T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

KEPLER UZAY TELESKOBU VE ASAS GÖRÜŞ ALANINDAKİ SEFEİD TÜRÜ DEĞİŞEN YILDIZLARIN FREKANS ANALİZLERİ

Hazırlayan
Mehmet Oğuzhan ERTURAN

Danışman
Doç. Dr. Hasan AK

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2022
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

KEPLER UZAY TELESKOBU VE ASAS GÖRÜŞ ALANINDAKİ SEFEİD TÜRÜ DEĞİŞEN YILDIZLARIN FREKANS ANALİZLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Mehmet Oğuzhan ERTURAN

Danışman
Doç. Dr. Hasan AK

Ağustos 2022
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mehmet Oğuzhan ERTURAN
İmza:

YÖNERGEYE UYGUNLUK

"Kepler Uzay Teleskobu ve ASAS Görüş Alanındaki Sefeid Türü Değişen Yıldızların Frekans Analizleri" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Mehmet Oğuzhan ERTURAN

Danışman
Doç. Dr. Hasan AK

Astronomi ve Uzay Bilimleri ABD Başkanı
Doç. Dr. Hasan AK

TEŞEKKÜR

Kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum, bilimsel görgümü arttıran tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hasan AK'a,

LaTeX kodları konusunda tavsiyeleri için Sayın Dr. Nurten FİLİZ AK'a, mesai arkadaşım Havva KIRGIZ, Vildan DİZDAROĞLU ve Seyit HÖKELEK'e,

Yaşamımın her aşamasında destek veren aileme,

En önemlisi, en çekilmez olduğum anlarda bana gösterdiği anlayışı ve en ihtiyaç duyduğum zamanda verdiği sevgisi ve desteği için eşim Şule'ye ve güzel kızımız Yağmur'a,

Teşekkür ederim.

Mehmet Oğuzhan ERTURAN

Ağustos 2022, KAYSERİ

KEPLER UZAY TELESKOBU VE ASAS GÖRÜŞ ALANINDAKİ SEFEİD TÜRÜ DEĞİŞEN YILDIZLARIN FREKANS ANALİZLERİ

Mehmet Oğuzhan ERTURAN
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2022
Danışman: Doç. Dr. Hasan AK

ÖZET

Bu yüksek lisans araştırmasında, ASAS veri tabanında kayıtlı çeşitli türden 947 değişen yıldız içerisinden seçilen 3 tane Sefeid yıldızın, Kepler uzay teleskobu tarafından sağlanan fotometrik verilerinin frekans analizi yapılmıştır. Kepler uzay teleskobu, gökyüzünün yaklaşık 115 derece karelik bir alanını gözlemlemiştir. Bu gözlem alanında, daha önceden yapılan ASAS gökyüzü araştırmasının da bir bölümü kalmaktadır ve bu bölge ASAS Kepler FoV adıyla bilinir. Bu tez çalışmasında incelenen nesneler, her iki bilimsel görevin de ortak görüş alanında kalan yıldızlardır. Yapılan analizler sonucunda yıldızların temel zonklama frekansları; KIC 7548061 için 0.203027, KIC 6269092 için 0.0600236 ve KIC 7899428 için 0.08649 olarak bulunmuştur. Bu zonklama frekanslarından elde edilen bir diğer bilgi ise yıldızların gün biriminde hesaplanan zonklama dönemleridir. Bu dönem değerleri sırasıyla 4.9254 gün, 16.601 gün, 11.562 gün olarak hesaplanmıştır. Kepler fotometrik verileri kullanılarak ulaşılan bu dönem değerleri, ASAS veri tabanından okunan dönem değerleriyle uyum içerisindedir.

Anahtar Kelimeler: Değişen Yıldızlar, Sefeid Yıldızları, Frekans Analizi PERIOD04

FREQUENCY ANALYSIS OF CEPHEID TYPE VARIABLE STARS IN KEPLER SPACE TELESCOPE AND ASAS FIELD OF VIEW

Mehmet Oğuzhan ERTURAN
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, August 2022
Supervisor: Assoc. Dr. Hasan AK

ABSTRACT

In this thesis, frequency analysis of photometric data provided by Kepler space telescope of 3 Cepheid type variable stars selected from 947 variable stars of various types registered in the ASAS database was performed. The Kepler space telescope observed an area of about 115 square degrees of the sky. Part of the previous ASAS sky survey remains in this observatory and is known as the ASAS Kepler FoV. The objects examined in this thesis are the stars in the common field of view of both scientific missions. As a result of the analyzes made, the throbbing frequencies of the stars; It is calculated as 0.203027 for KIC 7548061, 0.060236 for KIC 6269092 and 0.08649 for KIC 7899428. Another information obtained from these pulsating frequencies is the throbbing periods of the stars calculated in days. These period values were calculated as 4.92545 days, 16.601 days and 11.562 days, respectively. These period values, obtained by using Kepler photometric data, are very close to the period values read from the ASAS database.

Keywords: Variable Stars, Cepheids Stars, Frequency Analysis, PERIOD04

İÇİNDEKİLER

KEPLER UZAY TELESKOBU VE ASAS GÖRÜŞ ALANINDAKİ SEFEİD TÜRÜ DEĞİŞEN YILDIZLARIN FREKANS ANALİZLERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR VE SİMGELER xi
TABLOLAR LİSTESİ xii
ŞEKİLLER LİSTESİ xiv
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Zonklayan Değişen Yıldızlar 2
1.2. Dönem-Yoğunluk İlişkisi 5
1.3. Zonklayan Yıldızların Modellenmesi 8
1.4. Kararsızlık Kuşağı 13
1.5. Klasik (Tip I) Sefeid Yıldızları 15
1.6. Tip II Sefeidler 21
1.6.1. BL Herculis Değişenleri 24
1.6.2. W Virginis Değişenleri 25
1.6.3. RV Tauri Değişenleri 25
1.7. Sefeidlerde Dönem-Parlaklık Bağıntısı 26

2. BÖLÜM

YÖNTEM ve MATERYAL

2.1. Yöntem **32**

2.1.1. PERIOD04 Programı Hakkında Açıklamalar **33**

2.1.2. Fourier Analizi Yöntemi ile Sefeidlerin Frekans Analizi . . **33**

2.1.3. Kepler Işık Eğrilerinin Asterosismik Analizler İçin Hazırlanması **36**

2.1.3.1. Aykırılıklar **37**

2.1.3.2. Sıçramalar (Atmalar) **37**

2.1.3.3. Eğilimler **38**

2.2. Materyal **38**

2.2.1. KIC 7548061 Yıldızı **38**

2.2.2. KIC 6269092 Yıldızı **43**

2.2.3. KIC 7899428 Yıldızı **46**

2.2.4. The All Sky Automated Survey (ASAS) Kataloğu **49**

2.2.5. Kepler Uzay Teleskobuna Genel Bakış **54**

2.2.6. Akı Kalibrasyonu **59**

2.2.7. Kepler Uzay Teleskopu ile Yapılan Değişen Yıldız Gözlemleri **61**

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. KIC 7548061 Yıldızı **63**

3.2. KIC 7899428 Yıldızı **69**

3.3. KIC 6269092 Yıldızı **71**

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma, Sonuç ve Öneriler **76**

4.2. Yıldızların Frekans Bulguları Hakkında Bireysel Açıklamalar . **78**

4.2.1. KIC 7548061 Yıldızı 78
4.2.2. KIC 7899428 Yıldızı 78
4.2.3. KIC 6269092 Yıldızı 79
4.3. Öneriler 80
KAYNAKÇA 81
EKLER 97
EK 1. 98
ÖZGEÇMİŞ 110

KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	Anlamı	Değeri	Birimi
2MASS	2 Mikron Tüm Gökyüzü Taraması	-	-
APER	Düzensiz Değişenler	-	-
ASAS	Tüm Gökyüzü Taraması	-	-
CCD	Yük Bağlaşımlı Aygıt	-	-
CEP	Sefeid	-	-
EA	Algol Türü Değişen	-	-
EB	Beta-Lyrae Türü Değişen	-	-
EW	W-UMa Türü Değişenler	-	-
FITS	Esnek Görüntü Taşıma Sistemi	-	-
FoV	Görüş Alanı	-	-
H-R	Hertzsprung-Russel Diyagramı	-	-
HADS	Yüksek Genlikli Delta Scuti Yıldızı	-	-
KIC	Kepler Girdi Kataloğu	-	-
Kp	Kepler Fotometrisi	-	-
LMC	Büyük Magellan Bulutu	-	-
MACHO	Büyük Kompakt Halo Nesneleri	-	-
MIRA	Mira Türü Değişen Yıldız	-	-
MOST	Yıldızların Mikro Değişkenliği ve Salınımları	-	-
NSVS	Kuzey Gökyüzü Değişkenlik Taraması	-	-
OGLE	Optik Kütleçekimsel Mercekleme Deneyi	-	-
PER	Düzenli Değişen Yıldız	-	-
QPER	Yarı-Düzenli Değişen Yıldız	-	-
RRAB	Bailey ab RR Lyrae Türü Değişen Yıldız	-	-
RRC	Bailey c RR Lyrae Türü Değişen Yıldız	-	-
SDSS	The Sloan Dijital Gökyüzü Taraması	-	-
SMC	Küçük Magellan Bulutu	-	-
GCVS	Değişen Yıldızların Genel Kataloğu	-	-
SC	Kısa Kadans	-	-
LC	Uzun Kadans	-	-
Gyr	Giga yıl	-	-
pc	parsec	3.0856×10^{18}	cm
T_{eff}	Etkin Sıcaklık	-	K
$L_{\odot}$	Güneş Lüminositesi	3.839×10^{26}	Watt
$M_{\odot}$	Güneş Kütlesi	1.989×10^{30}	kg
$R_{\odot}$	Güneş Yarıçapı	6.95508×10^{8}	m
σ	Stefan-Boltzman Sabiti	$5.670374419 \times 10^{-8}$	$Wm^{-2}K^{-4}$

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Zonklayan Değişen Yıldızların tür, dönem aralığı, popülasyon türü ve zonklama biçimine göre sınıflandırılması [1]. 5

Tablo 1.2. Sefeid türü değişen yıldızlarının temel fiziksel nicelikleri [2]. 16

Tablo 2.1. KIC 7548061 yıldızı için ASAS kataloğundan alınan verileri. . . . 40

Tablo 2.2. KIC 7548061 yıldızı için Gaia DR2 kataloğunda verilen temel fiziksel değerleri [3]. 41

Tablo 2.3. KIC 7548061 yıldızının SDSS *u, g, r, i, J, K* bandlarındaki parlaklık bilgileri. Tabloda K_P ile gösterilen Kepler parlaklığıdır [4]. 41

Tablo 2.4. KIC 7548061 yıldızı için Kepler-Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [5]. 41

Tablo 2.5. V1154 Cyg yıldızının Kepler uzun kadans (LC) verilerinden bulunan anlamlı 28 frekansının listesi [6]. 42

Tablo 2.6. KIC 6269092 yıldızı için Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [3]. 44

Tablo 2.7. KIC 6269092 yıldızının SDSS *u, g, r, i, J, K* bandlarındaki parlaklık bilgileri. Tabloda K_P ile gösterilen Kepler parlaklığıdır [4]. 44

Tablo 2.8. KIC 6269092 yıldızı için ASAS kataloğundan alınan verileri. . . . 44

Tablo 2.9. KIC 6269092 yıldızı için Kepler-Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [5]. 44

Tablo 2.10. KIC 7899428 yıldızı için Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [3]. 47

Tablo 2.11. KIC 7899428 yıldızının ASAS kataloğundna alınan bilgileri. 47

Tablo 2.12. KIC 7899428 yıldızının SDSS *u, g, r, i, J, K* dalga boylarında parlaklık bilgileri. Tabloda K_P ile gösterilen Kepler parlaklığıdır [4]. 47

Tablo 2.13. KIC 7899428 yıldızı için Kepler-Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [5]. 47

Tablo 2.14. ASAS Kepler FoV'daki değişen yıldızların türleri ve sayıları [7]. . 53

Tablo 3.1. KIC 7548061 yıldızının frekans analizi sonuçları. Tabloda ilk 12 frekans değeri listelenmiştir. Bu frekans değerleri aynı zamanda ana zonklama frekansının harmonikleridir. 64

Tablo 3.2. KIC 7899428 yıldızının frekans analizi sonuçları. Tabloda ilk 10 frekas değeri listelenmiştir. 70

Tablo 3.3. KIC 6269092 yıldızının frekans analizi sonuçları. Işık eğrisinin analizinden elde edilen ilk 10 frekans sunulmuştur. 73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Diyagramda değişen yıldızlar gösterilmiştir. Temel olarak **Dıştan Değişenler** ve **Bünyesel Değişenler** olarak iki alt türe ayrılmıştır. Bu çalışmanın kapsamına giren Sefeid (CEP) türü değişenlerin alt türleri gösterilmiştir. 4

Şekil 1.2. Çapsal olmayan zonklama modlarının çizimi. Açık renkli bölgeler aşağı doğru hareket ederken, koyu renkli bölgeler yukarı doğru hareket etmektedir. Çapsal zonklamada, yıldızın tümü uyum içinde içeri ve dışarı hareket eder [8]. 4

Şekil 1.3. Farklı sıcaklıklardaki yıldızlarda H ve He iyonizasyon bölgeleri görülmektedir. Yıldızdaki her nokta için dikey eksen, yıldız kütlesinin, o noktanın üzerinde bulunan kesrinin logaritmasını göstermektedir [9]. 8

Şekil 1.4. Sıfırdan farklı m değerleri haricindeki desenler, yıldızın ekvatoruna paralel olarak hareket eden dalgaları temsil etmektedir. Bu desenler, kendi dikey ekseni etrafından dönen bir küreye benzer [9]. 11

Şekil 1.5. Kütlesi $12\,M_{\odot}$ olan bir anakol yıldızının radyal olmayan f ve p modları gösterilmektedir [9]. 12

Şekil 1.6. Zonklayan yıldızların H-R diyagramındaki yerleri. Kararsızlık kuşağı aynı zamanda yaklaşık olarak Sefeid bölgesini kapsamaktadır [10]. 14

Şekil 1.7. Temel modda zonklama gösteren OGLE-LMC-CEP-1591 yıldızının ışık eğrisi [11]. 17

Şekil 1.8. Birinci üst ton modda zonklayan OGLE-LMC-CEP-1750 yıldızının ışık eğrisi [11]. 18

Şekil 1.9. İkinci üst ton modda zonklayan OGLE-LMC-CEP-1551 yıldızının ışık eğrisi [11]. 18

Şekil 1.10. Klasik Sefeid SU Cyg yıldızının UBVRIJK bantlarında ışık eğrileri [12]. 20

Şekil 1.11. Büyük Macellan Bulutu'ndaki Klasik Sefeid yıldızlarının I bandında ışık eğrilerini, zonklama dönemlerine göre sıralanmış Hertzsprung Dizisini göstermektedir. Burada temel mod (F), birinci üst ton mod ($1O$), ikinci üst ton mod ($2O$) olarak gösterilmiştir [13]. 22

Şekil 1.12. BL Herculis tipi ışık değişimi gösteren OGLE-BLG-T2CEP-247 yıldızının ışık eğrisi [11]. 24

Şekil 1.13. W Virginis tipi ışık değişimi gösteren OGLE-BLG-T2CEP-127 yıldızının ışık eğrisi [11]. 25

Şekil 1.14. RV Tauri türü parlaklık değişimi gösteren OGLE-BGL-T2CEP-091 yıldızının ışık eğrisi [11]. 26

Şekil 1.15. NGC 55'teki Sefeid yıldızlarının dönem-parlaklık bağıntısı. Veriler I-bandında VLT/ISAAC gözlemlerinde elde edilmiştir. Grafikte içi dolu mavi semboller gözlemsel veriyi, kırmızı renkli çizgi ise fit fonksiyonunu temsil etmektedir [14]. 29

Şekil 1.16. Büyük Macellan Bulutu'ndaki 92 tane Sefeid yıldızı için kızılötesi H-bandında hesaplanan dönem-parlaklık bağıntısı [15]. 30

Şekil 2.1. Üst panel: Q1-Q17 uzun kadans verilerine dayalı V1154 Cyg'nin frekans spektrumunu gösterir. Alt panel ise 28 frekans çıkarıldıktan sonra kalan frekans spektrumunu ve kırmızı çizgi, anlamlılık sınırını gösterir. Dikey eksenlerdeki ölçek değişimine dikkat edilmelidir [6]. 40

Şekil 2.2. KIC 7548061 yıldızının kısa kadans (SC) modunda gözlenmiş yaklaşık 40 gün uzunluğundaki veri setini temsil eden ışık eğrisi. Grafik, SC modunda gözlenen Q2 veri seti kullanılarak hazırlanmıştır. 41

Şekil 2.3. KIC 6269092 yıldızının uzun kadans modunda gözlenmiş yaklaşık 100 gün zaman aralığına dağılmış ışık eğrisi. Zaman olarak 920 bölgesinde görülen ani atmanın flare olayı olduğu düşünülmektedir. Grafikte Q10 veri seti kullanılmıştır. 45

Şekil 2.4. ASAS 190254+4139.5 yıldızının ASAS verisinden üretilen ışık eğrisi. 45

Şekil 2.5. KIC 7899428 uzun kadans modunda gözlenmiş ışık eğrisi. Işık eğrisi üzerinde görülen çıkıntıların flare olayı olduğu değerlendirilmektedir. Grafikte Q2 veri seti kullanılmıştır. 48

Şekil 2.6. ASAS 193836+4341.5 yıldızının ASAS verisinden üretilen ışık eğrisi. 48

Şekil 2.7. ASAS veri tabanındaki değişen yıldızların galaktik koordinatlarda gökyüzünde dağılımları. Ekvator kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Dağılım $<$ 28 derecelik dik açıklık ile sınırlıdır [16]. 49

Şekil 2.8. Üst panelde analizi yapılan V (sol) ve I (sağ) ASAS verilerinin tipik dağılımı. Alt panelde ise üst panelde gösterilen verilerin spektrumları. Ana frekans detaylı olarak gösterilmiştir ve genliklerin *mag* birimindedir [7]. 51

Şekil 2.9. ASAS Kepler FoV'daki yıldızların türlerine göre toplam sayıları. Grafik, Tablo 2.14'de verilenlere göre oluşturulmuştur [7]. 53

Şekil 2.10. Kepler FoV'daki tüm değişen yıldızların konumu gösteren harita. Harita $18^\circ \times 18^\circ$ ölçüsündeki bölgeyi kapsamaktadır. Dikdörtgenler, Kepler teleskobunun 42 adet CCD'sinin sınırlarını, içi dolu semboller yeni keşfedilen değişen yıldızları ve içi boş semboller önceden bu bölgede bilinen değişen yıldızları göstermektedir. Yatay eksende sağ açıklık ve dikey eksende dik açıklık bilgisi verilmiştir [7]. 54

Şekil 2.11. ASAS Kepler FoV kataloğundaki yıldızlar için V bandına karşı (V-I) renk diyagramı. Bu tez çalışmasında incelenen yıldızlar da mavi renkli semboller ile gösterilmiştir. 55

Şekil 2.12. Kepler uzay teleskopunun gökyüzündeki 115.6 derece kare görüş alanı. 57

Şekil 2.13. Kepler uzay teleskobu için normalize edilmiş geçirgenlik fonksiyonu S(lambda). Karşılaştırma için Johnson B, V, R, I bandları da grafik üzerine çizilmiştir. Yatay eksen angstrom (Å) biriminde dalga boyunu, dikey eksen "geçirgenlik" değerini göstermektedir [17]. 58

Şekil 2.14. Kepler, MOST, CoRoT ve Johnson B, V, R, I filtreleri için geçirgenlik fonksiyonlarının karşılaştırması [18]. 59

Şekil 3.1. Panel a'da, KIC 7548061 yıldızının Kepler fotometrik verilerinden oluşturulmuş ham ışık eğrisi. Panel b'de, ışık eğrisinin normalize edilmiş hali. 65

Şekil 3.2. KIC 7548061 yıldızının normalize ışık eğrisinin yaklaşık 120 gün zaman aralığına yayılmış bölümünün detaylı gösterimi. 65

Şekil 3.3. KIC 7548061 yıldızının frekans spektrumu. Ana zonklama $f_1 = 0.203027\,\text{gün}^{-1}$ yöresinde belirgin olarak görülmektedir. 66

Şekil 3.4. KIC 7548061 yıldızının gözlenen, hesaplanan (üst panel) ve fark akı (alt panel) grafiklerinin detaylı gösterimi. Grafikte kullanılan veri seti yaklaşık 35 gün uzunluğundadır. 66

Şekil 3.5. V1154 Cyg yıldızının ASAS V (üst panel) ve I (alt panel) parlaklık verilerinden üretilen ışık eğrisi. 67

Şekil 3.6. V1154 Cyg yıldızının evrelendirilmiş Kepler verisini temsil eden ışık eğrisi. 68

Şekil 3.7. KIC 7899428 yıldızının Kepler fotometrik verilerinden oluşturulmuş ham ışık eğrisi (üst panel) ve ışık eğrisinin normalize edilmiş hali (alt panel). Veri setinin uzunluğu 1437.420057 gündür. 69

Şekil 3.8. KIC 7899428 yıldızının gözlenen, hesaplan (üst panel) ve fark akı (alt panel) grafiğinin detaylı gösterimi. Grafikte kullanılan veri uzunluğu yaklaşık 60 gündür. 71

Şekil 3.9. KIC 7899428 yıldızının frekans spektrumu. Yıldızın ana zonklama frekansı $f = 0.08649$ gün^{-1} yöresinde belirgin olarak görülmektedir. 71

Şekil 3.10. KIC 6269092 yıldızının Kepler fotometrik verilerinden oluşturulmuş ham ışık eğrisi (üst panel) ve normalize edilmiş hali (alt panel). Veri setinin uzunluğu 1437.419878 gündür. 72

Şekil 3.11. KIC 6269092 yıldızının normalize ışık eğrisinin yaklaşık 200 gün zaman aralığına yayılmış bölümünün detaylı gösterimi. 73

Şekil 3.12. KIC 6269092 yıldızının frekans spektrumu. Ana zonklama frekansı 0.06236 gün^{-1} yöresindedir. 74

Şekil 3.13. KIC 6269092 yıldızının yıldızının gözlenen, hesaplanan (üst panel) ve fark akı (alt panel) grafiklerinin detaylı gösterimi. Grafikte kullanılan veri seti yaklaşık40 gün aralığına yayılmıştır. 75

Şekil 4.1. Bu çalışmada incelenen yıldızların H-R diyagramındaki yerleri gösterilmektedir. İncelenen yıldızlar kırmızı renkli × sembolü ile gösterilmiş ve numaralandırılmıştır. 77

GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, The All Sky Automated Survey (ASAS) veri tabanında Sefeid türü değişen yıldız olarak sınıflandırılmış nesnelerin, Kepler uzay teleskopu ile yapılan fotometrik gözlemlerinin analizleri yapılmıştır. Araştırmaya konu olan gök nesneleri, daha önce ASAS araştırmasında hem V hem de I bantlarında fotometrik gözlemleri yapılmış ve veri tabanına Sefeid türü değişen yıldızlar olarak sınıflandırılmış cisimlerdir. Kepler uzay teleskobunun bilimsel görevine başlamasıyla, değişen yıldızların gözlemleri daha da hassas olarak yapılabilmiştir. Kepler uzay teleskobu ile yapılan yıldız gözlemlerinde, daha önce ASAS araştırmasında gözlemlenen yıldızların bir bölümü Kepler uzay teleskobunun da görüş alanında kalmıştır. Bu yıldızlardan oluşturulan kataloğa ASAS Kepler FoV adı verilmiş ve içerisinde 947 tane farklı türde değişen yıldız yer almaktadır. Bu tez çalışmasında, ASAS Kepler FoV'da kalan ve ASAS verilerine göre yapılan Sefeid olarak sınıflandırılmış 18 tane yıldızdan 3 tanesinin Kepler fotometrik verileri kullanılarak frekans analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmanın bilimsel hedefi, ASAS verilerine göre belirlenen katalogdaki değişen yıldız türünün, Kepler fotometrik verileriyle de incelenerek daha hassas bir değerlendirmesini ortaya koymaktır. Sefeid türü değişenler, periyodik olarak parlaklıklarında artış ve azalış gösteren değişen yıldızlar ailesinin bir üyesidir. Parlaklıklarındaki bu gözlenen periyodik değişim, onları, mutlak parlaklıklarının da büyük olması nedeniyle, hem Galaktik hem de galaksi ötesi uzaklıkları hesaplamada önemli araç haline getirir.

Bu çalışmanın düzenlemesi şu şekildedir: Bölüm 1'de zonklayan yıldızlar hakkında genel bilgiler ve literatür araştırması verilmiştir. Bölüm 2'de verilere erişim, yöntem ve materyal bilgilerine, Bölüm 3'te yıldızların frekans analizleri sonucunda ulaşılan bulgularına, Bölüm 4'te tartışma, sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

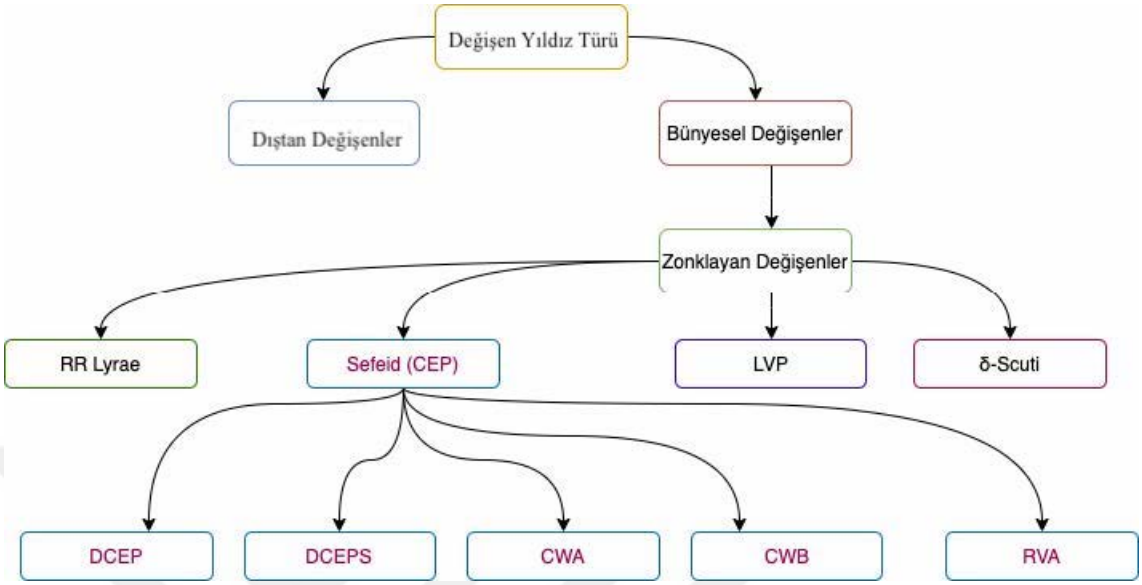
1.1. Zonklayan Değişen Yıldızlar

Zonklama sözcüğü astronomide titreşim veya salınım anlamına gelmektedir. Her fiziksel obje, bir titreşim için gereken süreye karşılık gelen periyotlarla doğal titreşim modellerine veya modlarına sahiptir. Yıldızların iç katmanlarından dışarı çıkamayan akustik dalgalar vardır. Bu akustik dalgalar yıldızların dönemsel olarak genişlemesine ve büzülmesine aynı zamanda ısınmasına ve soğumasına neden olur. Bu madde hareketlerinin sonuçları yıldızların yüzeyinde parlaklık değişimi olarak görülür. Bu şekilde parlaklık değişimi gösteren gök nesnelerine zonklayan değişen yıldızlar denir ve değişen yıldızların geneli için bir özet Tablo 1.1'de verilmiştir [1] . Değişen yıldızlara ilişkin hazırlanan diyagram Şekil 1.1'de verilmiştir.

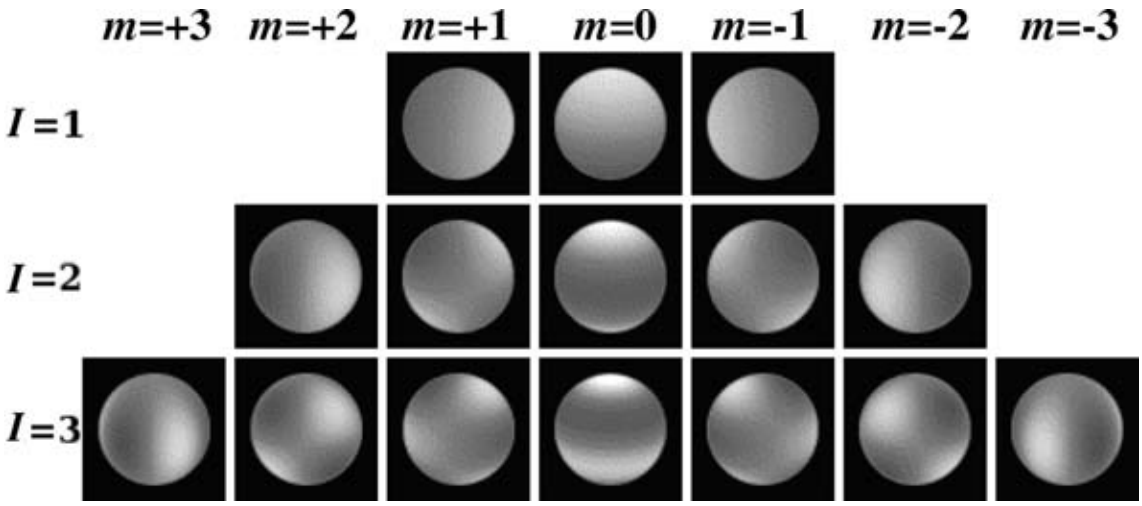
Yıldızlar, ilk yaklaşıma göre küresel geometriye sahip gök cisimleri olarak kabul edilirler. En temel titreşim biçimi radyal titreşimdir. Basit olarak, küresel simetrik yapıda içeri doğru büzülme, dışarı doğru genişleme biçimindedir. Bir yıldız sonsuz sayıda radyal zonklama modu gösterebilir. Bu modda yıldızların tüm katmanları birlikte genişler ve birlikte büzülür. Bu modların en basitine *temel mod* denir. Bir sonraki birinci üst ton mod olarak adlandırılır. Bu modda, yıldızın içinde bir küre yüzeyi düğümdür ve bu kürenin iç kısmı büzülürken, dış kısmı genişler. İkinci üst ton modunda, yıldız maddesinin durgun kaldığı iki düğüm küresi vardır. Büyük genlikli zonklayan yıldızlar -Sefeidler, RR Lyrae ve Mira yıldızları- temel olarak radyal modda titreşirler. Radyal zonklama yıldızın ışınımgücü ve buna bağlı olarak parlaklık, renk, sıcaklık, yarıçap ve radyal hız değerlerinde önemli değişiklikler meydana getirir. Gözlenebilen bu değişiklikler, radyal zonklama için doğrudan kanıt

sağlar. Baade-Wesselink yöntemi gibi tekniklerle bir yıldızın ortalama yarıçapını belirlemek mümkündür. Bir yıldızın hangi radyal modda zonkladığını söylemek oldukça zordur. Yıldızın yarıçapı ve kütlesi tahmin edilebilirse, gözlenen süre her mod için teorik veya beklenen süre ile karşılaştırılabilir. Yıldız iki veya daha fazla radyal modda zonkluyorsa, zonklama dönemlerinin oranından modları çıkarmak için aşağıda açıklandığı gibi kullanılabilir. Frekansları *f/2, f/3, f/4* vb. gibi temel frekansla ilgili olan bir müzik aletindeki harmoniklerin aksine, bir yıldızın radyal modlarının periyotları birbirleri ile ilişkili değildir.

Çapsal olmayan zonklamada yıldız hacim değil şekil değiştirir (Bkz. Şekil 1.2). Yıldızın üç farklı koordinat eksenine karşılık gelen üçlü modları vardır. Bunlar merkezden uzaklık, yıldız ekvatorunun üstündeki veya altındaki açısal mesafe (enlem) ve yıldız ekvatorunun etrafındaki açısal mesafe (boylam) olarak seçilir. Çapsal olmayan modlar, p-(pressure=basınç) ve g-(gravity=kütleçekim) modlarına ayrılırlar. p-modlarda gerçekleşen hareket esas olarak çapsaldır ve dengeleyici kuvvet basınçtır (çapsal modlarda olduğu gibi). g-modlarında yıldız maddesinin hareketi yatay yöndedir ve dengeleyici kuvvet, kaldırma kuvveti veya kütleçekimdir. Geniş bir yıldız yelpazesi (zonklayan beyaz cücelerin çoğu, B yıldızları, Gamma Doradus yıldızları ve hem çapsal hem de çapsal olmayan modlarda zonklayan birçok Beta Sefeid ve Delta Scuti yıldızı) çapsal olmayan biçimde zonklar. Çapsal olmayan zonklama, parlaklık ve renk değişiminde çapsal modlardan daha küçük genlikler üretme eğilimindedir, ancak bunlar gözlemlenebilirse, çapsal olmayan modun kesin olarak tanımlanması için bunların göreceli genlikleri ve evreleri kullanılabilir. Çapsal olmayan zonklama ayrıca karakteristik soğurma çizgisi profili değişimleri üretir. Bunlar zaman içinde modern spektrograflar ile gözlemlenebilir ve incelenebilir [8].



Şekil 1.1. Diyagramda değişen yıldızlar gösterilmiştir. Temel olarak **Dıştan Değişenler** ve **Bünyesel Değişenler** olarak iki alt türe ayrılmıştır. Bu çalışmanın kapsamına giren Sefeid (CEP) türü değişenlerin alt türleri gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Çapsal olmayan zonklama modlarının çizimi. Açık renkli bölgeler aşağı doğru hareket ederken, koyu renkli bölgeler yukarı doğru hareket etmektedir. Çapsal zonklamada, yıldızın tümü uyum içinde içeri ve dışarı hareket eder [8].

Tablo 1.1. Zonklayan Değişen Yıldızların tür, dönem aralığı, popülasyon türü ve zonklama biçimine göre sınıflandırılması [1].

Değişen Yıldız Türü	**Dönem Aralığı**	**Popülasyon**	**Zonklama Biçimi**
Uzun Dönemli	100-700 gün	I, II	Çapsal
Klasik Sefeid	1-50 gün	I	Çapsal
W Virginis	2-45 gün	II	Çapsal
RR Lyrae	1.5-24 saat	II	Çapsal
δ Scuti	1-3 saat	I	Çapsal, Çapsal Olmayan
β Cephei	3-7 saat	I	Çapsal, Çapsal Olmayan
ZZ Ceti	100-1000 saniye	I	Çapsal Olmayan

1.2. Dönem-Yoğunluk İlişkisi

Zonklayan bir yıldızın radyal salınımları, yıldız içinde yankılanan ses dalgalarından kaynaklanır. Zonklama dönemi Π için yaklaşık bir tahmin, R yarıçapı ve sabit ρ yoğunluklu model yıldızın çapı boyunca ses dalgalarının ilerlemesinin ne kadar süreceği göz önüne alınarak elde edilir ve buna göre adyabatik ses hızı Denklem (1.1) ile verilir. Burada P ile gösterilen basınçtır. Basınç, hidrostatik dengedeki bir yıldız için Denklem (1.2) kullanılarak sabit yoğunluklu varsayımlar altında bulunur ve buradan hareketle Denklem (1.3) yazılabilir. Bu, r'nin bir fonksiyonu olarak basıncı elde etmek için yüzeyde $P = 0$ olan sınır koşulu kullanılarak birleştirilir. Bu şekilde zonklama döneminin değeri kabaca Denklem (1.4)'te gösterildiği haliyle yazılır. Denklem (1.4)'ün bir başka gösterimi ise Denklem (1.5)'te gösterildiği hali ile de verilir.

Nitel olarak, bu bir yıldızın zonklama döneminin (Π) ortalama yoğunluğun karekökü ile ters orantılı olduğunu gösterir. Denklem (1.1)'e atıfla, bu *dönem-ortalama yoğunluk* ilişkisi, kararsızlık kuşağını, çok yoğun olmayan süper dev yıldızlardan çok yoğun beyaz cüce yıldızlara doğru gidildikçe zonklama döneminin neden azaldığını açıklar.

Yıldızların salınımları ve uyarılmalarının sürdürülebilmesi için gerekli koşullar ilk olarak Rus astronom S. A. Zhevakin tarafından tanımlanmıştır. Ardından Rudolph Kippenhahn, Norman Baker ve John P. Cox tarafından yapılan ayrıntılı

hesaplamalarla doğrulanmıştır ve Eddington valf mekanizmasının başarılı bir şekilde çalışabileceği yıldız bölgelerinin kısmi iyonlaşma bölgeleri olduğunu belirlemişlerdir. Gazın kısmen iyonize olduğu yıldızın iç katmanlarında, gaz sıkıştırılırken yapılan işin bir kısmı gazın sıcaklığını yükseltmek yerine daha fazla iyonize olmasını sağlar. Sıcaklıktaki daha küçük bir atış ile, sıkıştırma ile yoğunluktaki artış, Kramers opaklığına karşılık gelen bir artış gerçekleştirir. Benzer şekilde genişleme sırasında, iyonlar artık elektronlarla yeniden birleşip enerjiyi serbest bıraktığından sıcaklık beklendiği kadar düşmez. Yine Kramers yasasındaki yoğunluk terimi baskındır ve genişleme sırasında yoğunluğun azalmasıyla opaklık azalır. Yıldızın iç katmanları böylece sıkışma sırasında ısıyı soğurabilir, genişleme sırasında ısıyı serbest bırakmak için dışarı doğru itebilir ve başka bir döngüye başlamak içn tekrar yeniden önceki konumuna döner ve bu gök bilimciler tarafından κ - mekanizması olarak adlandırılır [9].

$$\nu_s = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \tag{1.1}$$

$$\frac{dP}{dr} = -G\frac{M_r \rho}{r^2} \tag{1.2}$$

$$\frac{dP}{dr} = -G\frac{M_r \rho}{r^2} = -G\frac{(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho)\rho}{r^2} = -\frac{4}{3}\pi G \rho^2 r \tag{1.3}$$

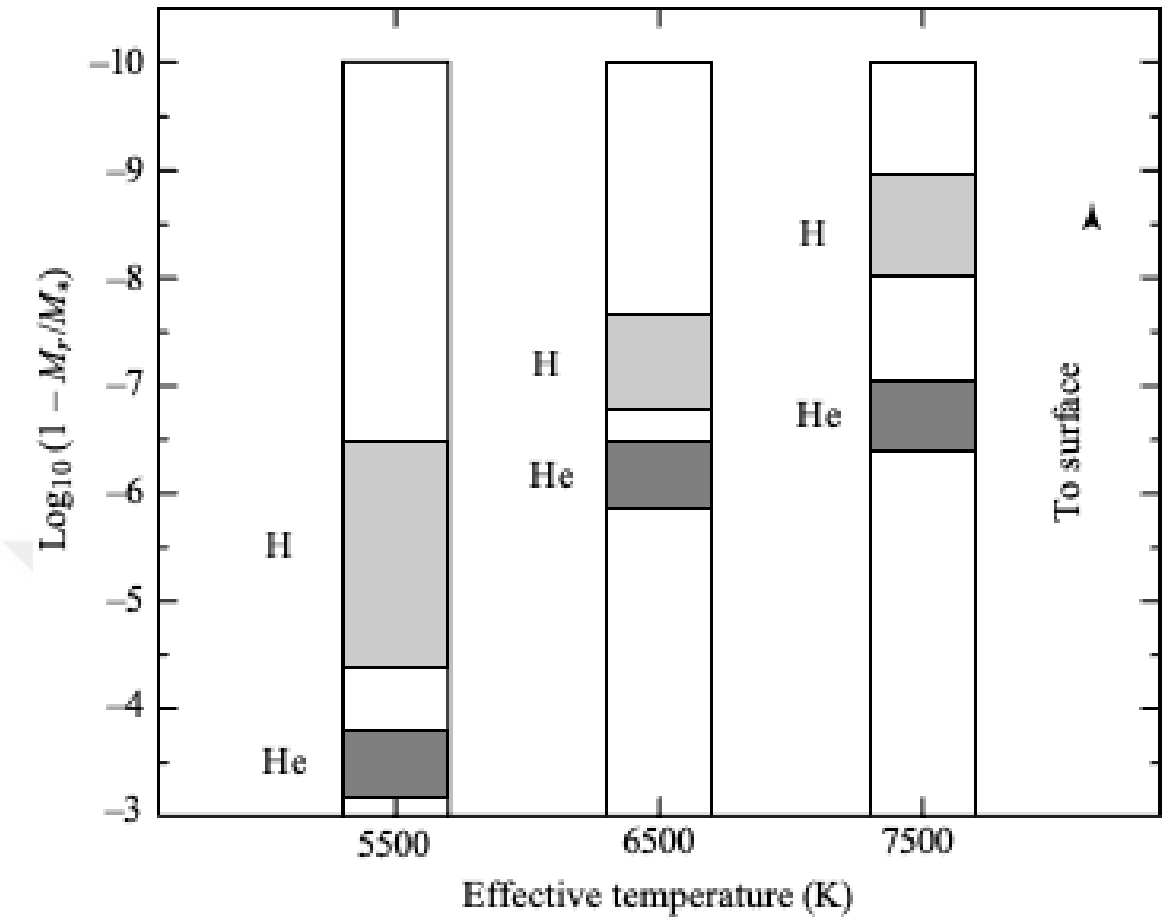
$$\Pi \approx 2\int_0^R \frac{dr}{\nu_s} \approx 2\int_0^R \frac{dr}{\sqrt{\frac{2}{3}\gamma\pi G\rho(R^2 - r^2)}} \tag{1.4}$$

$$\Pi \approx \sqrt{\frac{3\pi}{2\gamma G\rho}} \tag{1.5}$$

κ - mekanizması iyonizasyonun gerçekleştiği yıldız katmanı ile ona komşu katmanlar arasındaki sıcaklık değişim oranına bağlı olarak iyonizasyon bölgesinin konvektif olması ve daha çok ısı aktarımı olması nedeniyle güçlendirilir. Tüm bunların sonucu olarak daha fazla iyonizasyon gerçekleşir. Kısmi iyonizasyon bölgeleri, yıldızların salınımlarını harekete geçiren pistonlar gibidir. Yıldızın katmanları boyunca enerji akışını kontrol eder ve ayrıca yıldızlarda zonklamanın doğrudan nedenidir. Çoğu yıldızda iki ana iyonizasyon bölgesi vardır. Birincisi, hem nötr

hidrojenin iyonizasyonunun (H I $\rightarrow$ H II) hem de helyumun ilk iyonizasyonunun (He I $\rightarrow$ He II) 1 ila 1.5×10^4 K karakteristik sıcaklığa sahip katmanlarda meydana geldiği geniş bir bölgedir. Bu katmanlar topluca hidrojen kısmi iyonizasyon bölgesi olarak adlandırılır. İkinci iyonizasyon bölgesi ise daha derin bölgelerdir. Bu bölgeler, 4.0×10^4 K mertebesinde karakteristik sıcaklıkta gerçekleşen ve He II kısmi iyonizasyon bölgesi olarak adlandırılan helyumun ikinci iyonizasyon olayını (He II $\rightarrow$ He III) içerir. Yıldızın iç katmanlarındaki bu iyonlaşma bölgelerinin konumu, yıldızın zonklama özelliklerini belirler. Şekil 1.3'te gösterildiği gibi, yıldızın etkin sıcaklığı $\approx 7500\,K$ ve üstü bir değere sahip ise, iyonlaşma bölgeleri yıldızın yüzeyine çok yakın konumda bulunur. Bu konumda yoğunluk oldukça düşük ve var olan kütle, salınımları sürdürebilmek için yeterli miktarın altındadır. Bu aynı zamanda, H-R diyagramındaki kararsızlık kuşağının sıcak mavi kenarının da açıklamasıdır. Soğuk ($T_{eff} \approx 6500\,K$) bir yıldızda, iyonizasyon bölgelerinin karakteristik sıcaklıları yıldızın derin katmanlarında bulunur [9].

