyum kalibre modelinde elde edilen helyum bolluğu çok düşüktür. Bu yüzden gözlem verilerinden özellikle $\log g$ değerinin gözden geçirilmesi gerekir.

4.3.23 TIC 414783388

Listedeki son yıldız olan TIC 414783388 kırmızı dev kolunu

tırmanmaktadır. Bu yıldızın parlaklık ve renk değerleri şunlardır: $V = 7^m.25$, $B-V = 0.93$ ve $V-K = 2.20$. Uzaklık ve tayftan elde edilen diğer değerlerse sırasıyla şöyledir; $d = 83.47 \pm 0.42$ pc, $[Fe/H] = 0.08$ dex, $T_s = 5024$ K, $\log g = 3.58$. Bu veriler kullanılarak TIC 414783388 yıldızının ağır element bolluğu $Z = 0.013$ ve tahmini kütlesi $M_{FT\tau} = 2.15 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır.

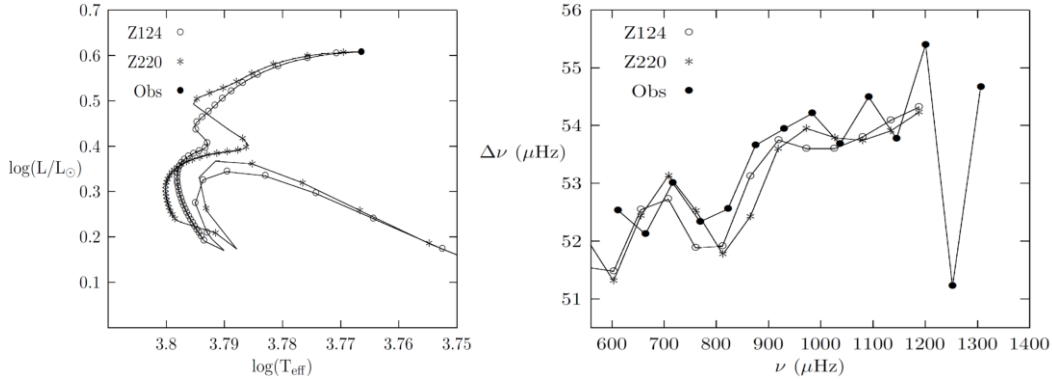
$2.15 M_{\odot}$ kütlesi kullanılarak yapılan kalibre modelde helyum bolluğu 0.1 'in altında çıkmıştır. Yıldızın helyum bolluğu güneş değeri kabul edilerek yapılan modelin kütlesi ve yaşı $M = 1.18 M_{\odot}$ ve 5.5×10^9 yıl olarak belirlendi. Bu yıldız için sadece kütle kalibre yöntemiyle elde edildi. İlk yoldan yapılan modelde düşük Y probleminin çözülebilmesi için tayf verilerinden elde edilen $\log g$ değerinin değiştirilmesi gerekir.

4.4 HR Diyagramında Biriciklik ve Yaş Sorunu Çözümü (KIC 7747078)

Seçilmiş olan TESS yıldızları gibi anakolu terk etmiş yıldızlar için aynı ışımagücü ve T_{eff} 'e sahip birbirinden çok farklı modeller yapılabilir. Yapılan bu modellerin kütleleri farklı olacağı için yaşları da birbirinden farklı olacaktır. Ayrıca Bölüm 2.2.6'da anlatılan δv_{02} bu tür evrimleşmiş yıldızlarda anakol yıldızlarında olduğu gibi iyi bir yaş belirteci değildir. Bu yüzden δv_{02} bu yıldızlara ait modelleri ayırt etmek için kullanılamaz. Bunun sebebi ise yıldız anakoldan ayrıldığı zaman özeğindeki nükleer tepkimeler durur ve özek çökmeye başlar. Bir süre sonra nükleer özeğin hemen üzerinde kabuk yakma işlemi sonucunda yıldızın dış katmanı genişler. Yıldızın iç yapısındaki bu değişimler karma kipin oluşmasına sebep olur. $l=2$ 'de karma kipin etkisi görüldüğünden δv_{02} 'nin yaşa duyarlılığı düşüktür. Bu tür yıldızlarda yaş sadece modeller ile belirlenebilir ancak modeller için ek kısıtlara ihtiyaç vardır.

Evrimleşmiş bir yıldız için HR diyagramında gözlem noktasından geçecek şekilde farklı kompozisyonlarda birden fazla evrim izi elde edilebilir. Bu modelleri birbirinden ayırt edebilmek amacıyla KIC 7747078 (Çelik Orhan, 2017) yıldızı için uygulama yapılmıştır. Yıldızın tayf ve fotometrik verilerinden elde edilen $[Fe/H]$, T_{eff} , $\log g$, V ve d değerleri sırasıyla şöyledir: -0.26 ± 0.06 dex, 5840

K, 3.91 ± 0.03 , $9^m.52$ ve 180.1 pc. HR diyagramında aynı T_{eff} ve L değerine sahip olacak şekilde kütlesi $1.15 M_{\odot}$ olan farklı kimyasal kompozisyonda beş tane iç yapı modeli yapıldı. Şekil 4.6a'da yapılan modellerden iki tanesinin HR diyagramındaki evrim yolu gösterilmiştir. Evrim yolları, farklı olmalarına rağmen, gözlem noktasında kesişmektedirler. Modellerin Z , Y , yaş, $\nu_{\text{min}1}$ ve $\nu_{\text{min}0}$ değerleri Tablo 4.7'de yer almaktadır. Z değeri en düşük olan ile en yüksek olan modeller arasında ~ 1 milyar yıllık fark (yaklaşık % 20) vardır. HR diyagramında çakışan bu modelleri ayırt edebilmek için $\Delta\nu$ - ν grafiği incelenmiştir (Şekil 4.6b). Ancak model frekanslarının birbirine yakın olmasından dolayı bu grafikten ayırt etmek mümkün değildir.



