

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI ZONKLAYAN YILDIZLARIN
TAYFSAL ANALİZİ

Fahri ALIÇAVUŞ

Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 25.07.2011

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Osman DEMİRCAN

ÇANAKKALE

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Fahri ALİÇAVUŞ tarafından **Prof. Dr. Osman DEMİRCAN** yönetiminde hazırlanan “**Bazı Zonklayan Yıldızların Tayfsal Analizi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Osman DEMİRCAN

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Faruk SOYDUGAN

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. İbrahim BULUT

Jüri Üyesi

Sıra No:

Tez Savunma Tarihi: 25 Temmuz 2011

Prof. Dr. İsmet KAYA

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Fahri ALIÇAVUŞ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında benden hiçbir yardımı esirgemeyen danışman Hocam Prof. Dr. Osman DEMİRCAN, Doç. Dr. Faruk SOYDUGAN ve Doç. Dr. Esin SOYDUGAN'a, ayrıca t¼m b¼l¼m arkadaşlarıma teŐekk¼r ederim.

Tez çalıŐmasındaki yıldızların verilerini d¼zenlememde bana yardımcı olan ArŐ. Gör. Filiz KAHRAMAN' a ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teŐekk¼rlerimi sunarım.

Fahri ALİÇAVUŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

- M_{\odot}** : Güneş Kütlesi
 R_{\odot} : Güneş Yarıçapı
 P_{zonk} : Zonklama Dönemi
 T_e : Yıldız Yüzeyinin Etkin Sıcaklığı
 Q : Gün Birimde Zonklama Sabiti
 M_{bol} : Bolometrik Parlaklık
S/N: Sinyal / Gürültü Oranı
R: Tayfsal Çözümleme Gücü
P: Basınç
N: Avagadro Sayısı
T: Sıcaklık
i: Dönme Eksen Eğikliği
CCD: Charge Coupled Device
vsini: Ekvatoriyel Dönme Hızının İzdüşümü
 v_{th} : Isısal Hız bileşeni
 v_p : Zonklamamın hız genliği
 v_{Ω} : Dönme Hızı
H-R: Hertzsprung-Russell Diagramı
ZAMS: Sıfır Yaş Anakolu
g: Çekim ivmesi
m: Azimutal Mertebe
l: Küresel Harmonik Derece
n: Dikine Mertebe
m: Parlaklık (Kadir Cinsinden)
f: Zonklama Frekansı
A: Zonklama Genliği
 Φ : Evre
 σ : Hata Payı
HJD: Heliocentric Julian Day
UT: Universal Time
h: Plank Sabiti
 λ : Dalga Boyu

ÖZET

BAZI ZONKLAYAN YILDIZLARIN TAYFSAL ANALİZİ

Fahri ALIÇAVUŞ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Osman DEMİRCAN

25.07.2011, 48

Bu tez çalışmasında, seçilen bazı zonklayan yıldızların tayflarında meydana gelen değişimler incelenerek yıldızların zonklama özellikleri belirlendi. Tez çalışması kapsamında FG Virgo, Epsilon Cephei yıldızları incelendi. Hedef yıldızların tayfları 1996–2004 yılları arasında “*ELODIE*” tayfçekeri ile elde edilmiş ve uluslararası kullanıma serbest bırakılmış Elodie (Moultaka ve ark. 2004) arşivinden alındı. Arşivden elde edilen tayflar IRAF programı ve bu programın alt paketleri yardımı ile işlenerek analize hazır hale getirildi. Yıldızların mod analizlerinin ve zonklama yapılarının ortaya çıkarılması ise “*FAMIAS*” (Zima, 2008) programı yardımı ile yapıldı.

Tez kapsamında tayfları incelenen Epsilon Cephei’ nin mod analizi FAMIAS programı kullanılarak ilk kez detaylı bir şekilde incelendi ve zonklama özellikleri ayrıntılı olarak belirlendi.

Anahtar Sözcükler: Zonklayan yıldızlar, Tayf analizi, Mod analizi, FG Vir, Epsilon Cep

ABSTRACT

SPECTRAL ANALYSIS OF SOME PULSATING STARS

Fahri ALIÇAVUŞ

Canakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Science and Engineering

Chair for Space Sciences and Technologies Thesis of Master of Science

Advisor: Prof. Dr. Osman DEMİRCAN

25.07.2011, 48

In this thesis, we search some selected pulsating stars' spectrum which show change and determine their pulsating properties. For this purpose, we analyze FG Virgo and Epsilon Cephei Stars' spectrums. The spectrums are obtained in "ELODIE" spectrograph from 1996 to 2004 and they are presented for public use in ELODIE (Moultaka et. al. 2004) archive. We collected the data of the selected stars in this archive and analyze the data by means of IRAF package and its subpackages. Then we made their mode analysis by using "FAMIAS" (Zima, 2008) program.

During this study, we made mode identification and characteristics of pulsation analysis of Epsilon cephei with FAMIAS program for the first time.

Keywords: Pulsating stars, Spectral analysis, Mode analysis, FG Vir, Epsilon Cep

İÇERİK	Sayfa
TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
BÖLÜM 1 – GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Zonklayan Yıldız Türleri.....	3
2.1.1. 53 Güneş Türü Zonklama Gösteren Yıldızlar.....	4
2.1.2. Gamma Doradus Yıldızları.....	6
2.1.3. Delta Scuti Yıldızları	8
2.1.4. roAp Yıldızlar	9
2.1.5. Yavaş Zonklayan B Yıldızları (SPB).....	10
2.1.6. Beta Cephei Yıldızları	11
2.1.7. RR Lyr Yıldızları	12
2.1.8. Sefeid Türü Zonklayan Yıldızlar	14
2.1.8.1. Tip II Sefeidleri	14
2.1.8.2. Tip I Sefeidleri	14

2.1.9. Mira Yıldızları ve Yarı Düzenliler	15
2.1.10. Beyaz Cüce Zonklamaları	16
2.2. Zonklamanın Yapısı.....	18
2.2.1. Kuantum Sayıları	18
2.2.2 Dikine ve Dikine Olmayan Zonklamalar	18
2.2.3 Çekim, Basınç ve Temel Modlar.....	20
BÖLÜM 3 – METARYEL ve YÖNTEMLER	22
3.1. Mod Tanımlama	22
3.2. Çokrenk Işıkölçüm Yoluyla Mod Tanımlama	22
3.2.1. Watson Yöntemi	23
3.2.2. Uzaysal Filtreleme Yöntemi	24
3.3. Tayfsal Mod Tanımlama	24
3.3.1. Moment Yöntemi	26
3.3.2. Pikselden Piksele Yöntemi	27
3.4. FAMIAS ve Mod Analizi	29
3.4.1. Fotometrik Mod Analizi	29
3.4.2. Tayfsal Mod Analizi	29
BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Tayf Analizi	31
4.2. FG Virgo	31
4.3. Epsilon Cephei	37

BOLÜM 5 – SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	45
Çizelgeler	I
Şekiller	II
Özgeçmiş	IV

BÖLÜM 1**GİRİŞ**

Yıldızlar görünür evrenin temel bileşenleridir. Yıldızların ne şekilde evrimleştiklerini ve içyapılarını anlamamız, gökadalara oluşumunu ve evrimini anlamamızda çok önemli bir role sahiptir. Yıldız kümesi çalışmaları bize yıldızların evrimleri ve kimyasal kompozisyonları ile ilgili genel bilgiler vermektedir ancak yıldız yapılarındaki fiziksel süreçler hakkında bilgiler verebilecek yeterlilikte duyarlılığa sahip değildir. Günümüz teknolojiyle, sadece zonklamalar yıldız içlerinin fiziksel yapısının test edilmesini ve dolayısıyla yıldız evrim teorilerinin testinin yapılmasına olanak sağlamaktadır (Daszynska-Daszkiewicz, 2009). Metal bolluğu, ısıtma, yüzey çekimi ve etkin sıcaklık gibi klasik olarak gözlemlenebilen parametreler yıldızların içyapıları hakkında ve temel yıldız parametrelerinin belirlenmesi için kendi başlarına yeterince bilgi içermezler ve yeterince duyarlı değildirler. Buna karşın zonklama frekansları, yıldız içyapısını detaylandırma da çok duyarlıdır.

Zonklama tayflarının teorik modellerden hesaplanmış parametreler ile karşılaştırılması yapılarak yıldız kütleleri, çapları, sıcaklıkları, ısıtmaları, metal bollukları gibi küresel yıldız parametrelerini oldukça yüksek bir doğrulukta elde etmek mümkündür. Özellikle de manyetik alan, kütle kaybı, ışınım basıncı, opasite (saydamsızlık), nükleer reaksiyon oranları ve konveksiyon gibi teorik modellerde kullanılan fiziği geliştirmeyi mümkün kılmaktadır (Thoul, 2009). Bazı değişen yıldızların katmanları belirli dönem aralıkları ile daralır ve genişler. Bu yıldızlara “Zonklayan Değişen Yıldızlar” denir. Zonklayan yıldızlar özelliklerine göre Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramı üzerinde farklı bölgelerde yer almaktadır. Bu çeşitlilik sayesinde yıldız evriminin hemen her aşamasındaki farklı türden yıldızlar incelenebilmektedir.

Dönemsel değişen yıldızların varlığı 16. yüzyıldan bu yana bilinmektedir. İlk olarak Alman David Fabricius tarafından gözlenen O Ceti, gözlem sırasında gözden kaybolmuştur. Bu özelliği ile dikkat çeken yıldızın ileriki yıllarda, Jan Fokkens Holwarda tarafından ışığının değişim gösterdiği ve değişim döneminin yaklaşık 334 gün olduğu belirtilmiştir. Yıldızın bu özelliğinden dolayı Harika anlamına gelen “Mira” olarak adlandırılmıştır. Howarda, gözlenen Miradaki bu dönemli değişimin varlığı ile ilk zonklayan yıldız keşfetmiştir. Bu keşiften uzun yıllar sonra 1900’lerin başlarında Delta Sefeid türü zonklayan yıldızlar da keşfedilmiştir. Henrietta Leavitt’ in Dönem-Işıtma bağıntısını keşfetmesi ile zonklayan yıldızlar astrofiziksel araştırmalar için bir araç haline gelmiştir.

Bu keşiften beri klasik zonklayan yıldızlar astrofizik açısından oldukça önemli olan uzaklık bulmada kullanılan ender yıldızlar olmuşlardır.

Levitt' in klasik zonklayan yıldızlarda ki bu keşfini takip eden yıllarda zonklamaların matematiksel tanımlamasını ve zonklamaların arkasında yatan uyartıcı mekanizmaların tanımlanmasını yapmayı hedefleyen çalışmalar artmıştır. 60'lı yılların başlarında Güneşteki zonklamaların keşfi ve yorumlanması ile zonklayan yıldızlar açısından yeni bir çalışma alanı ortaya çıkmış ve çalışmalarda artış meydana gelmeye başlamıştır. Gelişen Güneş zonklama çalışmaları Güneşin içyapısı hakkında oldukça başarılı sonuçlar vermiş ve bu alanda yapılan çalışmalar '*Helioseismology*' (Güneş sismolojisi) olarak adlandırılmıştır (Gizon ve ark. 2008). Güneş üzerine yapılan çalışmaların başarısı göz önüne alınarak diğer yıldızlarda da benzer yöntemler kullanılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda yıldızlardaki zonklamalar kullanılarak içyapıları ve dinamikleri hakkında bilgi sağlayan bir dal olan '*Asteroseismology*' (yıldız sismolojisi) geliştirilmiştir. Bu sayede zonklayan yıldız sayıları oldukça artmıştır. İçinde bulunduğumuz bu yüzyılda CORALIE, HARPS, UCLES ve UVES gibi tam opsiyonlu yüksek çözünürlüklü tayfçekkerler ve CoRoT, Kepler gibi zonklama araştırmaları için uzaya gönderilen uyduların da katkısıyla astrosismolojide hızlı bir gelişim beklenmektedir.

Bu doğrultuda, tez kapsamında yapılacak olan bu çalışma, ülkemizde yeni bir çalışma alanı olmakla birlikte son yıllarda uzaya gönderilen temel araştırma alanı yıldız sismolojisi olan uyduların sayılarındaki artış ile önemi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışma ile birlikte bu alanda yapılabilecek çalışmalar ülkemiz açısından yeni bir adım olacaktır.