İyonizasyon bölgesinde "pistonun" itebileceği daha fazla kütle vardır ve birinci üst ton modu salınımları uyarılmış olur. Bir modun gerçekten uyarılıp uyarılamayacağını, iyonizasyon bölgelerinde üretilen pozitif işin, yıldızın diğer katmanlarının negatif iş nedeniyle sönümlemenin üstesinden gelmek için yeterli olup olmadığına bağlıdır. Daha soğuk yıldızlarda ($T_{eff} \approx 5500\,K$), temel zonklama modunun sürekliliğini koruyabilmesi için iyonizasyon bölgeleri yeterince derinde oluşur. Bununla birlikte, bir yıldızın yüzey sıcaklığı çok düşükse, dış katmanlarında etkili olan konveksiyon başlangıçtaki salınımları sönümleyebilir. Model yıldızların zonklamalarının ayrıntılı sayısal çözümleri, H-R diyagramında gözlemlenen konumuyla iyi bir uyum gösteren kararsızlık kuşağı gösterir. Hidrojen iyonizasyon bölgesi daha önemli rol oynar. Bir yıldız zonklama gösterirken, yıldızı meydana getiren gaz maddenin değişen sıcaklığa tepki olarak iyonizasyon bölgesi genişledikçe ve büzüldükçe hidrojen iyonlaşma bölgesi yüzeye doğru hareket eder [9].



Şekil 1.3. Farklı sıcaklıklardaki yıldızlarda H ve He iyonizasyon bölgeleri görülmektedir. Yıldızdaki her nokta için dikey eksen, yıldız kütlesinin, o noktanın üzerinde bulunan kesrinin logaritmasını göstermektedir [9].

1.3. Zonklayan Yıldızların Modellenmesi

Yıldız zonklama teorisi, yıldızın dış katmanlarının merkeze olan yarıçap uzaklığın bir fonksiyonu olarak fiziksel özelliklerini veren yıldız modeli ile başlar. İlk yıldız modelleri ilkeldi. Şimdi, yıldızların fiziği ve bu bilgiyi uygulamak için güçlü bilgisayarların gelişmişliği sayesinde, modeller çok daha ayrıntılı şekilde oluşturulabilmektedir [1].

Zonklayan bir yıldız hidrostatik dengede değildir ve mevcut yıldız yapı denklemleri kullanılamaz. Bunun yerine, yıldızın kütle katmanlarının salınımlarını hesaba katan daha genel bir denklem seti kullanılır. Bir yıldızın kararsız mekanik ve ısıl davranışını tanımlayan diferansiyel denklemler, uygun temel ilişkilerle birlikte bir

araya getirilmesinin ardından, fark denklemleri ile değiştirilebilir ve sayısal olarak çözülebilir. Esasen, model yıldızın matematiksel olarak kararlı yapısı bozulur ve ardından salınımlar yapabilmesi için "serbest bırakılır". Yıldızın dış katmanları genişler ve büzülür. Bu durumda yıldız maddesi hareket ettikçe birbirlerine karşı itme uygular. Koşullar uygun ise yıldızın iyonizasyon bölgeleri, salınımları kontrol altında tutacak ve zonklama genliği artış eğilimine girecektir. Aksi takdirde, genlik azalma eğilimi gösterecektir. Bu hesaplamaları yapan bilgisayar programları, Sefeid türü değişen yıldızların ışık ve radyal hız eğrilerindeki gözlemlenen ayrıntılı bilgilerin modellenmesinde oldukça hassas sonuçlar vermektedir. Önceki yaklaşımın temel avantajı, büyük zonklama genliklerinin karmaşıklıklarını modelleme ve gerçek ışık eğrilerinin sinüzoidal olmayan şeklini yeniden oluşturma sürecinde oldukça yararlı bir hesaplama olmasıdır. Bir dezavantajı ise, gerekli bilgisayar donanımını sağlamaktaki zorluktur. Bu hesaplama işlemleri için yüksek miktarda CPU zamanı ve hafızaya ihtiyaç duyulmaktadır. Doğrusal olmayan hesaplamanın bir diğer dezavantajı ise, her bir zaman adımında doğru bir şekilde yakınsayan modellerin içerdiği zorluklardır. Doğrusal olmayan denklemlerdeki sayısal değişkenlikler, hesaplamaların hatalı sonuç vermesine ve fiziksel olmayan sonuçlara götürebilir. Bu, kırmızı dev ve süper dev yıldızlar için zamana bağlı konveksiyon teorileri gereken hallerde ise özellikle doğru sonuç verir. Doğrusal olmayan yaklaşıma alternatif olarak, diferansiyel denklemleri yalnızca küçük genlikli salınımları dikkate alarak doğrusallaştırmaktır. Doğrusallaştırma, diferansiyel denklemlerdeki her bir değişkeni, yıldızın statik modelinden bulunan bir denge değeri zonklamaya bağlı küçük bir değişkenlik olarak yazılarak yapılabilir. Örneğin, basınç (P) terimi, $P = P_0 + \delta P$ olarak yazılabilir. Burada P_0 ile gösterilen denge halindeki yıldızın kütle kabuğundaki basınçtır. δP terimi ise kabukta meydana gelen basınç değişimini gösterir. Dolayısıyla δP zamana bağlı bir fonksiyondur, ancak P_0 sabit terimdir. Bu şekilde yazılan değişkenler diferansiyel denklemlere eklendiğinde, sadece sabit terimler birbirini eler ve terimlerden ilkinden daha yüksek mertebelerini içeren terimler, örneğin $(\delta P)^2$ gibi, ihmal edilebilir derecede küçük oldukları için dikkate alınmayabilir. Sonuç olarak ortaya çıkan doğrusallaştırılmış diferansiyel denklemler ve bunlarla ilişkili sınır koşulları, yine doğrusallaştırılmış, bir sicimdeki dalga denklemine benzer. Yalnızca belli periyotlara sahip belirli duran dalgalara izin verilir ve bu nedenle

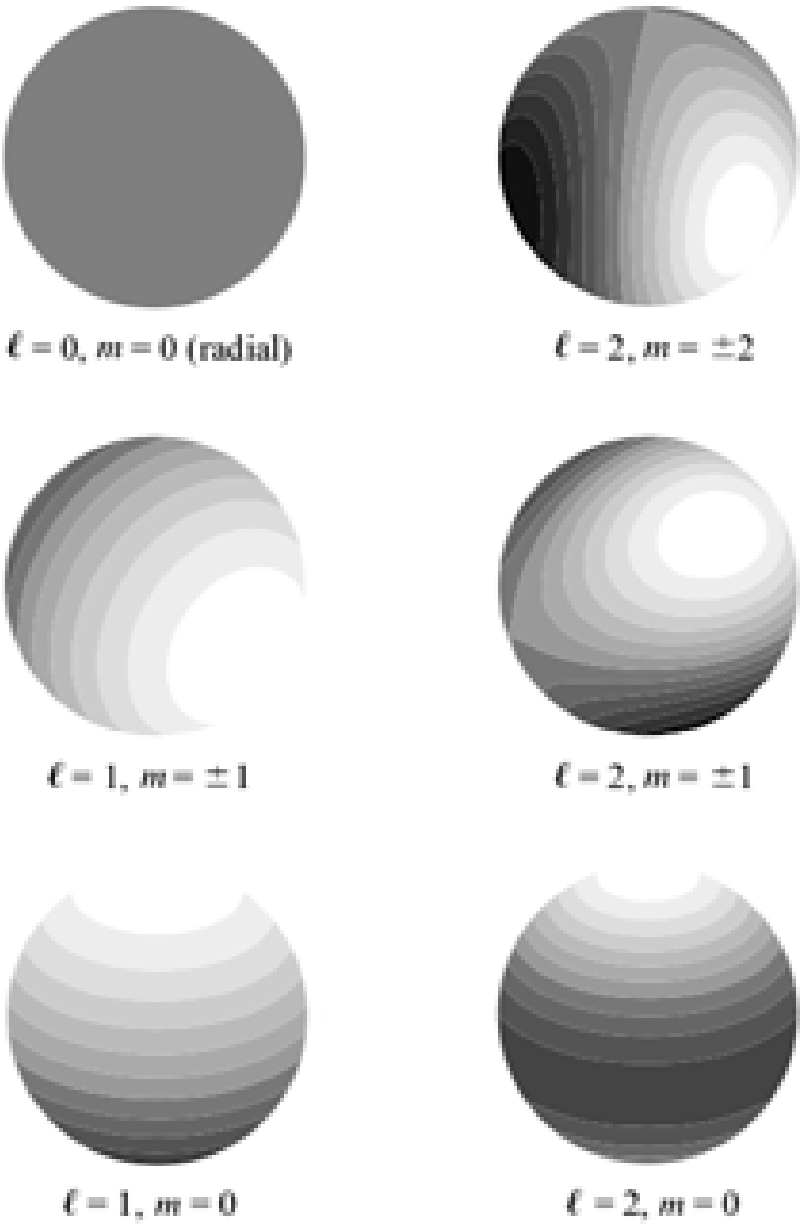
yıldızın zonklama modları belirgin bir şekilde tanımlanır [9].

Adyabatik bir analiz sürecinde oluşturulan yıldız modelinin katmanlarına ısının girmesine veya buradan çıkmasına izin verilmediğinden, salınım genliği ne olursa olsun sabit kalır. Bununla birlikte, gökbilimciler hangi modların genliklerinin artacağını ve hangi modların genliklerinin azalacağını bilmeleri gerekir. Bu hesaplama, Eddington 'un valf mekanizmasındaki fiziksel süreci içermesi gerekmektedir. Yıldızın katmanlarından ısı ve radyasyon iletimini açıklayan denklemler böyle bir adyabatik olmayan hesaplamaya dâhil edilmesi gerekir. Yıldızların bazı türleri zonkladıklarında, yüzeyleri "nefes alıp verme" hareketinde olduğu gibi düzgün bir şekilde genişleme ve büzülme göstermez. Bunun yerine yıldız yüzeyinin bazı bölgeleri genişlerken diğer kısımlarının büzüldüğü daha karmaşık bir tür radyal olmayan zonklama gerçekleşir. Şekil 1.4'te birkaç radyal olmayan zonklama modda zonklama gösterilmektedir. Yıldız yüzeyinde bulunan açık renkli bölgeler dışarıya doğru hareket ederken, karanlık bölgeler içeriye doğru hareket eder. Basınçta meydana gelen değişim δP gibi skaler büyüklükler benzer modeli izler, bazı alanlarda pozitif, diğerlerinde negatif değerlere sahiptir. Biçimsel olarak, bu modeller küresel harmonik fonksiyonların gerçek kısımları ile tanımlanır. $Y_l^m(\theta, \Phi)$, burada l negatif olmayan tamsayı değerleri alır ve m, $-l$ ile $+l$ arasındaki $2l+1$ tam sayılarından herhangi birine eşittir. Burada l düğüm halkalarını temsil etmektedir (burada r model yıldızın yarıçapı ifade eder ve $\delta r = 0$), $|m|$ düğüm halkaları ise yıldızın ekvatoruna paraleldirler. Eğer $l = m = 0$ ise yıldız tamamen radyal zonklama yapar [9].

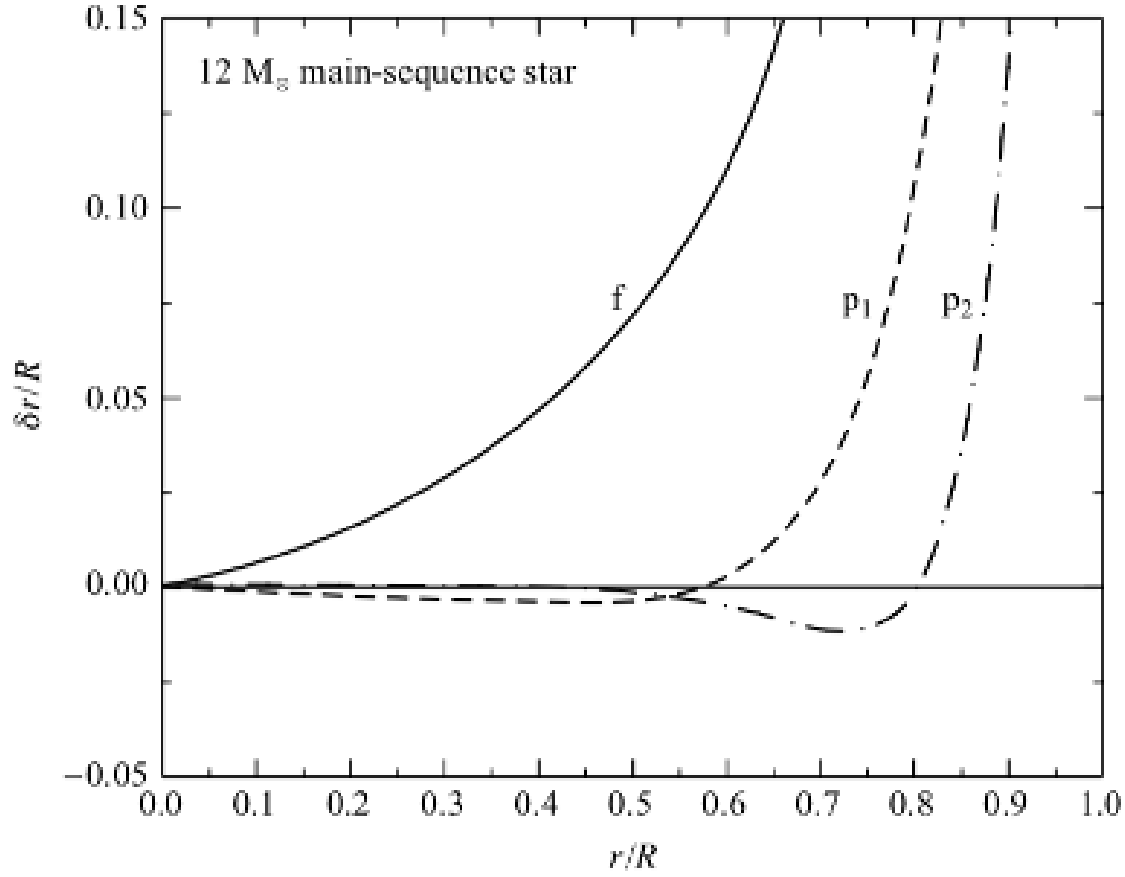
$$Y_0^0(\theta, \Phi) = K_0^0$$

$$Y_1^0(\theta, \Phi) = K_1^0 \cos\theta$$

$$Y_1^{\pm 1}(\theta, \Phi) = K_1^{\pm 1} \sin\theta e^{\pm i\Phi}$$



Şekil 1.4. Sıfırdan farklı m değerleri haricindeki desenler, yıldızın ekvatoruna paralel olarak hareket eden dalgaları temsil etmektedir. Bu desenler, kendi dikey ekseni etrafından dönen bir küreye benzer [9].



Şekil 1.5. Kütlesi $12\,M_\odot$ olan bir anakol yıldızının radyal olmayan f ve p modları gösterilmektedir [9].

Gök bilimciler, yıldızlarda gözlenen radyal zonklamaların iç katmanlardaki akustik dalgalardan kaynaklandığını bilmektedirler. Radyal olmayan salınımlarda, akustik dalgalar, yıldızın çevresinde dolaşan dalgalar üretmek için hem yatay yönde hem de radyal olarak yayılabilir. Basınç, akustik dalgaları için dengeleyici kuvveti sağladığından, bu radyal olmayan salınımlara *p-modu* denir. Bir p-modunun tam anlamıyla açıklaması, radyal ve açısal düğümlerin ayrıntılı olarak açıklanmasını gerektirir. Örneğin, bir p_2 modu bir radyal ikinci üst ton modunun radyal olmayan benzeşimi olarak düşünülebilir. $l = 2$ ve $m = -3$ olan p_2 modu, merkez ile yüzey arasında iki radyal düğüme sahip olur. Açısal izleri dört düğüm çizgisine sahiptir. Bu çizgilerden üç tanesi kutuplara ve bir tanesi ekvatora paraleldir. Şekil 1.5'te kütlesi $12\,M_\odot$ olan bir yıldızın p ve f modlarında yarıçap değişimi gösterilmektedir. Yıldızlarda basınç (p-modu) akustik dalgaların büzüşmesi ve genişlemesi için dengeleyici kuvveti sağladığı gibi, kütleçekimi de g-modu olarak adlandırılan başka bir radyal olmayan salınım için dengeleyici kuvvetin

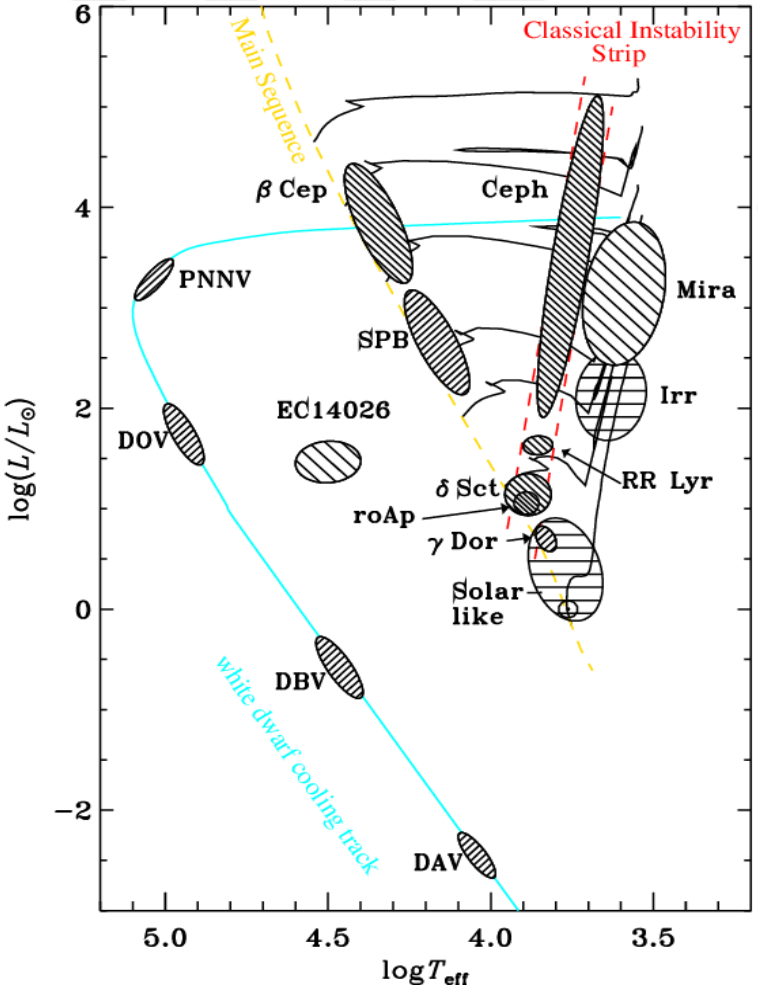
kaynağıdır. g-modu yıldızın kütleçekimi dalgalarınca meydana getirilir. Bu dalgalar, yıldız maddesinin ileri geri "çalkalanması" durumudur ve bu, nihayetinde yıldız maddesinin hidrostatik denge kuvveti ile bağlantılıdır. Tamamen radyal hareket için "çalkalanma" oluşmayacağından, g-modları için radyal benzeşimler yoktur [9].

1.4. Kararsızlık Kuşağı

Yıldızlar normalde denge halinde olan gök cisimleridirler. Kütle çekim etkisi, yıldız maddesinin yıldızın merkezine doğru olan hareketi, yıldızdaki sıcak gazın dışa doğru olan basıncı ile dengelenir. Yıldızın büzülmeye başlaması ile merkezi basıncı ve sıcaklığı artar. Bu durumda yıldız büzülmeyi tersine çevirir. Yıldızın genişlemeye başlaması ile, merkezi basınç ve sıcaklık düşer. Böylece kütle çekimi yıldızı tekrar dengeye getirir. Ayrıca yıldızın genişleyip büzülmesi sonucu enerjisinin bir bölümü sürtünme ile harcanır. En sonunda, yıldız tekrar denge haline döner [8].

Bir yıldızın titreşmeye başlaması ve devam etmesi için, ışıma enerjisini zamanla hareket enerjisine dönüştüren, sürtünmeyi aşan ve hareketi başlatan bir mekanizması olmalıdır. Bu tür bir mekanizma yıldızların daha sıcak iç katmanlarında iyonlaşmanın gerçekleştiği bölgenin termodinamik etkisi ile ortaya çıkar. Bir yıldızda yüksek yüzey sıcaklığı olmasına karşın, yüzeyin alt katmanları binlerce derece sıcaklığa sahiptir. Bu durumda helyum bir kez iyonize olur ve iki elektronundan birisini kaybeder. Yıldızın büzülmesi ile iç katmanların sıcaklığı yükselir ve helyum ikinci elektronunu da kaybeder, ancak bunun için çok büyük enerji gereklidir. Bu enerji, gazın içinden dışarı doğru akan radyasyondan gelir; gazın opaklığı tarafından soğurulur. Enerji daha sonra iyonlaşma enerjisi olarak depolanır. Yıldız daha sonra genişlediğinde ve soğuduğunda, elektronlar helyum atomlarıyla birleşir ve depolanan iyonlaşma enerjisini serbest bırakır. İyonizasyon bölgesinde, önemli miktarda enerji depolamak için yeterli kütle varsa, yıldız zonklayacaktır. Bu mekanizma, konveksiyon bölgelerindeki türbülans tarafından uyarılan Güneş ve diğer Güneş benzeri yıldızların zonklamalarının aksine, *kendi kendini uyarma* olarak adlandırılır [19]. Zonklayan değişen yıldızlara bakıldığında durum bilinmezliğini korumakta idi, çünkü Beta Cephei yıldızları Cepheid kararsızlık kuşağının bulunduğu bölgenin dışında olan çok daha sıcak yıldızlardır. Beta Cephei türü değişenlerde zonklamanın

temel nedeninin demir elementine ilişkin yeni donukluk hesaplamaları ile 1980'li yıllarda anlaşılabilmiştir [8, 20]. Genellikle zonklama durumunun yalnızca dev ve süper dev gibi evrimleşmiş yıldızlarda olduğu görüşü vardır. Aslında, Sefeid kararsızlık kuşağı H-R diyagramının tepesinden tabanına doğru, yaklaşık olarak sabit sıcaklık aralığında uzanır. Bunun nedeni, kararsızlık mekanizmasının belirli bir sıcaklıkta, yani yıldızın dış katmanlarında bir helyum iyonizasyon bölgesinin olduğu sıcaklıkta meydana gelmesidir. Yani Sefeidlerin, anakoldaki Delta Scuti yıldızlarının ve Beyaz Cücelerin zonklaması, hepsi aynı mekanizmanın sonucudur. Sefeid kararsızlık kuşağı tam olarak dikey değildir. Kararsızlık kuşağı, yüksek ışınımgücüne veya mutlak parlaklığa sahip yıldızların daha soğuk, düşük ışınımgücüne veya mutlak parlaklığa sahip yıldızlar için ise daha sıcak olacak şekilde eğimli bir şekilde değişim gösterir (Bkz. Şekil 1.6 "Classical Instability Strip") [8].



Şekil 1.6. Zonklayan yıldızların H-R diyagramındaki yerleri. Kararsızlık kuşağı aynı zamanda yaklaşık olarak Sefeid bölgesini kapsamaktadır [10].

1.5. Klasik (Tip I) Sefeid Yıldızları

Klasik Sefeid yıldızlar, büyük mutlak parlaklıklarından dolayı galaktik ve galaksi dışı uzaklıkların belirlenmesinin temel taşı haline gelmiştir. Yer tabanlı büyük teleskoplarla yapılan gözlemler, Sefeid yıldızlarının Yerel Grup galaksilerinde yaygın olarak bulunduğunu göstermektedir [21].

Sefeid türüne ait ilk benzersiz keşif Delta Cep yıldızın gözlemi ile olmuştur. Her ne kadar sınıfının ilk örneği olarak kabul edilse de Delta Cep keşfedilen ikinci Sefeid yıldızıdır. Sefeid yıldızları, H-R diyagramında kararsızlık kuşağı (Bkz. Şekil 1.6) bölgesinde yer alan ve Tablo 1.2'de temel fiziksel nicelikleri ve değerleri verilen süper dev zonklayan yıldızlardır. Tip I Sefeidler keşfedilen ilk değişen yıldız sınıfları arasındadır ve iki yüzyıldan fazla bir süredir astronomi ve astrofizikte önemli bir rol oynamışlardır. Sefeidler temel olarak iki alt gruba ayrılırlar. Bunlar Güneş'ten daha büyük kütleli genç yıldızlar Klasik (Tip I) Sefeidler ve Güneş'ten daha kütleli yaşlı yıldızlar olan Popülasyon II Sefeidleridir. Bu iki değişen yıldız grubunun üyelerinin ışık eğrileri oldukça benzerdir, ancak Fourier analizi uygulanarak ışık eğrileri ve dolayısı ile hangi grubun üyesi oldukları tespit edilebilir. Sefeidlerin incelenmesi, sadece yıldızların evrim aşamalarının karmaşıklığını anlamak için değil aynı zamanda evrende mesafe ölçmek için de kullanılan önemli gök cisimleridir. Astrofizikte ve özellikle kozmolojide, Sefeidlerin en önemli rolü ekstra galaktik ışınım kaynakları olarak kullanılmasıdır. Bu, ilk kez 1912 yılında Henrietta Leavitt tarafından keşfedilen, Sefeid değişenleri için dönem-parlaklık bağıntısı ile yapılır. Bu yasa bir Sefeid türü değişen yıldızın zonklama döneminin fotometrik ve spektroskopik yöntemlerle belirlenmesinden dolayı kullanışlıdır. Sefeid yıldızlarının dönem-parlaklık bağıntısının, Sefeid yıldızının parlaklık değeri kullanılarak bu değişen yıldıza olan uzaklığı hesaplamak mümkündür. Evrende uzaklık ölçeği hakkında çalışmalarda çok sayıda Sefeid yıldızı önem arz etmektedir. Ancak Sefeidlerin dönem-parlaklık bağıntısının ölçümlemesinde bazı zorluklar vardır. Bu zorlukların ortadan kaldırılması ve dönem-parlaklık bağıntısının kesin olarak belirlenmesi özellikle Hubble Uzay Teleskobunun Anahtar Projesi (Hubble Key Project) başta olmak üzere birçok araştırma grubunun ve çalışmasının hedefidir [22].

Tablo 1.2. Sefeid türü değişen yıldızlarının temel fiziksel nicelikleri [2].

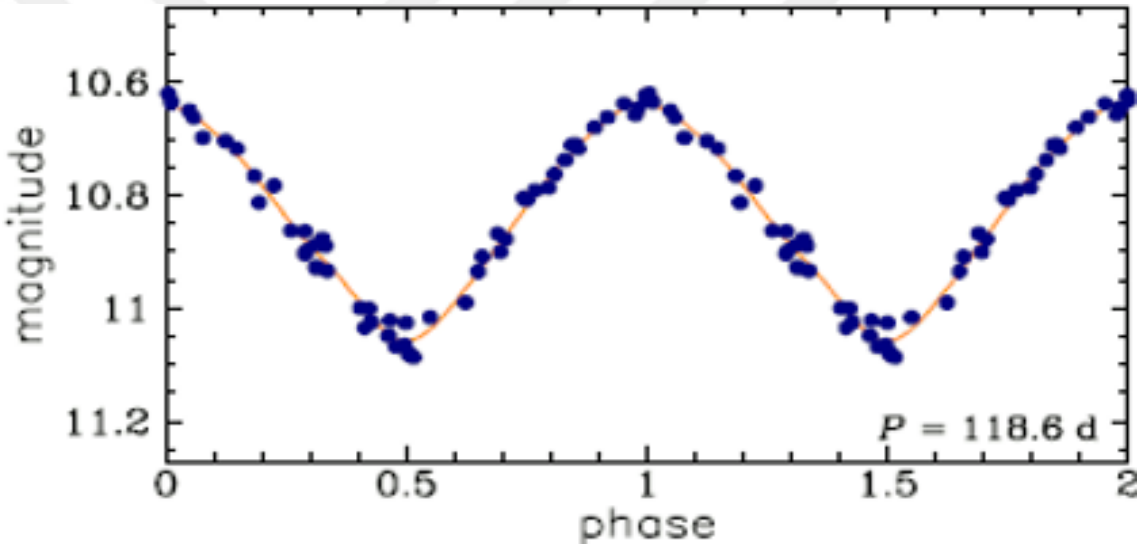
Parametre	**Değişim Aralığı**
Dönem [gün]	1 - 100
Kütle [$M_\odot$]	3 - 15
Ortalama Yarıçap [$R_\odot$]	15 - 200
Ortalama Işınımgücü [$L_\odot$]	300 - 45000
T_{eff}[K]	4500 - 6500
V_{mag}	$-0^m.5$ - $-8^m.0$
Radyal Hız [kms^{-1}]	30 - 60
Tayf Türü	F6-K2
Yaş [yıl]	10^6 - 10^8

Sefeid türü değişenler, yıldızların evrimini anlamada olduğu kadar kozmolojide de önemli rol üstlenirler. Sefeidler, yıldız evriminin önemli bir safhasında bulunurlar. H-R diyagramında genel kararsızlık kuşağının bir bölümü, bazen klasik kararsızlık kuşağı olarak adlandırılır (Bkz. Şekil 1.6). Dönem-parlaklık bağıntısında olduğu gibi, şeridin sınırları ve kapsamı sürekli olarak incelenmektedir. Kararsızlık kuşağının mavi (sıcak) kenarından kırmızı (soğuk) kenarına yani yüksek yüzey sıcaklığından düşük yüzey sıcaklığına kadardır. Bir Sefeid değişeninin kararsızlık kuşağını bir kereden fazla geçmesi için gereken minimum kütle miktarı tartışmaya açıktır ve evrim yollarının hesaplanmasında hangi parametrelerin kullanıldığına bağlıdır [2].

Kararsızlık kuşağının sınırlarının belirlenmesi ve dönem-parlaklık bağıntısının daha duyarlı hale getirilmesi çalışmaları, bu türden yeni yıldızların keşfi ile sürekli olarak devam etmektedir. Bununla birlikte Sefeid değişenlerinin zonklamalarının temel nedeninin κ - mekanizması olduğu bilinmektedir ve yıldızın zonklamaya devam edebilmesi He + iyonizasyon bölgesinin varlığına bağlı olarak devam edecektir (Bkz. Bölüm 1.2). Günümüzde galaksimizde bilinen 800'den fazla Sefeid ve binlerce ekstragalaktik Sefeid yıldızının varlığı bilinmektedir [23, 24].

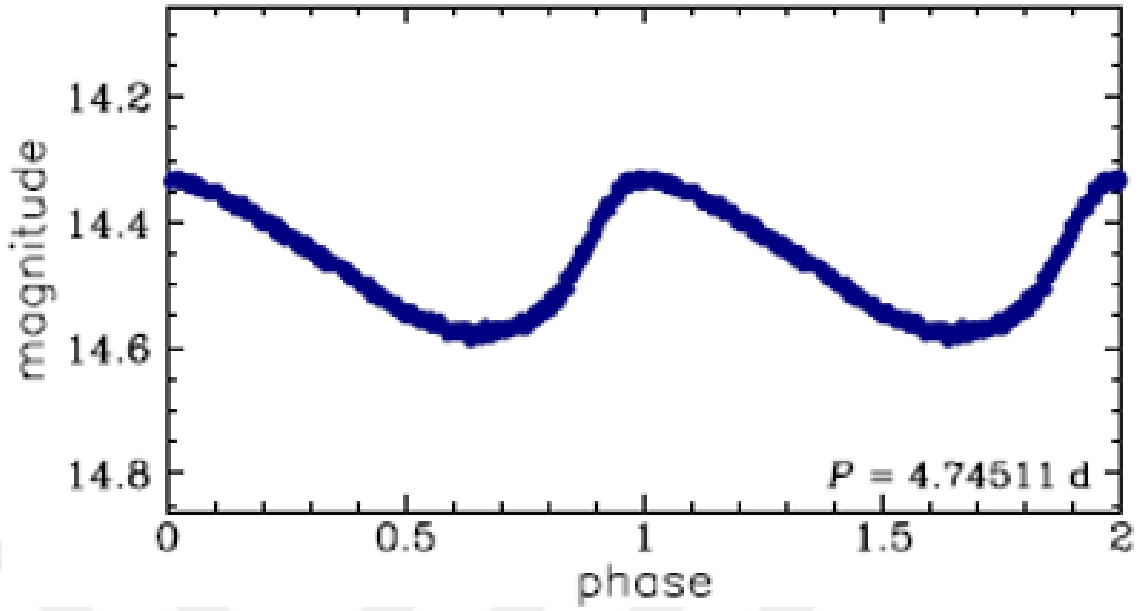
Temel modda zonklayan Sefeidler, dönemleri yaklaşık 1 ila 100 gün arasında değişim gösteren yıldızlardır. Işık eğrilerinde genellikle maksimum parlaklığa hızlı bir yükseliş ve ardından asimetrik yapıda düşüş gözlenir. Klasik Sefeidlerin çoğunun ışık eğrisi, Hertzsprung Dizisi olarak adlandırılan dönemle ilişkili ilave bir değişim daha gösterirler. Dönemleri 6 ila 20 gün arasında olan Sefeidler temel mod ile ikinci

üst ton arasındaki rezonans nedeniyle ışık eğrileri ve dikine hız eğrilerinde ikincil bir umru yapısı gösterirler. Yumru yapısı yaklaşık olarak 6 günlük dönemlerde parlaklığın azaldığı bölgede ortaya çıkar ve daha uzun dönemlere gidildikçe kısa evrelere doğru kayma gösterir. Yaklaşık 10 günlük dönemlerde yumru yapısı ışık eğrisinde maksimum parlaklık ile üst üste gelir ve daha sonra parlaklığın arttığı bölgeye doğru kayarak ve 20 günden uzun dönemlerde kaybolur. En uzun periyotlara (dönem $>$ 100 gün) sahip olan Sefeidler genellikle küçük genlikli ve neredeyse Şekil 1.7'dakine benzer sinüzoidal ışık eğrisi gösterirler. Birinci üst ton modda zonklama gösteren Sefeidler temel modda zonklayanlara göre genellikle daha düşük genlikli ve asimetrik ışık eğrileri gösterirler (Bkz. Şekil 1.8).

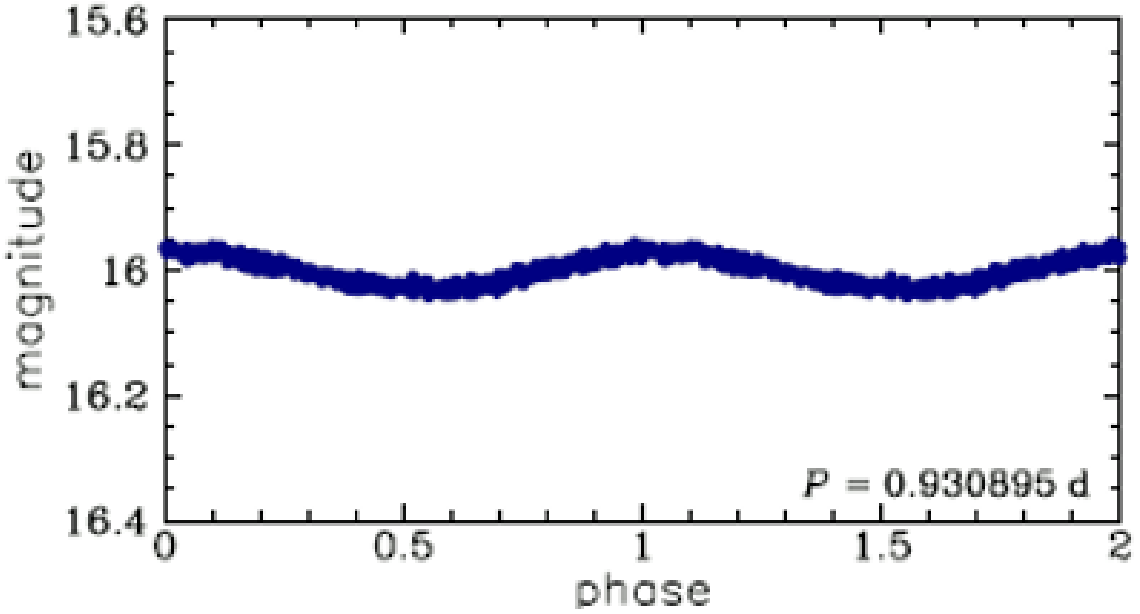


Şekil 1.7. Temel modda zonklama gösteren OGLE-LMC-CEP-1591 yıldızının ışık eğrisi [11].

Birinci üst tonda zonklayan Sefeidlerin maksimum zonklama periyodu, bulundukları yıldızlararası ortamın metal bolluğuna bağlıdır. SMC (Küçük Magellan Bulutu)'de 4.5 gün, LMC (Büyük Magellan Bulutu)'de ise yaklaşık 6 gündür. Samanyolu galaksisinde ise yaklaşık 7.5 gündür [25]. Birinci üst ton modda zonklayan Sefeidlerin dönemleri için alt sınır vermek çok zordur. Çünkü zonklama gösteren Sefeidler ve δ Scuti yıldızları arasında doğal bir sınır yoktur. İkinci üst ton modda zonklayan Sefeidler çok nadir görülen bir durumdur. Bu tür Sefeid yıldızlarının ışık eğrileri Şekil 1.9'da görülen ışık eğrisine benzerlik gösterir. Bu tipte bilinen tüm yıldızlar OGLE gözlemleri ile tespit edilmişlerdir. Bu türler metalce fakir ortamlarda çok daha yaygındırlar.



Şekil 1.8. Birinci üst ton modda zonklayan OGLE-LMC-CEP-1750 yıldızının ışık eğrisi [11].



Şekil 1.9. İkinci üst ton modda zonklayan OGLE-LMC-CEP-1551 yıldızının ışık eğrisi [11].

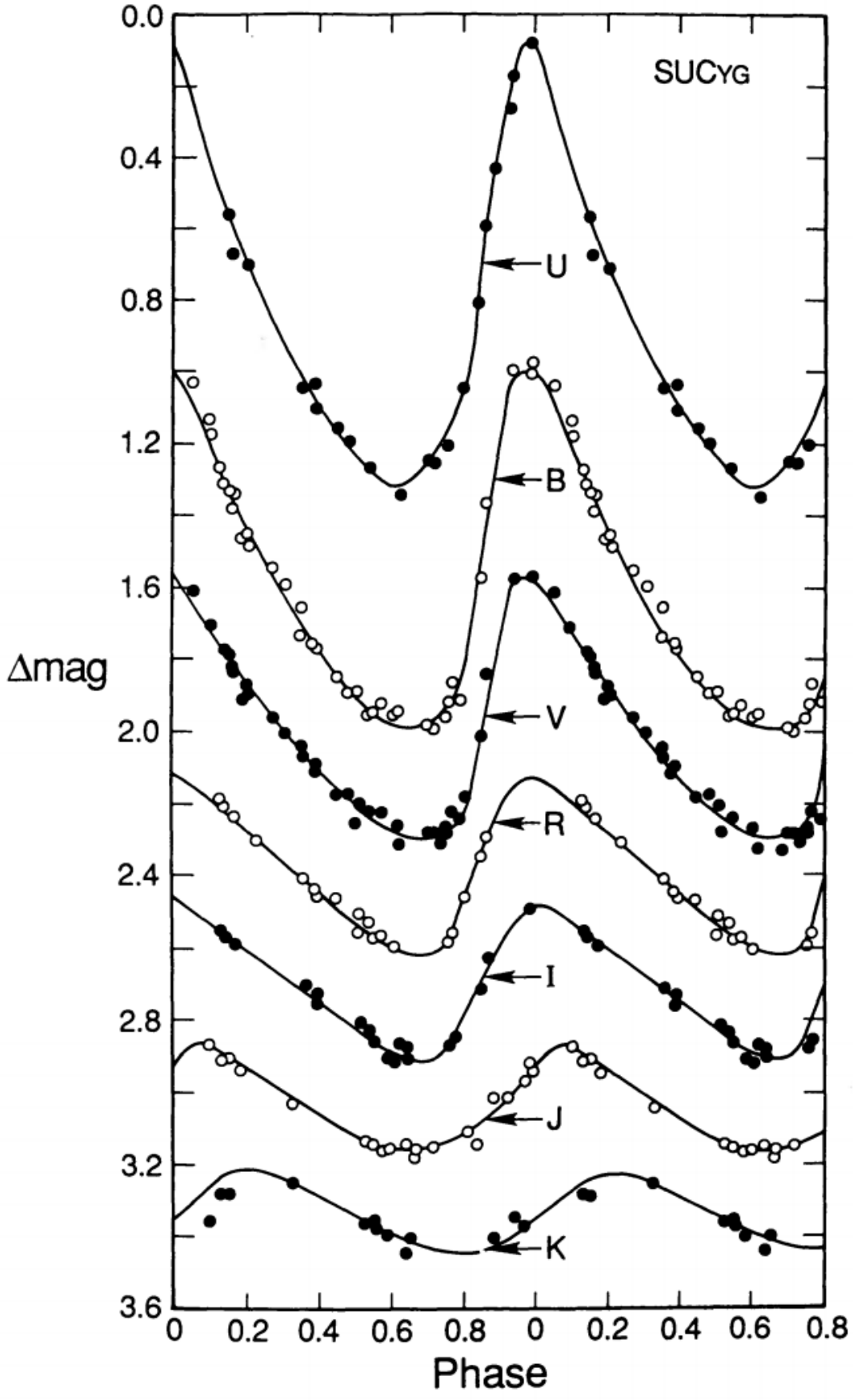
Klasik Sefeidler türünün bilinen ilk örneği olan $\delta\,Cephei$ yıldızının görsel bölgede daha dar bir maksimuma ve daha sığ bir minimum yapısına sahip olduğu görülür. Bu, temel radyal modda titreştiği kabul edilen Klasik Sefeid yıldızlarının tipik bir örneğidir. Bu tür yıldızlar GCVS kataloğunda DCEP değişenleri olarak etiketlenirler. Diğer klasik Sefeid yıldızları daha küçük genliklere ve daha simetrik ışık eğrilerine sahiptirler. Bu tür yıldızlar, s-Sefeidler veya GCVS kataloğu

notasyonunda DCEPS yıldızları olarak bilinirler. DCEPS değişenleri yaklaşık 7 günden daha kısa periyotlara sahip yıldızlardır. Birçok s-Sefeid yıldızının ilk üst ton radyal modda zonklayan değişen olduğu kabul edilirken, bir kısım araştırmacı ise bu yıldızların zonklamadığını ileri sürerler. Bununla birlikte, en azından daha kısa periyotlu Sefeid yıldızlarının birinci üst ton modda zonklama gösteriyor olması ihtimal dahilindedir [26].