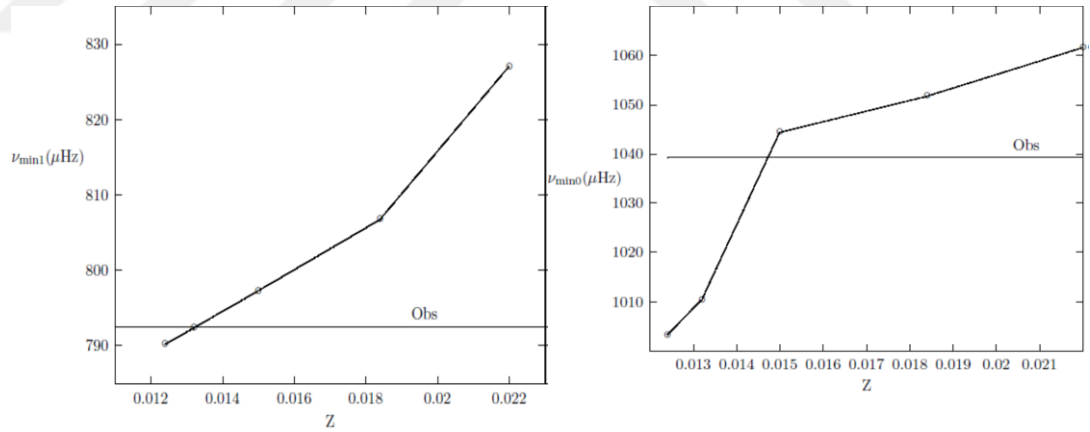
Şekil 4.6: Sol tarafta 4.6 (a) KIC 7747078 yıldızı için farklı kimyasal kompozisyona sahip iç yapı modellerinin logaritmik olarak L - T_{eff} grafiğidir. Yıldızın gözlem verileri nokta ile temsil edildi. Sağ tarafta 4.6 (b) $\Delta\nu$ - ν grafiğinde nokta ile gözlem verileri, içi boş daireleri ile Z124 modeli ve asteriks ile Z220 modeline ait frekans değerlerini göstermektedir.

Peki bu modeller birbirinden nasıl ayırt edilebilir? Bu noktada gözlem ve model frekanslarında $\nu_{\text{min}1}$ ve $\nu_{\text{min}0}$ (Çelik Orhan, 2017) değerleri belirlendi. Ağır element bolluğunun (Z) ν_{min} frekansların üzerinde etkisi olup olmadığına bakıldı. Böylece ν_{min} frekansları kullanılarak Şekil 4.7'den yola çıkarak farklı Z 'deki modelleri birbirinden ayırt edebildik. Bu sonuç sayesinde evrimleşmiş yıldızlarda karşılaşılan yaş belirsizliği ve biriciklik sorunu ortadan kalkmıştır. Böylece bu yöntemle hem farklı özellikteki modelleri birbirinden ayırt etmemizi hem de yaşı doğru şekilde tahmin edebiliriz. Aynı durumu $\nu_{\text{min}0}$ 'a karşı çizilen Z grafiğinde de araştırıldı. Ancak $\nu_{\text{min}1}$ 'in $\nu_{\text{min}0}$ 'a göre Z ile olan ilişkisi daha güçlüdür. Bu durumun sebebi $\nu_{\text{min}0}$ 'ın bu tür yıldızlarda daha sığ olmasından kaynaklanıyor olabilir. Çünkü minimumun sığ olması frekans değerinin doğru bir şekilde

belirlenmesini zorlaştırmaktadır. KIC 7747078 yıldızı ile yapılan bu uygulama ile referans frekanslarıyla modellerin birbirinden ayırt edilebilmesi mümkündür.

Tablo 4.7: KIC 7747078 yıldızının farklı Z değerleri ile yapılan modellerin Z , Y , yaş, $\nu_{\min 0}$ ve $\nu_{\min 1}$ değerleri verilmiştir. En alt satırda yıldızın gözlem frekanslarından belirlenen $\nu_{\min 0}$ ve $\nu_{\min 1}$ değerleri yer almaktadır.

Model	Z	Y	Yaş (10^9 yıl)	$\nu_{\min 0}$ (μHz)	$\nu_{\min 1}$ (μHz)
Z124	0.0124	0.2670	6.027	1003.23	790.21
Z132	0.0132	0.2749	5.893	1010.40	792.37
Z150	0.0150	0.2903	5.643	1044.38	797.27
Z184	0.0184	0.3140	5.297	1051.78	806.72
Z220	0.0220	0.3357	5.000	1061.68	827.04
Gözlem	----	----	----	1039.3	792.5



Şekil 4.7: Sol taraftaki $\nu_{\min 1}$ - Z , sağ taraftaki ise $\nu_{\min 0}$ - Z grafiğidir. Düz çizgi gözlem frekanslarından belirlenen $\nu_{\min 1}$ ve $\nu_{\min 0}$ değerini göstermektedir.