Zonklamaların çok farklı yıldız türlerinde ve evrim basamaklarında olabilmesinden dolayı zonklayan yıldızların incelenmesi yıldız evrimi ve yıldız içyapısının incelenmesi ve teorilerin testi açısından eşsiz bilgiler sunacaklardır.

Bu tez çalışması kapsamında, öncelikle 2. Bölümde zonklayan yıldız türleri tanıtılacak ve bu yıldızların genel özellikleri verilecektir. Daha sonra ki bölümde ise zonklamaların yapısı hakkında temel bilgiler verilecektir. Bölüm 4' te ise Mod tanımlama yöntemleri ve bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları tartışılıp, kullanılacak olan yazılım kısaca tanıtılacaktır. Daha sonraki bölümde ise tez kapsamında yapılan analizler ve analiz sonuçları verilecektir. Son olarakta, analizler sonucunda bulunan sonuçlar tartışılacaktır.

BÖLÜM 2

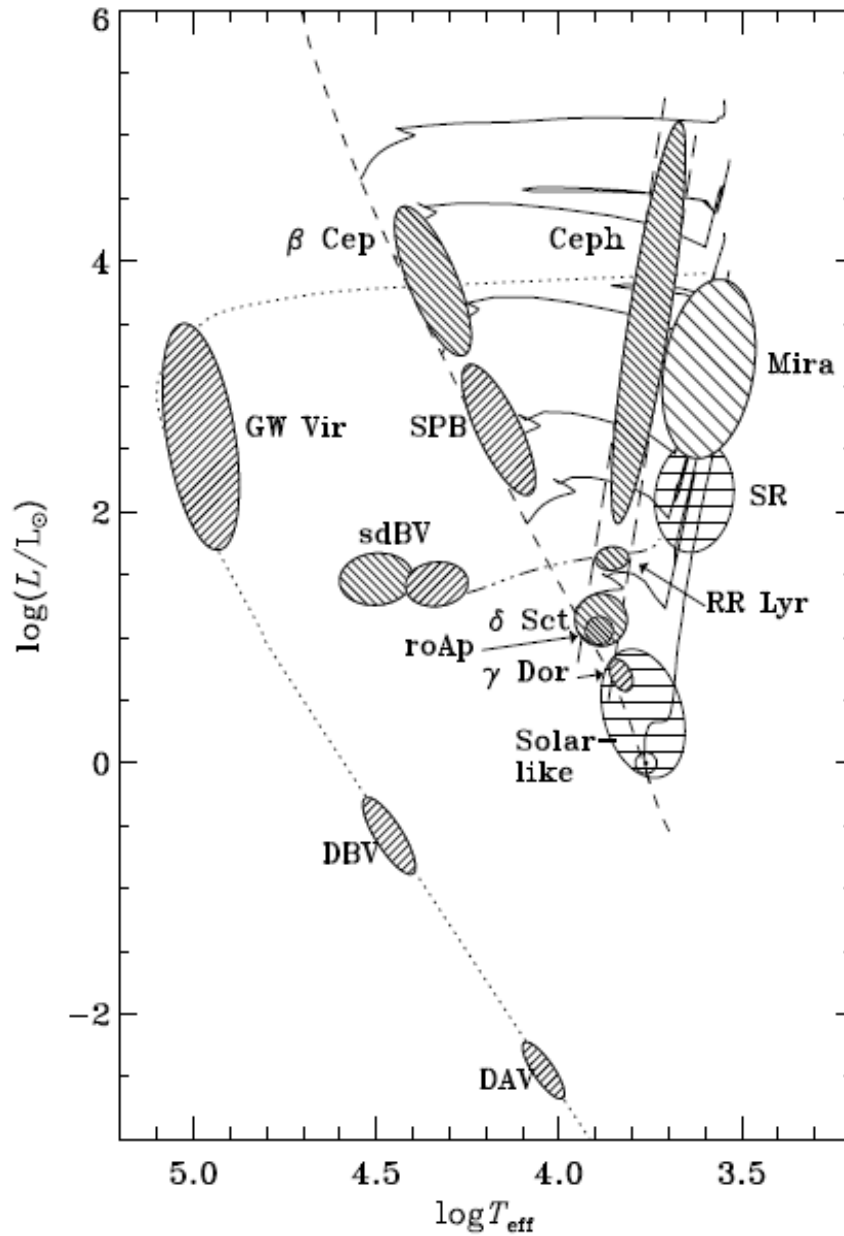
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Zonklayan Yıldız Türleri

Zonklayan yıldızların tayfsal ve fotometrik gözlemlerinden elde edilen parlaklık ve dikine hız değişimleri diğer değişen yıldız türlerine göre görünür farklılıklar göstermektedir. Genel olarak zonklayan yıldızların çoğunda çıkış kolu iniş koluna göre daha dik bir ışık değişimi sergilemektedir. Zonklayan yıldızlar ışık değişim genlikleri ve dönemleri göz önünde bulundurularak Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramı üzerinde çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar (Aerts ve ark. 2010):

- Güneş benzeri zonklama yapanlar
- Gamma Dorlar
- Delta scuti türü zonklayanlar ve roAp ler
- SPB zonklayanları
- Beta Cephei türü zonklayanlar
- RR Lyr türü zonklayanlar
- Cephei türü zonklayanlar
- Yarı Düzenliler (SR)
- Mira türü zonklayanlar
- Beyaz cüceler (PNNV, DOV, DBV, DAV)

Belirttiğimiz zonklayan yıldız çeşitleri Şekil 1’ deki H-R diyagramı üzerinde gösterilmektedir. Diyagramdaki türüne ismini veren yıldızların dışındaki kısaltmalar ise; Hızlı zonklayan Ap yıldızları (roAp), Yarı Düzenli değişenler (SR), Yavaş zonklayan B tayf türünden yıldızlar (SPB), Altcüce B değişenleri (sdBV), GW Vir bölgesinde ise Gezegenimsi Bulutsu çekirdek Değişenleri (PNNV) ve sıcak DO beyaz cüce değişenlerini içermektedir. DBV ve DAV yıldızları ise Değişen DB (helyumca zengin) ve DA (hidrojence zengin) beyaz cüceleri temsil etmektedir. Birbirine paralel uzun kesikli çizgiler Sefeid kararsızlık kuşağını gösterir. Ayrıca kısa kısa olan kesikli çizgiler ZAMS’ ı (Sıfır Yaş Ana kolu) göstermektedir (Cunha ve ark. 2007).



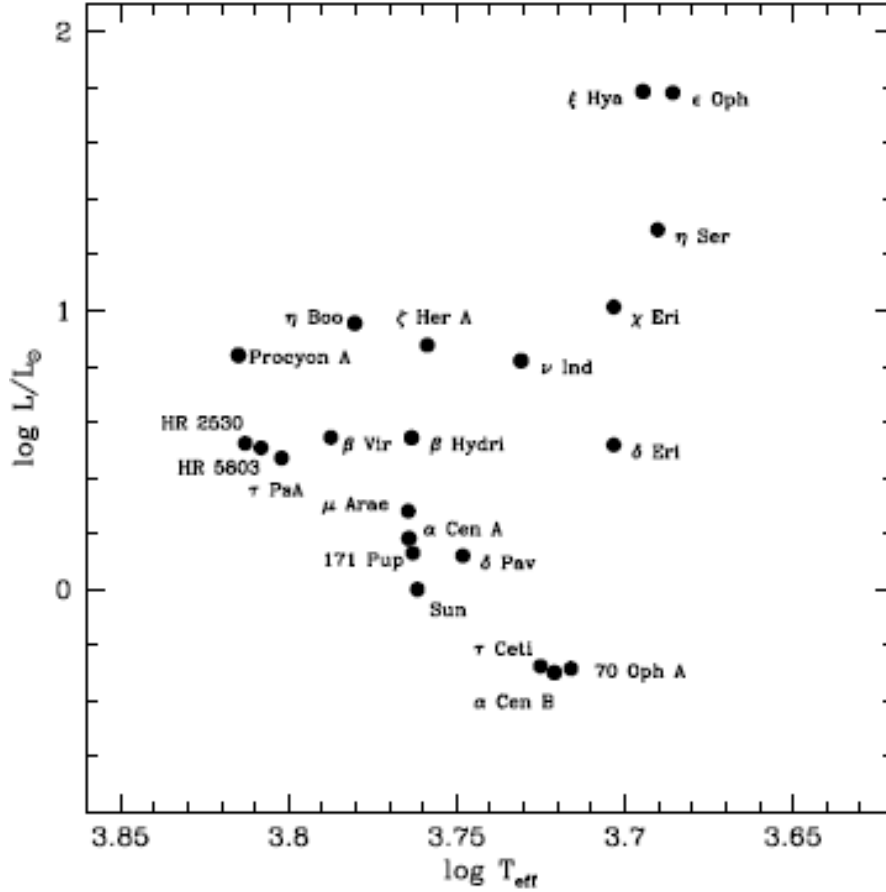
Şekil 1: Hertzsprung-Russell diyagramında değişik türden zonklayan yıldızlar gösterilmektedir (Cunha ve ark. 2007).

2.1.1. Güneş Türü Zonklama Gösteren Yıldızlar

Güneş' teki zonklamaların ortaya çıkışından bu yana Güneş sismolojisi bize Güneş içyapısı ve dinamikleri hakkında oldukça kıymetli bilgiler vermektedir. Güneş' in konvektif bölgesinin tabanının yeri, Güneş yüzeyindeki He bolluğunun değerlerinin düzeltilmesi gibi diğer yöntemlerle bulmamızın çok zor olduğu parametreleri bulmamızda oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Mathur ve ark. 2010). Güneş'teki zonklamaların yüzey yakınındaki türbülans konveksiyon hareketlerinden kaynaklandığını söyleyebiliriz. Güneş'

ten yola çıkılarak dış konveksiyon bölgesi olan ana koldaki en küçük kütleli yıldızlardan klasik kararsızlık kuşağının soğuk kenarına doğru yer alan kırmızı devlere, yaklaşık olarak $1,6 M_{\odot}$ lik bir kütle kadar bu tür zonklamaların varlığının yıldızlarda etkin olduğu öngörülebilir (Aerts 2007). Güneş türü zonklayan yıldızlarda görülen “Stokastik” zonklama mekanizması çok dar bir genlik değişimi (Güneş için birkaç on cm/sn) oluşturmaktadır. Bu nedenle de bu tür değişimleri özellikle de küçük kütleli yıldızlarda gözlemleyebilmemiz oldukça zordur. Güneş, 3 ile 15 dakikalık bine yakın basınç modunda zonklamaktadır. Güneş benzeri zonklama gösteren diğer yıldızlar da genellikle basınç modunda zonklamaktadır. Güneş türü zonklamalar sayesinde, sismik H-R diyagramından hareketle, yıldızın evrim durumu ve yaşı, frekanslar arasındaki farklılaşmalardan bulunulabilir. Ayrıca bu tür zonklamaların G-K tayf türündeki kırmızı devlerde de gözlenmesi oldukça önemlidir. CoRot uydusu ile yapılmış olan gözlemlerde kırmızı devlerin sayısında açık bir artış kaydedilmiştir. CoRot ile yapılan gözlemlerin sonucunda uzun süreli (≥ 50 gün) dikine olmayan zonklamalar keşfedilmiştir (Mathur ve ark. 2010). Bu sonuç, kırmızı devlerin sismolojisi için oldukça önemlidir çünkü dikine zonklayan devlere göre dikine olmayan zonklamalara sahip devler içyapıları hakkında daha fazla bilgi içerirler ve bu sayede de yıldız evrim modellerinin geliştirilmesine katkı sağlarlar. Gözlemler sonucunda genlik ile ışınım gücü ve kütle arasında bir orantı olduğu görülmüştür ve bu bağıntının genlikle yaklaşık olarak $(L/M)^{0,8}$ ile orantılı olduğu belirtilmiştir (Aerts ve ark. 2010).

Son zamanlarda zonklayan yıldızlara ilişkin uzay gözlemlerinin artmasıyla çok daha kaliteli veriler elde edilmeye başlanmış ve istatistikî bilgilerimizin artmasına yarar sağlamıştır. Şekil 2’ de Güneş benzeri zonklamalara sahip çeşitli evrim durumundaki yıldızlar H-R diyagramı üzerinde gösterilmiştir.