Şekil 1.10'de dönemi 3.7 gün olan DCEP türü Klasik Sefeid olan SU Cyg'nin farklı filtrelerde gözlenmiş ışık eğrisi verilmiştir. RR Lyrae değişenlerinde de olduğu gibi genliğin, moröte bölgeden kızılötesi bölgeye doğru gittikçe azaldığı bilinmektedir. Zonklama döngüsü sırasında, Klasik Sefeidlerin yarıçapları yüzde birkaç oranında değişir [26]. Çeşitli araştırmacıların [27, 28] önerileriyle, bir Sefeid yıldızının ışık eğrisi ve radyal hız eğrisi gözönüne alındığında yarıçapını belirlemek için bir yöntem önermiştir [29]. Temel fikir, bir Sefeid yıldızı için farklı zamanlarda yarıçaplarının oranını belirlemek için ışık ve renk eğrilerini kullanmak olmuştur.

Bir Sefeid yıldızının parlaklığının ve etkin sıcaklığının, örneğin çok renkli fotometriden t_1 ve t_2 zamanları olmak üzere iki kez gözlemlenebilir şekilde belirlendiğini varsayalım. Yıldızın renginin aynı olduğu, dolayısıyla sıcaklıklarının aynı olduğu farklı iki evreye karşılık gelen parlaklıklar da ışık eğrisinden bilindiğinden Denklem (1.6)'da verilen ışınımgücü denklemini bu iki zaman için yazarak orantısını alabiliriz. Burada **R** yıldızın fotosfer yarıçapı, **T** yıldızın etkin sıcaklığı ve σ Stefan-Boltzmann sabitidir. Sıcaklıkları veya renkleri aynı olan farklı iki zaman veya evre için ışınımgüçleri oranı alındığında sabitler sadeleşerek Denklem (1.7) ile verilen yarıçaplar oranına ulaşılacaktır.

Bir sonraki aşama, Sefeid yıldızının radyal hız eğrisinin bilinmesini gerektirir. Radyal hız eğrisi üzerinden integral hesabı yapılarak t_1 ve t_2 zamanlarındaki $R(t_1) - R(t_2)$ yarıçap farkları hesaplanabilir. Sahip olunan bilgiler ışığında, Stefan-Boltzmann ilişkisi, Sefeid yıldızının gözlenen parlaklığını hesaplamak için kullanılabilir. Ancak, bu yöntemin pratikte uygulanmasında, Sefeidlerin gözlenen dikine hız eğrilerinin onların fotosferindeki hız değişimini gösterip göstermemesinden kaynaklanan zorluklar vardır. Sefeid yıldızının fotosferinin zonklama hızı gözlemci



Şekil 1.10. Klasik Sefeid SU Cyg yıldızının UBVRIJK bantlarında ışık eğrileri [12].

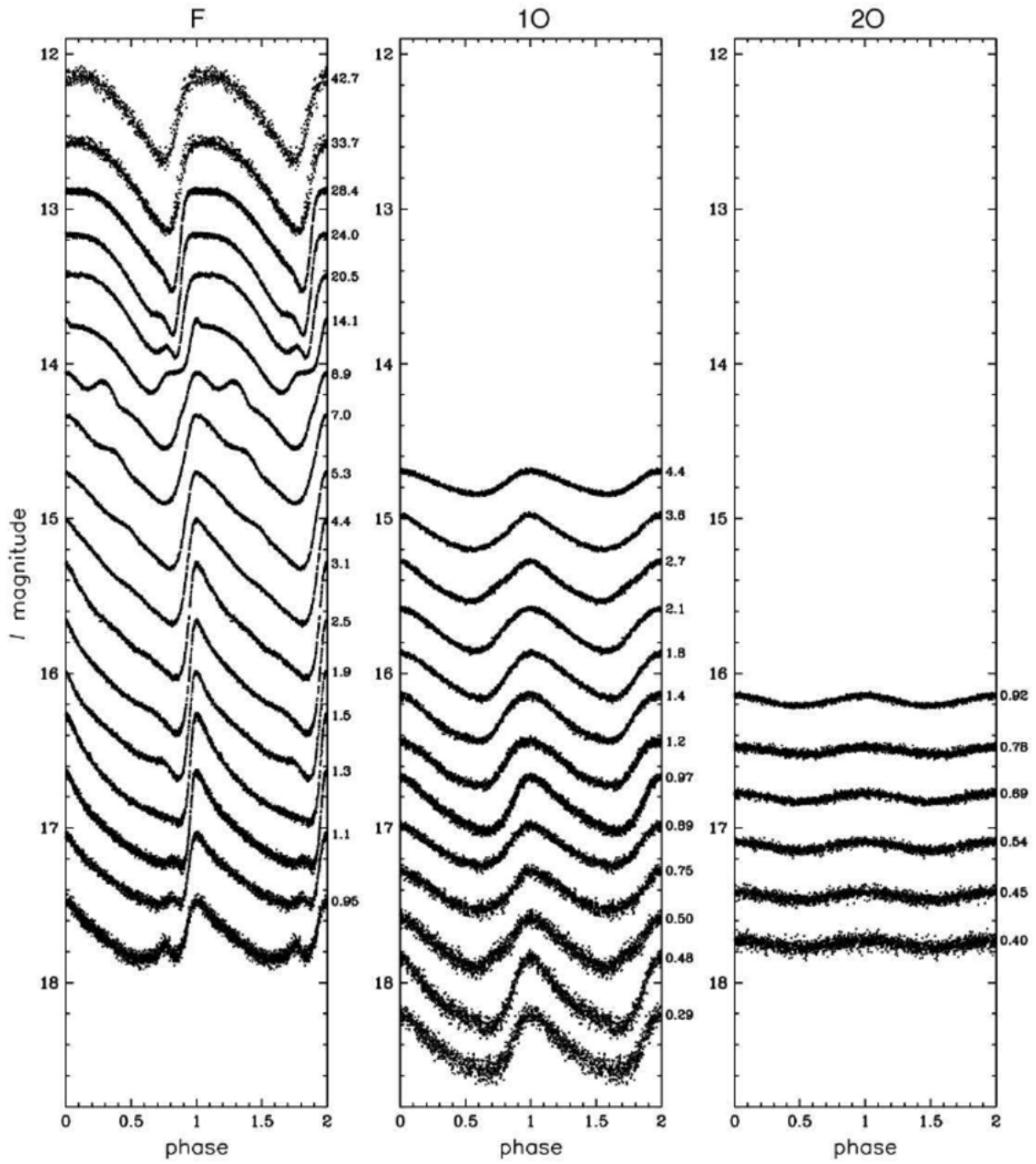
tarafından doğrudan ölçülemez. Titreşen yıldız küresel geometriye sahip cisim olduğu için, gözlemlenen radyal hız ile fotosferin gerçek zonklama hızı arasında geometrik bir izdüşümü faktörü olduğu bilinmektedir. Bu izdüşümü faktörü için genellikle 4/3 oranına yakın bir değer kullanılmaktadır. Stefan-Boltzmann temel olarak yazıldığı kadar basit biçimde kullanılamamaktadır, çünkü yıldızlar karacisim ışımasına mükemmel derecede uyum sağlayan cisimler değillerdir. Bu Baade-Wesselink yönteminin uygulanmasındaki zorluklara rağmen, Klasik Sefeidlerin ve diğer zonklayan yıldız türlerinin parlaklıklarını ve buradan da uzaklıklarını belirlemek için kullanılmaktadır. Birçok Klasik Sefeid yıldızının ışık eğrisi, Şekil 1.10'de gösterilen SU Cyg yıldızının ki kadar ışık eğrileri yoktur. Sefeidlerin ışık eğrisinde ikincil bir maksimum veya yumru gösteren ışık eğrileri yoktur. Bu ilerleme [13] tarafından verilen Şekil 1.11'de gösterilmiştir. Hertzsprung Dizisi, yaklaşık 6 ila 16 gün arasında döneme sahip Sefeidler ışık eğrisinde bir yumru gösterir. Bu yumrunun konumu, dönem arttıkça, ışık eğrisinde parlaklığın azalan kısmından maksimum parlaklığa doğru değişir. Çeşitli çalışmalarda [30, 31] yumrunun, Şekil 1.11'de gösterilen temel mod ve ikinci üst ton titreşim modları arasındaki rezonanstan veya yıldız çekirdeğinde oluşan basınçtan kaynaklandığı öne sürülmüştür.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \tag{1.6}$$

$$\frac{R(t_1)}{R(t_2)} = \frac{L_1}{L_2} \tag{1.7}$$

1.6. Tip II Sefeidler

Tip II Sefeidler, Klasik Sefeidler ve M tipi kısa dönemli yarı-düzenli değişenler hariç, 1 ila 50 gün arasında dönemli değişim gösteren bünyesel değişen yıldızlardır. Tip II Sefeidleri farklı dönemleri olan alt gruplara ayrılırlar. Bunlardan dönemi 1 ila 5 gün aralığında olan BL Herculis sınıfı, dönemi 10 ila 20 gün arasında olan W Virginis sınıfı ve dönemi 20 günden büyük olanlar RV Tauris olarak gruplandırılırlar ve farklı evrimsel aşamaları vardır. Baade, 1952 yılında Roma'da gerçekleşen



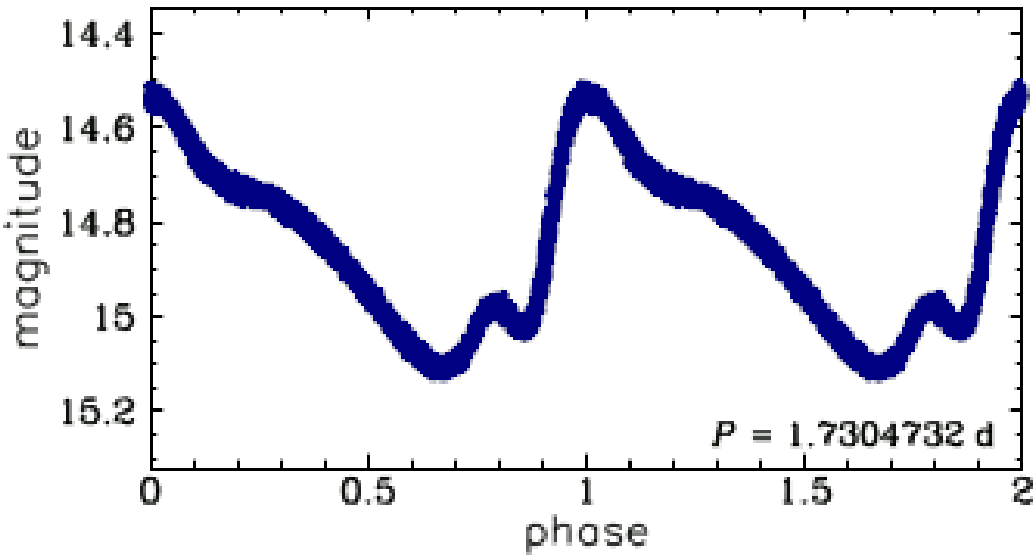
Şekil 1.11. Büyük Macellan Bulutu'ndaki Klasik Sefeid yıldızlarının I bandında ışık eğrilerini, zonklama dönemlerine göre sıralanmış Hertzsprung Dizisini göstermektedir. Burada temel mod (F), birinci üst ton mod ($1O$), ikinci üst ton mod ($2O$) olarak gösterilmiştir [13].

IAU toplantısında, ekstragalaktik uzaklıkları ölçmede kullanılan Klasik Sefeidlerin dönem-parlaklık bağıntısını daha duyarlı hale getirdiğini açıkladığında, Sefeidlerin küresel kümelerdeki ve Klasik Sefeid yıldızlarındaki dönem ile parlaklık arasındaki ilişkiye dikkat çekmiştir. Astronomide yapılan birçok keşifte olduğu gibi, Tip II Sefeidlerin alt türü olan W Virginisler, benzer dönemlere ait Klasik Sefeidlerden oldukça farklı olduğuna dair izlerin bulunduğu açıklanmıştır. Tip II Sefeidler, Klasik Sefeidlerde olduğu gibi uzaklık hesaplamada hiç kullanılmamışken, Klasik Sefeidler birincil mesafe göstergeleri olarak, yarım yüzyıl önce öngörülmeyen hem yıldız hem de galaktik evrim için birçok ipucu sunmuşlardır. Yıldızlar, yaşları ve bulundukları galaksinin türü ile ilişkili olan ağır element bolluğuna göre popülasyon I, popülasyon II, popülasyon III yıldızları olarak sınıflandırılırlar. Metalce en zengin, genç yıldızların oluşturduğu öbek popülasyon I, metalce görece fakir, yaşlı yıldızların oluşturduğu öbek popülasyon II, metalce aşırı fakir, çok büyük kütleli ve sıcak, henüz doğrudan gözlenmemiş yıldızların oluşturduğu öbek popülasyon III olarak adlandırılır. Yaklaşık 10 ila 20 günlük periyotlarla W Virginis olarak adlandırılan yıldızlar, Halodaki küresel kümelerde yaygın olarak görülürler, ancak bu büyük bir bütünün görünen küçük kısmıdır. Galaksimizin sarmal kol popülasyonunun üyesi olmayan yıldızlar birkaç alt kategoriye ayrılırlar. İnce disk yıldızları ve kalın disk yıldızları vardır. Son olarak, küresel kümeler, disk kümeleri, iç ve dış Halo kümeleri, yakalanan kümeler halinde alt bölümlere ayrılabilen küresel kümelerde Tip II Sefeid yıldızları vardır. Bazı kümelerde ise hangi kategoriye ait oldukları belli olmayan Tip II Sefeid yıldızları vardır. Sefeidler ve benzerleri, RV Tau yıldızları bu popülasyonların hepsinde bulunur. Klasik Sefeidler, sarmal kol ve ince disk popülasyonlarla benzer ilişkilidir. Tip II Sefeidler, kalan tüm popülasyonlarda ve bunların alt sınıflarında bulunur. Sefeidler, çoğunlukla dönemlerine göre alt gruplarına ayrılırlar ve her dönem grubu, galaksideki popülasyon gruplarından birine veya daha fazlasına üye olabilir. Popülasyon II değişen yıldızları için dönem-parlaklık-metal bolluğu bağıntılarının ayrıntılı bir incelemesi yayınlanmıştır [32]. Küresel kümelere ek olarak, Magellan Bulutları da değişen yıldızların keşfi için en önemli gözlem alanlarıdır. Tip II Sefeid yıldızları için bir katalog yayınlanmıştır. Katalogda galaktik düzlemden uzaklıklarına bağlı olarak Tip II Sefeid olması muhtemel 152 değişen yıldız listelenmiştir fakat birkaçının galaktik düzlemden

yüzlerce parsek sürüklenmiş Klasik Sefeid olabileceği ihtimali üzerine durmuştur [33].

1.6.1. BL Herculis Değişenleri

Dönemi 1 ila 7 gün arasında değişen Tip II Sefeid yıldızlarıdır. Bu türe ilişkin ışık eğrisi Şekil 1.12'te verilmiştir.

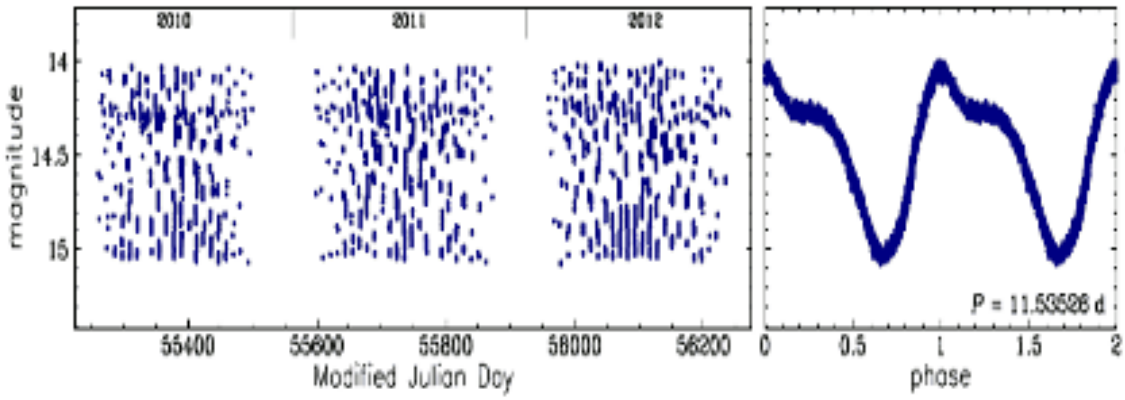


Şekil 1.12. BL Herculis tipi ışık değişimi gösteren OGLE-BLG-T2CEP-247 yıldızının ışık eğrisi [11].

Yaygın olarak küresel kümelerde ve galaksinin diskinde bulunurlar. Washington çok renk fotometri sistemi ile 86 yıldız tespit edilmiş, bu gibi 12 alan yıldızından 4 tanesinin $-1.5 < [Fe/H]$ olduğunu ve bunların Halo popülasyonu olduğunu tanımlanmıştır [34]. Galaktik düzlemden ortalama uzaklıkları 1.8 kpc mertebesindedir. Kalan 8 tanesi, Güneş'e yakın veya muhtemelen daha fazla metal bolluğu gösterir. Bu yıldızlardan 74 tanesi için |z|>1 kpc, 41 tanesi için |z|>3 kpc ve 4 tanesi için |z|>10 kpc değerindedir. Halo ve küresel kümelerin kütle oranının 50 - 100 olduğu göz önüne alındığında, halodaki Sefeidler ya çok nadir bulunuyordur ya da keşfedilmeyi bekliyorlardır. MACHO projesi ile Büyük Macellan Bulutundaki Tip II Sefeidler ve RV Tau yıldızları için kapsamlı bir araştırma yapılmıştır [35].

1.6.2. W Virginis Değişenleri

W Virginis yıldızları genellikle 5 ila 20 gün aralığında dönemli değişim gösteren, Tip II Sefeid yıldızlarının bir alt türüdür. Bu türe ait yıldızların dönemleri ve genlikleri genellikle çevrimden çevrime düzensiz değişim gösterirler. Işık eğrileri (Bkz. Şekil 1.13), sistematik parlaklık değişimi sergiler. En kısa dönemli W Virginis yıldızları, maksimum parlaklığa daha hızlı ulaşıp, ardından daha yavaş parlaklık azalması gösterirler. Bu asimetri, zamanla azalır ve yaklaşık 8 günlük bir dönemli değişim boyunca W Virginis yıldızlarının ışık eğrileri simetri gösterir. Ayrıca zonklama genlikleri, yaklaşık 8 gün civarı periyotlarda minimum değerlerine sahiptir. Tipik olarak daha uzun dönemli W Virginislerin ışık eğrilerinde parlaklık azalması, parlaklığın arttığı bölgeye göre daha diktir [13, 36].

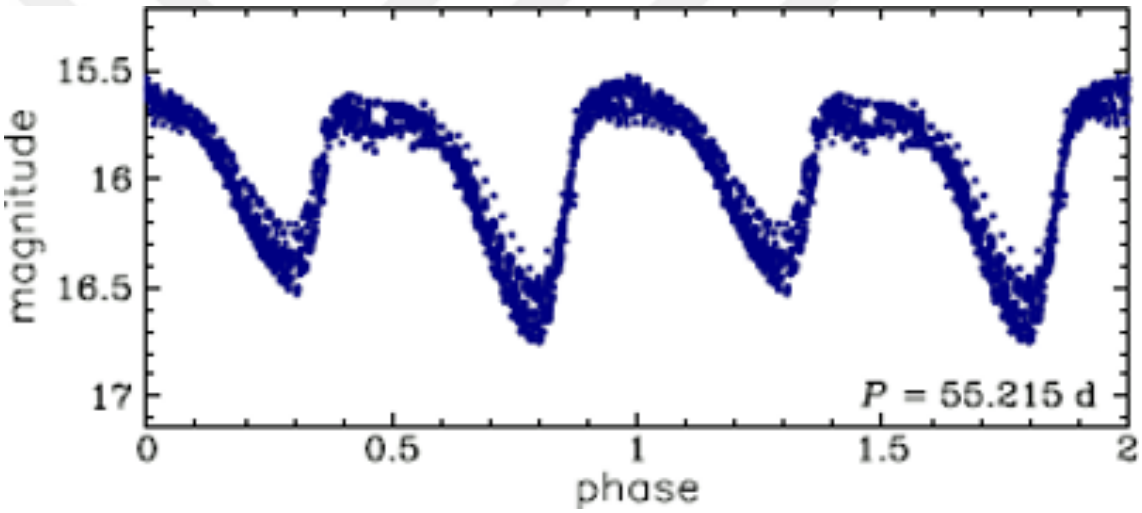


Şekil 1.13. W Virginis tipi ışık değişimi gösteren OGLE-BLG-T2CEP-127 yıldızının ışık eğrisi [11].

1.6.3. RV Tauri Değişenleri

RV Tauri değişenleri, kararsızlık kuşağının yüksek parlaklık ucunda bulunan Tip II Sefeid türü yıldızlardır. Gözlemsel özelliklerinden bu tür yıldızların asimptotik devler kolu (post-AGB) cisimler oldukları anlaşılmaktadır [37]. F, G, K tayf türünden, oldukça parlak yıldızlardır. RV Tauri yıldızları, değişen derin ve sığ minimumlar gösteren ışık eğrileriyle tanımlanırlar (Bkz. Şekil 1.14). Ardışık iki minimum arasındaki süre tipik olarak 20 ila 75 gün arasındadır ve temel dönem olarak adlandırılır. Ardışık iki derin minimum arasındaki süre, tipik olarak temel dönemin iki katı bir aralığa sahiptir ve çoğu zaman biçimsel dönem olarak adlandırılır. Bu yıldızlar, Tip II Sefeid popülasyonu arasındaki en yüksek periyot aralığına sahiptirler. Bu nesneler, sığ ve derin minimumlar arasında çok farklı

bir değişim gösterirken, diğerleri için ışık eğrileri daha az kararlı ve daha yarı periyodiktir. Bununla birlikte, artık RV Tauri yıldızlarının çoğunun uzun vadeli değişkenliklerine göre fotometrik olarak iki gruba ayrılabileceği kabul edilmektedir: RVa ve RVb türleri. RVa tipi yıldızlar sabit bir ortalama parlaklığa sahipken, RVb tipleri yaklaşık 600 ile 2600 günlük uzun bir ikincil dönemle ortalama olarak parlaklık değişimi gösterirler [38]. Öncelikle ışık eğrisine dayanan fotometrik sınıflandırmanın aksine, RV Tauri değişenleri tayfsal olarak sınıflandırılır ve üç farklı tayfsal grup tanımlamıştır. Tayfsal tipi G veya K (RVa) olanlar; tayfsal tipleri Fp(R), tayflarında zayıf çizgiler ve güçlü CN ve CH bantları (RVb) olanlar ve çok az veya hiç CN bantları olmayanlar RVc olarak gruplandırılmıştır [39].



Şekil 1.14. RV Tauri türü parlaklık değişimi gösteren OGLE-BGL-T2CEP-091 yıldızının ışık eğrisi [11].

1.7. Sefeidlerde Dönem-Parlaklık Bağıntısı

Sefeid yıldızları gibi bazı zonklayan yıldızların dönemleri ile parlaklıkları arasında çok iyi tanımlanmış bir ilişki vardır. Bu dönem-parlaklık bağıntıları gökbilimciler için oldukça önemlidir, çünkü galaksimizdeki ve galaksiler arası uzaklıkları hesaplamak için kullanılan oldukça önemli bir yöntemdir. 1900'lerin başlarında Harvard Gözlemevinde SMC'de ve LMC'de gözlemlenen yıldızların fotoğraf plaklarını inceleyen Henrietta Leavitt 1777 değişen yıldızdan oluşan bir kaynak listesi derledi. Nihayetinde, bu yıldızlardan 47 tanesinin Sefeid türü değişen yıldız olarak sınıflandırdı ve daha uzun döneme sahip olanların daha kısa döneme sahip olanlara

göre oldukça parlak olduğunu farketti.

Yıldızlar eşit uzaklıktaki bulutsularda oldukları için hepsinin bizden aynı göreli mesafede olduklarını doğru bir şekilde ortaya koydu. Bu nedenle görünür parlaklıktaki herhangi bir fark, mutlak parlaklıktaki bir farkla aynıdır. İki bulut için sonuçları grafiğe dönüştürdüğünde, parlaklık ile dönem arasındaki ilişki görülmüş oldu. Günümüzde Sefeid yıldızları için dönem-parlaklık bağıntısı olarak bilinen bu grafik bize; daha uzun dönemli Sefeidlerin, kısa dönemli olanlara göre daha parlak olduğunu göstermiştir. Bir Sefeid yıldızının ışık eğrisinden dönemi ölçülerek, yıldıza olan uzaklık hesaplanabilir. Ejnar Hertzsprung (1873-1967) bu ilişkinin önemini kavramış ve SMC'de bulunan Sefeid yıldızlarının uzaklıklarını 37000 ışık yılı olarak hesaplamıştır.

Harlow Shapley ise Sefeid yıldızları için mutlak parlaklık ölçeğini yeniden kalibre etmiş ve SMC'ye olan uzaklığı 95000 ışık yılı olarak düzeltmiştir. Ayrıca 86 tane küresel kümede bulunan Sefeid yıldızlarını incelemiş ve her bir kümede bulunan Sefeid yıldızlarının en az düzinelerce değişen olmayan yıldızlardan yaklaşık 19 kat daha parlak olduğunu bulmuştur. Edwin Hubble 1924 yılında M31 ve M33 galaksilerinde Sefeid değişenleri keşfetmiştir. Bu yıldızları kullanarak M31 ve M33 galaksilerinin uzaklıklarının sırasıyla 900000 ve 850000 ışık yılı olduğunu hesaplamıştır. Sonuç olarak, bu sarmal biçimli bulutsuların aslında başka galaksiler olduğunu ve Samanyolu galaksisinin bir parçası olmadığını belirlemiştir. Bu çok önemli keşif, bilinen evrenin ölçeğini önemli ölçüde genişletmiştir. Sefeid türü değişenlerin Şekil 1.15'da gösterildiği gibi belirgin bir dönem-parlaklık bağıntısı vardır. Şekil 1.15'da NGC 55 galaksisindeki Sefeid değişenlerinin dönem-parlaklık bağıntısı gösterilmiştir. Grafiğin x-ekseni gün biriminde dönem ve y-ekseni I-bandında ölçülen görsel parlaklıktır.

Sefeid yıldızlarının dönem-parlaklık bağıntısını kullanarak mesafe hesaplama adımları aşağıda anlatıldığı şekilde uygulanır ve bu hesaplama işlemi için Tip I Sefeid türü bir yıldız kullanıldığını varsayalım. Ancak bilinmelidir ki aynı yöntem W Virginis ve RR Lyrae türü yıldızları için de geçerlidir.

1. Sefeid yıldızı için fotoğraf plakları veya fotoelektrik CCD görüntüleri olsun. Bu

gözlem verileri Sefeid yıldızı için görünür parlaklık bilgisi sağlar.

2. Farklı zamanlarda gözlemsel olarak elde edilen fotometrik değerlerin, zamana göre grafiğinin çizilmesi ile ışık eğrisi elde edilir.

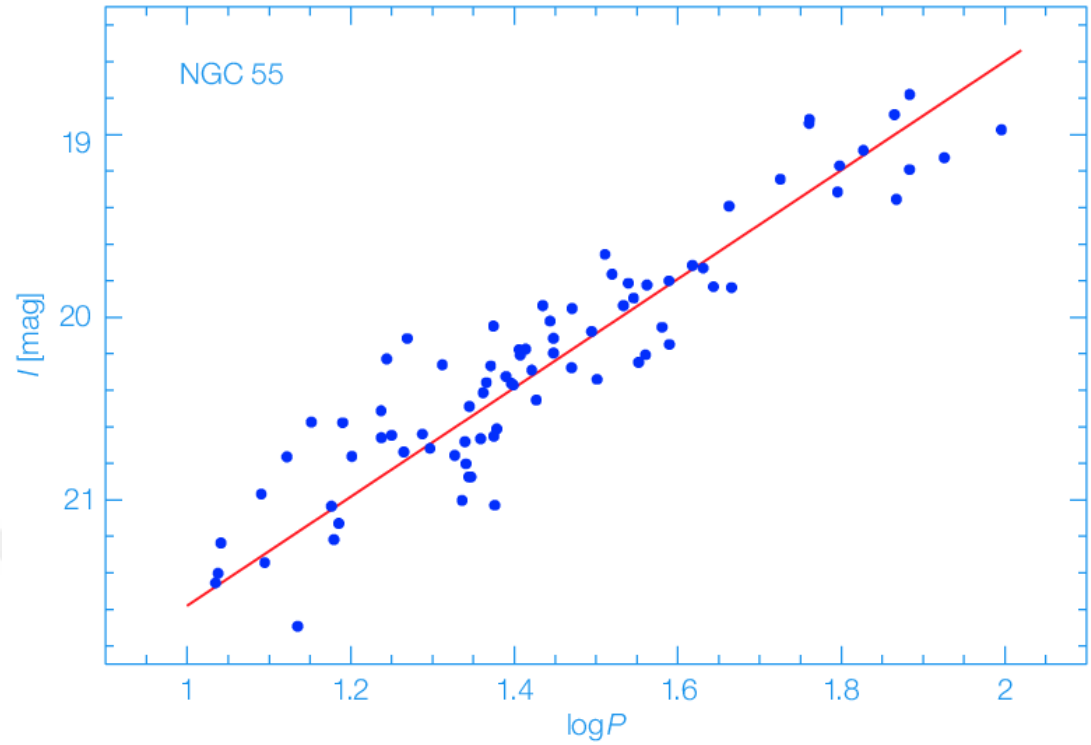
3. Bir yıldızın ortalama görünür parlaklığı*(m)* ve gün biriminde dönemi *(d)* ışık eğrisinden belirlenebilir.

4. Dönemi bilinen Sefeid yıldızı için dönem-parlaklık bağıntısı grafiği üzerine interpolasyon yaparak ortalama mutlak parlaklığı *(M)* belirlenebilir.

5. Görünür parlaklık *(m)* ve mutlak parlaklık*(M)* değerleri Denklem (1.8)'de verilen uzaklık modülü bağıntısında yerlerine yazılarak bir Sefeid yıldızına olan mesafe *(d)* hesaplanabilir.

$$m - M = 5\log[\frac{d}{10}] \tag{1.8}$$

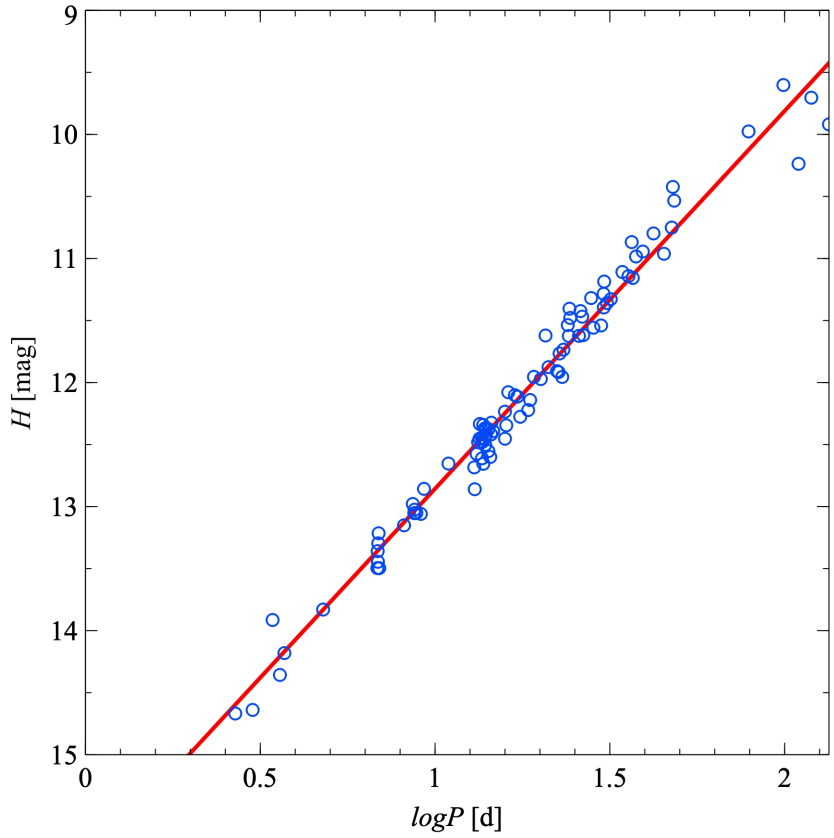
Uygulamada, gökbilimciler daha hassas uzaklık belirlemek içiGC başka bir galakside mümkün olduğu kadar çok Sefeid yıldızı gözlemlemeye çalışırlar. Çünkü gözlenen yıldız sayısı arttıkça, hesaplamalardaki belirsizlikler istatistiksel olarak azaltılabilir. Bu radyal değişim gösteren yıldız grubunun kozmik mesafe ölçeğini tahmin etmedeki kilit rolü, mesafe ölçümlerinin hem doğruluğunu hem de güvenilirliğini arttırmayı amaçlayan çok sayıda gözlemsel ve teorik araştırma ile doğrulanmıştır [40]. Gökbilimciler, yıldızlararası sönümlemeden az etkilenen kızılötesi dalga boylarında gözlemler yaparak, dönem-parlaklık bağıntısında saçılımı önemli ölçüde azaltabilirler [41]. Kızılötesi H bandında (1.654 µm merkezlenmiş) ölçülen parlaklıklar kullanılarak yapılan bu tür bir çalışma Şekil 1.16'de gösterilmiştir [15]. Veriler, Büyük Macellan Bulutu'ndaki 92 tane Sefeid yıldızına aittir. Bu yıldızların kızılötesi dalga boyunda yapılan gözlemlerinden elde edilen verilere göre dönem-parlaklık bağıntısı Denklem (1.9)'da verilmiştir. Bir Sefeid yıldızının dönemi ile parlaklığı arasında ilişki olması gerektiği, Denklem (1.6)'da ifade edilen Stefan-Boltzmann yasasının sonuçları ve temel zonklama denklemi dikkate alınarak anlaşılabilir [12, 42].



Şekil 1.15. NGC 55'teki Sefeid yıldızlarının dönem-parlaklık bağıntısı. Veriler I-bandında VLT/ISAAC gözlemlerinde elde edilmiştir. Grafikte içi dolu mavi semboller gözlemsel veriyi, kırmızı renkli çizgi ise fit fonksiyonunu temsil etmektedir [14].

$$H = -3.234 \log_{10} P_d + 16.079 \tag{1.9}$$

Klasik Sefeid yıldızları ekstragalaktik mesafelerin ölçümü için temel oluştururlar. Sefeid değişenlerinin yaygın olarak mesafe ölçeği olarak kullanılmasının üç temel nedeni vardır. Sefeidler, görsel parlaklıkları kısa dönemlerde ($\log P \approx 0.6$) $M_V = -3^m$ ila uzun dönemlerde ($\log P \approx 2.0$) $M_V = -6^m$ arasında değişen orta kütleli parlak yıldızlardır. Bu özellik ve zonklama döngüsü üzerindeki parlaklık değişimleri, bu tür değişenleri çok sayıda Yerel Grup (YG) galaksisinde tespit edilebildiği ve ölçülebildiği için önemli bir gözlemsel hedef olmasını sağlamıştır [43].



Şekil 1.16. Büyük Macellan Bulutu'ndaki 92 tane Sefeid yıldızı için kızılötesi H-bandında hesaplanan dönem-parlaklık bağıntısı [15].

Bu gözlemsel çalışma, HST tarafından toplanan fotometrik veriler sayesinde en üst düzeye ulaştı. Ayrıca, HST Key Project, Yerel Grup ve Virgo kümesine ait çok sayıda galakside Sefeid türü değişen yıldız tespit etmiştir [43].

Bu değişenlerin zonklama kararsızlığını kontrol eden fiziksel mekanizmalar güvenilir bir şekilde belirlenmiştir. Buna rağmen, Sefeid yıldızlarının zonklama davranışı şekilsel kararlılığı genellikle özgün argümanlar benimsenerek özetlenir. Ek olarak, şimdiye kadar, Sefeid yıldızlarının parlaklıklarının metal bolluğuna bağımlılığı konusunda genel bir teorik görüş birliğine varılamamıştır. Aslında, doğrusal, Non-adyabatik radyasyon modellerine dayanan teorik tahminler, kararsızlık kuşağının mavi kenarının metal bileşimine ihmal edilebilir bir bağımlılık sunduğunu göstermektedir [44].

Öte yandan, kararsızlık kuşağının hem mavi hem de kırmızı kenarlarını açıklayan teorik tahminler, Sefeid yıldızlarının parlaklığının kimyasal bileşime bağlı olduğuna dair kanıtları destekler niteliktedir. Özellikle, metal bakımından fakir Sefeidlerin belli bir dönemde metal bakımından zengin olanlardan daha parlak olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu tahmin ampirik davranışlarıyla çelişmektedir ve gerçekten de bunun karşısında bir eğilim ortaya çıkmıştır. Kararsızlık kuşağının iç genişliği optik dalga boyundan yakın kızılötesi dalga boyuna geçerken önemli ölçüde daralır. Metalik bağımlılığı ve kızarma düzeltmeleri aynı sonucu verir ve aslında yakın kızılötesi dalga boyunda dönem-parlaklık bağıntısı optik dalga boyunda dönem-parlaklık bağıntısına göre bu belirsizlikten daha az etkilenir [45].

2. BÖLÜM

YÖNTEM ve MATERYAL

Bu bölümde; tez çalışmasına seçilen yıldızlar için uygulanan veri analizi yöntemi, analizde kullanılan bilgisayar programı hakkında okuyucuya bilgiler sunulmuştur. Bunlara ek olarak tez çalışmasında yararlanılan veri tabanları ve Kepler verileri hakkında açıklamalara yer verilmiştir.

2.1. Yöntem

Bu tez çalışmasında incelenen yıldızların temel katalog bilgileri Tablo 2.1'de , Tablo 2.8'de ve Tablo 2.11'de verilmiştir. Seçilen yıldızların SIMBAD veri tabanından Sefeid türü olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Ardından yıldızların koordinat bilgileri kullanılarak Kepler [1] uzay teleskobunun veri tabanından ışık eğrisi verileri FITS dosyası halinde alınmıştır. Bu FITS dosyaları NASA HEASARC tarafından geliştirilen FitsViewer [2] yazılımı ile görüntülenerek veri dosyaları hazırlanmıştır. Görüntülenen FITS dosyasından yıldıza ilişkin *TIME*, *SAP FLUX* ve *SAP FLUX ERR* verileri alınmıştır. Işık eğrisi verilerinin frekans analizine başlanmadan önce normalize edilmesi gerekmektedir. Verilerin normalizasyon işlemleri Excel programı kullanılarak yapılmıştır. Normalizasyon süreci her bir veri çeyreği için ayrı ayrı uygulanmıştır. Normalizasyon işlemine geçilmeden önce, tüm gözleme ait veri çeyrekleri gözlem sırasına göre (Q0, Q1, Q2, ..., Q17) sıralanmıştır. Her bir fotometrik gözlem veri seti Quarter (Q) olarak adlandırılır ve ortalama 34 gün uzunluğundadır.

Kepler verileri, Yer tabanlı gözlem verileri ile karşılaştırıldığında yüksek hassasiyetli

[1] https://archive.stsci.edu/pub/kepler/(Son Erişim Tarihi: 21 Mart 2022)
[2] https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/ftools/fv/ (Son Erişim Tarihi: 21 Mart 2022)

ve kesintisiz olduğu açıkça görülür. Ancak buna rağmen aletsel etkilerden kaynaklanan hatalar ve genlik seviye farkları vardır. Ancak veriler üzerindeki tüm bu olumsuzluklar giderildikten sonra normalize edilmiş veriler artık analize hazırlanmış olur. Daha detaylı bir inceleme [46] ve [47] tarafından yayınlanmıştır. Bu tez çalışmasında konu edindiğimiz yıldızların frekans analizleri ise PERIOD04 programı aracılığı ile Fourier analizi tekniği kullanılarak yapılmıştır [48].

2.1.1. PERIOD04 Programı Hakkında Açıklamalar

PERIOD04, Period98 yazılımının genişletilmiş bir versiyonudur [49]. PERIOD04 çok yönlü gelişmiş zaman dizisi analizi için tasarlanmış bir yazılım paketidir. Özellikle boşluk içeren büyük miktardaki astronomik zaman serisi verilerinin istatistiksel analizi için geliştirilmiştir. PERIOD04 temel olarak aşağıda listelenen üç modülden oluşur.

1. **Zaman Serisi Modülü:** Bu modül içinde, kullanıcının zaman serisi verilerini yönetme imkânı bulunur. Modül, bir veri kümesini alt dizelere ayırmak, veri kümelerini birleştirmek vb. süreçleri yönetmek için gerekli araçları içerir.

2. **Fit Modülü:** Bu modül kullanılarak, bir dizi frekans için en küçük kareler yöntemi kullanılarak fit yapılır. Ayrıca, Monte Carlo simülasyonları gibi fit parametrelerinin belirsizliklerinin hesaplanması için çeşitli araçlar bulunur.

3. **Fourier Modülü:** Mevcut veriler kullanılarak yeni frekans değerlerinin bulunması için bu modül kullanılır. Fourier analizinin çeşitleri vardır ve PERIOD04 programında ayrıştırılmış Fourier dönüşümü algoritması kullanılır. Astronomik zaman serisinden oluşan veri kümeleri genellikle eşit aralıklı olmadığından, hızlı Fourier dönüşümü algoritması kullanılmamaktadır.

2.1.2. Fourier Analizi Yöntemi ile Sefeidlerin Frekans Analizi

Klasik Sefeid yıldızlarının ışık eğrilerinin önemli derecede bir yapısal düzene sahip olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Işık eğrisi biçiminin Hertzsprung dizisi olarak bilinen, dönemle ilerlemesi, literatürde geniş ölçüde tartışılmıştır [50]. Değişen

yıldızların ışık eğrisinin yapısı ve özelliklerine son zamanlarda gösterilen ilgi, OGLE, MACHO, ASAS, NSVS gibi değişen yıldız araştırma projelerinden üretilen gözlemsel verilerdeki artış nedeniyle büyümüştür. Ayrıca çeşitli çalışmalarda [51, 52] CoRoT, Kepler ve Gaia gibi uydu görevlerinden çok sayıda beklenen değişen yıldızı güvenilir ve otomatik bir şekilde sınıflandırmak için yeni teknikler araştırılmaktadır. Fourier ayrıştırma tekniği, değişen yıldızların ışık eğrilerinin yapısını tanımlamanın en güvenilir ve etkili bir yoludur. Örnek olarak, Fourier analizi kullanarak 323 galaktik Sefeid yıldızı için UBV ışık eğrisi parametreleri türetilmiştir [53].