4.5 Hata Hesabı

Yıldızların temel parametrelerinin hataları fotometrik ve tayf gözlemlerinden elde edilen parametrelerden kaynaklanmaktadır. Hatalar hesaplanırken kuadratik yaklaşım yapıldı.

Tablo 3.1’de verilen ışınma güçlerindeki belirsizlik (ΔL), V ve d ’deki belirsizlikler esas alınarak hesaplandı. Aynı tabloda verilen yarıçaptaki belirsizlik (ΔR) ise ΔL ve T_{eff} ’deki belirsizlik (ΔT_{eff}) kullanılarak kuadratik yaklaşımla bulundu:

$$\frac{\Delta R}{R} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta L}{L}\right)^2}$$

Benzer bir yöntemle, gözlemsel kütle çekim ivmesindeki hata ($\Delta \log g$) ile ΔR ’den kütledeki belirsizlik hesaplanabilir (bkz. Tablo 4.5):

$$\frac{\Delta M}{M} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2}$$

Yaşın hatası ise kütledeki hatanın 2.5 katı alındı ($\Delta t/t=2.5 \Delta M/M$). Ağır element bolluğunun hatası hesaplanırken $Z_* = 10^{[Fe/H]} Z_{\odot}$ eşitliğinde tayf gözlemlerinden elde edilen $[Fe/H]$ ’in hata değeri göz önünde tutuldu. Helyum bolluğundaki tipik hata ise modellerden elde edilen kütle ile helyum bolluğu arasındaki türev değeri kullanılarak ($\partial \log M / \partial \log Y = -0.66$) hesaplandı. Δv ve v_{max} ’ın model değerleri için hatalar, sırasıyla, denklem 2.20 ve 2.21’deki ölçek ilişkileri kullanılarak elde edildi.

4.6 TESS Tarafından Gözlenen İlk Yıldız TOI 197 ve Diğer TESS Yıldızları

Tez kapsamında inceleme yapılırken aynı zamanda TESS projelerine de katıldık. Bu projelerden biri Huber ve ark. (2019) tarafından TOI 197 (HIP 116158) numaralı yıldızın incelemesine aittir. TESS tarafından titreşimleri kaydedilen ilk ötegezegenli sistemdir. Yıldızın fotometrik gözlemlerinden elde edilen V bandındaki parlaklığı $8^{\text{m}}.15$, K bandındaki parlaklığı $6^{\text{m}}.04$ ve TESS tarafından ölçülen parlaklığı $7^{\text{m}}.30$ ’dir. *Gaia* tarafından belirlenen paralaks değeri 10.518 ± 0.080 mas’dır. Tayftan elde edilen etkin sıcaklık ve metal bolluk değeri ise şöyledir: $T_{\text{eff}} = 5080 \pm 90$ K ve $[Fe/H] = -0.08 \pm 0.08$ dex. Tayf sınıflamasına

göre HR diyagramında alt devler bölgesinde bulunmaktadır. Güneş benzeri titreşim yapan bu yıldızın frekansları TESS tarafından 120 saniyelik kadans ile gözlenmiştir. Bu yıldızda karma kipler gözlenmiştir.

Yıldızın gözlem verileri kullanılarak en iyi temsil eden iç yapı modelleri yapıldı. Modeller yapılırken birbirinden farklı fiziksel koşullar uygulandı. Yapılan modellerde ilk olarak ν , T_{eff} ve $[Fe/H]$, ikinci modelde ν , T_{eff} , $[Fe/H]$ ve *Gaia* DR2, üçüncü modelde $\langle \Delta \nu \rangle$, T_{eff} ve $[Fe/H]$ ve dördüncü modelde de $\langle \Delta \nu \rangle$, T_{eff} , $[Fe/H]$ ve *Gaia* DR2 parametreleri kullanıldı. Yıldızın iç yapı ve evrim modelini yapmak için farklı evrim kodları (ASTEC, Cesam2K, GARSTEC, Iben, MESA ve YREC) ve titreşim kodları (ADIPLS, GYRE ve Pesnell) kullanıldı. Bu yıldızla ait temel parametreleri MESA evrim kodu ve ADIPLS titreşim paketini kullanarak elde ettik. Elde ettiğimiz model değerleri Tablo 4.8’de yer almaktadır. Modellerden yıldızın kırmızı dev kolunda olduğu görüldü. Dört model içerisinde genel olarak *Gaia* DR2 verilerinden faydalanarak yaptığımız modelin Huber ve ark. (2019)’nın yayınladığı değerler ile uyumludur. Yapılan araştırmada yıldız için elde edilen değerler şunlardır: $M = 1.212 \pm 0.074 M_{\odot}$, $R = 2.943 \pm 0.064 R_{\odot}$, $L = 5.15 \pm 0.17 L_{\odot}$, $\rho = 0.06702 \pm 0.00067 \text{ gcc}$, $\log g = 3.584 \pm 0.010 \text{ cgs}$ ve $t = 4.9 \pm 1.1$ milyar yıl.