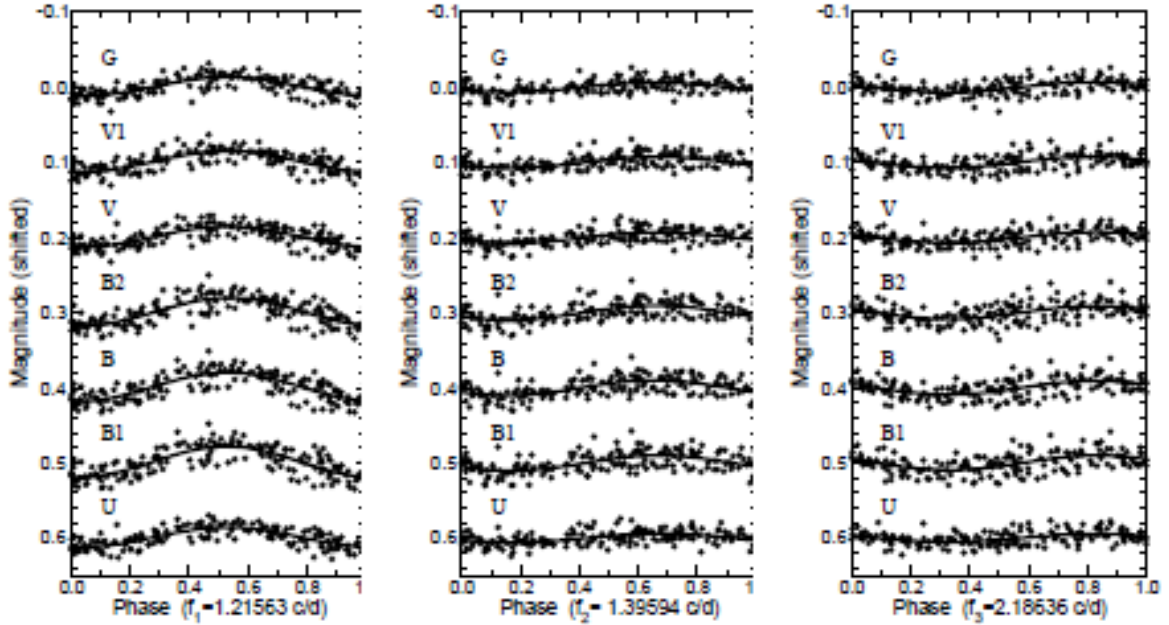


Şekil 2: Güneş türü zonklama yaptığı belirlenmiş yıldızların H-R diyagramındaki yerleri (Aerts ve ark. 2010).

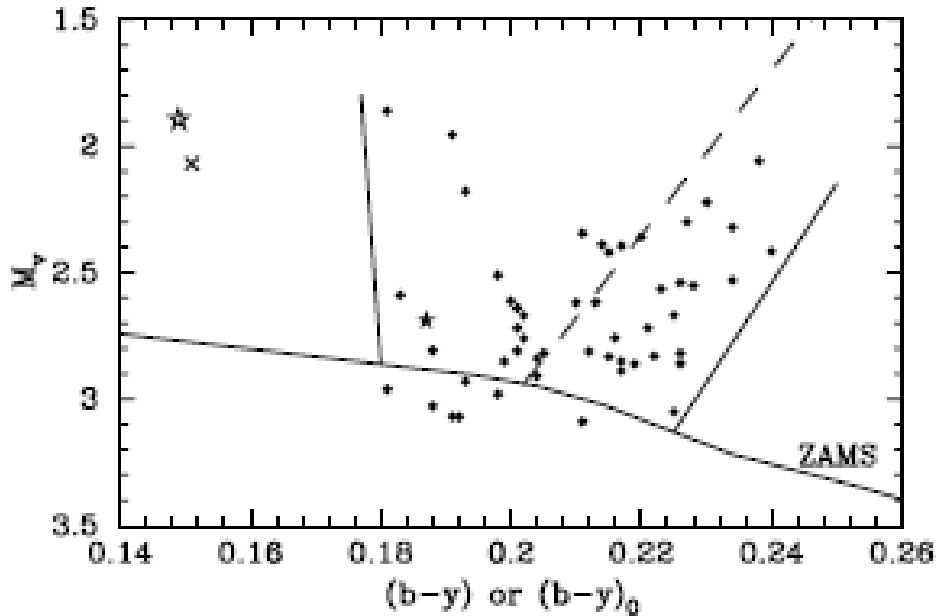
2.1.2. Gamma Doradus Yıldızları

Gamma Dor yıldızları 1995 yılından beri bilinen, Öbek I yıldızlarının dikine olmayan düşük dereceli çekim modları ile zonklayan, klasik kararsızlık kuşağının kırmızı kenarında yer alan anakol yıldızlardır (Aerts, 2007). A7 – F5 tayf türünden 1,5 – 1,8 M_{\odot} lik kütle aralığında dağılmış yıldızlar olan Gamma Dor yıldızları 8 saat ile 3 gün arasında zonklama dönemlerine sahiptirler. Genlikleri $< 0^m,1$ den küçüktür (Kaye ve ark. 1999) . Bu yıldızların ışık eğrisi örneği Şekil 3 ile verilmiştir. Bu yıldızların zonklamaları için uyartılma mekanizması Guzik ve arkadaşları tarafından 1998 de konvektif zarfın tabanında konvektif – akı engellemesi olarak belirtmiştir (Guzik ve ark. 2000). Bu mekanizma, konvektif akımın tedirginliklerinin yok sayıldığı donmuş-konveksiyon yaklaşımıyla işlenmiştir (Aerts, 2007). Diğer bir ifadeyle bu yıldızların uyartılma mekanizması konvektif hücre hareketidir. γ Dor yıldızları oldukça yeni bir yıldız grubudur ve kuramsal araştırmalar henüz çok fazla yapılamamıştır. Gözlenen Gamma Dor yıldızlarından yola çıkılarak H-R diyagramındaki yerleri Şekil 4’ de gösterilmiştir. Şekilde içi dolu çemberler

γ Dor türü değişenleri, kesikli çizgi Delta Scuti kararsızlık kuşağının soğuk tarafının kesim yeri, açık yıldız simgesi HD 209866 (γ Dor zonklaması çekimsel etkilerle uyarılmış benzemektedir), çarpı işareti ise bir γ Dor bileşenli çift yıldız olan HD 221866 çiftini ve içi dolu yıldız da hem γ Dor hem de δ Scuti yıldızı olarak tanımlanan HD 8801 gösterilmiştir (Handler, 2005).



Şekil 3: γ Dor yıldızı olan HD12901' in evreye karşılık parlaklık değişimi diyagramı elde edilen 3 farklı frekans için verilmiştir (Aerts ve ark. 2004).



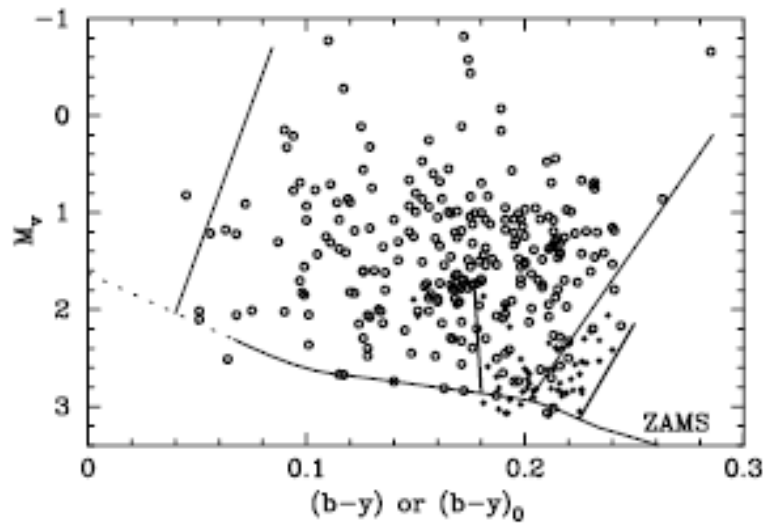
Şekil 4: γ Dor yıldızlarının renk-parlaklık diyagramlarındaki yeri (Handler, 2005).

2.1.3. Delta Scuti Yıldızları

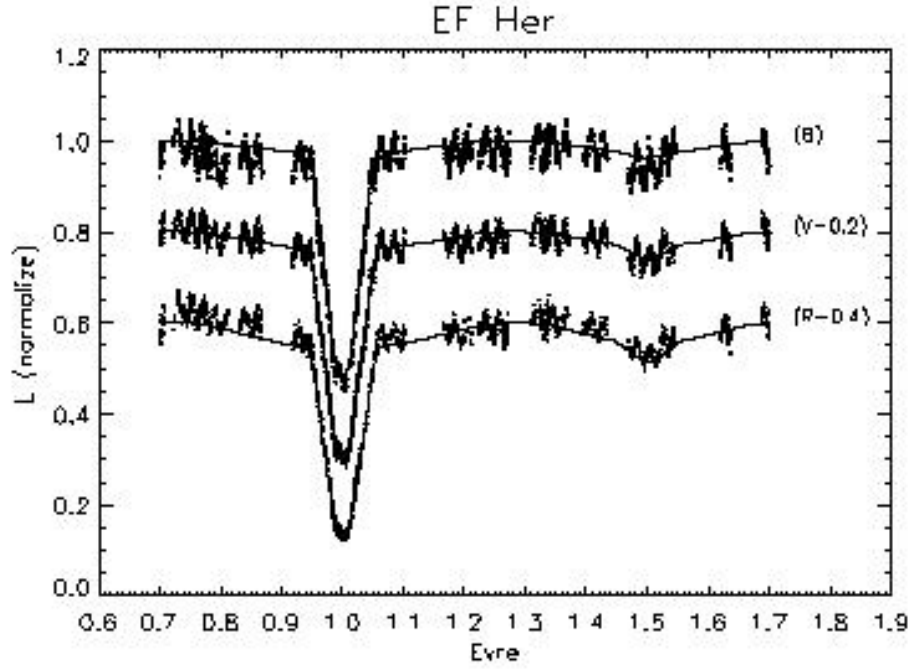
Delta Scuti yıldızları oldukça iyi çalışılmış 1,5-2,5 M_{\odot} kütle aralığında Öbek I yıldızlarıdır. Son yapılan çalışmalardan çıkan sonuçlara göre 600' ün üstünde grup üyesi mevcuttur. δ Sct yıldızları, tayf türleri A ile F arasında, 18 dakika ile 8 saat arasında dönemlilik gösteren ve basınç modları ile zonklayan değişen yıldızlardır (Aerts ve ark. 2010). Genlikleri binde birkaç kadir ile onda birkaç kadir arasında değişim göstermektedir. δ Scuti yıldızlarının evrimleri ile genlikleri ve zonklama dönemleri arasında bir dağılım bulunmaktadır. Evrimleşmiş δ Scuti değişenlerinin hem genlikleri hem de dönemleri büyüktür (Aerts ve ark. 2010).

Delta Scuti yıldızları kararsızlık kuşağının anakola en yakın kısmında yer alırlar. Bu yıldızların anakoldaki konumlandırılması Şekil 5' te gösterilmektedir. Ayrıca son yıllarda çift üyesi Delta Scuti değişenlerinin sayısında önemli bir artış meydana gelmiş ve çiftlerdeki zonklama çalışmaları da ön plana çıkmıştır.