Fourier tekniği sistematik olarak ilk kez AL Velorum yıldızının gözlenen ışık ve radyal hız değişimlerini analiz etmek için kullanmıştır [54]. Fourier fitlerinden birinci derece genlikler ve fazlar, daha sonra AL Velorum yıldızının kütlesini elde etmek için doğrusal adyabatik titreşim modellerinden elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Sefeid yıldızlarının ışık eğrilerini Fourier ayrıştırma tekniği kullanılarak yeniden yapılandırmak ve Sefeid yıldızlarının ışık eğrilerindeki Hertzsprung ilerlemesini tanımlamak için ilk girişimlerde bulunulmuştur [50]. Yöntem; çeşitli araştırmacılar [55–63] tarafından ışık eğrisi rekonstrüksiyonu, mod ayrımı ve zonklayan yıldızların sınıflandırılması için yaygın olarak kullanılan bir teknik olmuştur. Bununla birlikte, Fourier ayrıştırması, tek tek yıldızlar için çalışan bir yöntem olduğundan, büyük veri tabanlarındaki değişen yıldızların sınıflandırılması için uygun bir yöntem olmadığı, ancak ön işlemci olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir [64]. Seçilen değişen yıldız grubunun ışık eğrileri periyodik olduğundan, Denklem (2.1)'de verildiği gibi kosinüs ve sinüs serilerinin bir toplamı olarak yazılabilir.

$$m\left(t\right) = A_0 + \sum_{i=1}^{N} a_i \cos\left(i\omega\left(t - t_0\right)\right) + \sum_{i=1}^{N} b_i \sin\left(i\omega\left(t - t_0\right)\right) \tag{2.1}$$

Denklem (2.1)'de verilen $m(t)$ t zamanında gözlenen kadir olduğunda, A_0 ortalama kadir olur, α_i ve b_i $(i-1)$'nci harmoniğin genlik bileşenleri, P yıldızın gün cinsinden periyodu, $\omega = 2\pi/P$ ise açısal frekans ve N fit dizisidir. Maksimum ışık zamanı ise t_0 ile gösterilmiştir. Denklem (2.1)'de bu parametreler için en az aynı sayıda veri noktası gerektiren *2N+1* bilinmeyen parametreye sahiptir. Eşdeğer olarak, Denklem (2.1) aşağıdaki Denklem (2.2)'de gösterilen biçimde de yazılabilir.

$$m\left(t\right)=A_0+\sum_{i=1}^{N}\left[\left(A_i\cos\left(i\omega\left(t-t_0\right)+\varphi_i\right)\right)\right] \tag{2.2}$$

Denklem (2.2)'de $\sqrt{a_i^2+b_i^2}$ ve $\tan\phi_i=-\frac{b_i}{a_i}$ ifadelerine eşittir. Dönem bilgisi veri tabanlarından elde edilebildiği için, Denklem (2.3)'te ifade edilen gözlem süresi (evre) [Φ] içinde dahil edilebilir [2].

$$\Phi=\frac{\left(t-t_0\right)}{P}-int\left(\frac{t-t_0}{P}\right) \tag{2.3}$$

Burada (Φ), 0 ile 1 aralığında tam zonklama dönemine karşılık gelir. Bunun bir sonucu olarak Denklem (2.1) ve (2.2) aşağıdaki Denklem (2.4) ve (2.5)'te gösterildiği gibi yazılabilir.

$$m\left(t\right)=A_0+\sum_{i=1}^{N}a_i\cos\left(2\pi i\Phi\left(t\right)\right)+\sum_{i=1}^{N}b_i\sin\left(2\pi i\Phi\left(t\right)\right) \tag{2.4}$$

$$m\left(t\right)=A_0+\sum_{i=1}^{N}A_i\cos\left[2\pi\Phi\left(t\right)+\varphi_i\right] \tag{2.5}$$

Göreceli Fourier parametreleri ise aşağıdaki gibi yazılır. *i=1, 2, 3, 4, ...* katsayıları R_{il} , ϕ_{il} kombinasyonu Sefeid yıldızları ve diğer değişen yıldızlar için ışık eğrisi şeklinin ilerlemesini tanımlamak ve değişen yıldız sınıflandırması için kullanılabilir.

$$R_{il}=\frac{A_i}{A_l};\ \varphi_{il}=\varphi_i-\varphi_l \tag{2.6}$$

2.1.3. Kepler Işık Eğrilerinin Asterosismik Analizler İçin Hazırlanması

Kepler uzay teleskopu, farklı zonklayan yıldızların asterosismik çalışmaları için benzersiz hassasiyet ve kalitede fotometrik veriler sağlamaktadır. Bu analizler, dakika mertebesinden çeşitli zaman aralıklarındaki verilerin ön-işlenmesine yönelik özel bir gereksinim vardır. Bu veri ön-işlenmesi aşamaları Kepler Asterosismik Bilim [3] tarafından verilmiştir. Kepler uzay teleskobu, görüş alanında kalan yaklaşık 150000 yıldızın sürekli olarak fotometrik gözlemini yapmıştır. Teleskop 372.5 günlük Güneş merkezli yörüngede dolanır. Bu da teleskopun Güneş panellerinin verimliliğini arttırmak için her 93 günde bir optik ekseni etrafında 90° döndürülmesini gerektirir [65]. Sonuç olarak veriler, gözlemler ilk devreye alma aşamasından itibaren (Q0), 34 gün uzunluğundaki çeyreklere (Q1,Q2, ... Q17) ayrılmıştır. Kepler teleskopunun sağladığı aralıklı fotometrinin yüksek hassasiyeti, Kepler yıldız sismolojisi araştırmasının bir parçası olarak uzun ve sürekli gözlemlerin gerekli olduğu asterosismik çalışmaları gerçekleştirmek için ideal bir araç haline getirmektedir [66]. Bu nedenle çeşitli çalışmalar [67–69] bir yıldızın içinde yayılan rezonans modlarının incelenmesi, potansiyel olarak yörüngesinde gezegen barındıran yıldızları karakterize ederek Kepler görevinin temel bilimsel hedeflerini tamamlar.

Kepler teleskopunun iki farklı çalışma modu vardır. Bunlar kısa kadans (Short Cadance: SC) ve uzun kadans (Long-Cadance: LC) olarak tanımlanır. Uzun kadans modu her 29.4244 dakika (Nyquist frekansı 283.45 μHz) ve kısa kadans modu her 58.84876 saniyede (Nyquist frekansı 8.5 μHz) bir veri örneklemesi yapar. Parlak yıldızlar için (Kepler'in parlaklık sınırına kadar, $K_P \approx 12$ kadir) kısa kadans modunda yapılan gözlemler daha hassas geçiş zamanlaması sağlar. Ancak telemetri sınırlaması nedeniyle, SC çalışma modu yalnızca 512 hedef için kullanılabilir. Her iki durumda da veri biriktirme süresi, 0.52 saniyelik okuma süresiyle 6.02 saniyeye ayarlanır. Zaman, her kadansın ortalama zamanı 0.050 saniyelik bir doğrulukla damgalanmaktadır [70]. 150000 yıldızın ışık eğrileri neredeyse sürekli olarak kaydedilir ve teleskopta depolanır. Bununla birlikte, bu

[3] `https://kasoc.phys.au.dk/publications/` (Son Erişim Tarihi: 01 Haziran 2021)

veri toplama, operasyonel işlemler nedeniyle dönemsel veri kesintilerinden olumsuz etkilenmektedir. Teleskopun optik ekseni etrafında döndürülmesinin yanı sıra, depolanan veri ve mühendislik bilgilerini de yer istasyonuna iletmek için teleskop her ay bir kez kesintiye uğratılır. Nitekim, teleskopun yüksek kazançlı antenini Dünya'ya yönlendirecek şekilde yeniden yönlendirmesi ve bilimsel veri toplamayı durdurması gerekmektedir. Teleskop, tepki motorlarının doygunluğunu gidermek için iticilerini ateşler. Bu esnada irtifa ve birkaç dakikalığına yön hassasiyetini kaybeder. Bu işlem tamamlandığında, teleskop normal hassas işaretleme moduna döner. Ham ışık eğrilerinin düzeltilmesi için üç tür etkinin; aykırılıklar, sıçramalar (atmalar) ve eğilimler için olgusal bir yaklaşım izlenir. Bununla, bazı termal veya diğer uzun vadeli enstrümantal etkilerin ışık eğriler üzerinde kalabileceği akılda tutularak, verilerde mevcut olan düşük frekanslı sinyalleri mümkün olduğunca korumak gerekir [46].

2.1.3.1. Aykırılıklar

Işık eğrisinin iki nokta fark fonksiyonunda kısa kadans için $3\,\sigma$ ve uzun kadans için $5\,\sigma$ değerinden büyük bir noktadan noktaya sapmayı gösteren ayrı ölçümleri veri setlerinde aykırı değerler olarak dikkate alınmalıdır [46]. Burada σ ile gösterilen standart sapmadır. Bu kırpmadan etkilenen noktaların çoğu, momentum desatürasyon manevraları sırasında ve reaksiyon çarklarının açısal hızlarının sıfır mertebesine yaklaştığı dönemlerde gözlemlenen noktalardır. Bu düzeltme aynı zamanda Argabrightening etkisinden etkilenen noktaları da ortadan kaldırır. Bu noktalar ortalamanın üzerinde birçok standart sapma genliğine sahiptir ve kökeni henüz tam olarak anlaşılamamıştır [71].

2.1.3.2. Sıçramalar (Atmalar)

Sıçramalar, örneğin, yükseklik ayarlamaları veya piksel duyarlılığındaki ani düşüşler nedeniyle ışık eğrisinin ortalama değerindeki ani değişiklikler olarak tanımlanır. Bu ani değişimler için ışık eğrileri her kadansta 1-günlük segmentlerin ortalama akısının belirli bir eşikten büyük olduğu karşılaştırılarak kontrol edilmiş, ilave bir düzeltme yani, ışık eğrisinin birinci kısmına göre ışık eğrisi segmentlerinin ortalama

seviyelerindeki farkın eklenmesi veya çıkarılmasıdır. Eşik, bitişik bölümlerin ortalama akı değerler arasındaki farkın 5 katı olarak tanımlanmıştır. Sıçramalardaki 1-günlük segmentlerin tanımı, yalnızca ölçümlerin ikinci gününden çalışmanın sondan bir önceki gününe kadar ışık eğrisindeki düzeltmelere imkân verir. Bu sıçramaları tespit etmek ve düzeltmek için otomatik algoritma yoktur. Zaman serisinin bu kısımları incelenerek, gerekirse manuel olarak düzetilir [71].

2.1.3.3. Eğilimler

Eğilimler, genellikle sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan ve birkaç gün mertebesinde süren küçük, düşük frekanslı tedirginlikler olarak tanımlanır. Bu düzeltme, GOLF/SoHO cihazındaki yüksek voltaj tedirginliklerini düzeltmek için geliştirilen yazılıma dayanmaktadır García et al. [72].

Optik eksen etrafında döndürülmedeki aynı birkaç ışık eğrisini karşıladıktan sonra, termal bir kaymanın gözlemlendiği bölgeye ikinci veya üçüncü dereceden bir polinom fonksiyonu fiti uygulamaktan oluşur [71].

2.2. Materyal

Bu tez çalışmasında incelenen hedef kaynaklar hem ASAS hem de Kepler uzay teleskobu görüş alanında kalan Sefeid türü değişen yıldızlardır. Bu yıldızlara ilişkin bazı tanımlayıcı katalog bilgileri Bölüm 2.2.1, 2.2.2 ve 2.2.3'te verilmiştir.

2.2.1. KIC 7548061 Yıldızı

KIC 7548061 yıldızı ($\alpha_{2000} = 14^s48^{dk}15^{sn}.454$; $\delta_{2000} = +43°07'36''.797$) yaygın adıyla V1154 Cyg olarak bilinir. Bu yıldız Kepler teleskobu görüş alanında kalan bilinen tek Sefeid yıldızıdır. Yıldızın ASAS veri tabanından okunan V - bandında ölçülen parlaklığı 9.1 kadir ve zonklama dönemi yaklaşık olarak 4.925 gün mertebesindedir. SIMBAD sorgulamasında yıldızın V-bandında parlaklığı 9.14 kadir ve B - bandında 9.92 kadir verilmiştir.

Yıldızın ASAS veri tabanından sorgulanan katalog bilgisi Tablo 2.1'de verilmiştir.

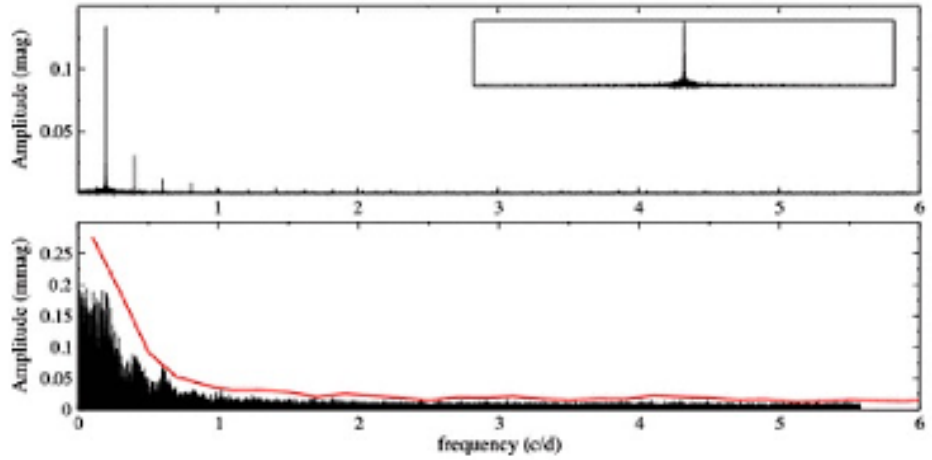
Parlaklık değişimi gösterdiği ilk defa [73] tarafından keşfedilmiştir. Çeşitli çalışmalarda [74–76] çok renk fotometrik gözlemlerinin sonuçları sunulmuştur. Radyal hız verileri ise yine çeşitli çalışmalarda [7, 77–80] incelenmiştir. Temel atmosferik parametreleri [81] ve tayfsal analizi ise [82] tarafından verilmiştir. Baade-Wesselink tekniğini kullanarak yıldızın yarıçapı $44.5 \pm 4.1 R_{\odot}$ ve uzaklığı 2100 ± 200 parsek olarak hesaplamıştır [83].

V1154 Cygni yıldızının, 1997 yılında HIPPARCOS ve INTEGRAL uyduları ile ilk uzay tabanlı gözlemleri yapılmış olsa da bu gözlemlerin fotometrik hassasiyeti ve sürekliliği Kepler teleskopu ile mukayese edilemeyecek düzeydedir. Kepler teleskopunun ilk dört gözlem çeyreğine dayanan ilk sonuçlar [24] tarafından verilmiştir ve bu çalışamaya göre de V1154 Cyg'nin periyodik bir Sefeid yıldızı olduğunu göstermişlerdir. Frekans analizine göre, son 40 yılda yıldızın zonklama döneminde bir değişim olmadığı ve ek zonklama frekansı ortaya koymadığı anlaşılmıştır. V1154 Cyg hakkında bir başka çalışma ise Kepler teleskopunun 600 günlük verisine dayanarak yapılmıştır. Bu çalışma ise zonklama döneminde döngüden döngüye dalgalanmalar olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu da Klasik Sefeid türü değişen yıldızların yaygın olan kabule göre çok iyi çalışan astrofiziksel ölçüm aletleri olamayabileceğini göstermiştir [84]. Fourier parametreleri ile O-C değerleri arasında çok hafif bir korelasyon olduğu, bunun da O-C değişimlerinin ışık eğrisinin şeklinin kararsızlığından kaynaklanabileceği düşünülmüştür [6].

Kepler teleskopunun 4 yıllık uzun kadans verileri kullanılarak , ışık eğrisini, Fourier ayrıştırma tekniğini kullanarak incelenmiş ve, Fourier parametreleri R_{21} ve R_{31}'in 158.2 günlük bir dönem ile modülasyon gösterdiğini bulmuşlardır [85]. Işık eğrisinin bu modülasyonunun, RR Lyrae yıldızlarındaki Blazhko etkisi olgusuna çok benzer olduğu sonucuna varmışlardır. Işık eğrisinin uzun dönemli kararlılığı 4 yıllık Kepler fotometrik verileri ile incelenmiştir. İlk olarak, veri setinin frekans analizi yapılarak ışık eğrisinin biçimindeki değişiklikleri incelemek amacıyla her bir zonklama döneminin Fourier parametreleri hesaplanmış ve [86] tarafından verilen yöntem uygulanarak toplam 28 anlamlı frekans tespit edilmiştir. Frekanslar, genlikler ve evreler Tablo 2.5'te listelenmiş ve frekans spektrumu Şekil 2.1'de verilmiştir [6]. Frekans spektrumunda dikkat çekici nokta $f_1 = 0.2030246$ gün^{-1}

Tablo 2.1. KIC 7548061 yıldızı için ASAS kataloğundan alınan verileri.

Parametre	Değer	Birim
ASAS Kodu	194815 + 4307.6	
2MASS Kodu	19481545 + 4307367	
RA	297.0644	derece
DEC	43.12688	derece
V (ASAS)	9.174	kadir
I (ASAS)	8.12	kadir
$V - I$	1.054	kadir
J(2MASS)	7.417	kadir
$J - H$	0.368	kadir
$H - K_{\rm s}$	0.13	kadir
Değişen Türü	CEP	
Periyot	4.926	gün
$V_{\rm amp}$	0.38	kadir
Diğer İsim	V1154 Cygni	



Şekil 2.1. Üst panel: Q1-Q17 uzun kadans verilerine dayalı V1154 Cyg'nin frekans spektrumunu gösterir. Alt panel ise 28 frekans çıkarıldıktan sonra kalan frekans spektrumunu ve kırmızı çizgi, anlamlılık sınırını gösterir. Dikey eksenlerdeki ölçek değişimine dikkat edilmelidir [6].

yöresindeki ana zonklama frekansı ve çok düşük genliklerle 11.sıraya kadar olan harmonikleridir. KIC 7548061 yıldızı için Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri aşağıda Tablo 2.2'de ve Kepler Stellar 17 arşivinden alınan parlaklık değerleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.2. KIC 7548061 yıldızı için Gaia DR2 kataloğunda verilen temel fiziksel değerleri [3].

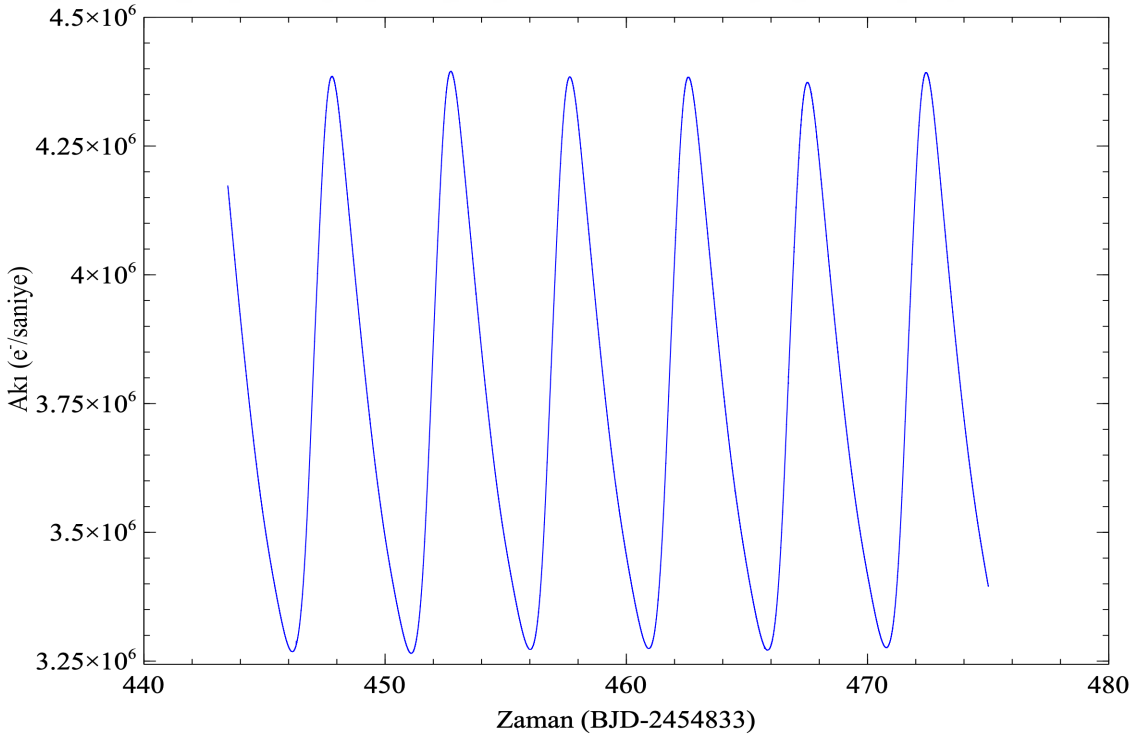
T_{eff} $[K]$	Lüminosite $[L_\odot]$	Yarıçap $[R_\odot]$	Radyal Hız $[kms^{-1}]$	Paralaks [mas]
4897.00	1306.797	50.22	3.51	0.4134

Tablo 2.3. KIC 7548061 yıldızının SDSS *u, g, r, i, J, K* bandlarındaki parlaklık bilgileri. Tabloda K_P ile gösterilen Kepler parlaklığıdır [4].

u	g	r	i	J	K	K_P
-	9.437	8.735	8.486	7.416	6.918	8.771

Tablo 2.4. KIC 7548061 yıldızı için Kepler-Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [5].

T_{eff} $[K]$	Lüminosite $[L_\odot]$	Yarıçap $[R_\odot]$	Kütle $M_\odot$	Yaş [Gyr]	Uzaklık [pc]	log g $[cms^{-2}]$	[Fe/H] -	A_v [kadir]
5773.3	3.313	45.839	4.859	0.11	2333.4	1.801	-0.653	0.743



Şekil 2.2. KIC 7548061 yıldızının kısa kadans (SC) modunda gözlenmiş yaklaşık 40 gün uzunluğundaki veri setini temsil eden ışık eğrisi. Grafik, SC modunda gözlenen Q2 veri seti kullanılarak hazırlanmıştır.

Tablo 2.5. V1154 Cyg yıldızının Kepler uzun kadans (LC) verilerinden bulunan anlamlı 28 frekansının listesi [6].

Sıra	Frekans (gün^{-1})	Genlik (mmag)	Evre ($rad/2\pi$)	Kimlik
f**1**	0.203027027(24)	139.662(14)	0.762573(10)	-
f**2**	0.40605405(9)	37.925(14)	0.973077(37)	2f1
f**3**	0.60908108(35)	9.583(14)	0.21328(15)	3f1
f**4**	0.8121081(31)	1.066(12)	0.4629(13)	4f1
f**5**	1.015135(6)	0.594(14)	0.0687(24)	5f1
f**6**	1.218162(6)	0.591(13)	0.3080(24)	6f1
f**7**	1.421189(9)	0.374(14)	0.520(4)	7f1
f**8**	1.624216(16)	0.209(14)	0.739(7)	8f1
f**9**	1.827243(29)	0.117(13)	0.951(12)	9f1
f**10**	2.03027(6)	0.055(14)	0.177(25)	10f1
f**11**	0.006327(9)	0.371(15)	0.8404(38)	fm1
f**12**	0.196700(6)	0.554(14)	0.3927(25)	f1 − fm1
f**13**	0.209354(10)	0.319(13)	0.884(4)	f1 + fm1
f**14**	0.399727(12)	0.289(13)	0.346(5)	f2 − fm1
f**15**	0.602754(30)	0.111(15)	0.488(13)	f3 − fm1
f**16**	0.81757(8)	0.042(15)	0.037(34)	f4+fm1–fm2
f**17**	1.02060(12)	0.028(13)	0.252(5)	f5+fm1–fm2
f**18**	0.412381(28)	0.121(14)	0.729(11)	f2 + fm1
f**19**	0.190374(15)	0.219(13)	0.049(6)	f1 − 2fm1
f**20**	0.393401(19)	0.171(13)	0.984(8)	f2 − 2fm1
f**21**	0.59643(5)	0.069(15)	0.178(20)	f3 − 2fm1
f**22**	0.00086(5)	0.068(14)	0.068(20)	fm2
f**23**	0.202163(8)	0.413(15)	0.6813(34)	f1 − fm2
f**24**	0.203891(5)	0.606(15)	0.7655(23)	f1 + fm2
f**25**	0.201300(8)	0.430(13)	0.4778(33)	f1 − 2fm2
f**26**	0.204754(7)	0.458(14)	0.0240(30)	f1 + 2fm2
f**27**	2.23330(10)	0.033(13)	0.40(4)	11f1
f**28**	0.161610(13)	0.262(14)	0.598(5)	-

2.2.2. KIC 6269092 Yıldızı

KIC 6269092 ($\alpha_{2000} = 19^s02^{dk}53^{sn}.970$; $\delta_{2000} = +41°39'31''.26$) yıldızının ilk fotometrik gözlemi ROTSE1 araştırmasında yapılmıştır [87]. İlerleyen süreçte bu yıldızın ASAS projesinde de V ve I filtrelerinde gözlemleri yapılmıştır [7]. KIC 6269092 yıldızının ASAS katalog bilgisi Tablo 2.8'de verilmiştir. KIC 6269092 yıldızının ROTSE1 kataloğunda adı ROTSE1 J190253.93+413931.1 ve ASAS kataloğunda 190254+4139.5 numarasıyla kaydedilmiştir. KIC 6269092 yıldızının ASAS fotometrik verilerine göre PER/CEP olduğu ve SIMBAD kataloğunda ise Delta Cephei olarak etiketlenmiştir.

KIC 6269092 yıldızı için SIMBAD üzerinden yapılan sorgulamada B bandında ölçülen parlaklık bilgisinin yer almadığı ve V bandında ölçülen parlaklığının da 12.787 kadir olduğu görülmüştür. KIC 6269092 yıldızının uzay tabanlı ilk fotometrik gözlemi Kepler uzay teleskopu ile yapılmıştır [88].

Kepler uzay teleskopunun bilindiği üzere uzun kadans ve kısa kadans olarak iki farklı gözlem modu vardır. Kepler teleskobunun veri tabanındaki araştırmaya göre bu yıldızın sadece uzun kadans modunda ve Q0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 numaralı sezonlarda gözleminin yapıldığı görülmüştür. Q5, Q9, Q17 sezonlarında gözlem verisi bulunmamaktadır. Yıldızın Kepler fotometrik veri setinden üretilen ışık eğrisinin bir bölümü (Q10 veri seti) ve ASAS V filtresinde ölçülen parlaklık değerlerini temsil eden ışık eğrileri sırasıyla Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilmiştir. KIC 6269092 yıldızı için Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri Tablo 2.6'te, Kepler Bilim Ekibi arşivinden alınan parlaklık değerleri Tablo 2.7'da ve yıldızın ASAS katalog bilgileri Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.6. KIC 6269092 yıldızı için Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [3].

T_{eff} $[K]$	Lüminosite $[L_\odot]$	Yarıçap $[R_\odot]$	Radyal Hız $[kms^{-1}]$	Paralaks [mas]
4666.45	4.565	3.27	-57.63	1.4401

Tablo 2.7. KIC 6269092 yıldızının SDSS *u, g, r, i, J, K* bandlarındaki parlaklık bilgileri. Tabloda K_P ile gösterilen Kepler parlaklığıdır [4].

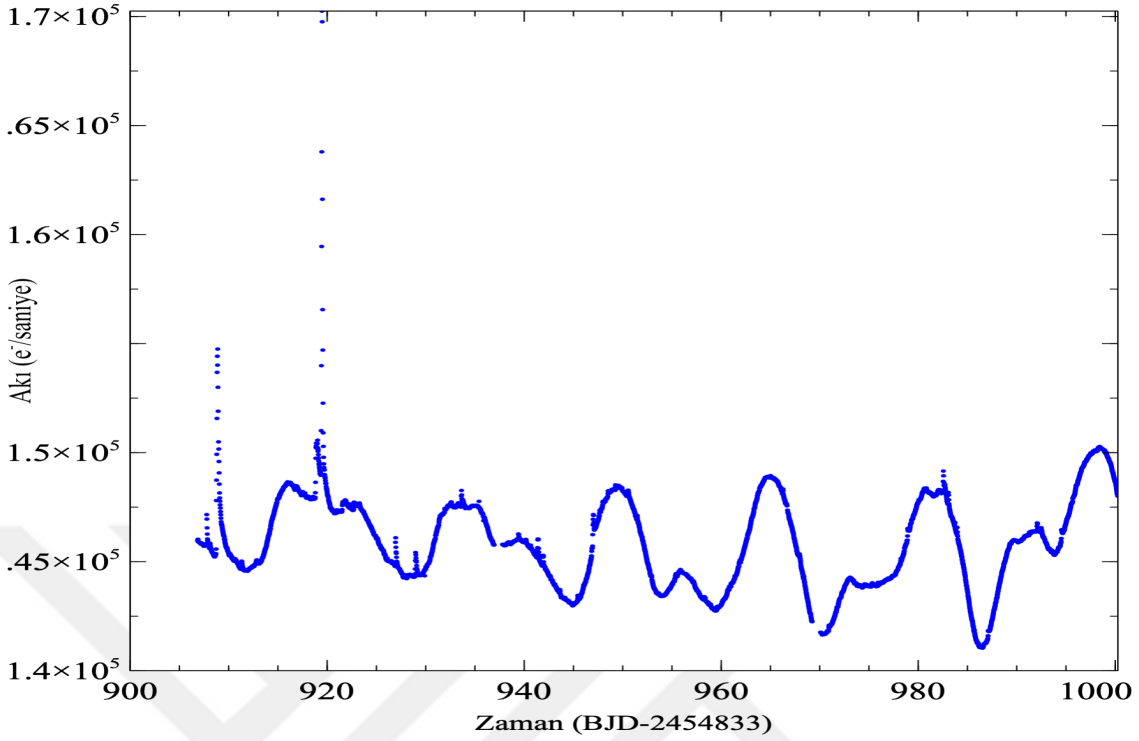
u	g	r	i	J	K	K_P
-	13.594	12.754	12.452	10.614	9.846	12.795

Tablo 2.8. KIC 6269092 yıldızı için ASAS kataloğundan alınan verileri.

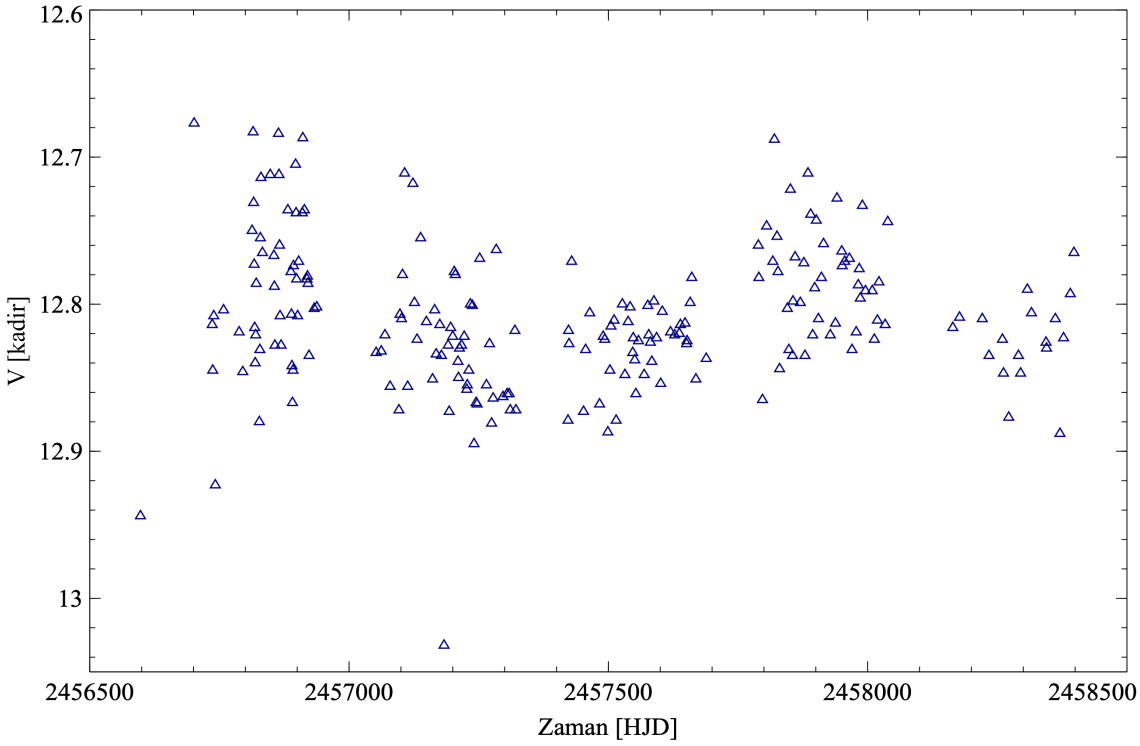
Parametre	Değer	Birim
ASAS Kodu	190254 + 4139.5	
2MASS Kodu	19025396 + 4139313	
RA	285.72487	derece
DEC	41.6587	derece
V (ASAS)	12.787	kadir
I (ASAS)	11.465	kadir
$V - I$	1.322	kadir
J(2MASS)	10.614	kadir
$J - H$	0.584	kadir
$H - K_\mathrm{s}$	0.184	kadir
Değişen Türü	QPER/CEP	
Periyot	16.51	gün
V_amp	0.26	kadir
I_amp	0.20	kadir
Diğer İsim	ROTSE1 J190253.93+413931.1	

Tablo 2.9. KIC 6269092 yıldızı için Kepler-Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [5].

T_{eff} $[K]$	Lüminosite $[L_\odot]$	Yarıçap $[R_\odot]$	Kütle $M_\odot$	Yaş [Gyr]	Uzaklık [pc]	log g $[cms^{-2}]$	[Fe/H] -	A_v [kadir]
4625.4	0.782	3.817	0.943	15.47	680.2	3.241	0.255	0.217



Şekil 2.3. KIC 6269092 yıldızının uzun kadans modunda gözlenmiş yaklaşık 100 gün zaman aralığına dağılmış ışık eğrisi. Zaman olarak 920 bölgesinde görülen ani atmanın flare olayı olduğu düşünülmektedir. Grafikte Q10 veri seti kullanılmıştır.



Şekil 2.4. ASAS 190254+4139.5 yıldızının ASAS verisinden üretilen ışık eğrisi.

2.2.3. KIC 7899428 Yıldızı

KIC 7899428 ($\alpha_{2000} = 19^s38^{dk}35^{sn}.892$; $\delta_{2000} = +43°41'31''.54$) yıldızının ilk fotometrik gözlemi ROTSE1 araştırmasında yapılmıştır [87]. İlerleyen süreçte bu yıldızın ASAS projesinde de V ve I filtrelerinde gözlemleri yapılmıştır [7].

KIC 7899428 yıldızının ASAS katalog bilgisi Tablo 2.11'da verilmiştir. KIC 7899428 yıldızının ROTSE1 kataloğunda adı ROTSE1 J193835.80+434130.6 ve ASAS kataloğundaki kayıt numarasının ise 193836+4341.5 olduğu bilinmektedir.

KIC 7899428 yıldızının ASAS fotometrik verilerine göre PER/CEP olduğu bilinmektedir. SIMBAD kataloğunda ise Delta Cephei olarak etiketlenmiştir. KIC 7899428 yıldızının SIMBAD sorgulamasında V bandında parlaklığının 11.40 ve B bandında ölçülen parlaklığı 12.02 kadir ve $(B - V) = 0.62$ kadirdir.

KIC 7899428 yıldızının uzay tabanlı ilk fotometrik gözlemi Kepler uzay teleskopu ile yapılmıştır [88]. Kepler uzay teleskopunun veri tabanında KIC 7899428 yıldızının sadece uzun kadans modunda Q0-Q17 çeyreklerini kapsayan fotometrik verisi vardır. Yıldızın Kepler fotometrik veri setinden üretilen ışık eğrisinin bir bölümü (Q2 veri seti) ve ASAS V filtresinde ölçülen parlaklık değerlerini temsil eden ışık eğrileri sırasıyla Şekil 2.5'da ve Şekil 2.6'de gösterilmiştir. KIC 7899428 yıldızı için Gaia DR2'de verilen temel fiziksel değerleri Tablo 2.10'de, ASAS katalog bilgisi Tablo 2.11'da ve Kepler Stellar 17 arşivinden alınan parlaklık değerleri Tablo 2.12'da verilmiştir.

Tablo 2.10. KIC 7899428 yıldızı için Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [3].

T_{eff} [K]	Lüminosite [$L_\odot$]	Yarıçap [$R_\odot$]	Radyal Hız [kms^{-1}]	Paralaks [mas]
5273.00	8.814	3.56	-17.20	1.6446

Tablo 2.11. KIC 7899428 yıldızının ASAS kataloğundna alınan bilgileri.

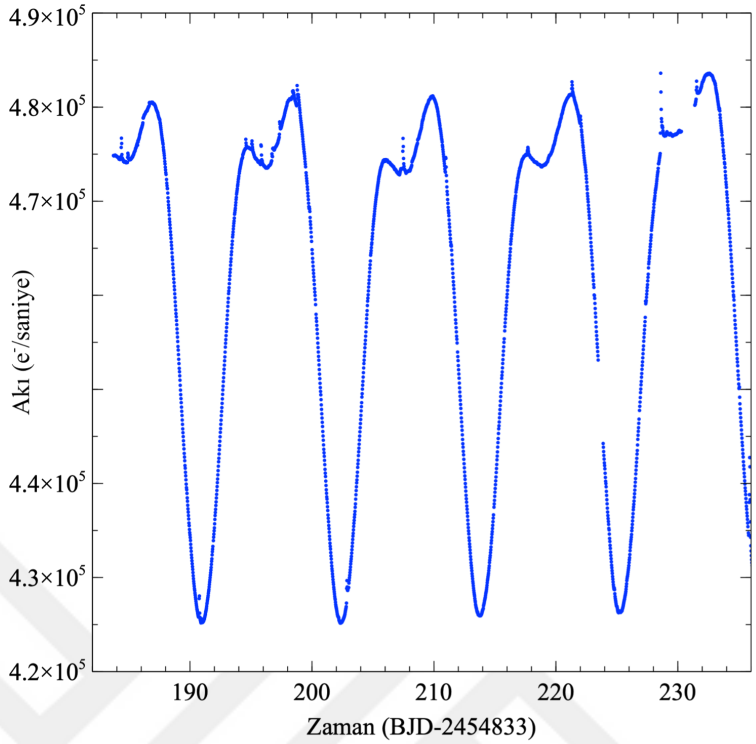
Değişken	Değeri	Birimi
ASAS ID	193836 + 4341.5	-
2MASS ID	19383589 + 4341314	-
RA	294.64956	derece
Dec	43.69206	derece
V (ASAS)	11.503	kadir
I (ASAS)	10.506	kadir
V-I	0.997	kadir
J (2MASS)	9.731	kadir
J-H	0.471	kadir
H-K	0.137	kadir
Variable Type	PER/CEP	-
Period	11.573	gün
V_{amp}	0.09	kadir
I_{amp}	0.08	kadir
Other ID	ROTSE1 J193835.80+434130.6	-

Tablo 2.12. KIC 7899428 yıldızının SDSS *u, g, r, i, J, K* dalga boylarında parlaklık bilgileri. Tabloda K_P ile gösterilen Kepler parlaklığıdır [4].

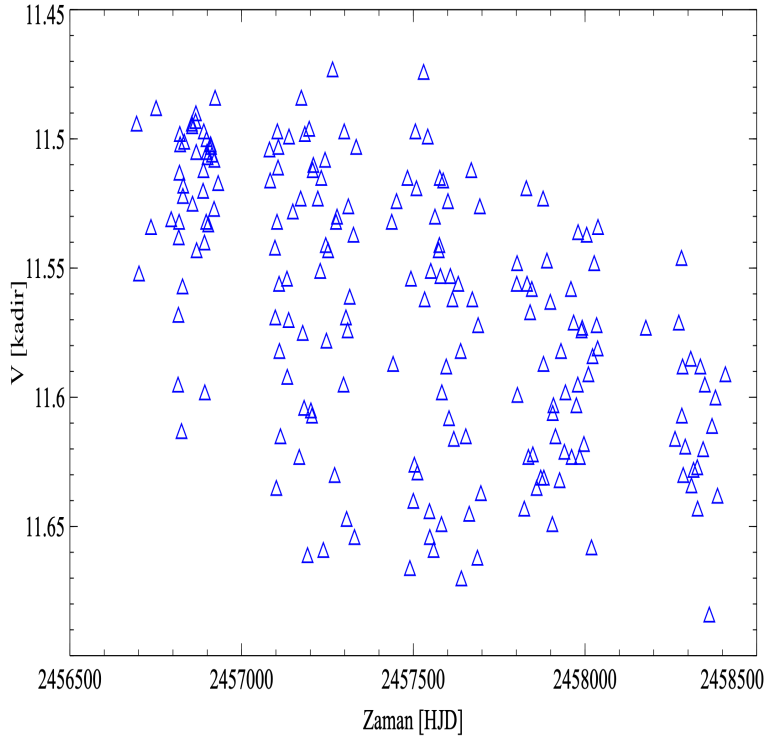
u	g	r	i	J	K	K_P
-	11.988	11.404	-	9.731	9.123	11.343

Tablo 2.13. KIC 7899428 yıldızı için Kepler-Gaia DR2 tarafından verilen temel fiziksel değerleri [5].

T_{eff} [K]	Lüminosite [$L_\odot$]	Yarıçap [$R_\odot$]	Kütle $M_\odot$	Yaş [Gyr]	Uzaklık [pc]	log g [cms^{-2}]	[Fe/H] -	A_v [kadir]
4962.6	1.045	4.489	1.466	2.32	594.7	3.297	-0.019	0.309



Şekil 2.5. KIC 7899428 uzun kadans modunda gözlenmiş ışık eğrisi. Işık eğrisi üzerinde görülen çıkıntıların flare olayı olduğu değerlendirilmektedir. Grafikte Q2 veri seti kullanılmıştır.

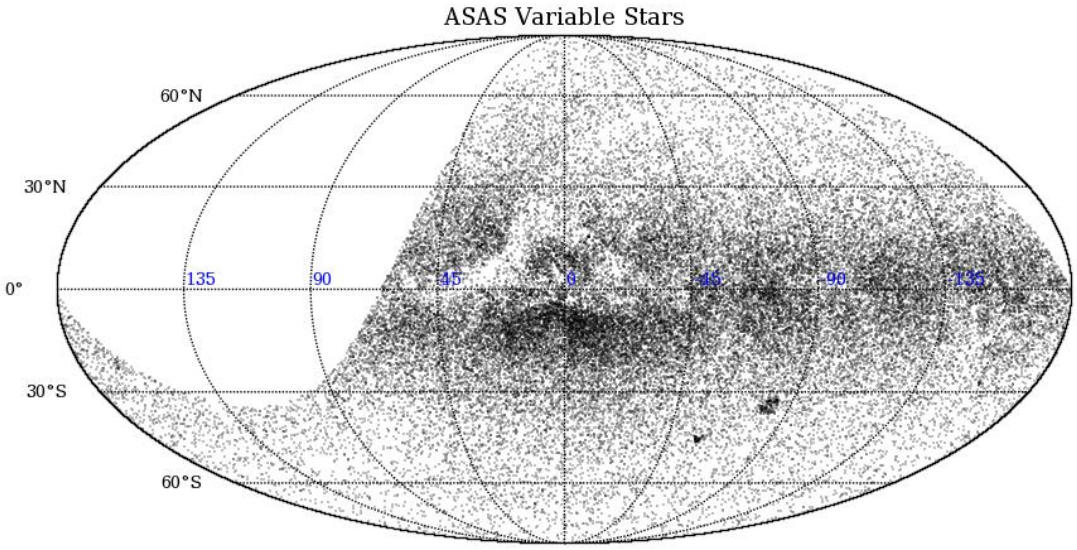


Şekil 2.6. ASAS 193836+4341.5 yıldızının ASAS verisinden üretilen ışık eğrisi.

2.2.4. The All Sky Automated Survey (ASAS) Kataloğu

All Sky Automated Survey (ASAS), yıldızların parlaklık değişimini tespit etmeye adanmış, uzun süreli bir gökyüzü gözlem projesidir. ASAS gözlemleri Las Campanas Gözlemevi'nde standart V ve I bandı filtreleri, 7-cm açıklıklı 20-cm odak uzaklığa sahip bir teleskop ve $2K \times 2K$ 15μ piksel Apogee CCD bilimsel ekipmanı ile yapılmaktadır. ASAS [4] kataloğu hakkında daha fazla bilgi internet ortamında sunulmuştur.