Tablo 4.8: TOI 197 yıldızı için yaptığımız dört modelin sonuçları yer almaktadır. Bunlar sırasıyla model numarası, kütle (M), yarıçap (R), ışım gücü (L), yoğunluk (ρ), kütle çekim ivmesi ($\log g$) ve yaşdır.

Model	$M (M_{\odot})$	$R (R_{\odot})$	$L (L_{\odot})$	$\rho (\text{gcc})$	$\log g (\text{cgs})$	Yaş (10^9 yıl)
Model 1	1.06	2.81	4.72	0.0671	3.57	7.8
Model 2	1.22	2.96	5.34	0.0666	3.58	4.4
Model 3	1.06	2.84	4.83	0.0651	3.56	7.6
Model 4	1.18	2.94	5.46	0.0652	3.57	4.9

Ev sahibi yıldızın gezegeni için asterosismoloji sonuçları, gezegen geçişi modelleri ve radyal hız gözlemleri birleştirilerek bu yıldızın gezegeninin sıcak satürn olduğu bulunmuştur (Huber ve ark., 2019). Gezegenin yörünge periyodu

~ 14.3 gün olarak belirlenmiştir. Ayrıca gezegenin parlaklığı, kütlesi, yarıçapı ve yoğunluğu sırasıyla bu çalışmada $F = 343 \pm 24 F_{\oplus}$, $R_p = 9.17 \pm 0.33 R_{\oplus}$, $M_p = 60.5 \pm 5.7 M_{\oplus}$, $\rho_p = 0.431 \pm 0.062 \text{ g cm}^{-3}$ olarak verilmiştir.

TESS tarafından gözlenen bazı yıldızlar ile geniş kapsamlı araştırma katılımı sağlayan başka projeler de yapıldı. Bu araştırmalardaki yıldızların asterosismik ve asterosismik olmayan verileri kullanılarak M , R ve L gibi yıldızlara ait temel parametreler hesaplandı. Bu parametreler kullanılarak yapılan iç yapı modellerinin sonuçları Tablo 4.9, 4.10 ve 4.11’de yer almaktadır. İncelenen yıldızlar anakol evresinden ayrılmış, RG (red giant) veya RC (red clump) yıldızlarıdır. Bu yıldızlar için hesaplanan kütle $0.8-1.65 M_{\odot}$ arasında değişirken iç yapı modellerinden elde edilen yaşlar 1.44 ile 16 milyar yıl arasında değişmektedir.

Burada yer alan TIC 129649472 yıldızının gözlem verilerinden elde edilen $\Delta\nu$ değerine ($\Delta\nu = 4.1 \mu\text{Hz}$) göre yıldız RG ya da RC evresinde olabilir (Campante ve ark., 2019). Bu durum göz önüne alınarak TIC 129649472 yıldızı için RG ve RC evrim aşamasında modeller yapıldı. Yıldızın RG evresinde olduğu varsayıldığında kütlesi $1.12 M_{\odot}$ ve yaşı 7.6×10^9 yıl çıkarken RC evresinde olduğu düşünüldüğünde ise kütlesi $0.97 M_{\odot}$ ve yaşı da 4.7×10^9 yıl çıkmıştır.

TESS kapsamında yapılan bir diğer araştırma ise Aguirre ve ark. (2019)’nın incelediği 16 TESS yıldızına aittir. Bu yıldızların temel parametreleri hesaplanırken asterosismik ve asterosismik olmayan gözlem parametreleri kullanıldı. Tablo 4.10’da verilen modellerde $\Delta\nu$, v_{\max} , T_{eff} ve $[Fe/H]$ değerleri kullanılırken Tablo 4.11’de bu gözlem verilerine ek olarak *Gaia* DR2 kullanıldı. 16 yıldızdan üçü için (TIC 70797228, TIC 129649472 ve TIC 149347992) RG evresinde çözüme ulaşamadı. Bu yıldızların RC evresinde olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 4.9: Katıldığımız TESS projelerine ait modellerin çözümleri. İlk sütunda incelenen yıldızların adları vardır. Sonrasında yarıçap (R), kütle (M), yoğunluk (ρ), ışıma gücü (L), yaş, kütle çekim ivmesi ($\log g$) ve referansları bulunmaktadır.

Yıldız	R (R_{\odot})	M (M_{\odot})	ρ	L (L_{\odot})	Yaş (10^9 yıl)	$\log g$	Referans
94 Aqr	2.07 ± 0.03	1.21 ± 0.03	0.192 ± 0.003	3.96 ± 0.15	5.7 ± 0.4	---	Metalfer ve ark., (2020) hazırlanıyor.
λ 2Fornacis	1.627 ± 0.005	1.132 ± 0.035	0.370 ± 0.005	2.88 ± 0.11	7.0 ± 0.4	---	Nielsen ve ark., (2020) hazırlanıyor.
TOI 197	2.94 ± 0.01	1.18 ± 0.13	0.0652 ± 0.0007	5.46 ± 0.10	4.9 ± 1.4	---	Huber ve ark., (2019)
TIC 12723961	4.585 ± 0.001	1.396 ± 0.005	0.0204 ± 0.0005	12.19 ± 0.02	2.78 ± 0.02	3.206 ± 0.008	
TIC 129649472 RC	10.8 ± 1.1	0.97 ± 0.18	0.0013 ± 0.0001	42 ± 7	4.7 ± 2.2	2.36 ± 0.10	Campante ve ark., (2019)
TIC 129649472 RG	10.3 ± 1.1	1.12 ± 0.18	0.0014 ± 0.0001	43.4 ± 6.8	7.6 ± 2.9	2.46 ± 0.10	
β Hyi	1.83 ± 0.01	1.09 ± 0.01	0.257 ± 0.002	3.56 ± 0.02	6.59 ± 0.04	---	White ve ark. (2020) hazırlanıyor.
v Indi	2.9	0.82	0.0475	6.03	9.81	---	Chaplin ve ark., (2020) baskıda.