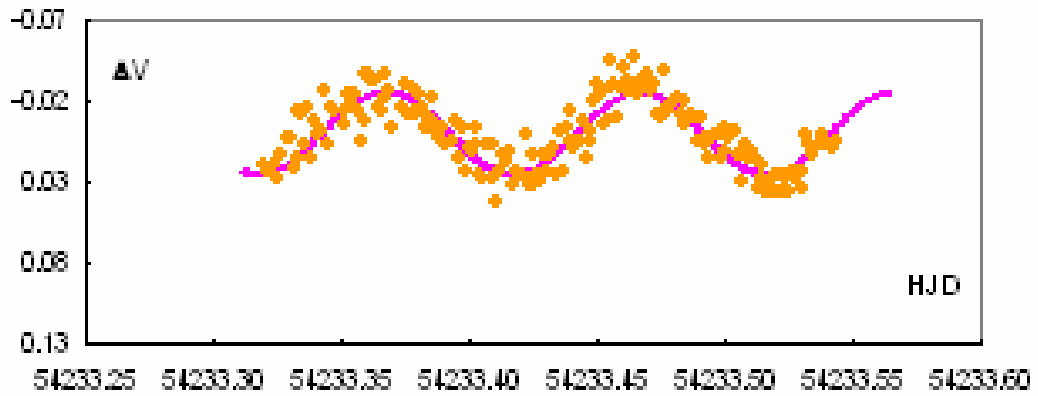
Bir çift üyesi olan Delta Scuti yıldızlarının ışık değişimi kendisini tutulmalar dışında ışık eğrisini sinüsoidal şekilde bozarak göstermektedir. Böyle bir çift olan EF Her' in ışık eğrisi Şekil 6' da gösterilmiştir. Ayrıca EF Her' in tutulma dışındaki zonklaması da Şekil 7' de gösterilmektedir (Şenyüz, 2010). Bu türden çiftler, zonklama ve çiftlik ilişkisinin incelenmesi açısından oldukça önemlidir. Ayrıca yüksek genlikli Delta Scuti yıldızlarına değişim özellikleri açısından oldukça benzer olan SX Phe yıldızları da bulunmaktadır. Bunlar düşük metal bolluklu Öbek II yıldızlarıdır. Bu yıldızların kütle aralığı 0,9–1,15 M_{\odot} aralığındadır (Aerts, 2007).



Şekil 5: Delta Scuti yıldızlarının renk parlaklık diyagramındaki yeri. Şekilde içi boş daireler Delta Scuti yıldızlarını ve içi dolu çemberler Gamma Dor yıldızlarını, ZAMS Sıfır Yaş Anakolunu göstermektedir (Handler, 2005).



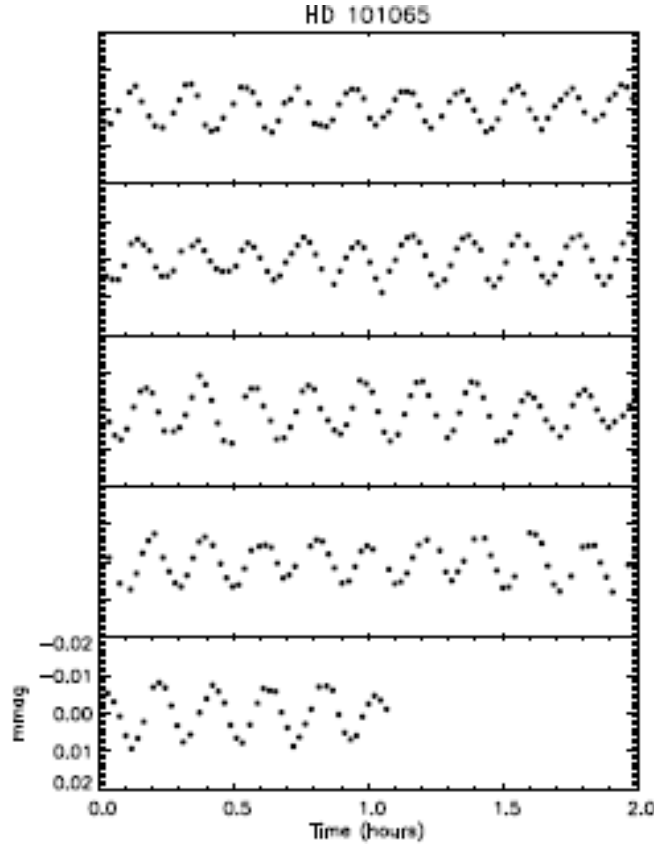
Şekil 6: Algol türü bir çift yıldız olan EF Her' in ışık eğrisi (Şenyüz, 2010)



Şekil 7: EF Her' in tutulmalar dışındaki parlaklık değişimi (Şenyüz, 2010)

2.1.4. roAp Yıldızlar

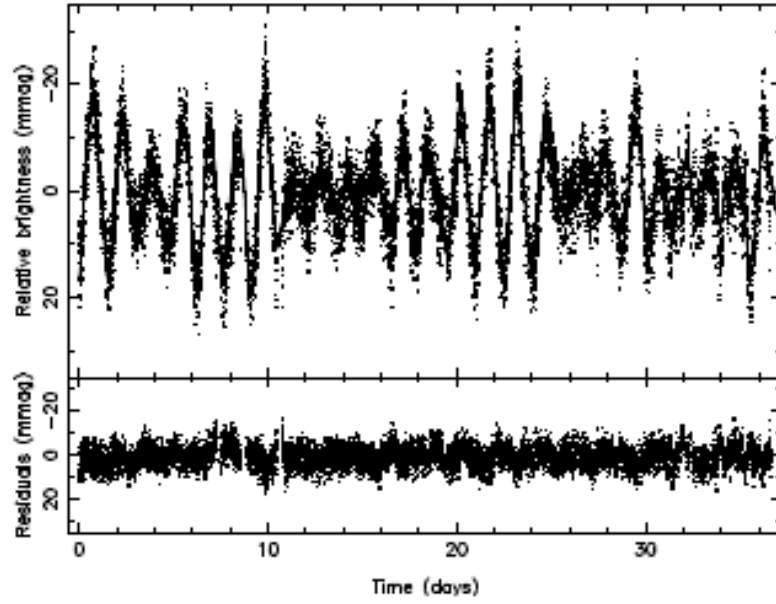
roAp yıldızları, klasik kararsızlık kuşağında Delta Scuti yıldızlarının bulunduğu bölgede yer alan oldukça hızlı zonklayan Öbek I yıldızlarıdır. 5,65–21 dakikalık zonklama dönemlerine sahiptirler ve düşük dereceli basınç modlarında zonklarlar (Aerts ve ark. 2010). Yaklaşık $0^m,01$ kadrlık parlaklık değişim genliklerine sahiptirler. Bu yıldızlar çok güçlü manyetik alanları ile dikkat çekmektedirler (birkaç on kG mertebesinde). Manyetik alanlarının oluşturmuş olduğu etkiler nedeniyle garip yüzey kimyasal bolluklarına sahiptirler. Şekil 8'de roAp türünden zonklamalara sahip olan HD 101065 yıldızının ışık değişimi gösterilmiştir.



Şekil 8: HD 101065' in V bandındaki ışık eğrisi (Kurtz ve ark. 1980).

2.1.5. Yavaş Zonklayan B Yıldızları (SPB)

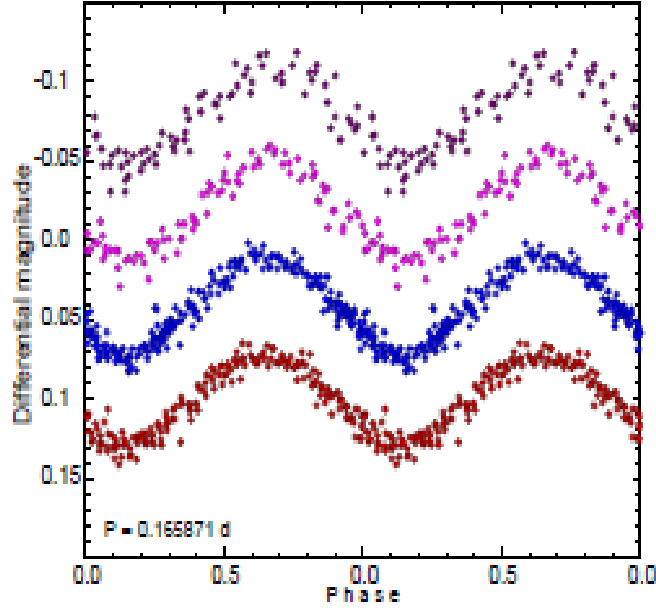
Yavaş zonklayan B yıldızları Waelkens (1991) tarafından tanımlanan B3-B9 tayf türü aralığında $8 M_{\odot}$ kütlesinden daha küçük kütlelere sahip Öbek I yıldızlarıdır. Bu yıldızlar çekim modlarında zonklamaktadırlar (Daszkiewicz, 2009). SPB yıldızları, klasik kararsızlık kuşağı yıldızlarının zonklamalarından sorumlu olan He iyonlaşma bölgesinin etkisinden uzaktırlar, daha sıcaktırlar ve etkin olan kapa mekanizmasından sorumlu elementler demir grubu ağır elementlerdir. Yıldızların zonklama dönemleri Gamma Dor yıldızlarına oldukça benzemektedir ve yaklaşık olarak 0,8 ile 3 gün arasında değişmektedir. SPB türünden ışık değişimine örnek olarak Şekil 9' da HD 163830 yıldızının ışık eğrisi verilmektedir.



Şekil 9: MOST uydusundan alınmış SPB HD 163830' un ışık eğrisi, alt kısım artıkları göstermektedir (Aerts ve ark. 2006)

2.1.6. Beta Cephei Yıldızları

Beta Cephei yıldızları bir yüzyıldan daha uzun bir süredir bilinen anakol yakınlarında zonklayan Genç Öbek I yıldızlarıdır. Kütle aralıkları 8 ile 18 M_{\odot} arasında değişim göstermektedir. B0-B3 tayf türleri aralığındadır. Cücelerden devlere 100'ün üzerinde grup üyesi bulunmaktadır. β Cep yıldızları, 2 saat ile 8 saat aralığında dönemli basınç ve çekim modlarında hem dikine hem de dikine olmayan zonklamalara sahiptirler. Şekil 10' da bir β Cep yıldızı olan SY Equ' nun ışık eğrisi verilmiştir. Bu yıldızlar da SPB yıldızları gibi demir grubu elementlerin iyonlaşma katmanının etkisiyle uyarılırlar. Uyarılma katmanı yaklaşık olarak 150.000 K – 200.000 K'lik bir sıcaklık bölgesinde meydana gelmektedir. β Cep yıldızlarının metal bollukları ve zonklama mekanizmalarının uyumu açısından çelişkiler bulunmaktadır. Yapılan kuramsal çalışmalarda β Cep yıldızlarının 0,005' lik bir metal bolluğunun altında metal bolluğuna sahip olması durumunda zonklama kuşaklarının ortadan kalktığı ve zonklamanın görülmemesi gerektiği öngörülmüştür (Daszkiewicz, 2009). Ancak gözlemsel bulgular bunu dışlamaktadır çünkü metal bolluğu gökadamıza oranla çok küçük olan Büyük ve Küçük Macellan bulutlarında da β Cep yıldızları gözlenmiştir (Daszkiewicz, 2009). Bu konu halen tartışılmaktadır ve çözüm beklemektedir.

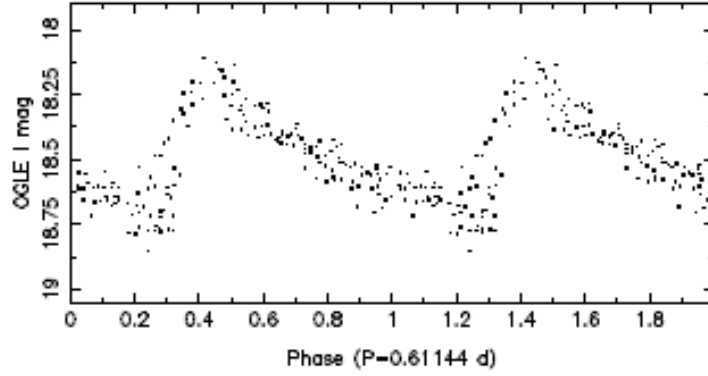


Şekil 10: SY Equ' nın ışık eğrisi (Daszkiewicz ve Pigulski 2006).