Katalogdaki değişen yıldızlar, tüm gökyüzünün neredeyse 3/4'ünü kapsayan ve 28 derecelik dik açıklıktan küçük değerlerde keşfedilmiştir. Yıldızların bu dağılımı Şekil 2.7'de gösterilmiştir. V-bandında ölçülen parlaklığın bir fonksiyonu olarak ASAS veri tabanındaki tüm yıldızların $\left(1.7 \times 10^7\right)$ ve tüm değişen yıldızların (50122) dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.7. ASAS veri tabanındaki değişen yıldızların galaktik koordinatlarda gökyüzünde dağılımları. Ekvator kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Dağılım $<$ 28 derecelik dik açıklık ile sınırlıdır [16].

[4] `http://www.astrouw.edu.pl/asas/?page=main`(Son Erişim Tarihi: 03 Temmuz 2021)

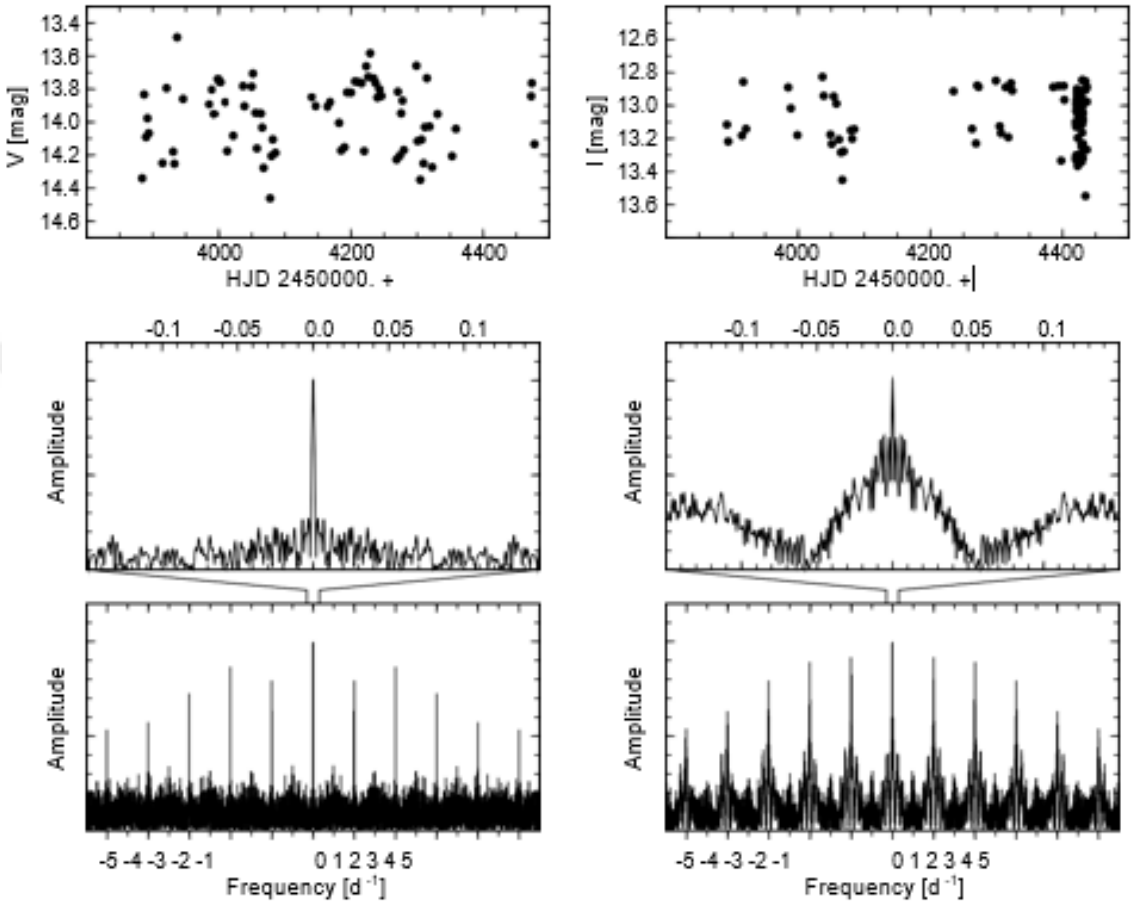
Parlaklık limiti $8^m < V < 12^m$ olan yıldızların istatistiksel çalışmaları yaklaşık olarak tamamlandığı belirtilmektedir, ancak parlaklık limiti $12^m < V < 14^m$ aralığına yaklaştıkça verimlilik hızla düştüğü belirtilmiştir. Tüm yıldızlar yaklaşık 5 yıl, küçük bir alt küme ise 8 yıl gözlenmiştir [16].

Kepler uzay teleskopunun görüş alanında kalan 947 değişen yıldız için katalog çalışması verilmiştir [7]. Katalog, ASAS3-Kuzey istasyonundaki 17 aylık gözlemler sırasında elde edilen V ve I bantlarındaki fotometrinin bir analizinin sonucudur. Katalogda verilen yıldızlar, değişkenliklerine göre 11 alt gruba ayrılmışlardır. NASA'nın Kepler uzay teleskopu görevindeki birincil bilimsel amaç, özellikle Güneş benzeri yıldızların yaşanabilir bölgelerindeki Yer benzeri gezegenlerin istatistiksel bir çalışmasını yapmak üzere tasarlanmıştır [89].

Yer tabanlı gözlemlere kıyasla, Kepler teleskopunun gözlemlerinin üstünlüğü tartışılmazdır. Kepler teleskopunun verileri çok uzun, kesintisiz veri dizisi ile birlikte çok yüksek bir fotometrik hassasiyet sağlar. Böylece, doğal olarak Yer tabanlı verilerle ilişkili olan bozucu etkiler sorunu önlenmiş olmaktadır. Parlaklık limiti V filtresinde $9 < V < 15$ kadir aralığında ve gökyüzündeki konum nedeniyle, Kepler'in zonklayan yıldız gözlemleri, MOST [90] ve CoRoT [91] gibi diğer uzay teleskopu görevlerini devam ettirmektedir.

ASAS verileri Haleakala'da (Maui, Hawaii Adaları) bulunan ASAS3-Kuzey istasyonunda Nikkor 200-mm f/2.0 lensler ve Apogee AP-10 2048×2048 piksel CCD kamera ile donatılmış V ve I filtrelerinde alınmıştır. Veriler Temmuz 2006 ile Aralık 2007 aralığında 500 günü kapsamaktadır. Kepler FoV'da keyfi olarak seçilen bir yıldız için gözlemlerin zamanla dağılımı Şekil 2.8'da gösterilmiştir. Tipik olarak, gözlemin ilk yılında iki hatta dört gecede 1 nokta elde edilebilirken, 2007 yılının ikinci yarısında I bandındaki gözlemlerin sıklığı gece başına birkaç noktaya çıkmıştır. Ortalama olarak V-filtresindeki veri seti yaklaşık 90 ölçümden oluşurken, I-filtresinde yaklaşık 110 veri noktası mevcuttur [7]. Yıldızların hangi tür değişen yıldız olduğu araştırılırken, yıldızların doğru tanımlanması sorunu da göz önünde bulundurulmalıdır. Geniş alan araştırmalarında, çerçeveler, ASAS çerçeveleri için yaklaşık $\frac{15''}{piksel}$ olan düşük uzaysal çözünürlüğe sahiptir. Bu çerçevelerdeki fotometri,

$0.5'$ ila $1.5'$ karşılık gelen 2 ila 6 piksel arasında değişen çaplara sahip beş farklı açıklıktan çıkarılır. Görüntü işleme ve indirgeme hakkında ayrıntılı bir inceleme çeşitli araştırmalarda verilmiştir [92, 93].



Şekil 2.8. Üst panelde analizi yapılan V (sol) ve I (sağ) ASAS verilerinin tipik dağılımı. Alt panelde ise üst panelde gösterilen verilerin spektrumları. Ana frekans detaylı olarak gösterilmiştir ve genliklerin *mag* birimindedir [7].

Kepler FoV'un yıldız sayısı bakımından oldukça yoğun alanlarında, ASAS çerçevelerinin düşük uzaysal çözünürlüğü, çıkarılan fotometride yakındaki yıldızın neden olduğu kirlenme ile bariz problemler ortaya çıkarmaktadır. Bazı durumlarda, yalnızca daha iyi çözünürlüğe sahip takip gözlemleri, bir değişen yıldızın doğru şekilde tanımlanmasına yardımcı olabilir [7]. ASAS çerçevelerinde ölçülen yıldızların kadirleri V-bandında 7 ila 15 iken I- bandında 6 ila 14 aralığındadır. Bu hem V hem de I bantlarının kadir limitleri Kepler teleskopunun limitleri aralığında kalmaktadır.

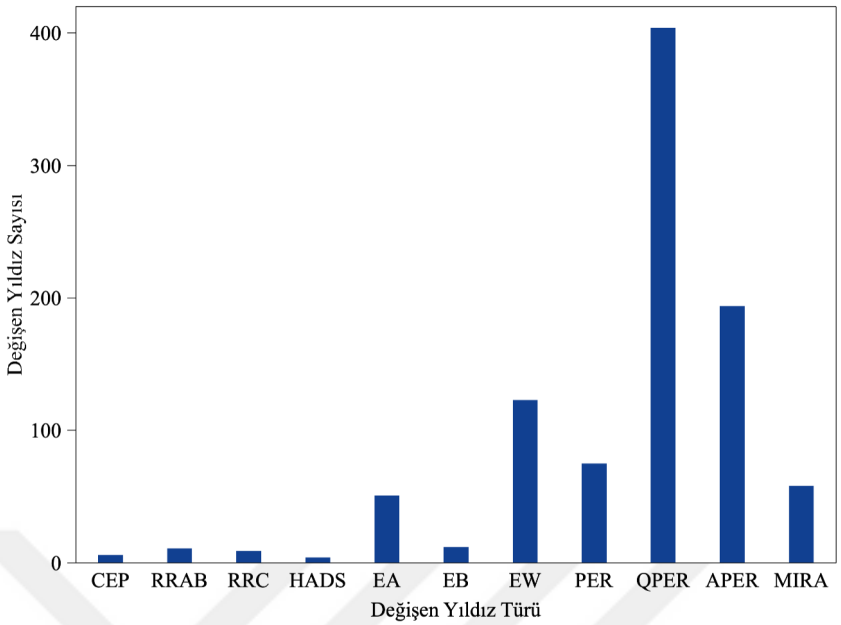
Gözlemlenen alan orta galaktik enlemlerde $+6° < b < +12°$ bulunur. Gökyüzündeki

alanın hem kadir aralığı hem de konumu, tespit edilebilen değişkenlikle doğrudan bir sonuca sahiptir. Değişen yıldız araştırması, 0 ila 30 d^{-1} aralığında hesaplanan bir Fourier genlik periodgramı vasıtasıyla 4 piksel çapında ara açıklıkta fotometri kullanılarak gerçekleştirilir. Değişkenlik tipi, ışık eğrisinin periyodu, genliği ve şekli dikkate alınarak tespit edilmiştir. Toplamda 250000 değişen yıldız adayı arasından 947 yıldızın kesin olarak değişen yıldız olduğuna ulaşılmıştır. Bu yıldızların katalog bilgisine aşağıdaki bağlantıdan ulaşılabilir.

ASAS kataloğuna[5] internet adresi üzerinden erişim vardır. Veri tabanında verilen tabloda ekvator koordinatları, ASAS V ve I parlaklık değerleri, 2MASS JHK_s fotometrisi, değişen yıldız türü, dönem bilgisi verilmiştir [94]. Özel olarak değişen türü dikkate alındığında, katalog daha fazla çeşitlilik türü içeriyor olsa da yalnızca 11 değişen türü etiketi verilmiştir. İlk olarak, "Değişen Yıldızların Genel Kataloğu-GCVS" tanımları dikkate alınarak, örten çiftler ışık eğrisinin biçimine göre aşağıda listelendiği gibi üç gruba ayrılır.

1. Algol (EA)
2. β Lyrae
3. W UMa

Farklı zonklayan türlerden, yalnızca dönemleri, ışık eğrilerinin şekli veya genliği ile kolayca tanımlanabilenler ayırt edilebilmiştir. Yani Bailey tipi RR Lyr yıldızları ab ve c (RRab, RRc), yüksek genlikli δ Sct (HADS), Sefeid (CEP) ve Mira (MIRA) değişenleri. Kalan yıldızlar dönemselliğin ne kadar iyi olduğuna bakılarak üç gruba ayrılır. "PER" olarak etiketlenen yıldızların ışık eğrileri sinüzoidal biçim gösterirler ve bu nesneler kesinlikle periyodiktirler. "QPER" olarak etiketlenen yıldızların oldukça baskın bir dönemselliğe sahiptirler ancak aynı zamanda genlik ve/veya evre değişiklikleri ya da daha uzun bir zaman ölçeğinde periyodik değişiklikler gösterirler. Son olarak, belirgin bir dönemsellik göstermeyen veya dönemi, analiz edilen verilerin kapsadığı aralıktan daha uzun olan yıldızlar "APER" olarak etiketlenirler. Tablo 2.14'de ASAS Kepler FoV kataloğunun özeti verilmiştir.



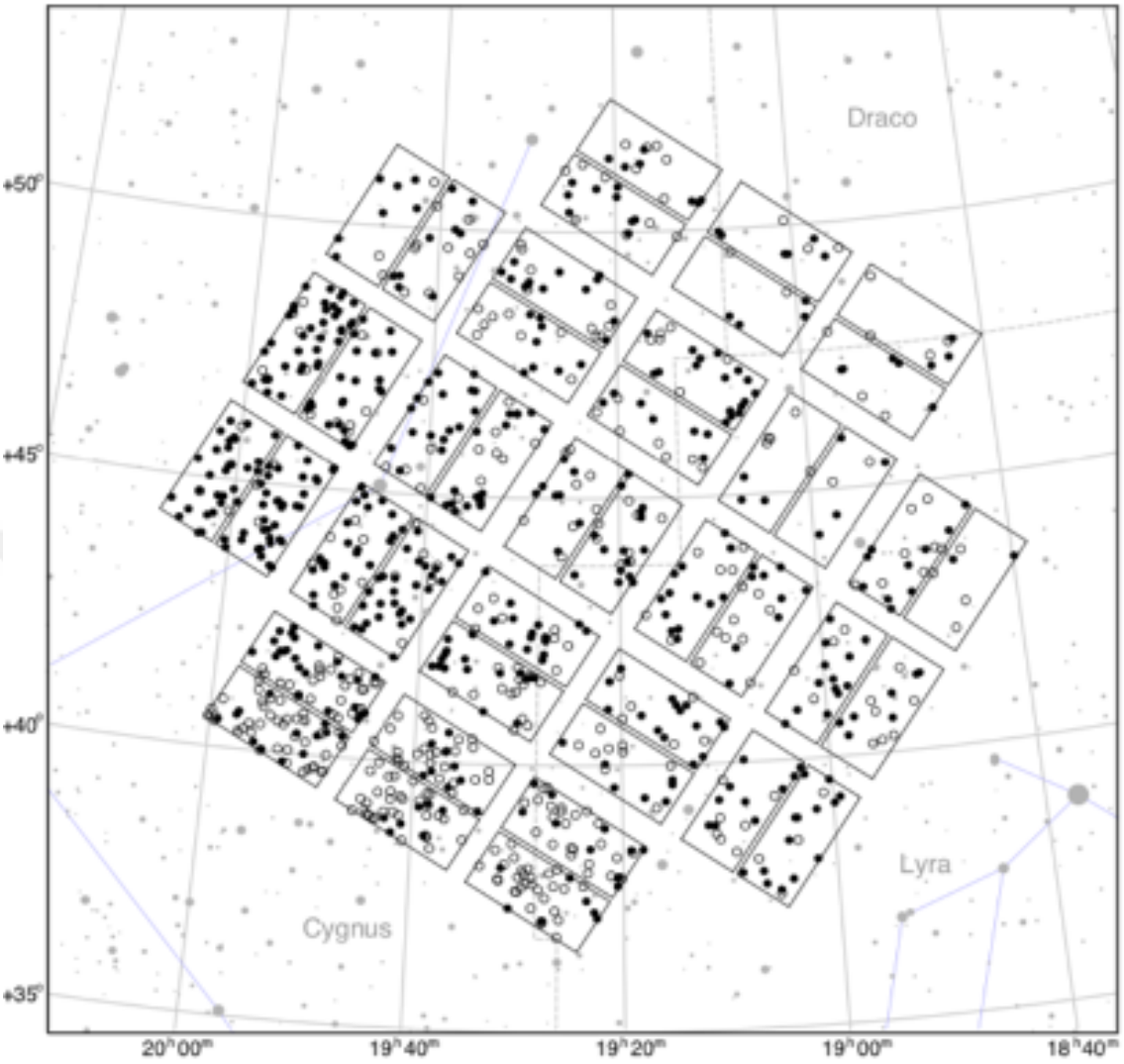
Şekil 2.9. ASAS Kepler FoV'daki yıldızların türlerine göre toplam sayıları. Grafik, Tablo 2.14'de verilenlere göre oluşturulmuştur [7].

Tablo 2.14. ASAS Kepler FoV'daki değişen yıldızların türleri ve sayıları [7].

Değişen Türü	**Yıldız Sayısı**	**Önceden Bilinen**	**Yeni Tespit Edilen**
CEP	6	3	3
RRAB	11	9	2
RRC	9	3	6
HADS	4	2	2
EA	51	26	25
EB	12	4	8
EW	123	35	88
PER	75	12	63
QPER	404	166	238
APER	194	93	101
MIRA	58	52	6
TOPLAM	947	405	542

Ölçümlerin hassasiyeti, ölçüm sayıları ile birleştirildiğinde, I-bandında $\approx$ 11 kadirden daha parlak yıldızlar için 0.001 ile 0.05 kadir aralığında değişen bir algılama eşiği ile sonuçlanmıştır ve $\approx$ 12 kadirden daha parlak yıldızlar için V-filtresinde de benzerlik vardır. Kepler FoV'daki tüm değişen yıldızların konumu Şekil 2.10'da ve renk-kadir diyagramı Şekil 2.11'de verilmiştir [7].

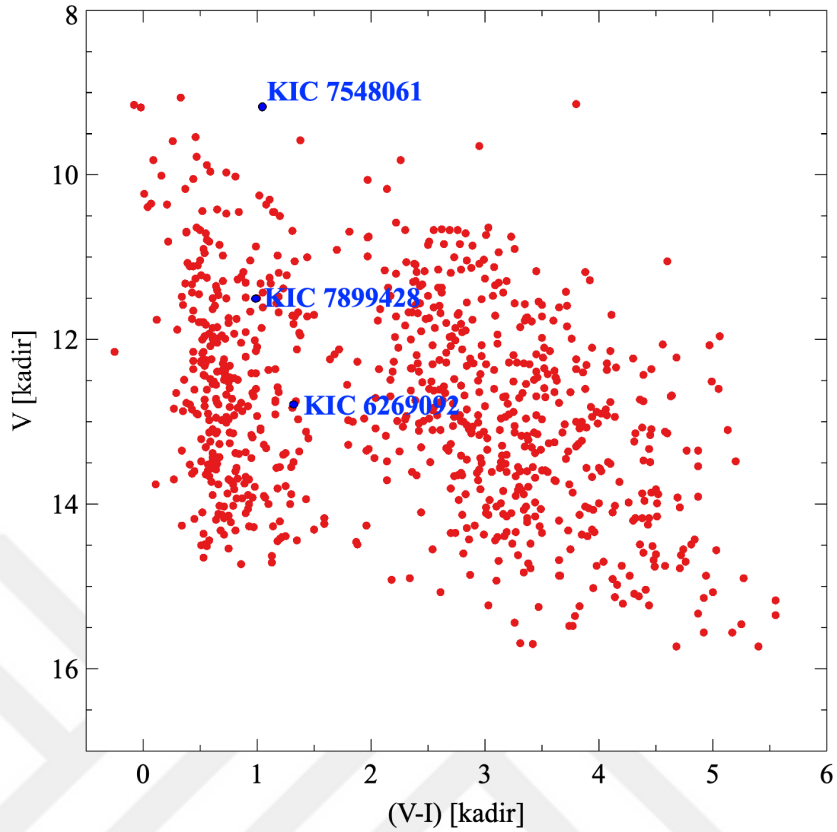
[5] `http://www.astrouw.edu.pl/asas/i_kepler/kepler_tab.html` (Son Erişim Tarihi: 03 Temmuz 2021)



Şekil 2.10. Kepler FoV'daki tüm değişen yıldızların konumu gösteren harita. Harita 18° × 18° ölçüsündeki bölgeyi kapsamaktadır. Dikdörtgenler, Kepler teleskobunun 42 adet CCD'sinin sınırlarını, içi dolu semboller yeni keşfedilen değişen yıldızları ve içi boş semboller önceden bu bölgede bilinen değişen yıldızları göstermektedir. Yatay eksende sağ açıklık ve dikey eksende dik açıklık bilgisi verilmiştir [7].

2.2.5. Kepler Uzay Teleskobuna Genel Bakış

Kepler uzay teleskopu, 6 Mart 2009 tarihinde yörüngesine fırlatılmıştır. Teleskopun devreye alınma süresi yaklaşık 67 gün sürmüş ve 13 Mayıs 2009 tarihinde bilimsel görevine başlamıştır. Kepler uzay teleskopunun asıl bilimsel görevi, geçiş fotometrisi yöntemini kullanarak, Güneş benzeri yıldızların yaşanabilir bölgelerinde kalan Yer benzeri ötegezegenlerin istatistiksel bir çalışmasını yaparak onları karakterize



Şekil 2.11. ASAS Kepler FoV kataloğundaki yıldızlar için V bandına karşı (V-I) renk diyagramı. Bu tez çalışmasında incelenen yıldızlar da mavi renkli semboller ile gösterilmiştir.

etmektir. Bununla birlikte Kepler uzay teleskopunun sağladığı benzersiz hassasiyet ve süreklilikteki fotometrik veriler, yıldızların asterosismik çalışmaları için de önemli bir araç olmuştur. Kepler uzay teleskopu, Mayıs 2009'dan başlayıp Mayıs 2013'e kadar neredeyse 4 yıl boyunca, Şekil 2.12'te gösterilen gökyüzünün aynı bölgesindeki yıldızların fotometri gözlemini yapmıştır [95].

Kepler teleskobu 0.95 metre açıklığa ve 115.6 derece kare görüş alanına (Field of View-FoV) sahiptir. Görev süresince gökyüzünün aynı bölgesinin fotometrik gözlemini ve veri arşivini yapmıştır. Veri arşivine erişmek için aşağıdaki bağlantı kullanılır[6]. Tek bir aygıt, bir fotometre, 21 modül üzerine yerleştirilmiş 42 CCD dizisi ve her bir CCD 2 çıkışa sahiptir. Her 50 × 25 mm ölçüsündeki CCD üzerinde 2200×1024 piksel bulunur. Bir CCD'nin belirli bir pikselinin okumalarının arasındaki aralık 6.019803 saniyeye ayarlanmış poz süresinden ve 0.51895 saniyelik

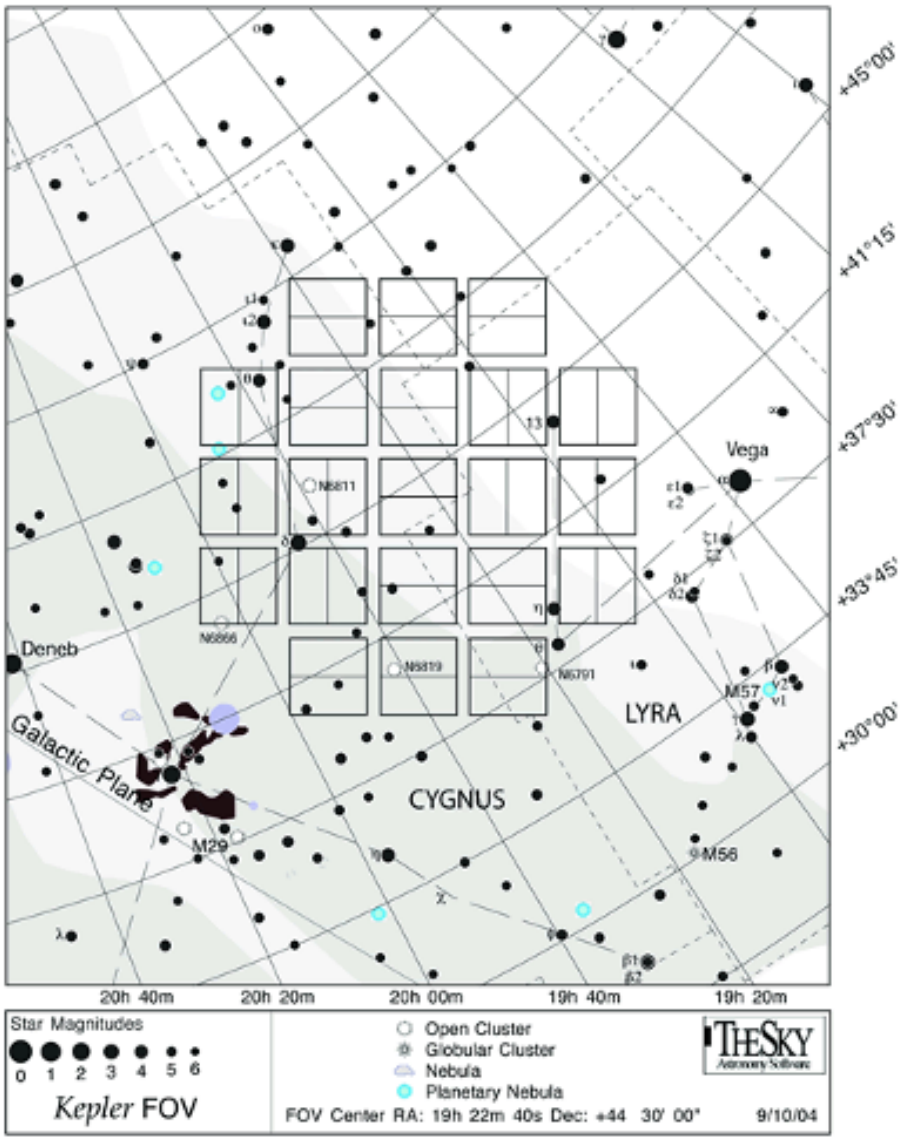
[6] `https://archive.stsci.edu/pub/kepler/` (Son Erişim Tarihi: 21 Haziran 2021).

sabit okuma süresinden oluşur. Kepler teleskobu yaklaşık 372.5 günlük bir dönemle Yer'i takip eden Güneş merkezli bir yörüngede dolanır. Teleskop yörüngesi üzerinde Yer'den 4 yıl boyunca 0.4 astronomik birim uzaklaşmıştır. Gözlenen yıldız alanı galaktik düzlemin yakınında, galaktik koordinatlarına $l = 76°.32$ $b = +13°.5$ ($RA = 19^h22^m40^s; Dec = +44°30'00''$) merkezlenmiştir. Bu koordinatlar arasında kalan gökyüzü kesimi Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Görülen karelerin her biri 21 modülü ve 5 derece karelik alanı gösterir. CCD modülleri arasındaki boşluklar, Kepler FoV'daki $m_V = 6$ kadirden daha parlak 15 yıldızın yaklaşık yarısı bu boşluklara düşecek şekilde hizalanmıştır. Teleskobun 42 adet CCD'si, gökyüzündeki dört yönlü simetrik bir deseni kaplar, böylece aynı yıldızların çoğu üç ayda bir 90 derecelik döndürülme hareketi ile yıldızların çoğu görüş alanında kalır. Ek olarak, gökyüzündeki her modül konumunun satır ve sütunlarının yönü, sadece 180 derece simetrik olan orta modül hariç tüm yönler için korunur [96].

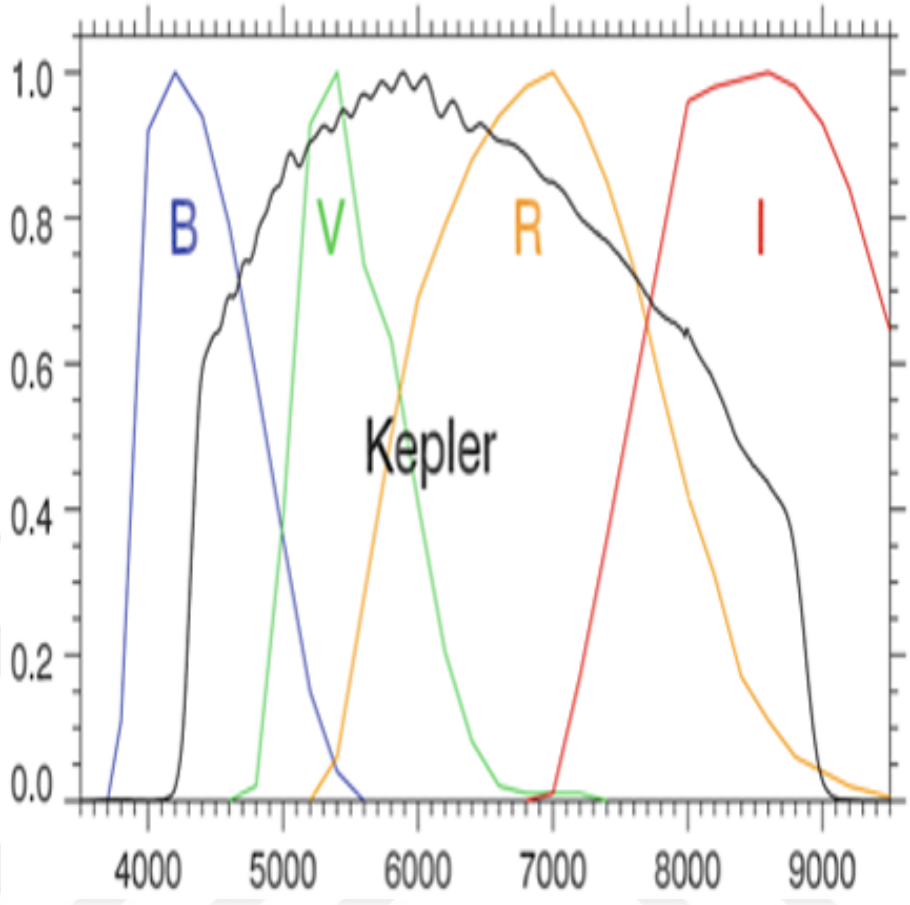
Kepler'in görüş alanı, en parlak yıldızlar CCD modülleri arasındaki boşluklarda olacak şekilde seçilmiştir. Birçok yıldız, Kepler geçiş bandında $10^m \leq K_{\rm P} \leq 14^m$ aralığında görünen kadir değerlerine sahiptir. Kepler teleskobunun dalgaboyu geçirgenlik fonksiyonu Şekil 2.13'te gösterilmiştir [97]. Johnson filtreleri [98] ise karşılaştırma için grafiğe eklenmiştir. Standart fotometrik tekniklerin kapsamlı bir incelemesi ise [99] tarafından verilmiştir.

Şekil 2.13'de Kepler fotometrisi için normalize edilmiş dalgaboyu geçirgenlik fonksiyonu düz siyah çizgi ile gösterilmiştir. Johnson B, V, R, I filtresi ise karşılaştırma için düz ve renkli çizgiler olarak grafik üzerine eklenmiştir. Denklem (2.7)'de verilen Wien Yasası kullanılarak, Kepler geçirgenlik fonksiyonundaki tepe noktası, yaklaşık $T_{eff} \simeq 5000K$ etkin sıcaklığa sahip bir yıldızın $\lambda_{maksimum}$ değerine karşılık gelir. Bu yüzden Kepler F, G, K tayf türünden yıldızları incelemek için optimize edilmiştir. Sonuç olarak, A tayf türünden yıldızlardaki salınımların Kepler gözlemleri, fotometrenin geçiş bandından genlikte bastırılır, ancak diğer gözlemlerle karşılaştırılarak düzeltilebilir [17].

$$\lambda_{maksimum} T_{eff} = 2.898 \times 10^{-3}\ mK \tag{2.7}$$

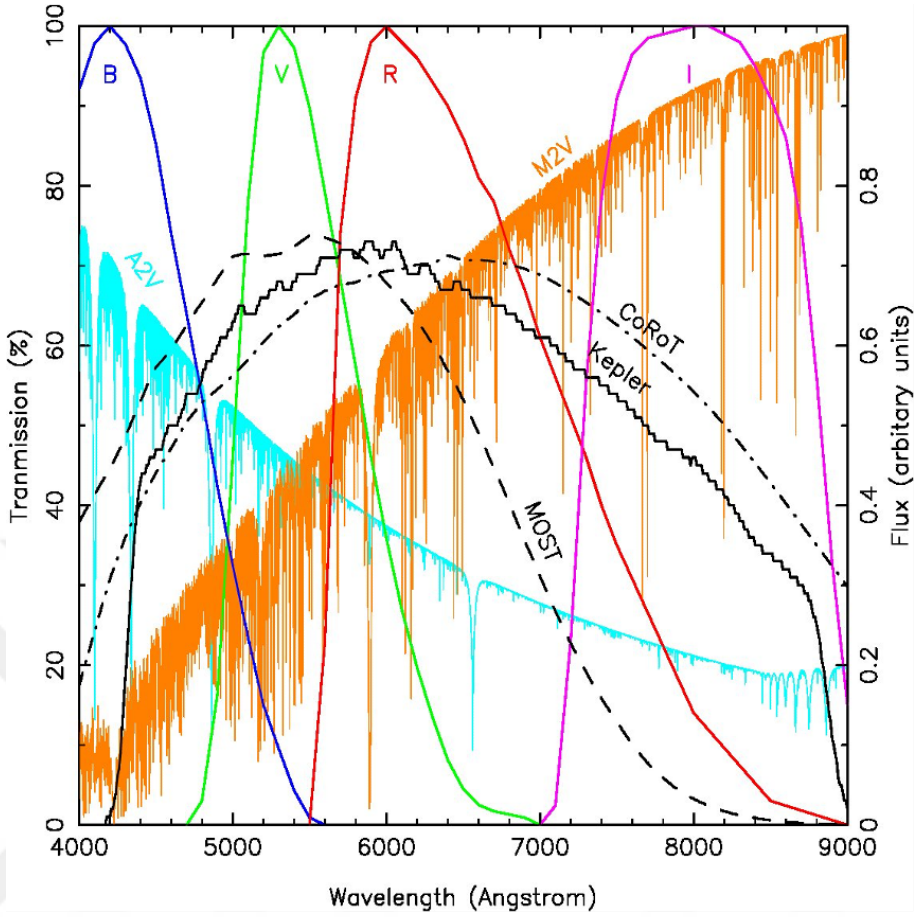


Şekil 2.12. Kepler uzay teleskopunun gökyüzündeki 115.6 derece kare görüş alanı.



Şekil 2.13. Kepler uzay teleskobu için normalize edilmiş geçirgenlik fonksiyonu S(lambda). Karşılaştırma için Johnson B, V, R, I bandları da grafik üzerine çizilmiştir. Yatay eksen angstrom (Å) biriminde dalga boyunu, dikey eksen "geçirgenlik" değerini göstermektedir [17].

Geçiş bandı fotometresinde dikkate alınması gereken dezavantajlı durumlardan biri mod görünürlüğünün kısıtlanmasıdır. Kepler gibi uzay teleskoplarından yapılan gözlemler genellikle sadece düşük dereceli ($l \leq 2$) titreşim modlarını tespit etmeye duyarlıdır. Kepler, MOST, CoRoT ve Johnson B, V, R, I için tepki fonksiyonlarının karşılaştırması Şekil 2.14'te verilmiştir. Johnson B, V, R, I filtreleri için geçirgenlik fonksiyonu 100% olarak ölçeklendirilmiştir. Bir A2V tayf türü yıldız için spektrum, UV'de pik yapan camgöbeği renk ile gösterilmiştir. Aynı grafikte M2V türü yıldızın spektrumu ise kızılötesi dalgaboyunda pik yapan turuncu renk ile gösterilmiştir [18, 100].



Şekil 2.14. Kepler, MOST, CoRoT ve Johnson B, V, R, I filtreleri için geçirgenlik fonksiyonlarının karşılaştırması [18].

2.2.6. Akı Kalibrasyonu

Fotometrik veri iletim hattından alınan veriler, teleskopta alınan her görüntü için bir FITS dosyasından oluşur. Bu dosyalar bir başlık ve iki veri tablosu içerir. Başlık, bir bütün olarak görüntüyle ilgili bilgileri içerir: Jülyen tarihi, teleskop koordinatları, filtre, pozlama süresi gibi bilgilerdir. Kepler teleskopunun görüş alanında kalan ve yörüngesinde bir gezegen barındırma ihtimali bulunan hedef yıldız için, Kepler fotometresi ile ölçülen yıldızın kadir değeri Kepler fotometresi (K_{P}) olarak tanımlanır. Kepler uzay teleskopu, önceden ayarlanmış bir açıklığa sahiptir ve hedef yıldızlar bu açıklıktan gözlemlenir. Bu açıklıklar, piksel sayısı ve diziliş açısından tanımlanır. Her kaynak, bir hedef açıklık maskesi ve optimum fotometrik açıklık ile tanımlanır. Optimum açıklık, maskedeki toplam piksellerin

bir alt kümesini içerir. İdeal olarak, kaydedilen fazladan piksel sayısı, gözlemlenen kaynakların sayısını en üst düzeye çıkarmak için küçük olması gerekmektedir. Akı, arka plan ışınımı çıkarıldıktan sonra optimum açıklıktaki piksellerin ağırlıksız toplamıdır. Bu, Simple Aperture Photometry (SAP) olarak adlandırılır. Bu açıklık, kaynak ve arka plan için Poission gürültüsünü, okuma gürültüsünü ve niceleme gürültüsünü hesaba katılan, türetilen en büyük sinyal gürültü oranına sahip piksel seti olarak tanımlanır [101].

Kepler Bilim Ekibi, teleskopun görüş alanındaki yıldızları sınıflandırmak için fırlatmadan önce kapsamlı bir gözlem programı yürütmüştür. Temel amaç, ötegezegen tespiti için birincil kaynak hedefleri olan F, G, K, M tayf sınıfından yıldızların bir istatistiğini gerçekleştirmektir. Hedef nesnelerin gözlemleri SDSS griz bantlarında yapılmıştır. Bu gözlemler, 2MASS verileri ile Kepler Girdi Kataloğunun (Kepler Input Catalog-KIC) temelini oluşturmuştur. Proje araştırmacıları, filtre geçirgenlik fonksiyonlarını bir dizi modellerle birleştirerek etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, ortalama bolluk, türetilmiş g, r, i, K_P kadirlerini kapsayan bir dizi yıldız tayf modeli oluşturmuşlardır. Bu değerler arasındaki korelasyonlar kullanılarak, Kepler kadir değerleri, ampirik formüller kullanılarak gözlemlenen SDSS kadir değerlerinden tahmin edilir [66]. Yaklaşık olarak tahmin edilen bir K_P değeri, Kepler Yıldız Sınıflandırma Programı (Kepler Stellar Classification Program) [102] tarafından kullanılan deneysel ilişkilere dayanır ve [103] tarafından verilen (2.8), (2.9), (2.10), (2.11) numaralı denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$g = 0.54B + 0.46V - 0.07 \tag{2.8}$$

$$r = -0.44B + 1.44V + 0.12 \tag{2.9}$$

Denklem (2.8) ve (2.9) kullanılarak B ve V filtrelerinde ölçülen kadir değerleri SDSS g, r, filtrelerine dönüştürülür. Eğer SDSS g, r filtrelerinde ölçülen kadir değerleri biliniyor ise, Denklem (2.10) ve (2.11) kullanılır.

$$(g-r) \leqslant 0.8 \implies K_P = 0.2g + 0.8r \tag{2.10}$$

$$(g-r) > 0.8 \implies K_P = 0.1g + 0.9r \tag{2.11}$$

Önceden [103] tarafından verilen ve bu çalışmada da Denklem (2.8), (2.9), (2.10), (2.11) ile gösterilen matematiksel ilişkiler kullanılarak, hedef yıldızın tayf türü, dolayısı ile etkin sıcaklığı bilindiğinde, K_P değeri hesaplanabilir hale gelir.

2.2.7. Kepler Uzay Teleskopu ile Yapılan Değişen Yıldız Gözlemleri

Bir uzay teleskopu olan Kepler, ötegezegen istatistikleri yapmak ve yıldızların yaşanabilir bölgeleri içinde kalan Yer benzeri gezegenlerin bulunma sıklığını tespit etmek için tasarlanmıştır [104]. Ancak bununla birlikte birçok gökbilimcinin beklediği gibi, sadece bir ötegezegen istatistik araştırmasından çok daha fazlası olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarla birlikte, Kepler teleskopunun sadece ötegezegen araştırmalarındaki anlayışı dönüştürmekle kalmamıştır, aynı zamanda yıldız fiziği araştırmalarında da devrim yarattığı rahatlıkla ifade edilebilir. Ancak Kepler'in birincil bilimsel görevi, dört yıl boyunca gökyüzünün aynı bölgesinde 160 binden fazla yıldızdan veri topladıktan sonra 2013 yılında görevi sona ermiştir. Kepler teleskopunun hareket sisteminde meydana gelen arızanın ardından, K2 adında yeni bir bilimsel görev başlatılmıştır. Bu sayede tekil bir amaç için tasarlanan ve inşa edilen teleskop, yeni gözlem alanlarındaki hedefleri incelemek için de kullanılmaya başlanmıştır [105]. Kepler teleskopu benzersiz fotometrik hassasiyet, gözlem süresinin uzunluğu ve sürekliliğinin yanı sıra hızlı veri örneklemesi Kepler görevinin başarılı olmasını sağlamıştır. Yıldızların parlaklıklarında gerçekleşen mili-kadir mertebesindeki değişimleri tespit etmekte Kepler teleskopu çok önemli bir yerdedir. Ancak, tüm bilimsel enstrümanlarda olduğu gibi, Kepler gözlemlerinde de istenmeyen yapay etkiler vardır. Bu etkilerden bir tanesi olan verilerin birbirine eklenmesi, çözüm bulmakta zorlanılan konu olmuştur. Güneş panellerinin Güneş'e doğru bakmasını sağlamak için teleskop üçer aylık dönemlerde optik ekseni etrafında

90 derece döndürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle yılın her çeyreğinde gözlenen hedefler farklı detektörlere düşmüştür. Sonuç olarak ölçülen akı miktarında da önemli farklılıklar çıkmıştır. Bu farklılıkların düzeltilmesi, gözlemlenen akı miktarının ölçeklendirilmesini gerektirir ve bu düzensiz değişim gösteren yıldızlar için zorlayıcıdır. Kepler ışık eğrileri, teleskop bileşenlerinin termal özelliklerinin değişmesinin sonucuna bağlı olarak, Kepler yılıyla (1 Kepler yılı 372.5 gün) sinüzoidal bir değişkenlikten de etkilenir. Bu etkinin genliği ve fazı, yıldızın görüş alanındaki pozisyonuna bağlıdır [106].