Tablo 4.10: Aguirre ve ark. (2019)'nın 16 yıldız ile yapılan inceleme sonuçlarıdır. Sütunlarda sırasıyla TIC numarası, kütle (M), yarıçap (R), kütle çekim ivmesi ($\log g$), yaş, uzaklık (d), kızıllaşma $E(B-V)$ ve evrim aşamaları vardır.

TIC	$M (M_{\odot})$	$R (R_{\odot})$	$\log g$	Yaş (10^9 yıl)	d (pc)	$E(B-V)$	Evrim Aşaması
38828538	1.16 ± 0.09	4.40 ± 0.06	3.21 ± 0.21	8.01 ± 0.18	53.51 ± 0.06	0.0222 ± 0.0008	RG
39082723	1.31 ± 0.05	9.67 ± 0.03	2.58 ± 0.11	5.56 ± 0.15	68.6 ± 0.03	0.0181 ± 0.0006	RG
70797228	---	---	---	---	---	0.0104 ± 0.0003	---
111750740	1.19 ± 0.03	7.59 ± 0.02	2.75 ± 0.07	6.77 ± 0.09	41.43 ± 0.02	0.0319 ± 0.0008	RG
115011683	1.13 ± 0.09	7.99 ± 0.06	2.69 ± 0.21	8.73 ± 0.27	71.23 ± 0.06	0.0383 ± 0.0006	RG
129649472	---	---	---	---	---	0.0754 ± 0.0031	---
141280255	1.08 ± 0.06	4.97 ± 0.04	3.08 ± 0.14	16.0 ± 0.18	32.28 ± 0.04	0.0749 ± 0.0025	RG
149347992	---	---	---	---	---	0.0581 ± 0.0013	---
155940286	1.02 ± 0.06	6.95 ± 0.04	2.76 ± 0.14	15.17 ± 0.18	90.54 ± 0.04	0.0103 ± 0.0003	RG
175375523	1.51 ± 0.03	9.56 ± 0.02	2.65 ± 0.07	4.09 ± 0.09	72.05 ± 0.02	0.0169 ± 0.0011	RG
204313960	1.30 ± 0.09	6.26 ± 0.06	2.96 ± 0.21	4.77 ± 0.27	74.54 ± 0.06	0.0303 ± 0.0009	RG
220517490	1.0 ± 0.13	5.99 ± 0.08	2.88 ± 0.29	7.87 ± 0.39	57.31 ± 0.08	0.0270 ± 0.0002	RG
270245797	1.65 ± 0.10	6.53 ± 0.07	3.15 ± 0.39	1.59 ± 0.51	90.80 ± 0.07	0.0788 ± 0.0025	RG
281597433	1.17 ± 0.02	9.55 ± 0.01	2.55 ± 0.04	5.84 ± 0.06	72.69 ± 0.01	0.0191 ± 0.0005	RG
439399563	1.68 ± 0.17	10.14 ± 0.11	2.65 ± 0.39	1.89 ± 0.51	102.88 ± 0.11	0.0211 ± 0.0006	RG
441387330	1.07 ± 0.10	8.59 ± 0.07	2.60 ± 0.11	8.34 ± 0.30	74.46 ± 0.07	0.0452 ± 0.0004	RG

Tablo 4.11: Aguirre ve ark. (2019) tarafından incelenen 16 yıldızla ait model ve gözlem verileridir. İlk sütunda yıldızların TIC numaraları bulunmaktadır. Sonrasında kütle (M), yarıçap (R), kütle çekim ivmesi ($\log g$), yaş, uzaklık (d), kızıllaşma $E(B-V)$ ve evrim aşamaları yer almaktadır.