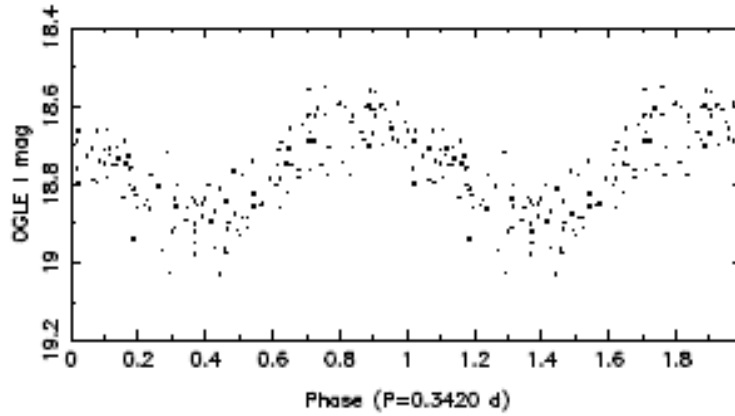
2.1.7. RR Lyr Yıldızları

RR Lyr yıldızları, kararsızlık kuşağında klasik Sefidlerin hemen alt kısmında bulunurlar. Bu yıldızlar klasik dikine zonklayan yıldızlar olarak da bilinirler. Birçok tek dönemli RR Lyr' in zonklama dönemi yarım gün civarındadır (Aerts ve ark. 2010). Bu yıldızlar genellikle küresel kümelerde görülmektedir. Bunlar daha çok küresel kümelerin yaş ve uzaklık belirlenmesi için kullanılırlar. Küçük kütleli yıldızların evrimleşmesi sonucunda oluşurlar kütle aralığı yaklaşık olarak 0,5 ile 2,2 M_{\odot} 'dir. Genellikle Öbek II yıldızlarıdır. Bu yıldızlar öteklerinde He yakarlar, Hidrojen zarf kalınlığı büyük olan RR Lyr yıldızları kararsızlık kuşağında kırmızı kola daha yakın iken; Hidrojen zarfı ince olan RR Lyr ise mavi kola daha yakındır. Mavi yatay koldaki RR Lyr yıldızlarının kütle aralığı 0,60 ile 0,80 M_{\odot} arasındadır ve bu yıldızlarda Hidrojen radyatif bölgenin hemen üstünde bir kabukta yakılır (Aerts ve ark. 2010). Bu yıldızlarda zonklamadan sorumlu bölge He II – He III iyonlaşma bölgesidir. Zonklama dönemleri 0,3 ile 1 gün arasında değişim göstermektedir. RR Lyr yıldızları, sahip oldukları ışık eğrilerine, zonklama modlarına ve genlik değişimlerine göre 1980'li yıllara kadar RRA, RRb ve RRc'ler olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Bu tür RR Lyr'lerin ışık eğrisi Şekil 11 – 12'de gösterilmektedir. Son yıllarda RRd olarak isimlendirilen diğer türü ise, diğer 3 gruptan farklı olarak çift zonklama modu göstermektedir ve zonklama dönemleri diğer gruplara göre daha uzundur (Aerts ve ark. 2010). RRd türü bir yıldızın ışık değişimi Şekil 13' te gösterilmiştir. RRd yıldızları hem gökada düzleminde hem de küresel kümelerde

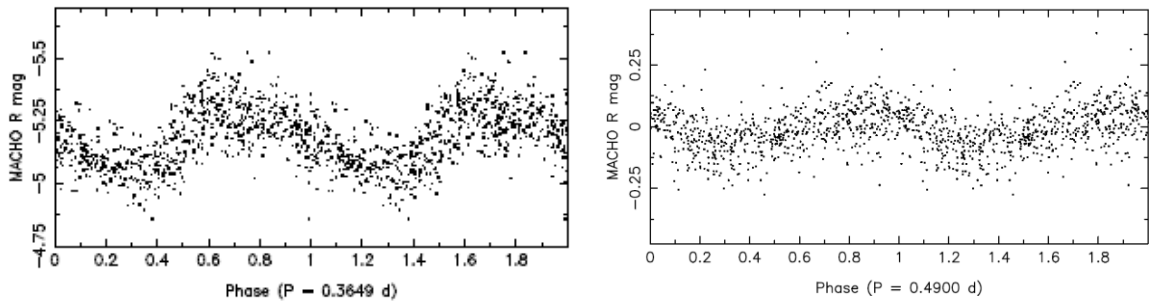
bulunmaktadır. Bu yıldızlar, iki modla zonklama göstermesi nedeniyle kütle gibi yıldız parametrelerinin diğer RR Lyr türlerine göre daha yüksek bir duyarlılıkla bulmamıza izin verir.



Şekil 11: Dönemi $P=0,614$ gün olan bir RRab yıldızının gözlenmiş ışık eğrisi (Aerts, 2007).



Şekil 12: Dönemi $P=0,342$ gün olan bir RRC yıldızının ışık eğrisi (Aerts, 2007).



Şekil 13: Bir RRd yıldızının ışık eğrisi, Sol taraftaki eğri, 0,3649 gün dönemli baskın zonklamanın değişimi, sağdaki şekil ise 0,49 gün dönemli 2. modun ışık eğrisini gösterir (Aerts ve ark. 2010).

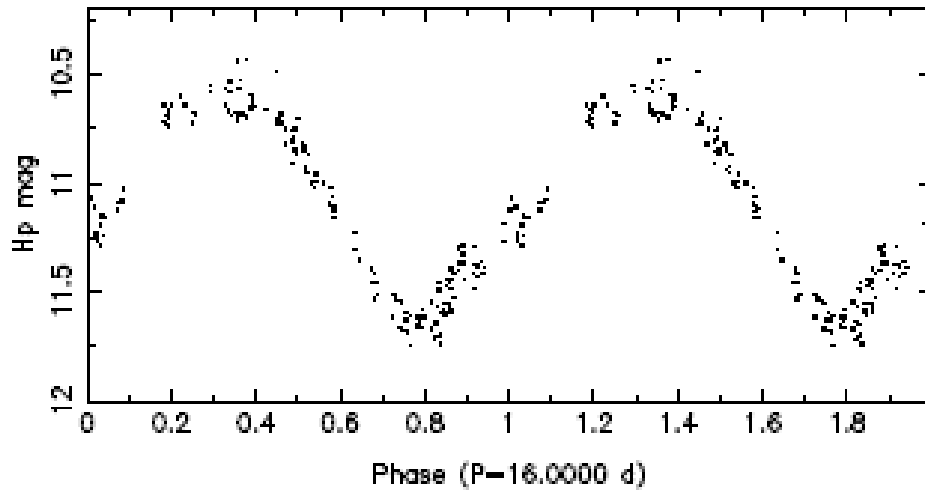
2.1.8. Sefeid Türü Zonklayan Yıldızlar

Sefeidler astrofiziksel açıdan oldukça önemli yıldızlardır. Bulunması oldukça büyük bir problem olan uzaklıkların belirlenmesi için kullanılan yıldız türleridir. Sefeidler kendi içerisinde iki türe ayrılmaktadır; sefeid kararsızlık kuşağının kırmızı ucuna yakın olanlar tip II Sefeidleri, mavi kenarına yakın olanlar ise tip I Sefeidleri adı verilir.

2.1.8.1. Tip II Sefeidleri;

Özektaki helyum yanmasından sonra, kütlesi $0,5 M_{\odot}$ ' ten büyük olan Öbek II yıldızları yatay koldan AGB (Asimtotik Dev Kolu)' ye doğru evrimleşir. Yatay koldan evrimleştikleri sırada veya AGB' deki ısıl zonklamaları sırasında bu yıldızlar kararsızlık kuşağından geçebilir ve zonklamaya başlayabilirler. Bu yıldızlar tip II Sefeidleri veya Öbek II sefeidleri olarak adlandırılır. Dönem değişim aralıkları 1 günden başlar ve oldukça geniştir (Aerts, 2007). Örnek bir ışık eğrisi Şekil 14' te verilmektedir. Bu yıldızlarda zonklamaları sürdüren ısı mekanizması He II – He III ve H I – H II iyonizasyon bölgesidir.

Öbek II Sefeidleri kendi aralarında dönemlerine göre 3 grupta toplanır, Bunlar, kısa dönemli (1 ile 5 gün) BL Her, 10 ile 20 gün dönemli W Virginis ve 20 günden daha büyük olanlarına da RV Tau yıldızları denilmektedir.

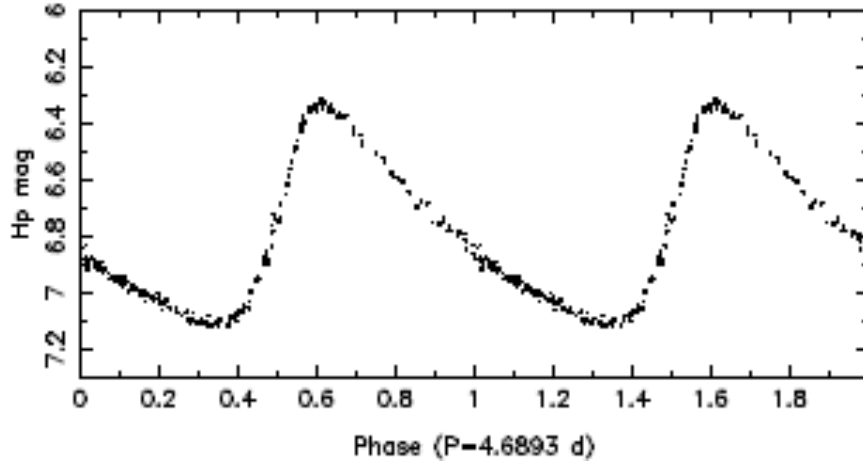


Şekil 14: 16 gün dönemli CO Pup' un Hipparcos uydusuyla alınmış olan ışık eğrisi (Aerts ve ark. 2010)

2.1.8.2. Tip I Sefeidleri;

Klasik Sefeidler olarak da isimlendirilen bu yıldızlar, ilk örneği olan δ Cephei yıldızının bulunmasından sonra isimlendirilmişlerdir. Bu yıldızlar en iyi bilinen ve en eş dağılımlı olan zonklayan yıldız grubudur. Sefeidlerin dönemleri ve tayf türleri sırasıyla 1 ile 50 gün ve F5 – G5 arasında değişim göstermektedir. Tip I Sefeidlerinin hepsi Gökada

düzlemindeki Öbek I yıldızlarıdır. Işık değişim genlikleri oldukça yüksektir. Şekil 15’ te Klasik Sefeid türü bir ışık değişimi gösterilmiştir.



Şekil 15: HD 112044 Hipparcos tan elde edilmiş ışık eğrisi (Aerts ve ark. 2010).

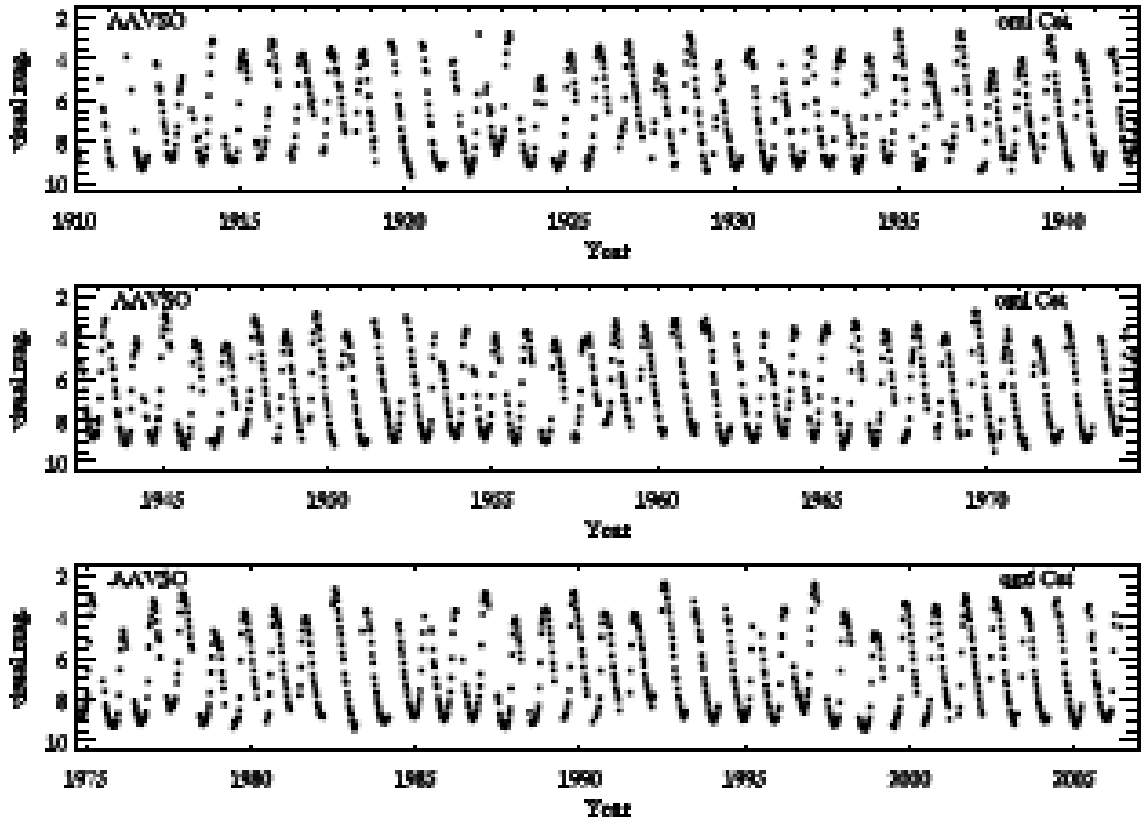
Son birkaç yıldır Sefeidlerle ilgili ilgi çekici ve tartışmalı konuları şu şekilde sıralayabiliriz (Daszynska-Daszkiewicz, 2009);

- Blazhko Sefeidleri,
- Klasik Sefeidlerdeki dikine olmayan zonklamalar,
- 10/30 çift-mod Sefeidler,
- Tek-mod, ikinci – overtone (harmonikleri) Sefeidler,
- Üçlü- mod Sefeidler,
- Sefeid içeren tutulmalı çift sistemler,

Bu kuramsal ve gözlemsel bulguların hepsi için açıklama ve yeni zonklama, evrim modelleri gerektirmektedir.