Gökbilimciler artık K2 misyonunda bu tür teknik sorunlarla mücadele etmek zorunda kalmamaktadırlar. Ancak bunun yerine başka teknik sorunlar çıkmıştır. Sadece iki tepki tekerleği ile teleskopu konumlandırmanın doğal olarak bir dengesizlik sağlamasına bağlı olarak, teleskop optik eksen etrafında ileri geri salınır. Bu nedenle teleskop her 6 saatlik periyotlarla düzeltici manevralar yapılarak yeniden konumlandırılmaktadır. Bu etkiler en çok, görüş alanının kenarlarına yaklaşan yıldızlarda ortaya çıkmaktadır. Bir başka gürültü kaynağı, iç Güneş sistemindeki tozdan dağılmış olan ve her bir gözlem sezonunun sonuna doğru arka plan gürültüsünü artıran Zodyak ışınımıdır. Bununla birlikte, Kepler'in Güneş merkezli yörüngesi sayesinde, Kepler verileri alçak yörüngelerde çalışan uzay teleskoplarında olan diğer sorunlardan etkilenmemektedirler.

3. BÖLÜM

BULGULAR

Bu bölümde, KIC 7548061 ve KIC 7899428, KIC 6269092 adındaki Sefeid türü değişen yıldızların Kepler fotometrik verilerinin frekans analizleri sonuçları sunulmaktadır.

3.1. KIC 7548061 Yıldızı

KIC 7548061 yıldızının frekans analizi, Kepler uzay teleskobunun kısa kadans (SC) gözlem modunda sağladığı fotometrik veri seti kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan veri seti 1459.506014 gün uzunluğundadır ve Q0, Q1, Q2, Q3, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 gözlem çeyreklerinden oluşmaktadır. Bu ham veri setinin temsil ettiği ışık eğrisi ve ışık eğrisinin normalize edilmiş hali Şekil 3.1'de verilmiştir. Işık eğrisi üzerindeki genlik seviye farklarının giderilmesi için yapılan normalizasyon işleminden elde edilen eğri frekans analizi için kullanılmıştır. KIC 7548061 yıldızının ışık eğrisi toplamda 1459.5 gün aralığına dağılmış durumdadır. Ancak, bu zaman aralığında alınan fotometrik veri sürekli değildir. Işık eğrisinde kısa süreli verilerin alındığı bölgelerin bir kısmının ayrıntılı gösterimi Şekil 3.2'de verilmiştir.

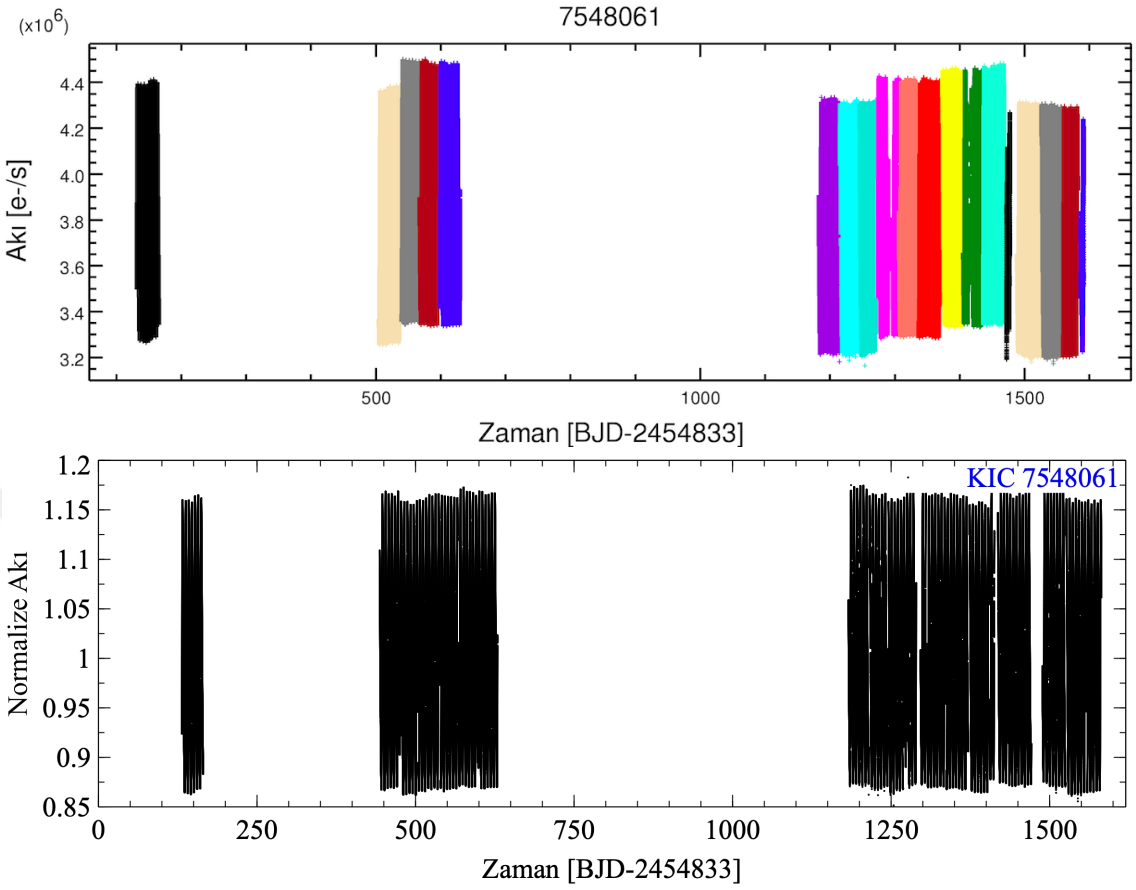
KIC 7548061 yıldızı için PERIOD04 programı ile yapılan frekans analizinde 152 frekans değerine ulaşılmıştır. Bulunan frekanslardan baskınlığa göre sıralanmış olarak ilk 12 frekans Tablo 3.1'de listelenmiştir. Bu frekans değerleri aynı zamanda ana zonklama frekansının da harmonikleridir. Yıldızın elde edilen tüm frekans değerleri EK 1'de yer alan Tablo 1'de listelenmiştir. Kepler fotometrik verilerinin akı duyarlılığı yaklaşık olarak 0.000118 yöresinde hesaplanmıştır ve bu değer gözlenen

ile hesaplanan akı arasındaki farkın büyüklüğünü gösterir. Bu değer aynı zamanda frekans analizinin sona erdirileceği noktayı ve gözlenen veriye en uygun fitin yapıldığını gösterir. PERIOD04 programında frekans analizi sürecinde bu değere ulaşıldıktan sonra frekans analizine devam edilmesi durumunda Kepler fotometrik verilerinin duyarlılığının altına inilmiş olur ve bulunan frekans değerleri bilimsel olarak anlamsız hale gelir.

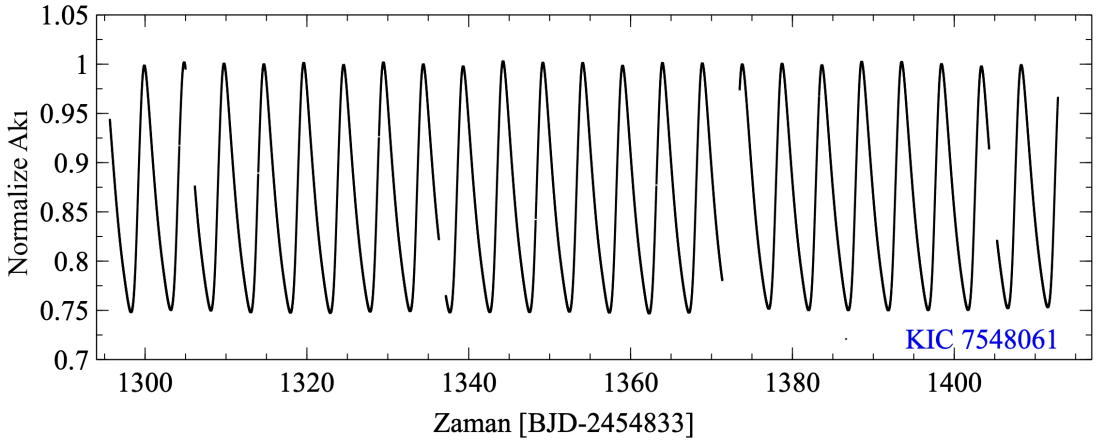
KIC 7548061 yıldızının ışık eğrisinde görülen değişimlerin, farklı frekanslarda gerçekleşen zonklamalardan kaynaklandığı düşünüldüğünde, zonklamaların frekans değerleri belirlenerek modellenebilmektedir. KIC 7548061 yıldızı için PERIOD04 programı ile yapılan frekans analizinde 152 frekans değerine ulaşılmıştır. Frekans analizinden ulaşılan bir diğer bulgu, $f_1 = 0.203027\,\text{gün}^{-1}$ yöresindeki ana zonklama frekansı ve bunun 12.sıraya kadar olan harmonikleridir. Yıldızın baskın frekanslarının görüldüğü spektrum Şekil 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.1. KIC 7548061 yıldızının frekans analizi sonuçları. Tabloda ilk 12 frekans değeri listelenmiştir. Bu frekans değerleri aynı zamanda ana zonklama frekansının harmonikleridir.

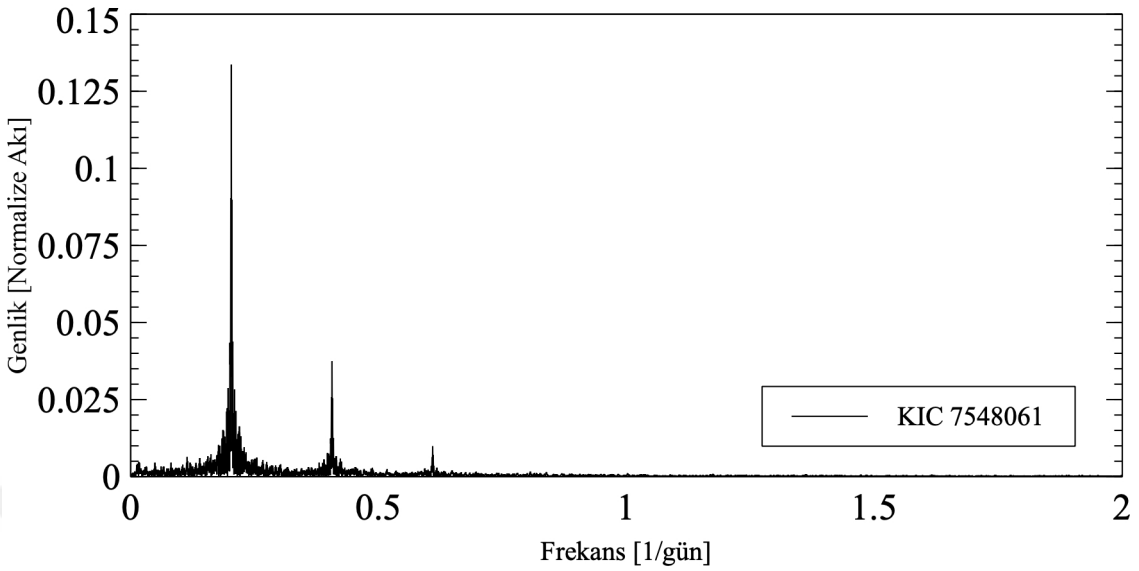
Frekans Sırası	Frekans [gün^{-1}]	Genlik [akı]	Evre [gün]	Kimlik
f1	0.203027	0.114858	0.265474	1f1
f2	0.406053	0.032491	0.458777	2f1
f3	0.609082	0.008340	0.674365	3f1
f4	0.812113	0.001145	0.831788	4f1
f5	1.015137	0.000439	0.642445	5f1
f6	1.218166	0.000496	0.811922	6f1
f7	1.421193	0.000335	0.008329	7f1
f8	1.624217	0.000192	0.218474	8f1
f9	1.827247	0.000104	0.428659	9f1
f10	2.030269	0.000051	0.649618	10f1
f11	2.233302	0.000023	0.875116	11f1
f12	2.436296	0.000001	0.164260	12f1



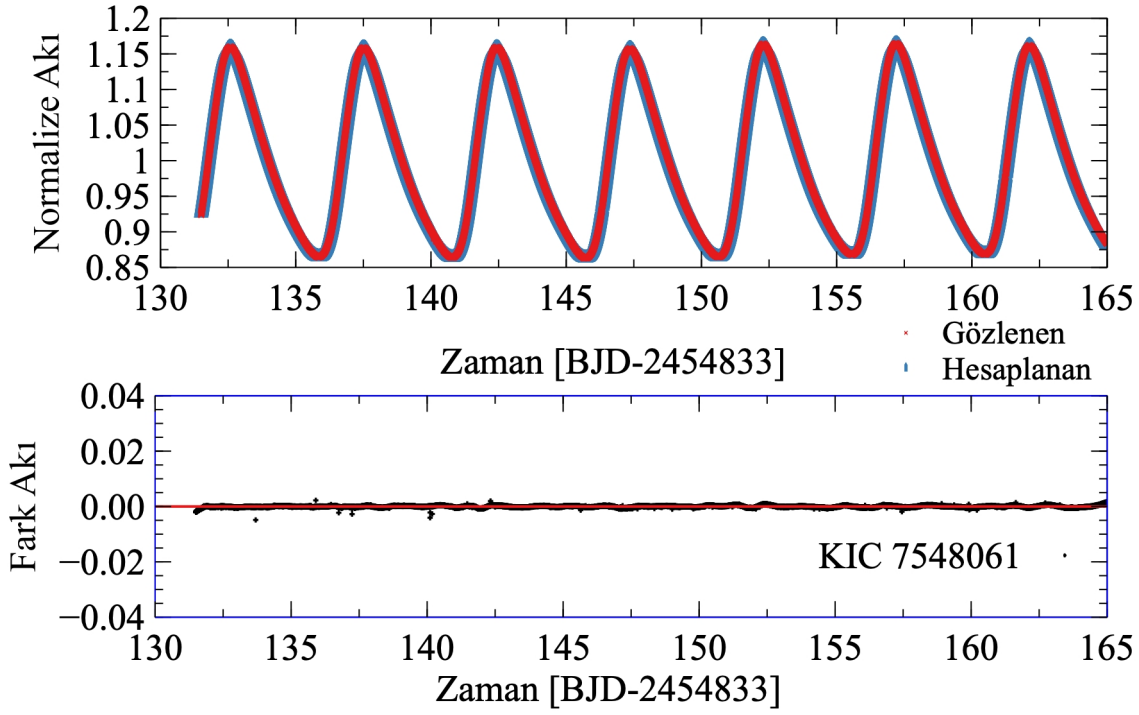
Şekil 3.1. Panel a'da, KIC 7548061 yıldızının Kepler fotometrik verilerinden oluşturulmuş ham ışık eğrisi. Panel b'de, ışık eğrisinin normalize edilmiş hali.



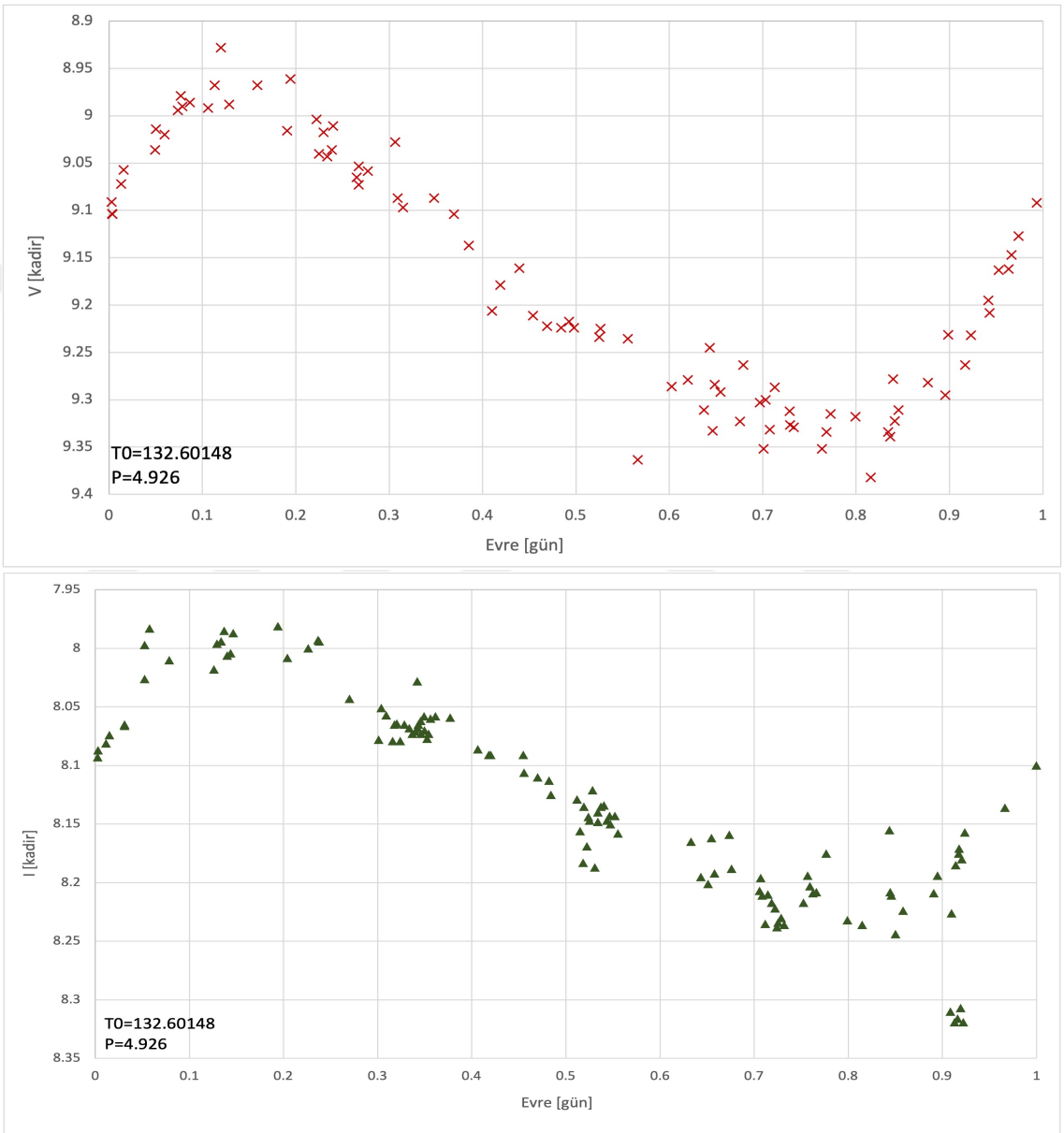
Şekil 3.2. KIC 7548061 yıldızının normalize ışık eğrisinin yaklaşık 120 gün zaman aralığına yayılmış bölümünün detaylı gösterimi.



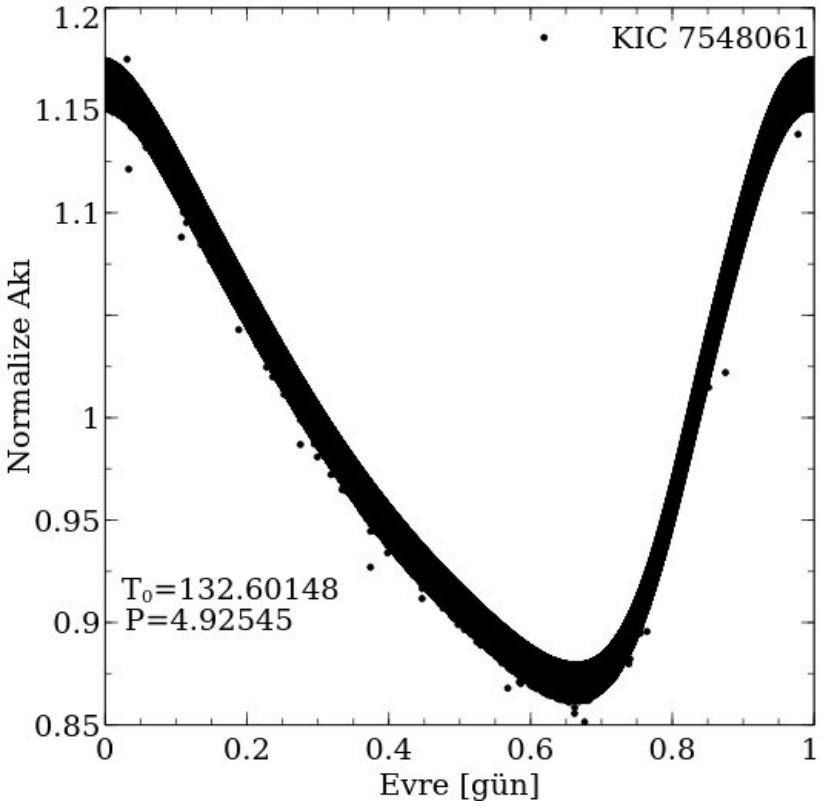
Şekil 3.3. KIC 7548061 yıldızının frekans spektrumu. Ana zonklama $f_1 = 0.203027\,\text{gün}^{-1}$ yöresinde belirgin olarak görülmektedir.



Şekil 3.4. KIC 7548061 yıldızının gözlenen, hesaplanan (üst panel) ve fark akı (alt panel) grafiklerinin detaylı gösterimi. Grafikte kullanılan veri seti yaklaşık 35 gün uzunluğundadır.



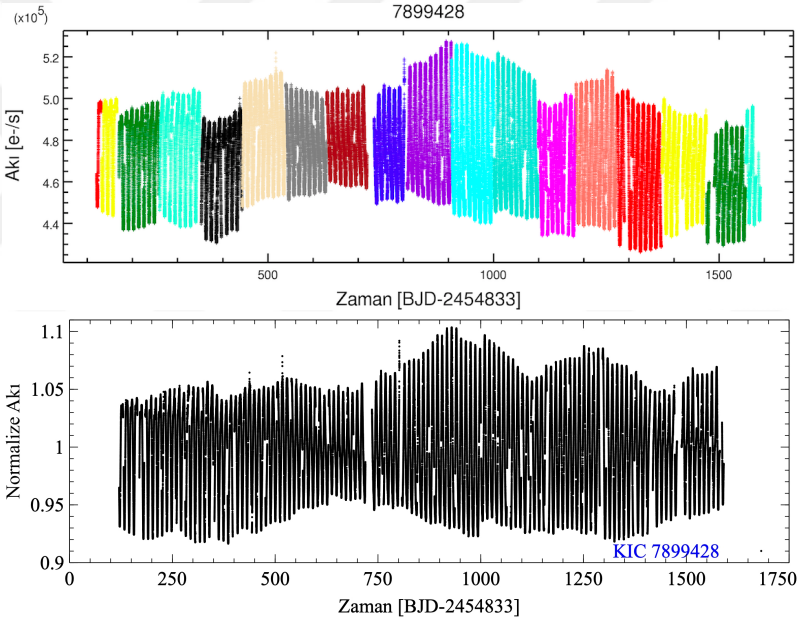
Şekil 3.5. V1154 Cyg yıldızının ASAS V (üst panel) ve I (alt panel) parlaklık verilerinden üretilen ışık eğrisi.



Şekil 3.6. V1154 Cyg yıldızının evrelendirilmiş Kepler verisini temsil eden ışık eğrisi.

3.2. KIC 7899428 Yıldızı

KIC 7899428 yıldızının frekans analizi, Kepler uzay teleskopunun uzun kadans (LC) fotometrik veri seti kullanılarak yapılmıştır. Veri setinin uzunluğu 1437.420057 gündür ve Q0, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 gözlem çeyreklerinden oluşmaktadır. Bu ham veri setinin temsil ettiği ışık eğrisi ve ışık eğrisinin normalize edilmiş hali Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Işık eğrisi üzerindeki genlik seviye farklarının giderilmesi için yapılan normalizasyon işleminden elde edilen eğri frekans analizi için kullanılmıştır.



Şekil 3.7. KIC 7899428 yıldızının Kepler fotometrik verilerinden oluşturulmuş ham ışık eğrisi (üst panel) ve ışık eğrisinin normalize edilmiş hali (alt panel). Veri setinin uzunluğu 1437.420057 gündür.

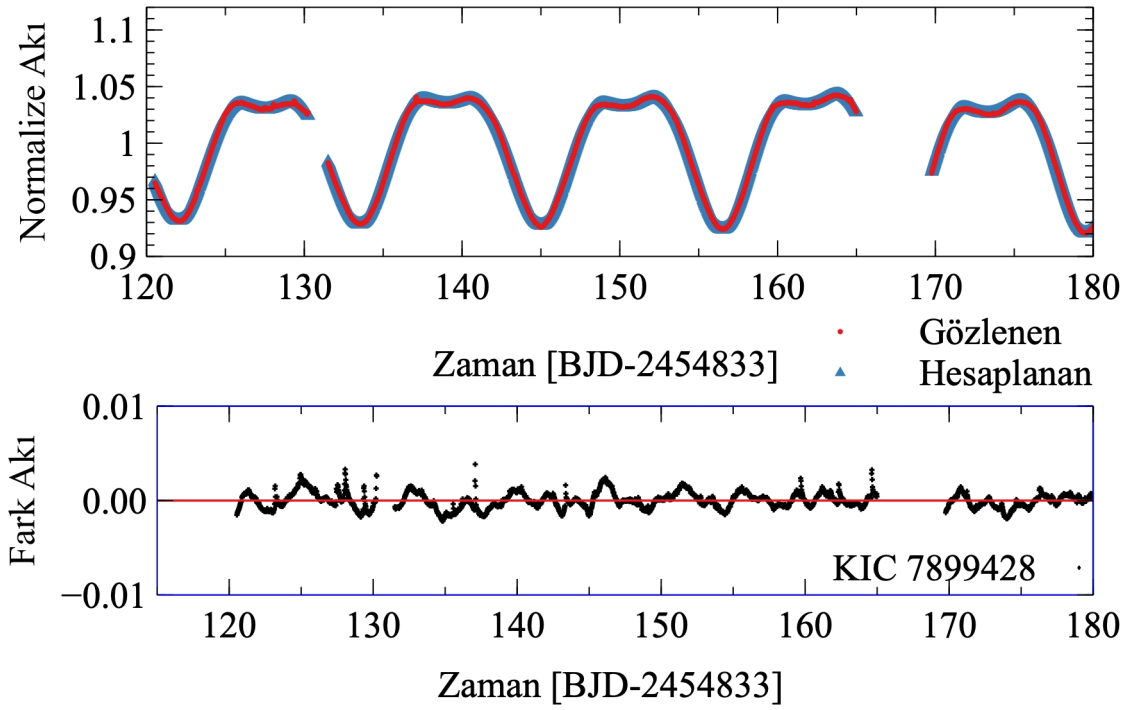
KIC 7899428 yıldızının ışık eğrisi toplamda 1437.4 gün aralığına dağılmış durumdadır. Ancak, bu zaman aralığında alınan veriler sürekli değildir. Işık eğrisinde kısa süreli verilerin alınmadığı bölgelerin ayrıntılı gösterimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir. KIC 7899428 yıldızının ışık eğrisinde görülen değişimlerin, farklı frekanslarda gerçekleşen zonklamalardan kaynaklandığı düşünüldüğünde, zonklamaların frekans değerleri belirlenerek modellenebilmektedir. KIC 7899428 yıldızı için PERIOD04 programı ile yapılan frekans analizinde 135 frekans değerine

ulaşılmıştır. Baskınlığa göre sıralanmış frekanslar için ilk 10 frekans değeri Tablo 3.2'de listelenmiştir. Elde edilen tüm frekansların ayrıntılı bilgileri EK 1'de yer alan Tablo 2'de listelenmiştir.

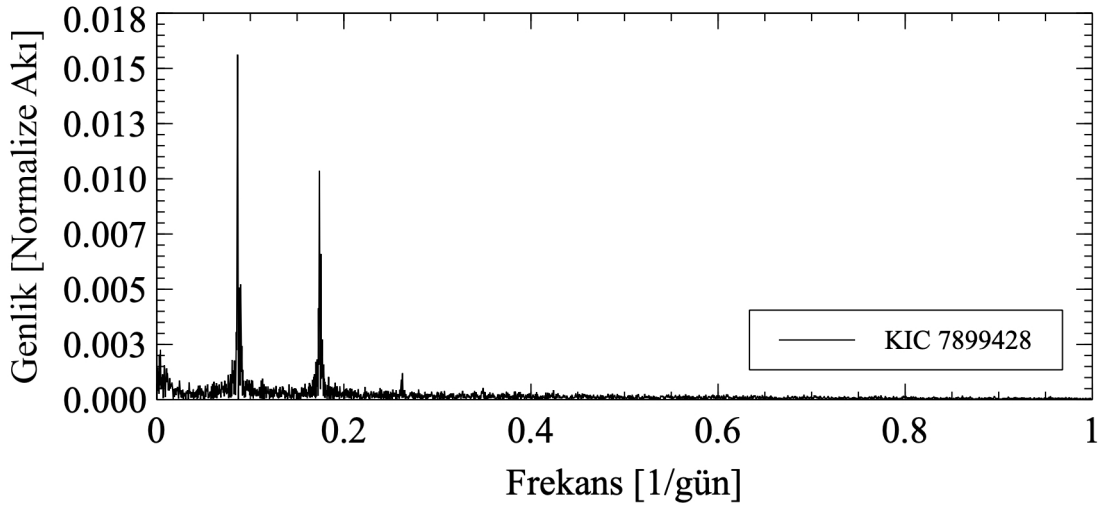
Kepler fotometrik verilerinin akı duyarlılığı yaklaşık olarak 0.00133 yöresinde hesaplanmıştır ve gözlenen ile hesaplanan akı değerinin farkıdır. Bu değer aynı zamanda frekans analizinin sona erdirileceği noktayı ve gözlenen veriye en uygun fitin yapıldığını belirtir. PERIOD04 programında frekans analizi sürecinde bu değere ulaşıldıktan sonra frekans analizine devam edilmesi durumunda Kepler fotometrik verilerinin duyarlılığının altına inilmiş olur ve bu noktadan sonra bulunan frekans değerlerinin bilimsel olarak anlamsız olduğunu gösterir.Şekil 3.8'de KIC 7899428 yıldızının gözlenen, hesaplanan ve fark akı veri setinin yaklaşık 60 günlük bir bölümü verilerek, gözlenen akı ile hesaplanan akı arasındaki uyum detaylıca gösterilmiştir. KIC 7899428 yıldızının frekans analizinden ulaşılan bir diğer bulgu ise; $f = 0.08649\,\text{gün}^{-1}$ yöresindeki ana zonklama frekansı ile bunun $f = 0.172\,\text{gün}^{-1}$ yöresindeki harmonik frekansıdır. Yıldızın elde edilen frekans değerlerinden üretilen frekans spektrumu Şekil 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.2. KIC 7899428 yıldızının frekans analizi sonuçları. Tabloda ilk 10 frekas değeri listelenmiştir.

Frekans Sırası	Frekans [gün^{-1}]	Genlik [akı]	Evre [gün]
F1	0.08649	0.13648	0.16928
F2	0.08653	0.13449	0.65906
F3	0.17391	0.01109	0.58582
F4	0.17531	0.00473	0.37999
F5	0.08547	0.00654	0.78357
F6	0.08976	0.00441	0.82553
F7	0.17444	0.00609	0.50530
F8	0.08733	0.05413	0.04647
F9	0.09069	0.04730	0.80998
F10	0.17696	0.00235	0.69027



Şekil 3.8. KIC 7899428 yıldızının gözlenen, hesaplan (üst panel) ve fark akı (alt panel) grafiğinin detaylı gösterimi. Grafikte kullanılan veri uzunluğu yaklaşık 60 gündür.

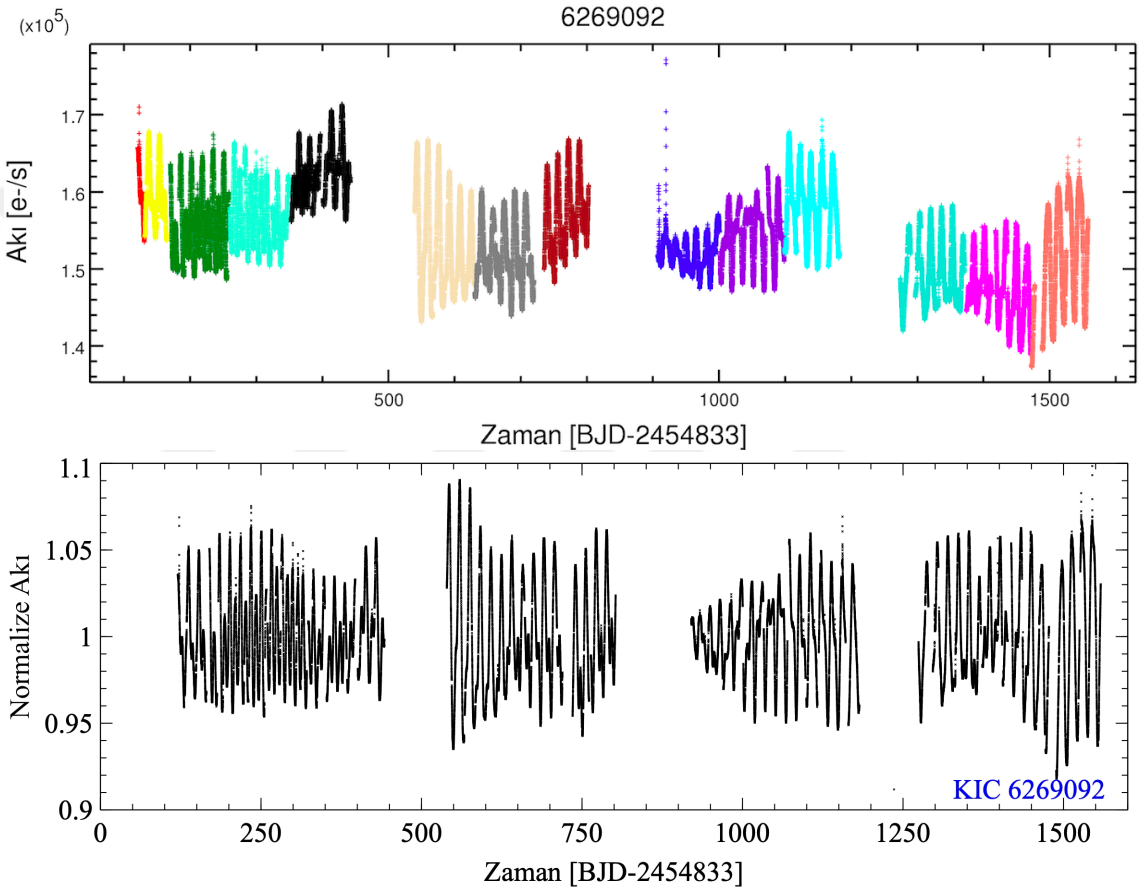


Şekil 3.9. KIC 7899428 yıldızının frekans spektrumu. Yıldızın ana zonklama frekansı $f = 0.08649$ gün^{-1} yöresinde belirgin olarak görülmektedir.

3.3. KIC 6269092 Yıldızı

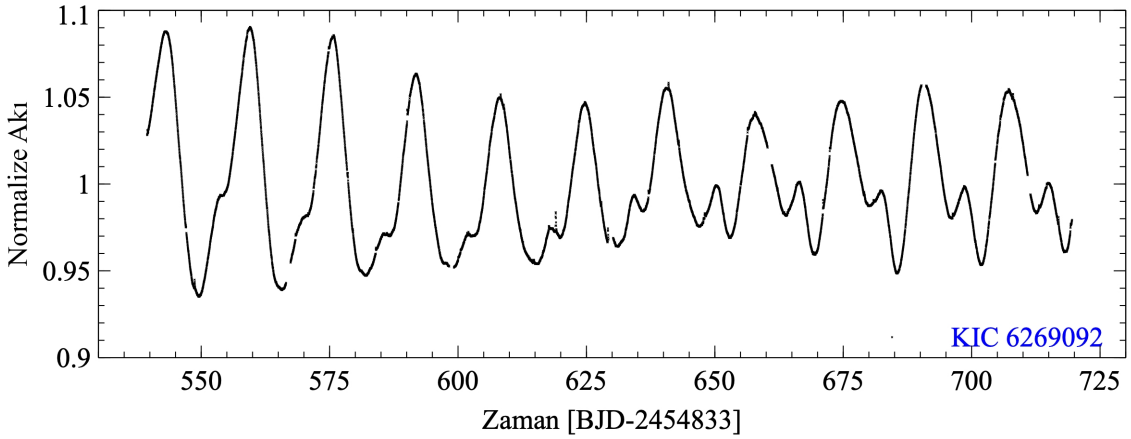
KIC 6269092 yıldızının frekans analizi, Kepler uzay teleskopunun uzun kadans (LC)

fotometrik veri seti kullanılarak yapılmıştır. Veri setinin uzunluğu 1437.419878 gündür ve Q0, Q1, Q2, Q3, Q4, Q6, Q7, Q8, Q10, Q11, Q12, Q14, Q15, Q16 çeyreklerinden oluşmaktadır. Bu ham veri setinin temsil ettiği ışık eğrisi ve ışık eğrisinin normalize edilmiş hali Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Işık eğrisi üzerindeki genlik seviye farklarının giderilmesi için yapılan normalizasyon işleminden elde edilen eğri frekans analizinde kullanılmıştır.



Şekil 3.10. KIC 6269092 yıldızının Kepler fotometrik verilerinden oluşturulmuş ham ışık eğrisi (üst panel) ve normalize edilmiş hali (alt panel). Veri setinin uzunluğu 1437.419878 gündür.

KIC 6269092 yıldızının ışık eğrisi toplamda 1437.4 gün aralığına dağılmış durumdadır. Ancak, bu zaman aralığında alınan veriler sürekli değildir. Işık eğrisinde kısa süreli verilerin alındığı bölgelerin ayrıntılı gösterimi Şekil 3.11'de verilmiştir. KIC 62629092 yıldızının ışık eğrisinde görülen değişimlerin, farklı frekanslarda gerçekleşen zonklamalardan kaynaklı olduğu düşünüldüğünde, zonklamaların frekans değerleri belirlenerek modellenebilmektedir. Bu yıldız için PERIOD04 programı ile yapılan frekans analizinde 140 frekans değerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.11. KIC 6269092 yıldızının normalize ışık eğrisinin yaklaşık 200 gün zaman aralığına yayılmış bölümünün detaylı gösterimi.

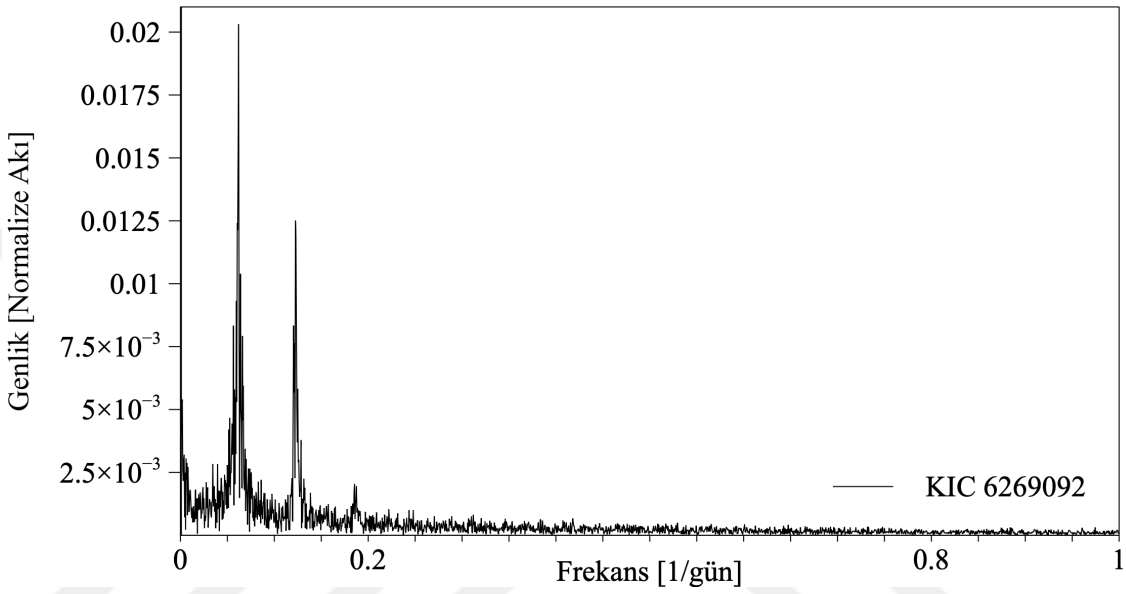
Baskınlığa göre sıralanmış frekanlar için bir örnek olarak, ilk 10 frekans Tablo 3.3'te listelenmiştir. Elde edilen tüm frekansların ayrıntılı bilgileri EK 1'de yer alan Tablo 3'te listelenmiştir.

Tablo 3.3. KIC 6269092 yıldızının frekans analizi sonuçları. Işık eğrisinin analizinden elde edilen ilk 10 frekans sunulmuştur.

Frekans Sırası	Frekans [gün^{-1}]	Genlik [akı]	Evre [gün]
F1	0.06189	0.02335	0.59949
F2	0.06074	0.01767	0.21509
F3	0.12233	0.01579	0.77048
F4	0.12317	0.01120	0.29500
F5	0.06384	0.00929	0.61599
F6	0.05989	0.01383	0.89458
F7	0.12074	0.00616	0.87661
F8	0.06242	0.01078	0.80425
F9	0.00791	0.00534	0.96090
F10	0.12192	0.01053	0.64326

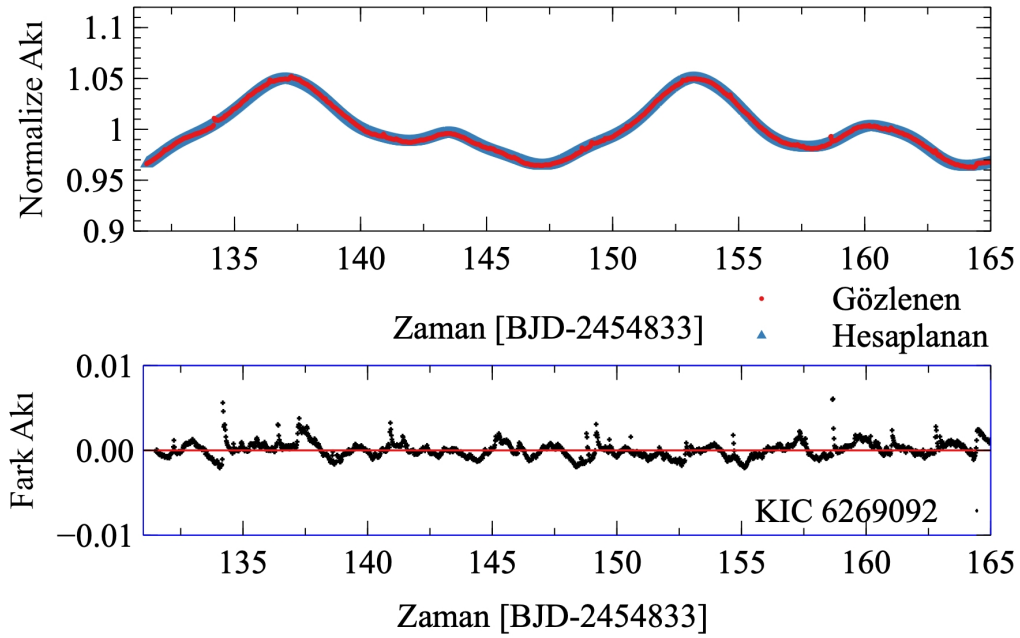
Kepler fotometrik verilerinin akı duyarlılığı yaklaşık olarak 0.00127 olarak hesaplanmıştır. Bu değer gözlenen akı ile hesaplanan akının farkıdır. Hesaplanan bu değer bize frekans analizinin sona erdirileceği noktayı belirtir ve gözlem verisine en uygun fitin yapıldığı anlamına gelir. Bu değere ulaşıldıktan sonra frekans analizine devam edilmesi durumunda Kepler fotometrik verilerinin duyarlılığının altına inilmiş

olur. Bir başka deyişle, akı duyarlılığının altında bulunan frekanslar anlamsızdır. KIC 6269092 yıldızının frekans analizinden $f = 0.060236$ gün^{-1} yöresindeki ana zonklama frekansı ve bunun $f = 0.1242$ gün^{-1} ile $f = 0.18708$ gün^{-1} yörelerindeki harmonik frekanslar elde edilmiştir. Yıldızın frekans spektrumu Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. KIC 6269092 yıldızının frekans spektrumu. Ana zonklama frekansı 0.06236 gün^{-1} yöresindedir.