TIC	$M (M_{\odot})$	$R (R_{\odot})$	$\log g$	Yaş (10^9 yıl)	d (pc)	$E(B-V)$	Evrim Aşaması
38828538	1.18 ± 0.02	4.57 ± 0.01	3.19 ± 0.01	5.54 ± 0.07	44.05 ± 0.01	0.0222 ± 0.0008	RG
39082723	1.3 ± 0.03	9.46 ± 0.01	2.60 ± 0.01	3.20 ± 0.10	68.01 ± 0.01	0.0181 ± 0.0006	RG
70797228	---	---	---	---	---	0.0104 ± 0.0003	---
111750740	1.19 ± 0.02	5.32 ± 0.01	3.06 ± 0.01	5.94 ± 0.06	41.22 ± 0.01	0.0319 ± 0.0008	RG
115011683	1.08 ± 0.03	8.00 ± 0.01	2.66 ± 0.01	5.43 ± 0.10	70.10 ± 0.01	0.0383 ± 0.0006	RG
129649472	---	---	---	---	---	0.0754 ± 0.0031	---
141280255	1.06 ± 0.02	4.90 ± 0.01	3.09 ± 0.01	11.53 ± 0.05	32.07 ± 0.01	0.0749 ± 0.0025	RG
149347992	---	---	---	---	---	0.0581 ± 0.0013	---
155940286	0.98 ± 0.04	6.80 ± 0.01	2.76 ± 0.01	8.80 ± 0.13	89.35 ± 0.01	0.0103 ± 0.0003	RG
175375523	1.24 ± 0.04	8.56 ± 0.01	2.66 ± 0.01	5.20 ± 0.11	71.43 ± 0.01	0.0169 ± 0.0011	RG
204313960	1.39 ± 0.04	6.59 ± 0.01	2.94 ± 0.01	2.05 ± 0.11	72.97 ± 0.01	0.0303 ± 0.0009	RG
220517490	1.08 ± 0.03	5.43 ± 0.01	3.01 ± 0.01	4.94 ± 0.08	55.94 ± 0.01	0.0270 ± 0.0002	RG
270245797	1.31 ± 0.04	7.88 ± 0.01	2.76 ± 0.01	2.69 ± 0.13	88.67 ± 0.01	0.0788 ± 0.0025	RG
281597433	1.15 ± 0.04	7.33 ± 0.01	2.76 ± 0.01	3.36 ± 0.11	71.74 ± 0.01	0.0191 ± 0.0005	RG
439399563	1.64 ± 0.05	11.28 ± 0.02	2.55 ± 0.02	1.44 ± 0.15	101.14 ± 0.02	0.0211 ± 0.0006	RG
441387330	1.14 ± 0.04	9.14 ± 0.01	2.57 ± 0.01	5.12 ± 0.11	73.05 ± 0.01	0.0452 ± 0.0004	RG

5 SONUÇLAR

Kepler ve CoRoT sayesinde son dönemlerde yapılan asterosismik çalışmalar yıldız yapısı ve evriminin anlaşılmasında önemli bir role sahiptir. 2018 yılında gönderilen TESS uydu verileri ile bu yolda ilerleme devam etmektedir.

Tez kapsamında TESS hedef yıldızlar listesinden seçilmiş yıldızlar incelendi. Bu yıldızlar seçilirken V parlaklığı, $[Fe/H]$, d , $\log g$ ve T_{eff} parametrelerinin eksiksiz olmasına dikkat edildi. Verileri tam olan 23 yıldız incelendi. Modeller yapılırken iki farklı yol izlendi. Bunlardan ilki, tayf ve fotometrik gözlem verilerinden kütle hesaplanarak helyum bolluğu değiştirilerek kalibrasyon yapıldı. Bu sayede yıldızın sahip olabileceği Y değeri belirlendi. Diğer yöntemse, yıldızların helyum bolluğu güneş değeri alındı ve kütle değiştirilerek kalibrasyon yapılmasıdır. Bu yolla yıldızlar için farklı $\log g$ değerleri elde edilmiştir. İçyapı modelleri MESA evrim kodu ile yapıldı. Modellerin adyabatik titreşim frekansları ise ADIPLS paketiyle hesaplandı.

Model frekanslarında elde edilen frekans aralığı gözlenen titreşim frekanslarına göre daha geniştir. Bu sebeple TESS'in yapacağı gözlem aralığını belirleyebilmek için Kepler mirası yıldızların gözlem verileri kullanıldı. Gözlem frekans aralığının v_{max} değerinin %22 altı ve üstünde yer aldığı görüldü. Bu oranı modellerin $\log g$ ve T_{eff} değerinden hesaplanan v_{max} değerinde uygulayarak yıldızların frekans aralığı belirlendi. Her yıldız için ayrı ayrı belirlenen frekans aralıklarından yıldızların ortalama Δv değeri hesaplandı. Böylece iki farklı yoldan yapılan kalibre modellerle yıldızların gözlem frekansları elde edilmeden önce Δv ve v_{max} 'ın tahmini değerleri belirlendi.

Seçili yıldızların bazılarında model yaşı gökada yaşından fazla çıktı. Bu durumda gözlemlerden elde edilen veriler tekrar gözden geçirildi. İncelenen tüm yıldızlar yakındır. Bu yüzden uzaklıktan kaynaklanan hatanın etkisi bu kadar büyük yaşına neden olmaz. Esas beklenen etki T_{eff} ve özellikle $\log g$ 'nin hassasiyetinin düşük olmasındandır. Örneğin TIC 287096308 yıldızının tayf sıcaklığı kullanılarak yapılan modellerde yaş 15.1×10^9 ve 27.8×10^9 yıl çıkmıştır. Tayftan elde edilen etkin sıcaklık yerine $(B-V)$ renginin gösterdiği etkin sıcaklık

ile model yapıldığı zaman yıldızın yaşı 13.1×10^9 ve 12.3×10^9 yıl çıktı. Sıcaklığın değiştirilmesiyle yapılan modellerin yaşı gökada yaşından daha küçüktür. Kırmızı dev kolunu tırmanan yıldızlarda sıcaklığın belirlenmesinin ne kadar önemli olduğu bu yıldız ile yapılan incelemede açıkça görülmektedir. Hata payı içerisinde kalabilecek 130 K'lik bir fark kütle, yaş, helyum bolluğu gibi parametrelerde önemli değişimlere neden olmaktadır.