2.1.9. Mira Yıldızları ve Yarı Düzenliler

Mira değişenleri, uzun dönemli (80 günden büyük) Öbek I yıldızlarıdır, ışıtmaları $1000 L_{\odot}$ ile $7000 L_{\odot}$, sıcaklıkları ise 2500 K’ den 3500 K’ e kadar bir aralıkta değişir. $2^m,5^s$ den daha büyük ışık değişim genliklerine sahip yıldızlardır. Yaklaşık olarak 11 ay dönemli o Ceti (Mira)’ nin 100 yıllık ışık eğrisi şekil 16’ da verilmiştir.



Şekil 16 : O Ceti (Mira) yıldızının amatör astronomlar tarafından gözlenmiş görsel ışık eğrisi (Aerts ve ark. 2010).

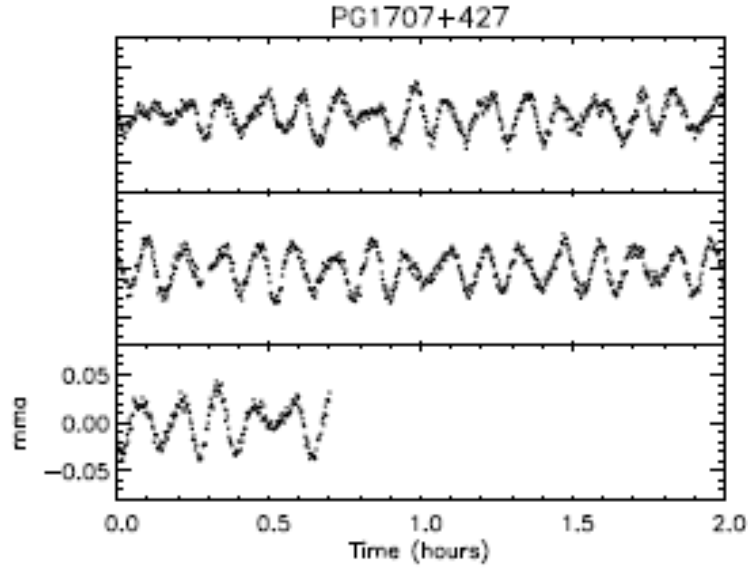
Yarı Düzenli (SR) yıldızlar da Miralara benzer dönemlerde değişim gösterirler fakat ışık değişimleri daha küçük genliklidir. Yarı düzenliler kendi aralarında genliklerine ve ışık eğrilerindeki düzensizliklere göre SRA, SRb, SRC ve SRd olarak dört alt gruba ayrılırlar.

Miralar ve Yarı Düzenliler, klasik kararsızlık kuşağının düşük sıcaklıktaki kırmızı bölgesi yakınlarında bulunurlar. Dikine olan zonklamalarının uyartıcı mekanizması H I – H II ve He I – He II kısmi iyonlaşma bölgeleridir.

2.1.10. Beyaz Cüce Zonklamaları

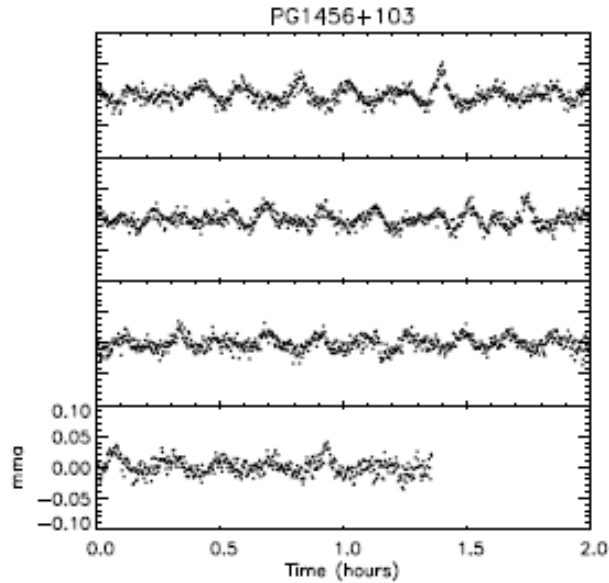
Beyaz cüceler, $9 M_{\odot}$ kütlelerinin altında kalan yıldızların evrimlerinin son halidir. Bu yıldızlar, çekim modlarında zonklamaktadırlar. Beyaz cüceler üç ana türü vardır ve bunlar H-R diyagramında sadece belirli bölgelerde zonklama yaparlar. Bu üç türü, dış katmanlarında bulunan elementlere göre sıralayacak olursak;

DOV beyaz cüceleri; Bu cüceler He ve H kabuklarını uzaya atmışlardır ve sadece C – O özekten oluşmaktadırlar. Bu cücelerın zonklama bölgeleri 100.000 K'den büyük yüzey sıcaklıklarında görülür. Bu cücelerın zonklama dönemleri 7 ile 30 dakika arasındadır. Şekil 17'de bu türden bir cücenin ışık eğrisi görülmektedir.



Şekil 17: DOV beyaz cücesinin WET kampanya gözlemi (Kawaler ve ark. 2004).

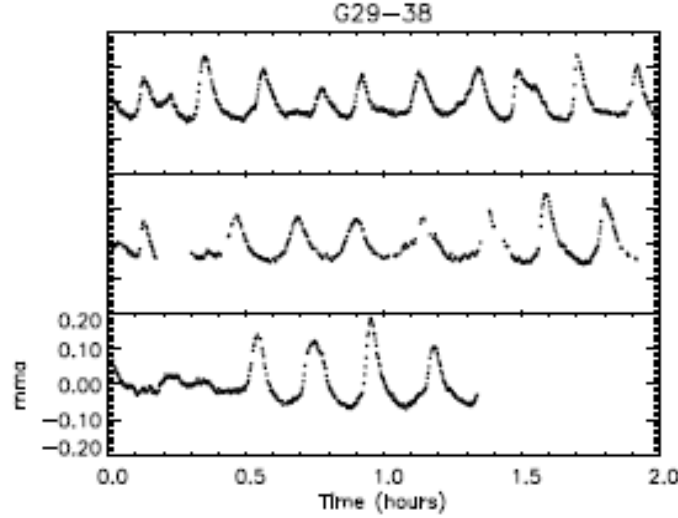
DBV beyaz cüceleri; bunlarda ise sadece H kabuk uzaya atılmıştır ve cücenin yüzeyinde hala bir He kabuk yer almaktadır. H-R Diyagramındaki zonklama bölgesi yaklaşık olarak 23.000 ile 27.000 K' lik bir sıcaklık bölgesine denk düşmektedir. Zonklama dönemleri 4 ile 12 dakika arasında değişmektedir. Şekil 18'de bu türden bir beyaz cücenin ışık değişimi gösterilmiştir.



Şekil 18: WET kampanyası DBV değişeninin ışık eğrisi (Aerts, 2007).

DAV beyaz cüceleri; Bu tür, en sık gözlenen yıldızları içerir ve beyaz cücelerin yüzde 75' ini oluşturmaktadır. Bu yıldızda C-O özek, onun üzerinde He kabuk ve onun

üzerinde de H kabuk yer almaktadır. Yani yüzey katmanında H elementi bulunmaktadır. H-R diyagramındaki zonklama sıcaklığı 11.000 K – 13.000 K aralığındadır. Ayrıca 100 saniyeden 1000 saniyeye kadar dönemli değişimler görülmektedir. Şekil 19’da bir DAV değişiminin ışık eğrisine bir örnek verilmektedir.



Şekil 19: G29 - 38 DAV cücesinin WET kampanyası sonucu elde edilmiş ışık eğrisi (Aerts, 2007).

2.2. Zonklamanın Yapısı

2.2.1. Kuantum Sayıları

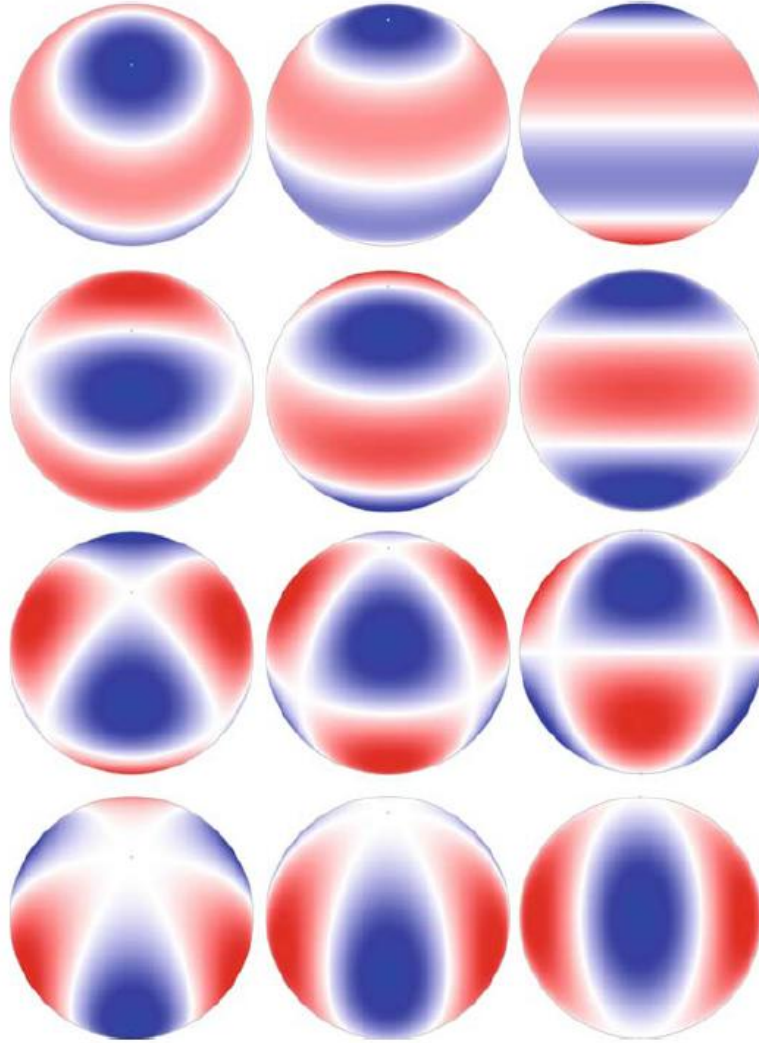
Zonklama yapan herhangi bir yıldızın frekansını üç temel kuantum sayısı ile tanımlayabiliriz. Bu kuantum sayıları ile modların geometrik yapısını karakterize ederiz. Bu kuantum sayıları ise;

- **Dikine Mertebe:** Yıldız içerisindeki dikine doğrultudaki düğümlerin sayısıdır. “ n ” ile gösterilir ve l ’nin bir fonksiyonudur.
- **Küresel Harmonik Derece:** Yıldız yüzeyi üzerindeki toplam düğüm çizgilerinin sayısını ifade eder ve “ l ” ile gösterilir. Dikine zonklama için $l=0$, Dikine olmayan zonklamalarda ise l sıfırdan farklı bir sayıdır.
- **Azimutal Mertebe:** Boylamsal sınır çizgilerinin sayısının kaç tane olduğunu belirtir ve “ m ” ile gösterilir. $-l < m < l$ arasındaki değerleri alır. Sıfırdan büyük olduğu durumlarda modu oluşturan dalga ile yıldızın dönmesi aynı yönde; sıfırdan küçük olduğu durumlarda ise modu oluşturan dalga ile yıldızın dönmesi zıt yöndedir.