Şekil 3.13'te KIC 6269092 yıldızının gözlenen ışık eğrisi ve elde edilen frekanslardan hesaplanan ışık eğrileri kıyaslanmaktadır. Şeklin üst panelinde gözlenen ve hesaplanan akının yaklaşık 40 gün uzunluğundaki bölümü, alt panelinde gözlenen ve hesaplanan akı arasındaki farklar verilmektedir.



Şekil 3.13. KIC 6269092 yıldızının yıldızının gözlenen, hesaplanan (üst panel) ve fark akı (alt panel) grafiklerinin detaylı gösterimi. Grafikte kullanılan veri seti yaklaşık40 gün aralığına yayılmıştır.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu bölümde, KIC 7548061, KIC 7899428 ve KIC 6269092 yıldızlarının frekans analizleri sonucunda ulaşılan bulguların, literatürdeki diğer benzer içerikli çalışmalarla karşılaştırılarak öneriler sunulmuştur.

4.1. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada hem ASAS hem de Kepler uzay teleskobu görüş alanında bulunan Sefeid türü değişen olduğu bilinen KIC 7548061 ile SIMBAD ve ASAS kayıtlarına göre Sefeid oldukları bildirilen KIC 7899428 ve KIC 6269092 yıldızlarının PERIOD04 programı ve Fourier analizi tekniği kullanılarak frekans analizleri yapılmıştır. Zonklayan yıldızların zonklama frekansı (f) ile zonklama dönemi(P) arasında; $P(gün) = f^{-1}$ ilişkisi olduğu bilinmektedir. Analizler sonucunda elde edilen yıldızların zonklama frekansları aşağıda matematikselkriterler dikkate alınarak değerlendirilmiştir [107]. Bu ölçütler Denklem (4.1) ve Denklem (4.2)'de verilmiştir. Burada P ile gösterilen yıldızın *gün* biriminde zonklama dönemidir. Bununla birlikte incelenen yıldızların [5] tarafından verilen etkin sıcaklık ve lüminosite değerleri kullanılarak H-R diyagramı üzerinde konumları Şekil 4.1'de verilmiştir. Yıldızların H-R diyagramındaki konumlarının dev kolunda olduğu ve Sefeid kararsızlık kuşağı sınırları içerisinde yer aldıkları görülmektedir.

Sefeid yıldızlarının zonklama dönemleri ile mutlak parlaklıkları arasında oldukça iyi bir ilişki olduğu bilinmektedir ve bu Denklem (4.3)'te verilen matematiksel bağıntı ile ifade edilebilir. Bu bağıntıda m_V yıldızının görünen parlaklığıdır ve bu çalışmada incelenen yıldızlar için değeri ASAS veri tabanından okunmuştur. M_V

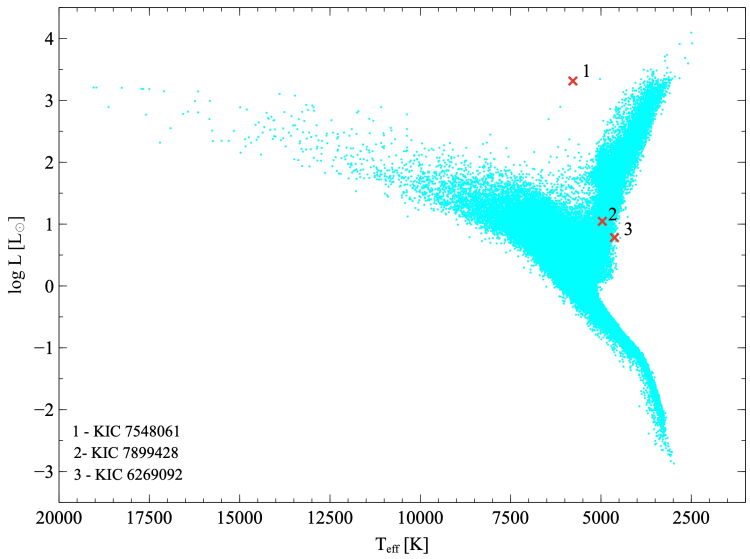
yıldızların mutlak parlaklığıdır, d pc biriminde uzaklıktır ve Gaia DR2 kataloğunda verilen paralaks açısından hesaplanmıştır. A_V yıldızlararası soğurma değeridir ve bu çalışmada incelenen yıldızlar için [5] tarafından verilen yıldız kataloğundan alınmıştır. Zonklama dönemleri ise frekans analizinden bulunan değerlerdir. Bu bilgiler doğrultusunda Denklem (4.4) kullanılarak yıldızların M_V değerleri sırasıyla; KIC 7548061 yıldızını için $-3^m.48$, KIC 7899428 yıldızı için $2^m.27$ ve KIC 6269092 yıldızı için $3^m.36$ hesaplanmıştır.

$$-0.08 < \log P < 2.31 \Rightarrow \text{temel mod Klasik Sefeid} \tag{4.1}$$

$$-0.60 < \log P < 0.77 \Rightarrow \text{Klasik Sefeid} \tag{4.2}$$

$$m_V - M_V = 5\log(d) - 5 + A_V \tag{4.3}$$

$$M_V = -(3.087 \pm 0.085)\log P - (0.914 \pm 0.098) \tag{4.4}$$



Şekil 4.1. Bu çalışmada incelenen yıldızların H-R diyagramındaki yerleri gösterilmektedir. İncelenen yıldızlar kırmızı renkli × sembolü ile gösterilmiş ve numaralandırılmıştır.

4.2. Yıldızların Frekans Bulguları Hakkında Bireysel Açıklamalar

4.2.1. KIC 7548061 Yıldızı

KIC 7548061 yıldızının frekans analizi, Kepler uzay teleskobunun kısa kadans (SC) veri seti kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonucunda 152 frekans değerine ulaşılmıştır ve değerleri EK 1'de verilen Tablo 1'de listelenmiştir. KIC 7548061 yıldızının frekans analizinde, ana zonklama frekansının $f = 0.203027\,\text{gün}^{-1}$ yöresinde olduğu bulunmuştur. Ana zonklama frekansına karşılık gelen ana zonklama dönemi $P = 4.9254\,\text{gün}$ yöresindedir ve ASAS veri tabanında verilen dönem değeri $[(P_{ASAS} = 4.9260)\,\text{gün}]$ ile uyumlu olduğu görülmüştür. KIC 7548061 yıldızının ana zonklama dönemi, Denklem (4.1)'de verilen matematiksel bağıntıya göre hesaplanarak değerinin $(\log P = 0.6924)\,\text{gün}$ olduğu bulunmuştur ve bu değer Klasik Sefeid yıldızları için kabul edilen aralıktadır. Yıldızın Şekil 3.2'de verilen ışık eğrisi biçimsel olarak incelendiğinde yıldızın parlaklık değişiminde yumrular olmadığı ve sinüzoidal yapıda olduğu görülmüştür. Bu biçimsel yapıya sahip ışık eğrileri genellikle ve sıklıkla bir Klasik Sefeid türü değişen yıldızı karakterize etmektedir. Buradan hareketle KIC 7548061 yıldızının Klasik Sefeid türünden değişen yıldız olduğu sonucuna varılmıştır.

KIC 7548061 yıldızının, [6] tarafından verilen Kepler teleskobunun yaklaşık 1460 gün uzunluğundaki fotometrik veri setinin frekans analizi sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, bulunan ana zonklama frekansı ve bunun harmonikleri, kendi sonuçlarımızda verilen sonuçlarla uyumludur. V1154 Cyg yıldızının SIMBAD astronomi veri tabanında tayf türü G0 olarak belirtilmiştir. Bu tayf türü Sefeid değişenleri için bilinen tayf türü aralığında kalmaktadır ve Şekil 4.1'de verieln H-R diyagramındaki yerini de doğrulamaktadır.

4.2.2. KIC 7899428 Yıldızı

KIC 7899428 yıldızının Kepler uzay teleskobunun uzun kadans (LC) modunda

yapılan fotometrik gözlem verileri kullanılarak frekans analizi yapılmıştır. Literatür taramasında yıldızın frekans analizine dair bir çalışmasının olmadığı görülmüştür. Yıldızın frekans analizi ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. PERIOD04 programıyla yapılan analizde 151 frekans değerine ulaşılmıştır ve bulunan frekans değerleri EK 1'de yer alan Tablo 2'de listelenmiştir. KIC 7899428 yıldızının ana zonklama frekansı $f = 0.08649\,\text{gün}^{-1}$ yöresindedir. Bulunan ana zonklama frekansı değerine karşılık gelen zonklama dönemi ise [$P = 11.562\,\text{gün}$] olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu zonklama dönemi, yıldızın ASAS veri tabanından okunan dönem değerine $P_{ASAS} = 11.573\,\text{gün}$ yakındır. Yıldızın ana zonklama dönemi, Denklem (4.1)'de verilen ölçüte göre hesaplanarak değerinin ($log\,P = 1.063$ gün) olduğu bulunmuştur. Bulunan $log\,P$ değerine göre KIC 7899428 yıldızının temel mod klâsik Sefeid türü değişen yıldız olabileceği sonucuna varılmıştır. Yıldızın, Şekil 3.8'de verilen ışık eğrisi incelendiğinde asimetrik yapıların varlığı ve ışık eğrisinin hem iniş hem de çıkış kollarında yumrular olduğu görülmüştür. Yıldızın SIMBAD ve ASAS kayıtlarına göre türünün klâsik Sefeid olduğu bilinmektedir. Ancak, yıldızın asimetrik ışık eğrisi biçimi, Tip II Sefeid değişenlerinin bir alt türü olan W Virginis yıldızlarını karakterize etmektedir.

4.2.3. KIC 6269092 Yıldızı

KIC 6269092 yıldızının Kepler uzay teleskobu uzun kadans (LC) modunda yapılan fotometrik gözlem verileri kullanılarak frekans analizi yapılmıştır Literatür taramasında yıldızın frekans analizine dair bir çalışmasının olmadığı görülmüştür. Yıldızın frekans analizi ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. PERIOD04 programıyla yapılan analizde 142 frekans değerine ulaşılmıştır. Bulunan frekans değerleri 4.3'de yer alan Tablo 3'te listelenmiştir. Ana zonklama frekansı $f = 0.060236\ \text{gün}^{-1}$ yöresindedir. Bu frekansa karşılık gelen zonklama dönemi ise [$P = 16.601\,\text{gün}$] olarak hesaplanmıştır ve ASAS veri tabanından okunan dönem değeri $P_{ASAS} = 16.510\,\text{gün}$ ile yakın uyum içerisindedir. KIC 6269092 yıldızının ana zonklama dönemi, Denklem (4.1)'de verilen ölçüte göre $\log P = 1.220$ gün olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu $\log P$ değerine göre, KIC 6269092 yıldızının klâsik Sefeid türü değişen yıldız olabileceği değerlendirilmektedir. Yıldızın Şekil 3.11'de

verilen normalize ışık eğrisi incelendiğinde, sinüzoidal biçimde olmadığı görülmüştür. Işık eğrisinin hem iniş hem de çıkış kollarında yumrular olduğu görülmektedir. Yıldızın maksimum parlaklığa hızla ulaşıp ardından yavaş bir şekilde parlaklığının azaldığı ışık eğrisinde gözlemlenmektedir. Yıldızın SIMBAD ve ASAS kayıtlarına göre türünün klâsik Sefeid olduğu bilinmektedir. Ancak, yıldızın asimetrik ışık eğrisi biçimi, Tip II Sefeid değişenlerinin bir alt türü olan W Virginis yıldızlarını karakterize etmektedir.

4.3. Öneriler

Bu çalışmada yıldızların sadece uzay tabanlı Kepler fotometrik verileri analiz edilerek, yıldızlar hakkındaki tüm yorumlar bu analiz sonuçları doğrultusunda yapılmıştır. Ancak bununla birlikte daha kesin sonuçlara ulaşmak için yıldızların tayf gözlemlerinin de yapılması gerektiği açıktır. Bununla birlikte, küresel çapta gelişen teknolojiden en çok fayda sağlayan bilim dallarının ilk sıralarında hiç şüphesiz astronomi gelmektedir. Bu bilim alanında yakın zamanda yapılan ve açıklanan bilimsel sonuçlar aslında bilimin ve teknolojinin vardığı zirveyi göstermektedir. Yer ve uzay tabanlı yıldız gözlemlerinden elde edilen veri miktarı her geçen gün artmaktadır.

Geleceğin uzay ve Yer tabanlı gözlem imkanları büyük miktarda işlenmemiş veri sağlama potansiyeline sahiptir. Örneğin, Hubble uzay teleskobu yaklaşık $3\,GB\,/$ gün işlenmemiş veri sağlarken, James Webb uzay teleskobunun (JWST) yaklaşık $50\,GB\,/$ gün veri üretmesi beklenmektedir [108].

Artan bu veri miktarına karşılık veri tabanlarının oluşturulmasında ve kaynakların sınıflandırılmasında makine öğrenmesi ve yapay zeka algoritmaları kullanılması sonuçların doğrulunu artıracaktır.

KAYNAKÇA

1. Cox, J.P., 1980. Theory of Stellar Pulsation, Princeton University Press.

2. Ngeow, C.C., 2005. Investigating the Break in the Cepheid Period-Luminosity Relation and its Implications., Doktora Tezi.

3. Gaia Collaboration, Brown, A.G.A., Vallenari, A., Prusti, T., de Bruijne, J.H.J., Babusiaux, C., Bailer-Jones, C.A.L., Biermann, M., Evans, D.W., Eyer, L., Jansen, F., Jordi, C., Klioner, S.A., Lammers, U., Lindegren, L., Luri, X., Mignard, F., Panem, C., Pourbaix, D., Randich, S., Sartoretti, P., Siddiqui, H.I., Soubiran, C., van Leeuwen, F., Walton, N.A., Arenou, F., Bastian, U., Cropper, M., Drimmel, R., Katz, D., Lattanzi, M.G., Bakker, J., Cacciari, C., Castañeda, J., Chaoul, L., Cheek, N., De Angeli, F., Fabricius, C., Guerra, R., Holl, B., Masana, E., Messineo, R., Mowlavi, N., Nienartowicz, K., Panuzzo, P., Portell, J., Riello, M., Seabroke, G.M., Tanga, P., Thévenin, F., Gracia-Abril, G., Comoretto, G., Garcia-Reinaldos, M., Teyssier, D., Altmann, M., Andrae, R., Audard, M., Bellas-Velidis, I., Benson, K., Berthier, J., Blomme, R., Burgess, P., Busso, G., Carry, B., Cellino, A., Clementini, G., Clotet, M., Creevey, O., Davidson, M., De Ridder, J., Delchambre, L., Dell'Oro, A., Ducourant, C., Fernández-Hernández, J., Fouesneau, M., Frémat, Y., Galluccio, L., García-Torres, M., González-Núñez, J., González-Vidal, J.J., Gosset, E., Guy, L.P., Halbwachs, J.L., Hambly, N.C., Harrison, D.L., Hernández, J., Hestroffer, D., Hodgkin, S.T., Hutton, A., Jasniewicz, G., Jean-Antoine-Piccolo, A., Jordan, S., Korn, A.J., Krone-Martins, A., Lanzafame, A.C., Lebzelter, T., Löffler, W., Manteiga, M., Marrese, P.M., Martín-Fleitas, J.M., Moitinho, A., Mora, A., Muinonen, K., Osinde, J., Pancino, E., Pauwels, T., Petit, J.M., Recio-Blanco, A., Richards, P.J., Rimoldini, L., Robin, A.C., Sarro, L.M., Siopis, C., Smith, M., Sozzetti, A., Süveges, M., Torra, J., van Reeven, W., Abbas, U., Abreu Aramburu, A., Accart, S., Aerts, C., Altavilla, G., Álvarez, M.A., Alvarez, R., Alves, J., Anderson, R.I., Andrei, A.H., Anglada Varela, E., Antiche, E., Antoja, T.,

Arcay, B., Astraatmadja, T.L., Bach, N., Baker, S.G., Balaguer-Núñez, L., Balm, P., Barache, C., Barata, C., Barbato, D., Barblan, F., Barklem, P.S., Barrado, D., Barros, M., Barstow, M.A., Bartholomé Muñoz, S., Bassilana, J.L., Becciani, U., Bellazzini, M., Berihuete, A., Bertone, S., Bianchi, L., Bienaymé, O., Blanco-Cuaresma, S., Boch, T., Boeche, C., Bombrun, A., Borrachero, R., Bossini, D., Bouquillon, S., Bourda, G., Bragaglia, A., Bramante, L., Breddels, M.A., Bressan, A., Brouillet, N., Brüsemeister, T., Brugaletta, E., Bucciarelli, B., Burlacu, A., Busonero, D., Butkevich, A.G., Buzzi, R., Caffau, E., Cancelliere, R., Cannizzaro, G., Cantat-Gaudin, T., Carballo, R., Carlucci, T., Carrasco, J.M., Casamiquela, L., Castellani, M., Castro-Ginard, A., Charlot, P., Chemin, L., Chiavassa, A., Cocozza, G., Costigan, G., Cowell, S., Crifo, F., Crosta, M., Crowley, C., Cuypers, J., Dafonte, C., Damerdji, Y., Dapergolas, A., David, P., David, M., de Laverny, P., De Luise, F., De March, R., de Martino, D., de Souza, R., de Torres, A., Debosscher, J., del Pozo, E., Delbo, M., Delgado, A., Delgado, H.E., Di Matteo, P., Diakite, S., Diener, C., Distefano, E., Dolding, C., Drazinos, P., Durán, J., Edvardsson, B., Enke, H., Eriksson, K., Esquej, P., Eynard Bontemps, G., Fabre, C., Fabrizio, M., Faigler, S., Falcão, A.J., Farràs Casas, M., Federici, L., Fedorets, G., Fernique, P., Figueras, F., Filippi, F., Findeisen, K., Fonti, A., Fraile, E., Fraser, M., Frézouls, B., Gai, M., Galleti, S., Garabato, D., García-Sedano, F., Garofalo, A., Garralda, N., Gavel, A., Gavras, P., Gerssen, J., Geyer, R., Giacobbe, P., Gilmore, G., Girona, S., Giuffrida, G., Glass, F., Gomes, M., Granvik, M., Gueguen, A., Guerrier, A., Guiraud, J., Gutiérrez-Sánchez, R., Haigron, R., Hatzidimitriou, D., Hauser, M., Haywood, M., Heiter, U., Helmi, A., Heu, J., Hilger, T., Hobbs, D., Hofmann, W., Holland, G., Huckle, H.E., Hypki, A., Icardi, V., Janßen, K., Jevardat de Fombelle, G., Jonker, P.G., Juhász, Á.L., Julbe, F., Karampelas, A., Kewley, A., Klar, J., Kochoska, A., Kohley, R., Kolenberg, K., Kontizas, M., Kontizas, E., Koposov, S.E., Kordopatis, G., Kostrzewa-Rutkowska, Z., Koubsky, P., Lambert, S., Lanza, A.F., Lasne, Y., Lavigne, J.B., Le Fustec, Y., Le Poncin-Lafitte, C., Lebreton, Y., Leccia, S., Leclerc, N., Lecoeur-Taibi, I., Lenhardt, H., Leroux, F.,

Liao, S., Licata, E., Lindstrøm, H.E.P., Lister, T.A., Livanou, E., Lobel, A., López, M., Managau, S., Mann, R.G., Mantelet, G., Marchal, O., Marchant, J.M., Marconi, M., Marinoni, S., Marschalkó, G., Marshall, D.J., Martino, M., Marton, G., Mary, N., Massari, D., Matijevič, G., Mazeh, T., McMillan, P.J., Messina, S., Michalik, D., Millar, N.R., Molina, D., Molinaro, R., Molnár, L., Montegriffo, P., Mor, R., Morbidelli, R., Morel, T., Morris, D., Mulone, A.F., Muraveva, T., Musella, I., Nelemans, G., Nicastro, L., Noval, L., O'Mullane, W., Ordénovic, C., Ordóñez-Blanco, D., Osborne, P., Pagani, C., Pagano, I., Pailler, F., Palacin, H., Palaversa, L., Panahi, A., Pawlak, M., Piersimoni, A.M., Pineau, F.X., Plachy, E., Plum, G., Poggio, E., Poujoulet, E., Prša, A., Pulone, L., Racero, E., Ragaini, S., Rambaux, N., Ramos-Lerate, M., Regibo, S., Reylé, C., Riclet, F., Ripepi, V., Riva, A., Rivard, A., Rixon, G., Roegiers, T., Roelens, M., Romero-Gómez, M., Rowell, N., Royer, F., Ruiz-Dern, L., Sadowski, G., Sagristà Sellés, T., Sahlmann, J., Salgado, J., Salguero, E., Sanna, N., Santana-Ros, T., Sarasso, M., Savietto, H., Schultheis, M., Sciacca, E., Segol, M., Segovia, J.C., Ségransan, D., Shih, I.C., Siltala, L., Silva, A.F., Smart, R.L., Smith, K.W., Solano, E., Solitro, F., Sordo, R., Soria Nieto, S., Souchay, J., Spagna, A., Spoto, F., Stampa, U., Steele, I.A., Steidelmüller, H., Stephenson, C.A., Stoev, H., Suess, F.F., Surdej, J., Szabados, L., Szegedi-Elek, E., Tapiador, D., Taris, F., Tauran, G., Taylor, M.B., Teixeira, R., Terrett, D., Teyssandier, P., Thuillot, W., Titarenko, A., Torra Clotet, F., Turon, C., Ulla, A., Utrilla, E., Uzzi, S., Vaillant, M., Valentini, G., Valette, V., van Elteren, A., Van Hemelryck, E., van Leeuwen, M., Vaschetto, M., Vecchiato, A., Veljanoski, J., Viala, Y., Vicente, D., Vogt, S., von Essen, C., Voss, H., Votruba, V., Voutsinas, S., Walmsley, G., Weiler, M., Wertz, O., Wevers, T., Wyrzykowski, Ł., Yoldas, A., Žerjal, M., Ziaeepour, H., Zorec, J., Zschocke, S., Zucker, S., Zurbach, C., and Zwitter, T., 2018. Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties, , **616**:A1.

4. Kepler Mission Team, 2009. VizieR Online Data Catalog: Kepler Input Catalog

(Kepler Mission Team, 2009), **VizieR Online Data Catalog**, V/133.

5. Berger, T.A., Huber, D., van Saders, J.L., Gaidos, E., Tayar, J., and Kraus, A.L., 2020. VizieR Online Data Catalog: Gaia-Kepler stellar properties catalog.I. KIC stars (Berger+, 2020), **VizieR Online Data Catalog**, J/AJ/159/280.

6. Derekas, A., Plachy, E., Molnár, L., Sódor, A., Benkő, J.M., Szabados, L., Bognár, Z., Csák, B., Szabó, G.M., Szabó, R., and Pál, A., 2017. The Kepler Cepheid V1154 Cyg revisited: light curve modulation and detection of granulation, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **464**(2):1553–1562.

7. Pigulski, A., Pojmański, G., Pilecki, B., and Szczygieł, D.M., 2009. The All Sky Automated Survey. The Catalog of Variable Stars in the Kepler Field of View, **Acta Astronomica**, **59**(1):33–46.

8. Percy, J.R., 2007. Understanding Variable Stars, Cambridge University Press, Cambridge.

9. Carroll, B.W. and Ostlie, D.A., 2017. An Introduction to Modern Astrophysics, Cambridge, 2 edition, iSBN: 9781108380980 Publisher: Cambridge University Press.

10. Kim, A., Winget, D.E., Montgomery, M.H., and Kepler, S.O., 2006. Driving in ZZ Ceti tars - Problem solved?, **Memorie della Societa Astronomica italiana. Firenze**, **77**:376.

11. Ulaczyk, K., Szymanski, M.K., Udalski, A., Kubiak, M., Pietrzynski, G., Soszynski, I., Wyrzykowski, L., Poleski, R., Gieren, W., Walker, A.R., and Garcia-Varela, A., 2013. VizieR Online Data Catalog: LMC photometric maps from OGLE-III shallow survey (Ulaczyk+, 2012), **VizieR Online Data Catalog**, J/AcA/62/247.

12. Madore, B.F. and Freedman, W.L., 1991. The Cepheid Distance Scale, **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, **103**:933.

13. Soszynski, I., Poleski, R., Udalski, A., Szymanski, M.K., Kubiak, M., Pietrzynski, G., Wyrzykowski, L., Szewczyk, O., and Ulaczyk, K., 2008. The Optical Gravitational Lensing Experiment. The OGLE-III Catalog of Variable Stars. I. Classical Cepheids in the Large Magellanic Cloud, **Acta Astronomica**, **58**:163–185.

14. Gieren, W., Pietrzynski, G., Bresolin, F., Kudritzki, R.P., Minniti, D., Urbaneja, M., Soszynski, I., Storm, J., Fouque, P., Bono, G., Walker, A., and García-Varela, J., 2005. Measuring Improved Distances to Nearby Galaxies: The Araucaria Project, **The Messenger**.

15. Persson, S.E., Madore, B.F., Krzemiński, W., Freedman, W.L., Roth, M., and Murphy, D.C., 2004. New Cepheid period-luminosity relations for the Large Magellanic Cloud: 92 near-infrared light curves, **The Astronomical Journal**, **128**(5):2239, publisher: IOP Publishing.

16. Paczyński, B., Szczygiel, D.M., Pilecki, B., and Pojmański, G., 2006. Eclipsing binaries in the all sky automated survey catalogue, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **368**(3):1311–1318, publisher: The Royal Astronomical Society.

17. Bowman, D.M. and Kurtz, D.W., 2015. Amplitude Modulation in the δ Sct star KIC 7106205, *European Physical Journal Web of Conferences*, volume 101 of European Physical Journal Web of Conferences, 06013.

18. Rowe, J.F., Matthews, J.M., Seager, S., Sasselov, D., Kuschnig, R., Guenther, D.B., Moffat, A.F.J., Rucinski, S.M., Walker, G.A.H., and Weiss, W.W., 2008. Towards the Albedo of an Exoplanet: MOST Satellite Observations of Bright Transiting Exoplanetary Systems, **Proceedings of the International Astronomical Union**, **4**(S253):121–127, publisher: Cambridge University Press.

19. Baker, N., 1966. Simplified Models for Cepheid Instability, *R.F. Stein and A.G.W. Cameron, Eds:, Stellar Evolution*, 333.

20. Iglesias, C.A., Rogers, F.J., and Wilson, B.G., 1987. Reexamination of the Metal Contribution to Astrophysical Opacity, **The Astrophysical Journal**, **322**:L45.

21. Jacoby, G.H., 1994. The Universe in crisis, **Nature**, **371**(6500):741–742, publisher: Nature Publishing Group.

22. Freedman, W.L., Madore, B.F., Gibson, B.K., Ferrarese, L., Kelson, D.D., Sakai, S., Mould, J.R., Kennicutt Jr, R.C., Ford, H.C., and Graham, J.A., 2001. Final results from the Hubble Space Telescope key project to measure the Hubble constant, **The Astrophysical Journal**, **553**(1):47, publisher: IOP Publishing.

23. Szabados, L., 2003. Database on Binaries among Galactic Classical Cepheids, **Information Bulletin on Variable Stars**, **5394**:1.

24. Szabados, L., Kiss, Z.T., and Klagyivik, P., 2010. Binarity and Cluster Membership of Classical Cepheids, **45**:441–444, conference Name: EAS Publications Series.

25. Baranowski, R., Smolec, R., Dimitrov, W., Kwiatkowski, T., Schwarzenberg-Czerny, A., Bartczak, P., Fagas, M., Borczyk, W., Kamiński, K., Moskalik, P., Ratajczak, R., and Rożek, A., 2009. V440 Per: the longest-period overtone Cepheid, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **396**(4):2194–2200.

26. Kienzle, F., Moskalik, P., Bersier, D., and Pont, F., 1998. Structural Properties of s-Cepheid Velocity Curves, **Astronomy and Astrophysics**, astro-ph/9807132.

27. Baade, W., 1926. Über eine Möglichkeit, die Pulsationstheorie der δ Cephei-Veränderlichen zu prüten, **Astronomische Nachrichten**, **228**:359.

28. Becker, W. and Strohmeier, W., 1940. Spektralphotometrische Untersuchungen an δ Cephei-Sternen. VIII. Das spektralphotometrische System der

Vergleichsterne und die ausgeglichenen Schwankungen der beobachtbaren Zustandsgrößen der δ Cephei-Sternen. (Mittilungen des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam, Nr. 2.), **Zeitschrift fur Astrophysik**, **19**:249.

29. Wesselink, A.J., 1946. The observations of brightness, colour and radial velocity of delta Cephei and the pulsation hypothesis (Errata: 10 258, 310), **Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands**, **10**:91.

30. Bono, G., Marconi, M., and Stellingwerf, R.F., 2000. Classical Cepheid pulsation models. VI. The Hertzsprung progression, **arXiv:astro-ph/0006229**, arXiv: astro-ph/0006229.

31. Gastine, T. and Dintrans, B., 2008. Direct numerical simulations of the κ-mechanism: II. Nonlinear saturation and the Hertzsprung progression, **Astronomy & Astrophysics**, **490**(2):743–752.

32. Nemec, J.M., Nemec, A.F.L., and Lutz, T.E., 1994. Period-luminosity-metallicity relations, pulsation modes, absolute magnitudes, and distances for population 2 variable stars, **The Astronomical Journal**, **108**:222–246.

33. Harris, H.C., 1985. A catalogue of field Type II Cepheids, **The Astronomical Journal**, **90**:756–760.

34. Harris, H.C., 1981. Photometric abundances of Type II Cepheid variables, **The Astronomical Journal**, **86**:719–729.

35. Alcock, C., Allsman, R.A., Alves, D.R., Axelrod, T.S., Becker, A., Bennett, D.P., Cook, K.H., Freeman, K.C., Griest, K., Lawson, W.A., Lehner, M.J., Marshall, S.L., Minniti, D., Peterson, B.A., Pollard, K.R., Pratt, M.R., Quinn, P.J., Rodgers, A.W., Sutherland, W., Tomaney, A., and Welch, D.L., 1998. The MACHO Project LMC Variable Star Inventory. VII. The Discovery of RV Tauri Stars and New Type II Cepheids in the Large Magellanic Cloud, **The Astronomical Journal**, **115**(5):1921–1933.

36. Soszynski, I., Udalski, A., Szymanski, M.K., Kubiak, M., Pietrzynski, G., Wyrzykowski, L., Ulaczyk, K., and Poleski, R., 2010. The

Optical Gravitational Lensing Experiment. The OGLE-III Catalog of Variable Stars. VIII. Type II Cepheids in the Small Magellanic Cloud, **arXiv:1005.3544 [astro-ph]**, arXiv: 1005.3544 version: 2.

37. Jura, M., 1986. RV Tauri Stars as Post–Asymptotic Giant Granch Objects, **The Astrophysical Journal**, **309**:732.

38. Pollard, K.R., Cottrell, P.L., Kilmartin, P.M., and Gilmore, A.C., 1996. RV Tauri stars-I. A long-term photometric survey, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **279**(3):949–977, publisher: Blackwell Science Ltd Oxford, UK.

39. Preston, G.W., Krzeminski, W., Smak, J., and Williams, J.A., 1963. A Spectroscopic and Photoelectric Survey of the RV Tauri Stars., **The Astrophysical Journal**, **137**:401.

40. Bono, G., Marconi, M., and Stellingwerf, R.F., 1999. Classical Cepheid Pulsation Models. I. Physical Structure, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, **122**(1):167–205, publisher: American Astronomical Society.

41. Catelan, M. and Smith, H.A., 2015. Pulsating Stars, Wiley-VCH, Weinheim, Bergstr, 1. auflage edition.

42. Sandage, A., 1958. Current Problems in the Extragalactic Distance Scale., **The Astrophysical Journal**, **127**:513.

43. Mould, J.R., Huchra, J.P., Freedman, W.L., Kennicutt Jr, R.C., Ferrarese, L., Ford, H.C., Gibson, B.K., Graham, J.A., Hughes, S.M., Illingworth, G.D., et al., 2000. The Hubble Space Telescope key project on the extragalactic distance scale. XXVIII. Combining the constraints on the Hubble constant, **The Astrophysical Journal**, **529**(2):786.

44. Saio, H. and Gautschy, A., 1998. On the theoretical period-luminosity relation of Cepheids, **The Astrophysical Journal**, **498**(1):360, publisher: IOP Publishing.

45. Sasselov, D.D., 1997. Pulsating Stellar Atmospheres, **arXiv:astro-ph/9705023**, arXiv: astro-ph/9705023 version: 1.

46. García, R.A., Hekker, S., Stello, D., Gutiérrez-Soto, J., Handberg, R., Huber, D., Karoff, C., Uytterhoeven, K., Appourchaux, T., Chaplin, W.J., Elsworth, Y., Mathur, S., Ballot, J., Christensen-Dalsgaard, J., Gilliland, R.L., Houdek, G., Jenkins, J.M., Kjeldsen, H., McCauliff, S., Metcalfe, T., Middour, C.K., Molenda-Zakowicz, J., Monteiro, M.J.P.F.G., Smith, J.C., and Thompson, M.J., 2011. Preparation of Kepler light curves for asteroseismic analyses, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters**, **414**(1):L6–L10.

47. Kinemuchi, K., Barclay, T., Fanelli, M., Pepper, J., Still, M., and Howell, S.B., 2012. Demystifying Kepler Data: A Primer for Systematic Artifact Mitigation, **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, **124**(919):963–984, arXiv: 1207.3093 version: 1.

48. Lenz, P. and Breger, M., 2005. Period04 User Guide.

49. Sperl, M., 1998. Comm. in Asteroseismology, **University of Vienna**, **111**:1.

50. Simon, N.R., 1981. The structural properties of Cepheid light curves.

51. Debosscher, J., Sarro, L.M., Aerts, C., Cuypers, J., Vandenbussche, B., Garrido, R., and Solano, E., 2007. Automated supervised classification of variable stars: I. Methodology, **Astronomy & Astrophysics**, **475**(3):1159–1183.

52. Sarro, L.M., Debosscher, J., Aerts, C., and López, M., 2009. Comparative clustering analysis of variable stars in the Hipparcos, OGLE Large Magellanic Cloud, and CoRoT exoplanet databases, **Astronomy & Astrophysics**, **506**(1):535–568, publisher: EDP Sciences.

53. Schaltenbrand, R. and Tammann, G.A., 1971. The light curve parameters of photoelectrically observed galactic Cepheids, **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, **4**:265.

54. Simon, N.R., 1978. On the oscillations of AI Velorum.

55. Antonello, E., Broglia, P., Conconi, P., and Mantegazza, L., 1986. Fourier decomposition of the light curves of high amplitudes delta Scuti and SX Phe stars., **Astronomy and Astrophysics**, **169**:122–132.

56. Mantegazza, L. and Poretti, E., 1992. The Fourier decomposition as a mode discriminator: new first overtone pulsators among Cepheids with P $<$ 5.5 d., **Astronomy and Astrophysics**, **261**:137–144.

57. Hendry, M.A., Tanvir, N.R., and Kanbur, S.M., 1999. Reconstructing Cepheid Light Curves, **167**:192–197, conference Name: Harmonizing Cosmic Distance Scales in a Post-HIPPARCOS Era.

58. Poretti, E., 2001. Fourier decomposition and frequency analysis of the pulsating stars with 1 d in the OGLE database - I. Monoperiodic Delta Scuti, RRc and RRab variables. Separation criteria and particularities, **Astronomy & Astrophysics**, **371**(3):986–996, number: 3 Publisher: EDP Sciences.

59. Ngeow, C., Kanbur, S.M., Nikolaev, S., Tanvir, N.R., and Hendry, M.A., 2003. Reconstructing a Cepheid Light Curve with Fourier Techniques. I. The Fourier Expansion and Interrelations, **The Astrophysical Journal**, **586**(2):959–982.

60. Moskalik, P. and Poretti, E., 2003. Fourier decomposition and frequency analysis of the pulsating stars with P $<$ 1 d in the OGLE database. II. Multiperiodic RR Lyrae variables in the Galactic Bulge, **Astronomy and Astrophysics**, **398**:213–222.

61. Jin, H., Kim, S.L., Lee, C.U., Lee, D.J., and Kim, K.S., 2004. Reclassification of ROTSE-I δ Scuti Stars with Multiband Photometry and Fourier Decomposition, **The Astronomical Journal**, **128**(4):1847.

62. Tanvir, N.R., Hendry, M.A., Watkins, A., Kanbur, S.M., Berdnikov, L.N., and Ngeow, C.C., 2005. Determination of Cepheid parameters by light-curve template fitting, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **363**(3):749–762, publisher: Blackwell Science Ltd Oxford, UK.

63. Deb, S. and Singh, H.P., 2009. Light curve analysis of variable stars using Fourier decomposition and principal component analysis, **Astronomy & Astrophysics**, **507**(3):1729–1737.

64. Kanbur, S.M., Iono, D., Tanvir, N.R., and Hendry, M.A., 2002. On the use of Principal Component Analysis in analysing Cepheid light curves, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **329**(1):126–134, publisher: Blackwell Science Ltd Oxford, UK.

65. Haas, M.R., Batalha, N.M., Bryson, S.T., Caldwell, D.A., Dotson, J.L., Hall, J., Jenkins, J.M., Klaus, T.C., Koch, D.G., Kolodziejczak, J., Middour, C., Smith, M., Sobeck, C.K., Stober, J., Thompson, R.S., and Cleve, J.E.V., 2010. KEPLER SCIENCE OPERATIONS, **The Astrophysical Journal**, **713**(2):L115–L119, publisher: American Astronomical Society.

66. Gilliland, R.L., Brown, T.M., Christensen-Dalsgaard, J., Kjeldsen, H., Aerts, C., Appourchaux, T., Basu, S., Bedding, T.R., Chaplin, W.J., Cunha, M.S., De Cat, P., De Ridder, J., Guzik, J.A., Handler, G., Kawaler, S., Kiss, L., Kolenberg, K., Kurtz, D.W., Metcalfe, T.S., Monteiro, M.J.P.F.G., Szabó, R., Arentoft, T., Balona, L., Debosscher, J., Elsworth, Y.P., Quirion, P.O., Stello, D., Suárez, J.C., Borucki, W.J., Jenkins, J.M., Koch, D., Kondo, Y., Latham, D.W., Rowe, J.F., and Steffen, J.H., 2010. Kepler Asteroseismology Program: Introduction and First Results, **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, **122**(888):131–143, arXiv: 1001.0139 version: 1.

67. Christensen-Dalsgaard, J., Kjeldsen, H., Brown, T.M., Gilliland, R.L., Arentoft, T., Frandsen, S., Quirion, P.O., Borucki, W.J., Koch, D., and Jenkins, J.M., 2010. ASTEROSEISMIC INVESTIGATION OF KNOWN PLANET HOSTS IN THE KEPLER FIELD, **The Astrophysical Journal**, **713**(2):L164–L168, publisher: American Astronomical Society.

68. Gaulme, P., Vannier, M., Guillot, T., Mosser, B., Mary, D., Weiss, W.W., Schmider, F.X., Bourguignon, S., Deeg, H.J., Régulo, C., Aigrain, S., Schneider, J., Bruntt, H., Deheuvels, S., Donati, J.F., Appourchaux, T.,

Auvergne, M., Baglin, A., Baudin, F., Catala, C., Michel, E., and Samadi, R., 2010. Possible detection of phase changes from the non-transiting planet HD 46375b by CoRoT, **Astronomy and Astrophysics**, **518**:L153.

69. Moya, A., Amado, P.J., Barrado, D., Hernández, A.G., Aberasturi, M., Montesinos, B., and Aceituno, F., 2010. The planetary system host HR 8799: on its λ Bootis nature, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **406**(1):566–575, publisher: Blackwell Publishing Ltd Oxford, UK.

70. Gilliland, R.L., Jenkins, J.M., Borucki, W.J., Bryson, S.T., Caldwell, D.A., Clarke, B.D., Dotson, J.L., Haas, M.R., Hall, J., Klaus, T., Koch, D., McCauliff, S., Quintana, E.V., Twicken, J.D., and Cleve, J.E.v., 2010. INITIAL CHARACTERISTICS OF KEPLER SHORT CADENCE DATA, **The Astrophysical Journal**, **713**(2):L160–L163, publisher: American Astronomical Society.

71. Cleve, J.V., T, B.S., D, C.B., T, C.M., L, D.J., Forrest, G., R, H.M., Khadeejah, I., Todd, K., Jeff (msfc, K., Jie, L., D, M.S., K, M.C., V, Q.E., G, T.P., Joe, T., Kamal, U.A., Jeffrey, V.C., Bill, W., and Y, W.H. Kepler Data Release 6 Notes.

72. García, R.A., Turck-Chièze, S., Boumier, P., Robillot, J.M., Bertello, L., Charra, J., Dzitko, H., Gabriel, A.H., Jiménez-Reyes, S.J., Pallé, P.L., Renaud, C., Roca Cortés, T., and Ulrich, R.K., 2005. Global solar Doppler velocity determination with the GOLF/SoHO instrument, **Astronomy and Astrophysics**, **442**:385–395.

73. Strohmeier, W. and Knigge, R., 1961. Mitteilungen über Veränderliche der Bamberger Himmelsüberwachung (Veröffentlichungen der Remeis-Sternwarte Bamberg, Band V, Nr. 10), **Astronomische Nachrichten**, **286**(3):133–137, publisher: Wiley Online Library.

74. Wachmann, A.A., 1976. Photoelectric UBV photometry of six cepheids., **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, **23**:249–259.

75. Szabados, L., 1977. Photoelectric UBV photometry of Northern Cepheids I, **Commmunications of the Konkoly Observatory Hungary**, **70**:1–123.

76. Arellano Ferro, A., Rojo Arellano, E., Gonzalez[U+2010]Bedolla, S., and Rosenzweig, P., 1998. uvby β Photometric Data and Fourier Coefficients for Galactic Population I and Population II Cepheids, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, **117**(1):167–208.

77. Gorynya, N.A., Samus', N.N., Sachkov, M.E., Rastorguev, A.S., Glushkova, E.V., and Antipin, S.V., 1998. A catalog of Cepheid radial velocities measured in 1995-1998 with the correlation spectrometer, **Astronomy Letters**, **24**:815–818.

78. Imbert, M., 1999. Determination of the radii of Cepheids V. Radial velocities and dimensions of 22 galactic Cepheids, **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, **140**:79–87.

79. Ignatova, V.V. and Vozyakova, O.V., 2000. Photoelectric observations of cepheids in 1997-98, **Astronomical and Astrophysical Transactions**, **19**(2):133–176.

80. Berdnikov, L. and Turner, D., 2008. VizieR Online Data Catalog J, **II/285**.

81. Luck, R.E., Kovtyukh, V.V., and Andrievsky, S.M., 2006. The Distribution of the Elements in the Galactic Disk, **The Astronomical Journal**, **132**(2):902–918, publisher: American Astronomical Society.

82. Molenda-Zakowicz, J., Frasca, A., and Latham, D.W., 2009. Spectroscopic Study of Candidates for Kepler Asteroseismic Targets-Solar-Like Stars, **arXiv preprint arXiv:0907.0816**.