Son olarak, anakolu terk etmiş olan bir yıldızın modelini yaparken farklı kimyasal bileşimlerde HR diyagramında aynı noktaya gelen bir sürü model yapılmaktadır. Ancak bu modellerin yaşları da birbirinden farklıdır. Ayrıca anakol evresinde kullanılan $\delta\nu_{02}$, evrimleşmiş yıldızlarda iyi bir yaş belirteci olmadığı için kullanılamaz. Bu sorunu çözebilmek için referans frekanslarından faydalanıldı. Yapılan modellerde minimum frekanslarla ağır element bolluğu arasında ilişki olup olmadığı araştırıldı. $\nu_{\min} - Z$ grafikleri çizdirildiği zaman gözlem frekanslarından elde edilen minimumlar belli bir Z değerini işaret etmektedir. Böylece tek bir noktada çakışan farklı yaş ve kompozisyondaki modelleri birbirinden ayırt ederek yıldızı en iyi temsil eden model yapıldı. Sonuç olarak, HR diyagramında evrimleşmiş yıldızlarda karşılaşılan bu sorun minimum frekanslar kullanılarak çözüldü.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Arentoft, T., Kjeldsen, H., Bedding, T. R., Bazot, M., 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. and Scott, P.**, 2009, The Chemical Composition of the Sun, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics* , 47, 481p.
- Basu, S. and Antia, H. M.**, 1995, Helium abundance in the solar envelope, *MNRAS* , 276, 1402p.
- Basu, S. and Antia, H. M.**, 1997, Seismic measurement of the depth of the solar convection zone, *MNRAS* , 287, 189p.
- Borucki, W. J., Koch, D., Basri, G., et al.**, 2010, Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results, *Science* , 327, 977p.
- Bouchy, F. and Carrier, F.**, 2001, P-mode observations on α Cen A, *A&A* , 374, L5.
- Brown, T. M., Gilliland, R. L., Noyes, R. W. and Ramsey, L. W.**, 1991, Detection of possible p-mode oscillations on Procyon, *ApJ* , 368, 599p.
- Campante, T. L., E., C. and Lund, M. N.**, 2019, TESS Asteroseismology of the Known Red-giant Host Stars HD 212771 and HD 203949, *ApJ* , 885, 12p.
- Chaplin, W., Elsworth, Y., Isaak, G., Miller, B. and New, R.**, 1999, Skew-symmetric solar P modes in low- l BiSON data, *MNRAS* , 308, 424p.
- Chaplin, W. J., Kjeldsen, H., Christensen-Dalsgaard, J., et al.**, 2011, Ensemble Asteroseismology of Solar-Type Stars with the NASA Kepler Mission, *Science* , 332, 213p.
- Chaplin, W. J., Serenelli, A. M., Miglio, A., et al.**, 2020, Age dating of an early Milky Way merger via asteroseismology of the naked-eye star ν Indi, *Nature Astronomy*, (in press).
- Lejeune, T., Cuisinier, F. and Buser, R.**, 1998, A standard stellar library for evolutionary synthesis. II. The M dwarf extension, *A&AS* , 130, 65p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Christensen-Dalsgaard, J.**, 1988, in it Proc. IAU Symposium No 123, Advances in helio- and asteroseismology, eds Christensen-Dalsgaard, J. & Frandsen, S. (Reidel, Dordrecht), 295p.
- Christensen-Dalsgaard, J.**, 2008, ADIPLS-the Aarhus adiabatic oscillation package, ApSS , 316, 113p.
- Christensen-Dalsgaard, J.**, 2014, Asteroseismology, 22nd Canary Islands Winter School of Astrophysics. Edited by Pere L. Pallé and Cesar Esteban, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 194p.
- Christensen-Dalsgaard, J.**, 2014, Lecture Notes on Stellar Oscillations, Aarhus Uviversitet
- Gaia Collaboration**, 2018, Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties, A&A , 616, A1.
- Çelik Orhan, Z.**, 2017, Güneş Benzeri Titreşim Yapan Yıldızların Yapısı ve Evrimi, Doktora Tezi.
- Deubner, F.-L.**, 1975, Observations of low wavenumber nonradial eigenmodes of the sun, A&A , 44, 371p.
- Di Mauro, M. P.**, 2016, A review on Asteroseismology, Frontier Research in Astrophysics II, held 23-28 May, 2016 in Mondello (Palermo), Italy, 29p
- Gilliland, R. L., Brown, T. M., Christensen-Dalsgaard, J., et al.**, 2010, Kepler Asteroseismology Program: Introduction and First Results, Publ. Astron. Soc. Pacific , 122, 131p.
- Guggenberger, E., Hekker, S., Basu, S. and Bellinger, E.**, 2016, Significantly improving stellar mass and radius estimates: a new reference function for the $\Delta\nu$ scaling relation, MNRAS , 460, 4277p.
- Huber, D., Chaplin, W. J., Chontos, A., Kjeldsen, H., et al.**, 2019, A Hot Saturn Orbiting an Oscillating Late Subgiant Discovered by TESS, AJ , 157, 245.
- Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M. and Donner, K. J.**, 2007, Fundamental Astronomy. Springer, Berlin, 229p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kjeldsen, H. and Bedding, T.,** 1995, Amplitudes of stellar oscillations: the implications for asteroseismology, *A&A* , 293, 87p.
- Kjeldsen, H., Bedding, T. R., Viskum, M. and Frandsen, S.,** 1995, Solarlike Oscillations in eta Boo, *AJ* , 109, 1313p.
- Kjeldsen, H., Bedding, T. R., Arentoft, T., et al.,** 2008, The Amplitude of Solar Oscillations Using Stellar Techniques, *ApJ* , 682, 1370p.
- Leibacher, J. W. and Stein, R. F.,** 1971, A New Description of the Solar Five-Minute Oscillation, *ApL* , 7, 191p.
- Leighton, R. B., Noyes, R. W. and Simon, G. W.,** 1962, Velocity Fields in the Solar Atmosphere I. Preliminary Report, *ApJ* , 135, 474p.
- Metcalf, T., et al.,** 2020, (preparing).
- Mosser, B., Michel, E., Belkacem, K., et al.,** 2013, Asymptotic and measured large frequency separations, *A&A* , 550, A126.
- Nielsen, M., et al.,** 2020, TESS asteroseismology of the known planet host star λ^2 For, (preparing).
- Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., Herwig, F., Lesaffre, P. and Timmes, F.,** 2011, Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA), *ApJS* , 192, 35p.
- Paxton, B., Cantiello, M., Arras, P., Bildsten, L., et al.,** 2013, Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Planets, Oscillations, Rotation, and Massive Stars, *ApJS* , 208, 42p.
- Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., et al.,** 2014, Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), *Proc. SPIE* , 9143, 15p.
- Sharma, S., Stello, S., Hawthorn, J., Huber, D. and Bedding, T.,** 2016, Stellar Population Synthesis Based Modeling Of The Milky Way Using Asteroseismology Of 13,000 Kepler Red Giants, *ApJ* , 822, 15p.
- Silva Aguirre, V., Stello, D., et al.,** 2019, Detection and characterisation of oscillating red giants: first results from the TESS satellite, *ApJ*, Accepted (eprint arXiv:1912.07604).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tassoul, M.**, 1980, Asymptotic approximations for stellar nonradial pulsations ApJS , 43, 469p.
- Thompson, M. J.**, 2006, An introduction to astrophysical fluid dynamics, Imperial College Press, London, 227p.
- Ulrich, R. K.**, 1970, The five-Minute Oscillations on The Solar Surface, ApJ , 162, 993p.
- Ulrich, R.**, 1986, Determination of Stellar Ages from Asteroseismology, ApJ , 306, L37.
- van Leeuwen, F.**, 2007, Validation of the new Hipparcos reduction, A&A , 474, 653p.
- White, T., Bedding, T., Stello, D., Christensen-Dalsgaard, J., Huber, D., Kjeldsen, H.**, 2011, Calculating Asteroseismic Diagrams For Solar-Like Oscillations, ApJ , 743, 161.
- White, T., et al.**, 2020, (preparing).
- Yıldız, M., Çelik Orhan, Z., Aksoy, Ç. and 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. and Turkoglu, G. E.**, 2014, On the structure and evolution of planets and their host stars - effects of various heating mechanisms on the size of giant gas planets, MNRAS , 445, 4395p.
- Yıldız, M., Çelik Orhan, Z. and Kayhan, C.**, 2016, Fundamental properties of Kepler and CoRoT targets: III. Tuning scaling relations using the first adiabatic exponent, MNRAS , 462, 1577p.
- Yıldız, M., Çelik Orhan, Z. and Kayhan, C.**, 2019, Fundamental properties of Kepler and CoRoT targets - IV. Masses and radii from frequencies of minimum $\Delta\nu$ and their implications, MNRAS , 489, 1753p.