2.2.2. Dikine ve Dikine Olmayan Zonklamalar

Zonklayan yıldızlar zonklama türlerine göre dikine ve dikine olmayan olmak üzere

iki sınıfa ayrılmışlardır. Dikine zonklamada, yıldız yarıçapı doğrultusunda büzülüp genişler ve yıldız sahip olduğu küresel şeklini korur. Bu durumda $l=0$ 'dır. Bu yapıya karşılık gelen mod, temel moddur. Dikine zonklayan bir yıldızdaki temel mod, yıldızın sahip olabileceği en uzun dönemli moddur. Mod; herhangi bir genliği ve dönemi olan dalgayı temsil etmektedir. Dikine olmayan zonklamalar ise küresel yapının bozulduğu ve en temel gösterim olarak $l>0$ durumundaki zonklamalardır. Bu tür zonklamalarda hareketli katman yarıçap doğrultusunda eş zamanlı olarak hareket etmez. Bu durumda yıldız yüzeyini katmanların farklı hareketi şeklinde görürüz. Dikine olmayan zonklamalarda dalganın hem dikine hem de dikine olmayan bileşeni vardır. Bu tür zonklamaları kendi içinde; zonal, tesseral ve sektörel olmak üzere üç sınıfa ayırabiliriz. Zonal modlar $m=0$ ve $l \neq 0$ durumunda olan modlardır. Sektörel mod ise; $m = l$ durumundaki modlardır. Tesseral mod ise $l > m \neq 0$ durumu için geçerli olan modlardır (Şekil. 20).



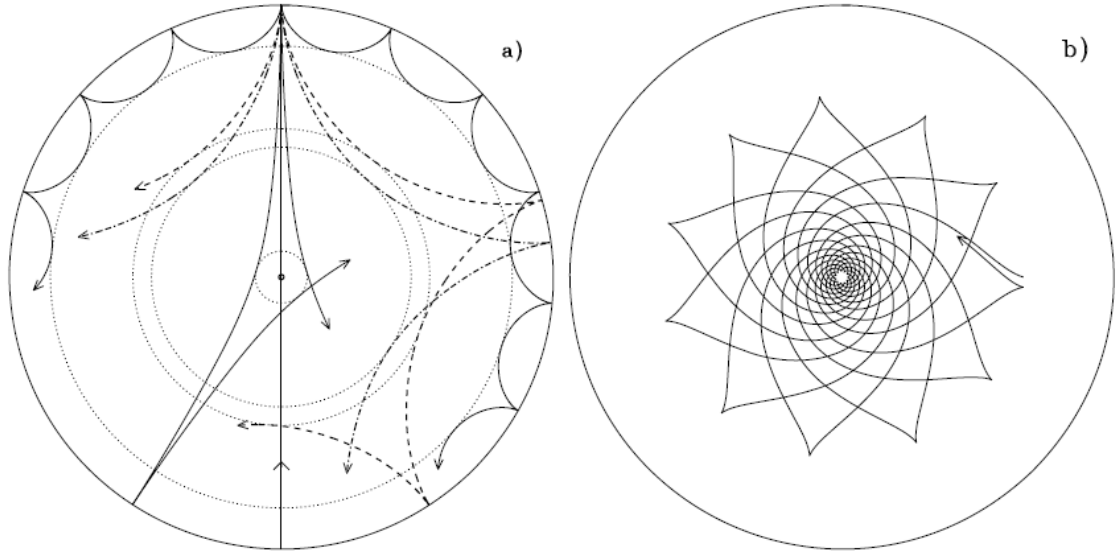
Şekil. 20. $l=3$ modlarının gösterimi. Şekilde satırlar boyunca değişik bakış açılarındaki modların görünüşü gösterilmektedir (Kurtz, 2006).

Şekilde her satır için en sol taraf 30° , orta kısım 60° ve en sağ sütün ise 90° bir açı ile görünüşü temsil etmektedir. Hareketli katmanları ayıran beyaz bantlar yüzey düğümlerinin pozisyonunu temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi bölümleri ise yıldızın dışarı veya içeri ya da soğuyan veya ısınan bölgelerini temsil etmektedir (bir birinin zıttı olacak şekilde). En üstte $l=3$, $m=0$ zonal modunu ve $\pm 51^\circ$ ve 0° enlemlerindeki düğüm çizgilerini göstermektedir. İkinci satır da ise $l=3$ ve $m=\pm 1$ tesseral modunu ve iki tanesi enlemsel bir tanesi de boylamsal olarak yıldızın yüzeyini kesen dikine mertebeleri göstermektedir. Üçüncü satırda da $l=3$, $m=2$ tesseral modunu göstermektedir. En alttaki satır ise $l=3$, $m=3$ sektörel modunun dönme eğiminin değişimi ile görünümünün değişimini karakterize etmektedir (Kurtz, 2006).

2.2.3. Çekim, Basınç ve Temel Modlar

Zonklayan bir yıldızda yıldız hidrostatik dengeden ve denge yarıçapından ayrılır. Bu durumdaki yıldızın tekrar denge yarıçapına dönebilmesini sağlayan iki önemli kuvvet vardır. Bu kuvvetlerde zonklama modunun iki türünün ortaya çıkmasına neden olmaktadır; basınç (p) modu ve çekim (g) modu. Basınç (p) modunda, basınç yıldızın tekrar denge yarıçapına dönmesi için geri getirici kuvvet rolünü oynamaktadır. Basınç (p) modu ise aslında ses dalgalarıdır ve dikine olan gaz hareketlerine sahiptir. Çekim modunda ise yüzdürme kuvveti geri getirici kuvvet rolünü oynamaktadır yani böylesi bir modda yıldızın tekrar denge yarıçapına dönmesini yüzdürme kuvveti (hidrostatik kaldırma) sağlamaktadır ve yatay gaz hareketidir.

Bu iki moda ek olarak f modu (temel mod) bulunmaktadır. Bu mod $l \geq 2$ durumunda basınç ve çekim modunun arasında bulunmaktadır. Basınç ve çekim modunun ise birkaç önemli özelliği bulunmaktadır. Örneğin; dikine düğümlerin sayısı basınç (p) modunun frekansları artması durumunda artarken, çekim modunda ise çekim modlarının frekansları azalırken artmaktadır. Diğer bir özellik ise her ikisinin de yıldız yüzeyinin farklı katmanlarından gelmesidir. Basınç modu yıldızın dış katmanlarından gelirken çekim modu ise yıldızın daha iç katmanlarından gelmektedir (Şekil 21). Dikine mertebenin sayısının, küresel harmonik dereceden çok çok büyük olması durumunda ($n \gg l$) basınç modunda frekanslar yaklaşık olarak eşit aralıktayken, çekim modunda ise zonklama dönemleri yaklaşık olarak eşit aralıktadır.



Şekil. 21. Güneş benzeri bir yıldızdaki ses ve çekim dalgalarının yayılma yollarının enine kesiti. Akustik dalgaların yayılması *a* panelinde, buradaki teorik *l* değerleri ulaştıkları derinlikler ile dışarıdan içeriye doğru sırasıyla 75, 25, 20, 2 olarak gösterilmektedir. Çekim modlarının yayılma yolları ise *b* panelinde merkeze yakın bölgeler olarak gösterilmektedir (Cunha ve ark. 2007).

BÖLÜM 3**MATARYEL ve YÖNTEMLER****3.1. Mod Tanımlama**

Yıldız sismolojisinin temel verisi zonklama frekanslarıdır. Ancak frekansların modellemelerde kullanılabilir olması için hangi zonklama modunun hangi frekansa karşılık geldiğinin bilinmesi zorunludur. Bunun belirlenmesine de “*Mod Tanımlaması*” denilmektedir. Oldukça önemli olan zonklama frekansı, p modları için ışığın yolu boyunca sesin seyahat süresinin bir ölçüsüdür ve ışığın yolunun uzunluğu ile değişken ses hızı tarafından kararlaştırılır. Işınım yolunun bilinmesi, bu nedenle önemlidir ve bu zonklama mod geometrisi ile belirlenir. Mod tanımlama teknikleri saptanan zonklama modlarının her birinin küresel ve azimutal harmonik derecelerine (l, m) ayrı ayrı değerler atar. Zonklamalardan kaynaklanan astrofiziksel bilginin miktarı başarılı bir şekilde tanımlanan modların sayılarına doğrudan bağlıdır. Bu nedenle mod tanımlama herhangi bir sismik analizde önemli bir çaba gerektirmektedir (Aerts ve ark. 2010).

Modları tanımlamak için iki tür yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi çok renk ışık ölçümünün zaman serisi analizini temel alır. Diğeri ise yüksek çözünürlükteki tayf ölçümünden elde edilen algılanabilir çizgi-profil değişimlerinin zaman serisi analizidir. Bu yöntemlerden çizgi-profil değişimi çok daha ayrıntılı bilgi taşımaktadır ancak tayf ölçüm için kullanılması gereken teleskopların büyüklüğü ve bu teleskopta kullanılacak aletler düşünüldüğünde günümüz koşullarında oldukça masraflı ve zordur. Işık ölçüm açısından bakıldığında ise kullanılacak teleskopların küçük ölçekli olabilmesi ve daha uzun gözlem sürelerinde kullanılabilmesi açısından sadece “ l ” yi bulabilmemize rağmen hala oldukça iyi ve kullanılabilir bir yöntem olduğunu söyleyebiliriz.

3.2. Çokrenk Işıkolçüm Yoluyla Mod Tanımlama

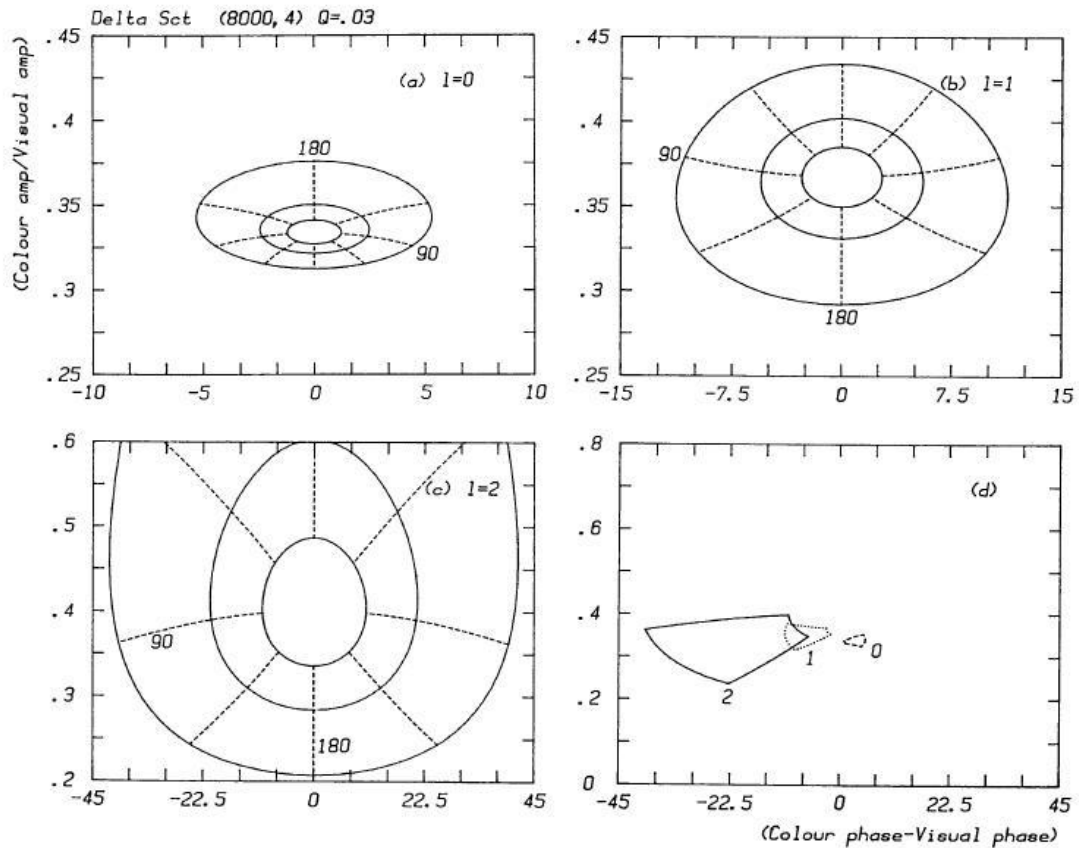
Günümüz teknolojisiyle ışıkölçüm kullanarak ancak $l < 5$ olan modlar belirlenebilmektedir. Çünkü yıldızdaki dikine olmayan zonklamalar birbirini sıfırlamakta ve bu değişimler olsa dahi fark edilememektedir. Bundan daha fazla mod bulmamız için tayfsal çözülemeye ihtiyaç vardır. Çok renk ışıkölçüm yoluyla mod tanımlama yöntemleri farklı filtrelerde ölçülen yıldız ışığının zamanla değişimine dayanarak ışıkölçümsel genlikleri ve evreleri kullanır (Aerts ve ark. 2010). Çokrenk ışık ölçümle mod tanımlamada kullanılan birkaç temel yöntem vardır. Bunlardan en önemli ikisi;

- Daha çok sıcak yıldızlar için kullanışlı olan Watson yöntemi
- Zonklayan bileşenli çift yıldızlar da kullanılan Uzaysal filtreleme yöntemi

3.2.1. Watson Yöntemi

Watson yöntemi ışıkölçümsel mod tanımlamada en önemli yöntemlerden bir tanesidir. İki ya da daha çok farklı filtrenin birbirlerine göre değişimlerinden dikine olmayan zonklamalardaki “ l ” kuantum sayısı bulunabilir.