83. Jerzykiewicz, M., Lehmann, H., Niemczura, E., Molenda-Żakowicz, J., Dymitrov, W., Fagas, M., Guenther, D.B., Hartmann, M., Hrudková, M., Kamiński, K., Moffat, A.F.J., Kuschnig, R., Leto, G., Matthews, J.M., Rowe, J.F., Ruciński, S.M., Sasselov, D., and Weiss, W.W., 2013. μ

Eridani from MOST and from the ground: an orbit, the SPB component's fundamental parameters and the SPB frequencies, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **432**(2):1032–1045.

84. Derekas, A., Szabó, G.M., Berdnikov, L., Szabó, R., Smolec, R., Kiss, L.L., Szabados, L., Chadid, M., Evans, N.R., Kinemuchi, K., Nemec, J.M., Seader, S.E., Smith, J.C., and Tenenbaum, P., 2012. Period and light-curve fluctuations of the Kepler Cepheid V1154 Cygni, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **425**(2):1312–1319.

85. Kanev, E., Savanov, I., and Sachkov, M., 2015. Long term light curve variations of the Kepler Cepheid V 1154 Cyg, *EPJ Web of Conferences*, volume 101, 06036, EDP Sciences.

86. Breger, M., Stich, J., Garrido, R., Martin, B., Jiang, S.Y., Li, Z.P., Hube, D.P., Ostermann, W., Paparo, M., and Scheck, M., 1993. Nonradial pulsation of the delta Scuti star BU CANCRI in the Praesepe cluster., **Astronomy and Astrophysics**, **271**:482–486.

87. Akerlof, C., Amrose, S., Balsano, R., Bloch, J., Casperson, D., Fletcher, S., Gisler, G., Hills, J., Kehoe, R., Lee, B., Marshall, S., McKay, T., Pawl, A., Schaefer, J., Szymanski, J., and Wren, J., 2000. ROTSE All-Sky Surveys for Variable Stars. I. Test Fields, **The Astronomical Journal**, **119**(4):1901–1913.

88. Davenport, J.R., 2016. The Kepler catalog of stellar flares, **The Astrophysical Journal**, **829**(1):23.

89. Borucki, W.J., Koch, D.G., Dunham, E.W., and Jenkins, J.M., 1997. The Kepler Mission: A Mission To Detennine The Frequency Of Inner Planets Near The Habitable Zone For A Wide Range Of Stars, **119**:153, conference Name: Planets Beyond the Solar System and the Next Generation of Space Missions.

90. Walker, G., Matthews, J., Kuschnig, R., Johnson, R., Rucinski, S., Pazder, J., Burley, G., Walker, A., Skaret, K., and Zee, R., 2003.

The MOST asteroseismology mission: Ultraprecise photometry from space, **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, **115**(811):1023, publisher: IOP Publishing.

91. Barge, P., Baglin, A., Auvergne, M., and Team, t.C., 2007. CoRoT: pioneer space mission for exoplanet transit search, **Proceedings of the International Astronomical Union**, **3**(S249):3–16, publisher: Cambridge University Press.

92. Pojmanski, G., 1997. The All Sky Automated Survey, **Acta Astronomica**, **47**:467–481.

93. Pojmanski, G., 2000. The all sky automated survey. catalog of about 3800 variable stars, **Acta Astronomica**, **50**:177–190.

94. Cutri, R.M., Skrutskie, M.F., van Dyk, S., Beichman, C.A., Carpenter, J.M., Chester, T., Cambresy, L., Evans, T., Fowler, J., Gizis, J., Howard, E., Huchra, J., Jarrett, T., Kopan, E.L., Kirkpatrick, J.D., Light, R.M., Marsh, K.A., McCallon, H., Schneider, S., Stiening, R., Sykes, M., Weinberg, M., Wheaton, W.A., Wheelock, S., and Zacarias, N., 2003. VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri 2003), **VizieR Online Data Catalog**, II/246.

95. Borucki, W.J., Koch, D., Basri, G., Batalha, N., Brown, T., Caldwell, D., Caldwell, J., Christensen-Dalsgaard, J., Cochran, W.D., DeVore, E., Dunham, E.W., Dupree, A.K., Gautier, T.N., Geary, J.C., Gilliland, R., Gould, A., Howell, S.B., Jenkins, J.M., Kondo, Y., Latham, D.W., Marcy, G.W., Meibom, S., Kjeldsen, H., Lissauer, J.J., Monet, D.G., Morrison, D., Sasselov, D., Tarter, J., Boss, A., Brownlee, D., Owen, T., Buzasi, D., Charbonneau, D., Doyle, L., Fortney, J., Ford, E.B., Holman, M.J., Seager, S., Steffen, J.H., Welsh, W.F., Rowe, J., Anderson, H., Buchhave, L., Ciardi, D., Walkowicz, L., Sherry, W., Horch, E., Isaacson, H., Everett, M.E., Fischer, D., Torres, G., Johnson, J.A., Endl, M., MacQueen, P., Bryson, S.T., Dotson, J., Haas, M., Kolodziejczak, J., Van Cleve, J., Chandrasekaran, H., Twicken, J.D., Quintana, E.V., Clarke, B.D., Allen,

C., Li, J., Wu, H., Tenenbaum, P., Verner, E., Bruhweiler, F., Barnes, J., and Prsa, A., 2010. Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results, **Science**, **327**:977.

96. Koch, D.G., Borucki, W.J., Basri, G., Batalha, N.M., Brown, T.M., Caldwell, D., Christensen-Dalsgaard, J., Cochran, W.D., DeVore, E., and Dunham, E.W., 2010. Kepler mission design, realized photometric performance, and early science, **The Astrophysical Journal Letters**, **713**(2):L79, publisher: IOP Publishing.

97. Bowman, D.M., 2017. Amplitude Modulation of Pulsation Modes in Delta Scuti Stars, Springer Springer International Publishing.

98. Johnson, H.L. and Morgan, W.W., 1953. Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas., **The Astrophysical Journal**, **117**:313.

99. Bessell, M.S., 2005. Standard Photometric Systems, **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, **43**(1):293–336.

100. Rowe, J.F., Borucki, W.J., Koch, D., Howell, S.B., Basri, G., Batalha, N., Brown, T.M., Caldwell, D., Cochran, W.D., Dunham, E., Dupree, A.K., Fortney, J.J., Gautier, T.N., Gilliland, R.L., Jenkins, J., Latham, D.W., Lissauer, J.J., Marcy, G., Monet, D.G., Sasselov, D., and Welsh, W.F., 2010. Kepler Observations of Transiting Hot Compact Objects, **The Astrophysical Journal**, **713**(2):L150–L154, publisher: American Astronomical Society.

101. Farmer, R., Kolb, U., and Norton, A.J., 2013. The true stellar parameters of the Kepler target list, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **433**(2):1133–1145.

102. Blomme, J., Debosscher, J., De Ridder, J., Aerts, C., Gilliland, R.L., Christensen-Dalsgaard, J., Kjeldsen, H., Brown, T.M., Borucki, W.J., Koch, D., Jenkins, J.M., Kurtz, D.W., Stello, D., Stevens, I.R., Suran, M.D., and Derekas, A., 2010. AUTOMATED CLASSIFICATION

OF VARIABLE STARS IN THE ASTEROSEISMOLOGY PROGRAM OF THE KEPLER SPACE MISSION, **The Astrophysical Journal**, **713**(2):L204–L207.

103. Brown, T.M., Latham, D.W., Everett, M.E., and Esquerdo, G.A., 2011. Kepler Input Catalog: Photometric Calibration and Stellar Classification, **The Astronomical Journal**, **142**(4):112, arXiv: 1102.0342 version: 2.

104. Borucki, W.J., 2016. KEPLER Mission: development and overview, **Reports on Progress in Physics**, **79**(3):036901, publisher: IOP Publishing.

105. Howell, S.B., Sobeck, C., Haas, M., Still, M., Barclay, T., Mullally, F., Troeltzsch, J., Aigrain, S., Bryson, S.T., Caldwell, D., et al., 2014. The K2 mission: characterization and early results, **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, **126**(938):398.

106. Bányai, E. and Kiss, L.L., 2013. Variability of M giant stars based on *Kepler* photometry: general characteristics, **Proceedings of the International Astronomical Union**, **9**(S301):381–382.

107. Joshi, Y.C. and Joshi, S., 2014. Population I Cepheids and star formation history of the Large Magellanic Cloud, **New Astronomy**, **28**:27–34.

108. Beichman, C., Benneke, B., Knutson, H., Smith, R., Lagage, P.O., Dressing, C., Latham, D., Lunine, J., Birkmann, S., Ferruit, P., Giardino, G., Kempton, E., Carey, S., Krick, J., Deroo, P.D., Mandell, A., Ressler, M.E., Shporer, A., Swain, M., Vasisht, G., Ricker, G., Bouwman, J., Crossfield, I., Greene, T., Howell, S., Christiansen, J., Ciardi, D., Clampin, M., Greenhouse, M., Sozzetti, A., Goudfrooij, P., Hines, D., Keyes, T., Lee, J., McCullough, P., Robberto, M., Stansberry, J., Valenti, J., Rieke, M., Rieke, G., Fortney, J., Bean, J., Kreidberg, L., Ehrenreich, D., Deming, D., Albert, L., Doyon, R., and Sing, D., 2014. Observations of Transiting Exoplanets with the James Webb Space Telescope (JWST), **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, **126**(946):1134.

EKLER

EK 1.

Tez çalışmasında incelenen yıldızların zonklama frekansı analizleri sonucunda ulaşılan değerleri.

Tablo 1. KIC 7548061 yıldızının frekans analizi sonuçları. Işık eğrisinin PERIOD04 programı ile yapılan analizinden elde edilen tüm frekans değerleri sunulmuştur.

Frekans Sırası	Frekans [gün^{-1}]	Genlik [akı]	Evre [gün]
F1	0.203027231933321	0.134206974851294	0.265248095958073
F2	0.406055542110343	0.0380293884749686	0.457235809487392
F3	0.609082723668434	0.0097325149374253	0.673870616529389
F4	0.00355093669802171	0.00413961732169028	0.995509828465207
F5	0.014455759577122	0.00235487062862525	0.662286583504585
F6	0.00657866775905184	0.0026384841641119	0.562887384623613
F7	0.0105338604864789	0.000931850844730518	0.417995767736592
F8	0.812111063510841	0.00132374477461805	0.835626836637823
F9	0.0177838683999722	0.00127995774038397	0.116828079874321
F10	0.0213761272765253	0.00114680962611987	0.88646398251993
F11	0.00216611662769844	0.00248941406380713	0.350518272667388
F12	0.0285134493259098	0.000948645550000173	0.896419550218548
F13	0.0456127842979315	0.000705074869470586	0.868656155057542
F14	0.00870454898457709	0.00146744873945861	0.94237199449213
F15	0.196577657450517	0.000751739313390513	0.968683859805669
F16	0.207647241629173	0.000583771620433272	0.464664023676296
F17	1.21816855460852	0.000578967311863069	0.809684107230329
F18	0.059679104850201	0.000374838535960528	0.151152233298146
F19	1.01513514443317	0.000503580315215304	0.643421777661401
F20	0.0325550013728646	0.000528082821402846	0.0700506716400037
F21	0.0359106433062876	0.000638516959147021	0.646807163905249
F22	0.10271861538335	0.000444855105759798	0.768549779248704
F23	0.0245283467347989	0.000741515872457838	0.592056651661969
F24	0.0532061743815494	0.000477971318949009	0.20796821778711
F25	0.205725221749156	0.000596636085988902	0.0510225665081426
F26	0.399766810371596	0.000455532904319501	0.792355260228639
F27	1.4211953040095	0.000391062673912564	0.00467641595499339
F28	0.0126835945839689	0.000848597678148432	0.243949674570368
F29	0.0489834009461812	0.000517837316935065	0.142381127286139
F30	0.16142430610442	0.000386784049874746	0.323861467581303
F31	0.201328240562945	0.000394592990381624	0.192138130872451
F32	0.0748180083515872	0.000499018877464677	0.740505517687539

F33	0.128667535583371	0.000297477710260363	0.1993748369575
F34	0.216211139112985	0.000445000666032887	0.381646091414934
F35	0.116789744609605	0.000501671706308184	0.125354807513803
F36	0.193990116516741	0.000331497992204955	0.869718391457419
F37	0.0671048236572228	0.000295762747061903	0.728891479839558
F38	0.0462777530822267	0.00039368509223985	0.0124215262197575
F39	0.144718431267745	0.000316661221422751	0.659846562396608
F40	0.0638349514877708	0.000397766924616642	0.12454482731859
F41	0.228854709576967	0.000298766523062558	0.364341526706225
F42	0.134708593554763	0.000387700935068152	0.656720517293833
F43	0.100120957643623	0.000413712300375721	0.72398712911621
F44	0.243330987693647	0.000326297862026284	0.224675016904854
F45	0.077951773717739	0.000327697519255629	0.509056219542457
F46	0.176201319190985	0.000195982608429851	0.625964194225195
F47	0.213233624598974	0.00021810647248678	0.529551767833984
F48	0.0267952429702229	0.000356847822185274	0.76956668219051
F49	0.105941199800573	0.000339113575871221	0.0903585724657461
F50	0.198409113951577	0.000286544556630262	0.337172248038342
F51	0.0907035604271713	0.000242739911787714	0.44745836402783
F52	1.62421801969611	0.000223032877102114	0.218183054520066
F53	0.138499623824777	0.000219976463533932	0.353214325234913
F54	0.166938553613791	0.000230620911099163	0.538626281311097
F55	0.259805604763318	0.000249659605158695	0.911812366339943
F56	0.169852535937257	0.000208374453444237	0.506788583178947
F57	0.0866116315508189	0.000253908412199216	0.341535129270303
F58	0.188355668259664	0.000256439876626532	0.0703510829494382
F59	0.0418032778626822	0.000326709681517904	0.279896441551539
F60	0.151048778163486	0.000331564216648495	0.550725519698933
F61	0.413009547207802	0.000236147917915759	0.325791267287039
F62	0.0850123518083908	0.000265502732729161	0.958506538466434
F63	0.113721077380391	0.000246621666821618	0.214265954266152
F64	0.249929396990789	0.000186557409270526	0.0632789931045202
F65	0.397320845388383	0.000121442313288646	0.618273962687925
F66	0.121802342932013	0.000228850137769223	0.795942420254731
F67	0.276912915758162	0.000174931028127292	0.0534970566412701
F68	0.108974403068394	0.000256387467512671	0.0706717499089393
F69	0.0583005350817019	0.000242682869289598	0.738801353206556
F70	0.603714976223287	0.000185671422853136	0.553375551508264
F71	0.36352935917562	0.000197584894571578	0.671833655174559
F72	1.82724628441815	0.000120659532603302	0.42880772669253
F73	2.03028908508313	5.90791760482027e-05	0.636014212432424
F74	1.01922646228541	3.23625569799287e-05	0.497011872022296
F75	2.23329690436184	2.86603168526572e-05	0.890177384801614
F76	2.43629615531593	1.43474365353933e-05	0.164260287066034
F77	2.12335333759539	7.07060235245406e-06	0.198650179701994
F78	2.63823675378257	7.74489292962559e-06	0.930132820856108
F80	2.22377669037346	7.64571699855532e-06	0.103191412041708

F81	2.01769843567257	6.82524157904254e-06	0.524359209748639
F82	2.04296798644522	7.50266094252863e-06	0.110058290088691
F83	2.27499202300328	3.29809872766806e-06	0.0726675671754231
F84	2.14188504548777	6.59803193995713e-06	0.997091559961517
F85	0.233883421034576	0.000244909509064454	0.384597873167881
F86	0.263269496609678	0.000184743853187279	0.803051792290198
F87	0.387565846306098	0.000179672825330653	0.435865670865207
F88	0.155249517652362	0.000208217584745068	0.831609910152897
F89	0.291280899811831	0.00014009024158567	0.9835770012614
F90	0.299613817941107	0.000137093778871073	0.21609011250221
F91	0.222995825135615	0.000142375284753035	0.652914702803573
F92	0.431069800493282	0.000143039945852455	0.579319831276702
F93	0.405441411476376	0.000208950143895499	0.885965430766777
F94	0.211301609991463	0.0001554039594437	0.388807336569666
F95	0.159368136308031	0.000221630331959233	0.918500405745368
F96	0.331886690724174	0.000115470369629523	0.848302725779678
F97	0.379106551108067	0.000168176942820346	0.882779404671264
F98	0.0979983627416171	0.000161502837360805	0.301282870595498
F99	0.0719569809549025	0.000196198637074781	0.798396060159977
F100	0.079719478138848	0.000204588851935365	0.65215100114143
F101	0.3460761327301	0.0001126197217386	0.66025102385368
F102	0.295759438715592	0.000120713531468509	0.53614212048688
F103	0.401664789605339	0.000132638577464034	0.140667759370447
F104	0.373167600512888	0.000136278175361192	0.335536131782785
F105	0.284034805656829	0.000114200832237198	0.843386358036257
F106	0.184141641442997	0.000187273712402257	0.0668361067543581
F107	0.306696182898088	0.000124688684829476	0.334699443287378
F108	0.245957482092136	0.000215538189754067	0.49621778016328
F109	0.226758660301415	0.000165423235495041	0.797468003729634
F110	0.341220353662506	0.000136170977836488	0.722703414755523
F111	0.394643600681283	0.000131610426644799	0.78253240455291
F112	0.0375375037811171	0.00028041968716472	0.0934271215477655
F113	0.119833860008067	0.000134173811177763	0.946837188011361
F114	0.319853948467019	0.000143311613883174	0.213055545344238
F115	0.439378850450226	0.000109344729384533	0.438964014013132
F116	0.476865116422249	0.000111073608721802	0.969941597829431
F117	0.366537818589174	0.000123835572761185	0.338164041937324
F118	0.354350204553295	0.00105690155267175	0.918753866688253
F119	0.354325061051953	0.0011090155113561	0.439881439732286
F120	0.444375799496362	0.000118932115858886	0.356542531903125
F121	0.382955098499659	0.000109336859374464	0.359267587037658
F122	0.491009158446918	9.17846306702807e-05	0.244318677732697
F123	0.173331631026349	0.000195636507472829	0.436501658792891
F124	0.180027938776155	0.000154413723612348	0.885704945333331
F125	0.61385001125036	9.04736767964626e-05	0.541757377927166
F126	0.3338348953947	9.7340123795587e-05	0.795678689213245
F127	0.322811239051748	0.000114472577279251	0.149883789389907

F128	0.418216519631026	0.000107266183612499	0.961986233710067
F129	0.428724690420619	0.000137001172072038	0.426846856197239
F130	0.462536782332862	0.000105453820897546	0.416783727976907
F131	0.522262817835996	7.68458652544662e-05	0.234827423939173
F132	0.144151964758896	0.000106388568021474	0.424900076142432
F133	0.12670534056586	9.75642059661544e-05	0.985463923267822
F134	0.568843852371294	7.48456872165298e-05	0.772161510316807
F135	0.344132683986697	9.98874121724511e-05	0.663918431784441
F136	0.157152490962509	0.000145855482686379	0.465422566443619
F137	0.649612425076229	7.64462687019182e-05	0.330903017009491
F138	0.465316079718336	9.20441994532847e-05	0.371787017477809
F139	0.40996602846934	9.99765746289746e-05	0.551279681458893
F140	0.536559233333436	7.01906544902886e-05	0.251528180093536
F141	0.266699317585276	8.18203116852865e-05	0.360092003000999
F142	0.0524436869766874	0.000195485780519084	0.199469901360465
F143	0.631977012341346	6.93215769274808e-05	0.338018472855197
F144	0.575943518966428	7.65788942848067e-05	0.6403310003574
F145	0.601918222303857	9.47631732045203e-05	0.256072796463346
F146	0.59799454274992	0.000108804728653743	0.694687202303598
F147	0.599218747754531	9.16494521767229e-05	0.378329719794919
F148	0.557218574680152	7.06771471064866e-05	0.671715598976355
F149	0.309409257281118	8.48586827849642e-05	0.352853688550095
F150	0.0624064652059109	0.000208482995770917	0.549867596210855
F151	0.271950163386428	7.2488903350897e-05	0.747442250010317
F152	0.0940616149643464	0.000108574525029321	0.579935037211349

Tablo 2. KIC 7899428 yıldızının frekans analizi sonuçları. Işık eğrisinin PERIOD04 programı ile yapılan analizinden elde edilen tüm frekans değerleri sunulmuştur.

Frekans Sırası	Frekans [gün^{-1}]	Genlik [akı]	Evre [gün]
F1	0.0864967512795899	0.136480379743552	0.169281784591727
F2	0.0865328478837103	0.134490793559951	0.659060113802315
F3	0.173913773033614	0.0110986684955751	0.585821695887708
F4	0.175316133058211	0.00473878441610351	0.379999385862025
F5	0.0854755352278557	0.00654711466153218	0.783572249773323
F6	0.0897622500515689	0.0044173547925012	0.825535072357433
F7	0.174446626781862	0.00609873007913206	0.505304064866045
F8	0.0873351622435311	0.0541304909910708	0.0464757584738987
F9	0.0906920465670217	0.0473048430222266	0.809980638910404
F10	0.176963178654392	0.00235056552717486	0.690273195453251
F11	0.0882057741487104	0.00315073789345358	0.633738114879388
F12	0.00373620110104331	0.00209256681812533	0.423541902598331
F13	0.0838758104496672	0.047822076227257	0.0847353340414999
F14	0.17319832526622	0.00202033237184334	0.485590756935622
F15	0.00311923495080056	0.00185628194596552	0.461160364871486
F16	0.00796581106413504	0.00179839349363654	0.955319297885946
F17	0.00965260453267762	0.0552179879337525	0.440449779227331
F18	0.000929941374024298	0.00126227091186532	0.584472133829385
F19	0.178697701513022	0.00126736535196302	0.597843607748603
F20	0.00959768175712414	0.0760376820706806	0.994475565977968
F21	0.0806146759743921	0.0141247638359723	0.990937493089525
F22	0.261265751270271	0.00110801826993126	0.221994763147331
F23	0.0140076541638951	0.000739627883948926	0.132840229373348
F24	0.262677650581846	0.00104580277049083	0.402856573214526
F25	0.00648538690160323	0.00116996977275188	0.394052550229827
F26	0.0907103943814421	0.0465724292662239	0.295943172075946
F27	0.082284570889044	0.00122314816440239	0.864616029496243
F28	0.0054383703396804	0.00100167367337836	0.507070857058432
F29	0.0127083118416478	0.0171803417006914	0.270428037470269
F30	0.0838531929981067	0.0471362725377125	0.602437808905393
F31	0.171720451239731	0.000909691873651357	0.64860724366164
F32	0.0787626632335476	0.0295055282188648	0.276443740658233
F33	0.0164095287990294	0.000958159546428432	0.601976182079118
F34	0.0923988512264736	0.000707920779959237	0.452210727429194
F35	0.0152588846941545	0.000814193878971938	0.708691344070639
F36	0.0770613709353101	0.0260513784294018	0.756985367748257
F37	0.0787748802269561	0.0292357123182781	0.76959827456109
F38	0.0968042292721154	0.0257874825833511	0.833973827046888
F39	0.00945962977958981	0.0221779642603942	0.62499243464554
F40	0.0239754007570814	0.000673512636306751	0.922883351662609
F41	0.348860146324051	0.000652541874512105	0.184012768966385

F42	0.0126737247416715	0.0180910377279914	0.808541300125752
F43	0.00193176556484319	0.000559146994444441	0.242064649052145
F44	0.170231314825036	0.0132177198929708	0.0387593214448046
F45	0.178108017350154	0.000576156144386673	0.683724932366527
F46	0.0955872847366162	0.000397981297094274	0.66785774846172
F47	0.0213034271673138	0.0070819056118422	0.87379703437486
F48	0.0968139279012176	0.0258217314090048	0.325827039952262
F49	0.0770470495607236	0.0258505200641605	0.26996852541344
F50	0.168818499793307	0.000468017829136502	0.554060009753223
F51	0.262045332671972	0.000591516834401376	0.571775117126974
F52	0.186839645281396	0.000352898689707461	0.00557717982896672
F53	0.347953834865433	0.000381297669530186	0.815077079255664
F54	0.180770221839285	0.000473675052187286	0.289090824530107
F55	0.0458306059439573	0.000325307438008308	0.139419565331292
F56	0.0442205780156565	0.000242449546230015	0.948842533087202
F57	0.0329332636250309	0.000370466221128237	0.957849355946858
F58	0.104244432053771	0.000375893058264959	0.073271688983817
F59	0.0544479034060329	0.000346892144449471	0.46221737467879
F60	0.040897191144773	0.0161600192890035	0.751809046091311
F61	0.0663571208684746	0.000322352688631072	0.210376053156933
F62	0.1096406990801	0.00043940882771314	0.142874522355748
F63	0.027076108057741	0.000338005700621435	0.898930994475555
F64	0.0279679151313577	0.000219692534810272	0.991476090326331
F65	0.102496174450114	0.000329466045566012	0.00763168586186206
F66	0.183425607979506	0.000299153331094468	0.52334265261276
F67	0.0726934561386274	0.000354985695981457	0.825748850148935
F68	0.0981577207181954	0.000245455683346701	0.310521432972757
F69	0.259554839680896	0.000377021827113229	0.056579839482459
F70	0.351210416335333	0.000304074797430416	0.150168554800624
F71	0.0703345121013275	0.000491268907792972	0.685055224375508
F72	0.25844094696521	0.000371894283682566	0.189701404863042
F73	0.170217665332285	0.0131546219367544	0.543526936022445
F74	0.0736886657902084	0.000499365767547226	0.111013405586753
F75	0.031631875943133	0.0032706610525487	0.339050467749815
F76	0.180189126811256	0.000426498416780727	0.210952492866272
F77	0.166614807842509	0.000303680627311709	0.382820656204538
F78	0.264898941325196	0.000344362281828268	0.183540786831304
F79	0.0942128230619979	0.000370352565390171	0.442898749449571
F80	0.0617203565742734	0.000319067642990841	0.970421525978676
F81	0.0408877904932296	0.0162872295231368	0.259529009105665
F82	0.0374261071558599	0.000286307367187556	0.534269415081485
F83	0.0488093263942796	0.000378393476292904	0.154892520210814
F84	0.0671672689508205	0.000327731223840082	0.811399699273158
F85	0.163118493726825	0.00026980800014061	0.344842675405259
F86	0.108200198052074	0.000285167264679215	0.885656688492501
F87	0.0182043108150833	0.000425227860541125	0.484119097698753
F88	0.0301014431526232	0.00584395235122501	0.92457501125821

F89	0.114749308161277	0.000281959075459439	0.583932042220324
F90	0.0806317606364302	0.0132723868873663	0.467767151598166
F91	0.0577203287564533	0.000295721598588363	0.864513159810875
F92	0.0199265622921166	0.000359610222240988	0.18592052702396
F93	0.00451339324938412	0.000368221254745881	0.459541509278631
F94	0.0343311413926099	0.000299398511834623	0.622021625280668
F95	0.111279592767318	0.00023967766683459	0.921119935156212
F96	0.100344957877155	0.000280881181103851	0.189220474932667
F97	0.263963809667236	0.000333771527481694	0.956202599566321
F98	0.347334496501214	0.000316805463230038	0.126211584035237
F99	0.182209093264328	0.000316960322241275	0.0368014158088802
F100	0.0683343634341191	0.000203953789152672	0.645457828340307
F101	0.115400579138389	0.000226664923872839	0.729305488956882
F102	0.0641197213526193	0.000177079025804811	0.98162146268368
F103	0.436213874518941	0.00020994108663458	0.540986630682911
F104	0.155088904730146	0.000210923927349572	0.75920797656974
F105	0.0505259333060824	0.000226983495936713	0.977721403981726
F106	0.0990492477582195	0.000240238164513902	0.362661896462685
F107	0.0605028330759135	0.000254724089402983	0.61383431404114
F108	0.0121597614099616	0.00172695983724622	0.844796122636412
F109	0.185524895160058	0.00020552860442119	0.864068961310251
F110	0.0213313060526856	0.00689078453161289	0.346378753404424
F111	0.0657364761569799	0.00037221585834775	0.19911441728377
F112	0.120945414195209	0.00021115232674487	0.923661251822175
F113	1.19425713396643	4.17336157561322e-05	0.48793705220798
F114	0.0929916028522625	0.000385111490110721	0.112957449735377
F115	0.151863620725236	0.000188083397279366	0.195430571142439
F116	0.113881656473312	0.000181065710566621	0.114465245193036
F117	0.164389695806645	0.000206287924588794	0.513131994962083
F118	0.16186996308796	0.000197422058413846	0.713944841895378
F119	0.0717162654021483	0.000981157316260007	0.623036394314096
F120	0.256151866435432	0.000173640423009862	0.194666938851509
F121	0.141346023448973	0.000181159506728433	0.841104099756087
F122	0.134041311617302	0.000145476732927686	0.70933509048108
F123	0.201743925045023	0.000162336907916165	0.401449277649753
F124	0.0522240906944324	0.000202659843061074	0.147870700289277
F125	0.0301268821215147	0.00563211420066848	0.399151767159713
F126	0.0252395599265769	0.000219740350447361	0.718757943216723
F127	0.522348392240396	0.000148779315421526	0.859934338658236
F128	0.157152694008396	0.000169803020374707	0.217056820031965
F129	0.0433807742333065	0.000192108767742291	0.449109761612038
F130	0.0315934057128878	0.00329981521500533	0.869144309498464
F131	0.0533298796746838	0.000191299004863313	0.419156391323979
F132	0.131762641947408	0.00016177859471709	0.978451794738558
F133	0.355020094507511	0.000162614777200885	0.588406691789567
F134	0.351963146735948	0.000163709562713488	0.822835541843185
F135	0.0718643646443508	0.000990094772969366	0.0322244651992278

Tablo 3. KIC 6269092 yıldızının frekans analizi sonuçları. Işık eğrisinin PERIOD04 programı ile yapılan analizinden elde edilen tüm frekans değerleri sunulmuştur.

Frekans Sırası	Frekans [gün^{-1}]	Genlik [akı]	Evre [gün]
F1	0.0618945735666555	0.0233541836230197	0.59949399881881
F2	0.0607454748042019	0.0176771928087129	0.215098898423232
F3	0.122338736875291	0.015794057424004	0.770486944533029
F4	0.123176129277824	0.0112087175338483	0.295003807104749
F5	0.0638491141722196	0.00929896665724221	0.615999064079444
F6	0.0598974477440267	0.0138309422991737	0.894588532824141
F7	0.12074349110369	0.00616235786605733	0.876618951760504
F8	0.0624227712378909	0.0107840196552894	0.804252667091581
F9	0.00791865728169945	0.00534442684030807	0.960907436475788
F10	0.121920379608784	0.0105300240213409	0.643261717206561
F11	0.126687113720748	0.00318420279729174	0.545059530569866
F12	0.00699045456588991	0.00429371035039116	0.522437210927381
F13	0.0656923753493571	0.00454508059640267	0.691804539864129
F14	0.0563232378622388	0.00693392126194052	0.0071623947337186
F15	0.00353318523238597	0.00440335654090647	0.455385022830634
F16	0.12570134466804	0.69231398514501	0.00749280942992615
F17	0.0573342133491208	0.00483710458249216	0.182326134633782
F18	0.0663650256060631	0.00323256217229113	0.0996664938524646
F19	0.0523316930928819	0.107746633368613	0.127475807673823
F20	0.0142967733473336	0.00221554265252943	0.13255159842324
F21	0.0099860445629682	0.00251043423668099	0.120863001053365
F22	0.185437577259674	0.00249802899109119	0.707830904081282
F23	0.125698793007087	0.691325277645855	0.509254570052254
F24	0.0512537831488083	0.00268145218691841	0.463843653525202
F25	0.0538594079881095	0.0039091203557757	0.177344397816198
F26	0.119869613735692	0.00230484802670945	0.596045871475788
F27	0.0224350972267651	0.00156337828102526	0.23613228146808
F28	0.0108670118813	0.00237305933673709	0.505861523178269
F29	0.138655169687227	0.00185673449651032	0.559982290339192
F30	0.0581811792258679	0.00251255873915447	0.184990183052717
F31	0.0757551301341081	0.00147645323069086	0.930004903591606
F32	0.0133585689587715	0.00182133670345194	0.50604751040963
F33	0.183832584897766	0.00160032413020645	0.630189535590247
F34	0.184975101996951	0.0018413747143255	0.769242204393185
F35	0.0708795696404834	0.00235412897428316	0.170285585900359
F36	0.0308586716762156	0.00139444873191104	0.550815198411489
F37	0.0723635271557378	0.292846855996299	0.218883106156393
F38	0.0670920604745083	0.00251020835954638	0.740430662993157
F39	0.0403206473089853	0.000942570318026701	0.616438859091764
F40	0.132260157053746	0.000914489376515475	0.967594817902331

F41	0.0225419802146398	0.00135146759508055	0.850579718178881
F42	0.114631662126775	0.00106037315434188	0.971458988781668
F43	0.0477262798878936	0.00131953655019246	0.718136063497511
F44	0.0723254132255137	0.146495164491386	0.757113003359403
F45	0.00133437857061245	0.0736503168133177	0.375581867780717
F46	0.0329699162379363	0.00101390508627476	0.583491633126709
F47	0.029732274039213	0.000974767229925745	0.248755791409598
F48	0.188676781561509	0.000639238212100256	0.417965036763486
F49	0.132966145301356	0.000725582964596342	0.676388574334952
F50	0.00568713270967942	0.000879824990998817	0.394670498438465
F51	0.0774273716331454	0.00101487313542217	0.829160729895921
F52	0.124327155069047	0.00207130567675207	0.0930737716307258
F53	0.182075575151888	0.0010258821860118	0.0872953303425266
F54	0.0819858183274465	0.00195390130449795	0.118450101091615
F55	0.0263971363505815	0.00123745713720649	0.0792549106574635
F56	0.245940063096354	0.00090735439606365	0.39434681258181
F57	0.246292470861967	0.000810765084791028	0.777176019493064
F58	0.037057098542262	0.00142622809840488	0.426184030571548
F59	0.0362634702988592	0.000949742245567266	0.157880496096569
F60	0.118957877497946	0.00175065781412976	0.525332586596837
F61	0.0150416863347196	0.00127115555939052	0.372594858798818
F62	0.112970478184383	0.000906818508929798	0.433578586959421
F63	0.180377807153917	0.000763688304085729	0.958871159528018
F64	0.306641023043343	0.0397793062844748	0.754523905089523
F65	0.00134452123045244	0.0729855511634618	0.866792542797747
F66	0.0832206320300696	0.0011205951409353	0.953486389575529
F67	0.0256513966328297	0.00108360856370065	0.77547404960771
F68	0.0937873569410075	0.000564377219861841	0.393330076129718
F69	0.0843471841861439	0.0016358461549919	0.106193690629866
F70	0.0341577446800663	0.000790797258664085	0.796185508362395
F71	0.0948866432213716	0.000850185028218389	0.635174110401325
F72	0.0976650086499665	0.0293758079001421	0.406182369528803
F73	0.245115899905883	0.000634540679558635	0.942908365393684
F74	0.10350610106857	0.000491880776270266	0.845778960756657
F75	0.0169400430328373	0.000500342125018673	0.317927681586177
F76	0.145917079151866	0.000458084670405482	0.642405962058466
F77	0.186748516181609	0.0267496315709651	0.345434674088745
F78	0.0437144268394832	0.000422423358406485	0.943060904559664
F79	0.24763445947429	0.00049524395673112	0.319822818776651
F80	0.0523246695958187	0.105888764321307	0.63407295726248
F81	0.0212345188114778	0.00086240252822779	0.822482688072261
F82	0.128531078071778	0.00054548518242409	0.0956492756456581
F83	0.108328499998166	0.00042746479723885	0.703738065439557
F84	0.0184256736893695	0.000572373390095293	0.240022198795554
F85	0.370642480199619	0.0229070469809091	0.305078254154579
F86	0.169736919056363	0.000269079102265118	0.999283494526521
F87	0.305323508871378	0.000402158736562001	0.523340977998386

F88	0.087042093070363	0.000798432476017956	0.769128519279178
F89	0.0792536386722344	0.000979015559165559	0.543962089120861
F90	0.135490967816179	0.000466025564027826	0.107790788200523
F91	0.195641933527582	0.000384358727597753	0.970619279711044
F92	0.115873824573901	0.000964800867533244	0.0224204249823617
F93	0.148082045120535	0.00046044500097523	0.710283399881516
F94	0.0416822066060805	0.000581050123988674	0.796187315001601
F95	0.072399173354301	0.147406383159435	0.682742490489397
F96	0.181487618478976	0.000770514916501485	0.780305328638254
F97	0.106260378922416	0.000535674374598248	0.443300638174536
F98	0.0916996571425192	0.000511883395792704	0.0749383442989536
F99	0.308889125767263	0.000271190425552488	0.676534635121279
F100	0.104731533660278	0.000485580603400625	0.226574376468429
F101	0.369610560853423	0.000275758017697456	0.305422991285781
F102	0.1767850509683	0.000299039399944494	0.786682852501115
F103	0.240889651557398	0.000267210084263111	0.399317565517869
F104	0.109681207170937	0.000440822640161833	0.755181535587209
F105	0.13993387336527	0.000601599109435841	0.545622238058328
F106	0.165647952807698	0.00036582010106663	0.627900119580933
F107	0.309864217758905	0.000302591115062211	0.621985742978901
F108	0.0961543768872735	0.000469492554257777	0.865677691298146
F109	0.142802117094769	0.000577319108815261	0.125323600895523
F110	0.20585929247477	0.00026569423362801	0.714062250365253
F111	0.0445711707809454	0.00037751024611704	0.445355880053183
F112	0.370635179774137	0.0228625630177816	0.811073646547239
F113	0.306635409938141	0.0395188102953199	0.259940883666661
F114	0.215828638696965	0.000204840698513658	0.771473787351508
F115	0.160490885572962	0.000251718839995086	0.0365716858569413
F116	0.429147175329068	0.000267584430420791	0.519843970906886
F117	0.431753623402955	0.000228154566570133	0.328614147972336
F118	0.186754525976221	0.0266208921050152	0.835589695558749
F119	0.151706503131309	0.00027173310315723	0.310765117384039
F120	0.206577752679627	0.000232402824142005	0.827294613717813
F121	0.249656927059268	0.000310176979796684	0.619649580471562
F122	0.16249020466891	0.000327236437316419	0.249928640554447
F123	0.145036521957128	0.000343192409841179	0.150643888086892
F124	0.0908767904163211	0.000321870812626336	0.613533030963146
F125	0.193157979889586	0.000266481610353669	0.901714882801479
F126	0.0976708483169729	0.0293157349658673	0.902436159845709
F127	0.334737364919105	0.000179209515536748	0.1596658379455
F128	0.27228976383568	0.000199496770106276	0.508384524340241
F129	0.294549078298792	0.000176460439094569	0.650026711626405
F130	0.170595801144941	0.000217867710045415	0.411608568578413
F131	0.365830667912997	0.000164409666030569	0.539703480677375
F132	0.202409006988149	0.000176450263719215	0.481793891315866
F133	0.373203689610172	0.000186326103138377	0.370157533439548
F134	0.430524727647743	0.000171713054464582	0.501624231651132

F135	0.251143646666934	0.000186850523497452	0.977340657192067
F136	0.00459522211346328	0.000408484219994564	0.923817867471135
F137	0.0810827844031834	0.000289908403492027	0.0295586435813634
F138	0.302022033682711	0.000171353240321745	0.785049237162033
F139	0.233017151052027	0.000160430089145685	0.354149242522232
F140	0.242613066537232	0.0002264899186047	0.116024313981297

Tablo 4. ASAS Kepler FoV'daki CEP türü olarak sınıflandırılmış yıldızların katalog bilgileri.

No.	ID	RAd	DEC	V	I	V-I	J	J-H	H-K	Type	Period	V_{amp}	I_{amp}
-	-	[deg]	[deg]	[mag]	[mag]	[mag]	[mag]	[mag]	[mag]	-	[days]	[mag]	[mag]
1	184608+4400.7	281, 53366	44, 01005	8, 447	-	-	4, 764	1, 06	-	QPER/CEP	29, 8	0, 29	-
2	184706+4340.6	281, 7762	43, 67623	11, 215	9, 958	1, 257	9, 041	0, 58	0, 164	QPER/CEP	19, 91	0, 22	0, 2
3	185804+4022.5	284, 51671	40, 37428	11, 192	10, 006	1, 186	9, 395	0, 619	0, 143	QPER/CEP	24, 05	0, 22	0, 12
4	190148+3807.0	285, 45087	38, 11722	13, 55	12, 254	1, 296	11, 356	0, 608	0, 117	CEP/QPER	29, 57	0, 31	0, 38
5	190254+4139.5	285, 72487	41, 6587	12, 787	11, 465	1, 322	10, 614	0, 584	0, 184	QPER/CEP	16, 51	0, 26	0, 2
6	190411+3746.1	286, 04593	37, 76968	12, 269	10, 391	1, 878	9, 169	0, 831	0, 202	QPER/CEP	59	0, 3	0, 24
7	190449+4452.3	286, 20517	44, 87161	12, 301	9, 289	3, 012	7, 547	0, 889	0, 287	QPER/CEP	24, 27	0, 24	0, 1
8	190522+4328.0	286, 34371	43, 46751	12, 687	11, 716	0, 971	11	0, 498	0, 119	QPER/CEP	10, 817	0, 43	0, 29
9	190534+3920.1	286, 3909	39, 3344	12, 547	11, 909	0, 638	11, 185	0, 453	0, 123	EA/EW/CEP	11, 262	0, 16	0, 28
10	190819+4712.8	287, 07837	47, 21338	12, 136	11, 148	0, 988	10, 532	0, 481	0, 118	CEP/PER	4, 8685	0, 16	0, 23
11	191806+5011.8	289, 52396	50, 19691	9, 58	8, 196	1, 384	7, 238	0, 628	0, 175	PER/CEP	12, 782	0, 14	0, 1
12	191854+4349.5	289, 725	43, 8242	12, 746	11, 411	1, 335	-	-	-	CEP/PER	4, 1343	0, 22	0, 35
13	192152+4911.9	290, 46725	49, 19864	14, 443	13, 094	1, 349	11, 921	0, 694	0, 156	CEP/PER	3, 4521	0, 54	0, 68
14	192345+5116.2	290, 93742	51, 26995	12, 636	11, 446	1, 19	10, 541	0, 549	0, 15	CEP/PER	13, 367	0, 51	0, 35
15	193726+4146.7	294, 3583	41, 7775	11, 245	10, 139	1, 106	-	-	-	PER/CEP	5, 212	0, 1	0, 07
16	193836+4341.5	294, 64956	43, 69206	11, 503	10, 506	0, 997	9, 731	0, 471	0, 137	PER/CEP	11, 573	0, 09	0, 08
17	194815+4307.6	297, 0644	43, 12688	9, 174	8, 12	1, 054	7, 417	0, 368	0, 13	CEP	4, 926	0, 38	0, 24
18	194852+3942.8	297, 21482	39, 71367	11, 723	10, 283	1, 44	9, 345	0, 677	0, 175	QPER/CEP	30, 83	0, 25	0, 17

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Mehmet Oğuzhan ERTURAN
Uyruğu : Türkiye (T.C.)

EĞİTİM

Derece	**Kurum**	**MezuniyetYılı**
Lisan	Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü	2014
Lise	Mustafa ERASLAN Lisesi	2010
İlkokul	Şükrü BAŞYAZICIOĞLU İlköğretim Okulu	2006