TEŞEKKÜR

Tez çalışması sürecinde bilgisini ve görüşlerini esirgemeyerek sonuna kadar destek olan danışmanım Mutlu YILDIZ'a en içten duygularıyla teşekkür ederim. Aynı şekilde hem evrim kodunu öğreten hem de yüksek lisans boyunca yardımını esirgemeyen Zeynep ÇELİK ORHAN'a çok teşekkür ederim. Üç Yıl süren yüksek lisan eğitimim boyunca bana her zaman 'sen yaparsın' diyen annem Hülya ARIGAN'a hep yanımda durarak destek olduğu için minnettirim. Son olarak manevi desteğinin yanı sıra tez düzenleme aşamasında çok emeği geçen Cem MESUR'a teşekkür ederim.

Bu tez 118F352 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK'a desteğinden dolayı teşekkür ederim.

8 / 1 / 2020

İmzası



Adı-Soyadı

Sibel ÖRTEL

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Antalya da doğdu. İlkokul ve ortaokulu 1999-2007 yılları arasında Antalya da Mecdude Başakıncı İlköğretim Okulunda okudu. Daha sonra 2007-2011 yılları arasında Antalya Akdeniz Lisesinde orta öğretime devam etti. 2011 yılında üniversite sınavında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimlerini Bölümünü kazandı. Başarılı bir lisans eğitimi sonunda 2015-2016 bahar dönemi 3.39 ortalamayla mezun oldu. 2016-2017 bahar döneminde Ege Üniversitesinde Astrofizik dalında Yüksek Lisansa başladı.