Filtreler arasındaki akı farklarından kaynaklanan genlik değişimleri ile bu filtrelere ait zonklama evreleri arasındaki ilişki sayesinde mod tanımlaması yapmak mümkündür. Watson 1988 yılında yaptığı çalışmada her tür yıldız grubu için genlik değişimleri ile filtrelere ait zonklama evreleri arasındaki ilişkileri kuramsal olarak belirlediği grafikler oluşturmuştur. Frekans analizi sonucu bulunan renk farkının genlik değerinin, görünür renge ilişkin genlik değerine oranıyla, renk farkının ve görünür renk için belirlenen evre değerleri arasındaki farka göre, kuramsal olarak belirlenmiş uygun dağılımlar kullanılarak “ l ” kuantum sayısı belirlenmektedir (Şekil 22). Bu yöntem, oldukça duyarlı ve fazla sayıda veri gerektirmektedir. En tutarlı sonuçlar, daha büyük genlikli zonklama gösteren β Cep yıldızlarından alınmaktadır. Yıldız yüzey sıcaklığı düşük değerlere yaklaştıkça filtreler arasındaki genlik farkları azalacağından, daha çok sıcak yıldızlar için kullanılan bir yöntem olarak tercih edilmektedir (Watson, 1988).



Şekil 22: Evre ve genliklerin alacağı değerlere göre, $l=0,1,2$ için oluşturulan kuramsal model (Watson, 1988).

3.2.2. Uzaysal Filtreleme Yöntemi

Uzaysal filtreleme yöntemiyle dikine olmayan zonklama modları belirlenebilir. Bunun için, zamana yayılmış baş minimum giriş ve çıkışını da kapsayacak şekilde çok fazla veriye gereksinim vardır. Zonklama göstermeyen ikinci bileşenin uzaysal hareketi ile örtme-örtülme esnasında çift sisteme ait geometrik özellikleri ve bununla beraber zonklama doğasındaki l ve m kuantum sayılarını genlik ve evre değişimlerinden bulabiliriz. Işıkköçümsel olarak sadece bu yöntem ile düşük dereceli azimutal ($0 \leq l, |m| \leq 3$) zonklama modları belirlenebilmektedir.

3.3. Tayfsal Mod Tanımlama

Dikine olmayan zonklamalar tayf çizgisi profilindeki hız alanında periyodik doppler kaymalarına neden olmaktadır. Yüksek çözünürlüklü tayfçekerler ile duyarlı detektörlerin kullanılmaya başlandığı 1980'li yılların başlarından beri tayf çizgilerindeki bu özellik deneysel olarak mod tanımlamada geniş bir etkiye sahiptir. Tayfsal veriler zonklama hız alanının çok detaylı bir fotoğrafının çekilmesini sağlamaktadır. Bu özelliği “ l ” ve “ m ” nin bulunmasında çok renk ışık ölçümünden çok daha duyarlı ve iyi sonuçlar elde etmemizi sağlar.

Gözlemsel açıdan tayfsal mod tanımlamasının kullanılabilir kılınması için birkaç temel parametreye dikkat edilmelidir;

- Çözümleme gücü “ R ” büyük olmalıdır (>40000),
- Aldığımız verinin sinyali gürültünün oldukça üstünde olmalıdır, yani parlak sistemler veya büyük teleskoplar seçilmelidir ($S/N > 200$) ve
- Peçelenmiş çizgilerden uzak tayf çizgileri seçilmelidir.

Örnek olarak;

Zonklayan B yıldızları için en iyi çizgi seti, Si III 4560 A üçlüsü, yavaş dönen B yıldızları için Si II 4130 A çifti ve hızlı dönen B yıldızları için ise görece izole He I 6678 A ve diğer Helyum çizgileri kullanılabilir (Aerts ve ark. 1999). Zonklayan A-F tayf türünden yıldızlar için ise birkaç kez iyonlaşmış veya nötr metal çizgileri daha uygundur.

Çizgi-profil değişiminin tanımlanabilmesi için öncelikle Kuramsal Çizgi – Profil Değişimlerinin (LPV-Line Profile Variation) hesaplanması gerekmektedir. LPV’ nin hesaplanabilmesi için seçilen çizgiyi genişleten farklı mekanizmalarda hesaba katılmalıdır:

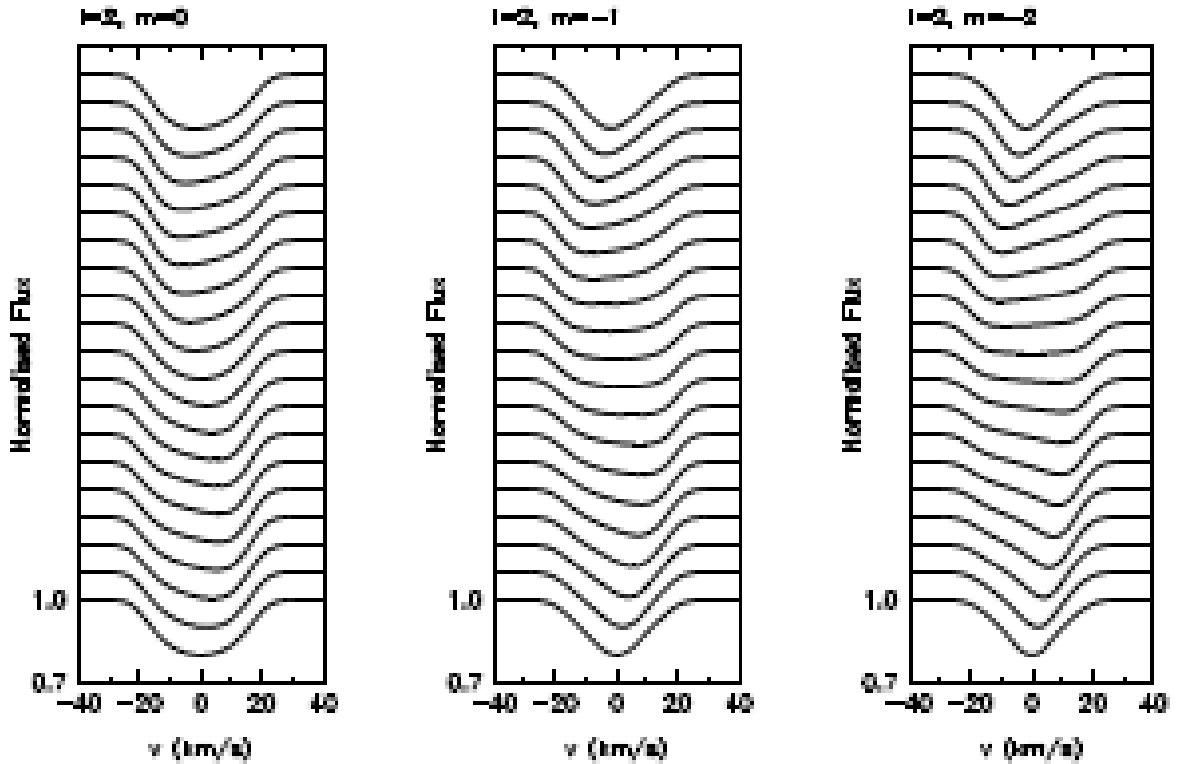
- Atomik genişleme,
- Basınç genişlemesi,
- Isısal genişleme,

- Dönme genişlemesi ve
- Yıldızdaki zonklamaların oluşturduğu değişimler bu etmenlerin başında gelmektedir.

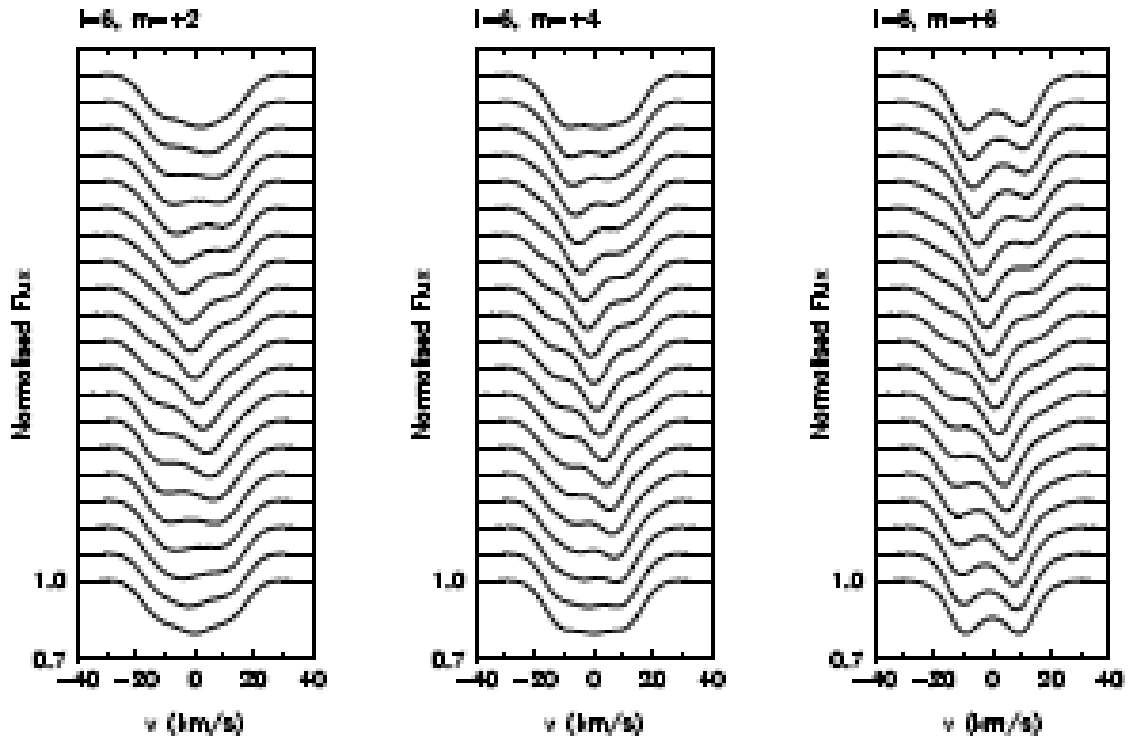
Yukarıda bahsedilen parametrelerin de hesaba katılması ile çizgi profil değişimi normalize olarak denklem (1) ile elde edilir:

$$p_{\lambda, t} = \frac{I_{ij} \frac{I_0 h_{\lambda} \theta'_i}{2\pi\sigma} \exp \left[-\frac{\lambda_{ij} - \lambda^2}{2v_{th}^2} R^2 \sin \theta'_i \cos \theta'_i \Delta\theta'_i \Delta\phi'_j \right]}{I_{ij} I_0 h_{\lambda} \theta'_i R^2 \sin \theta'_i \cos \theta'_i \Delta\theta'_i \Delta\phi'_j} \quad (1)$$

Burada görsel yüzey alanını tanımlayan, $\theta' \in [0^\circ, 90^\circ]$, $\phi' \in [0^\circ, 360^\circ]$, aralığında değerler alırlar $p(\lambda, t)$ vektörel hız alanındaki normalize çizgi profilinin şekli, v_{th} , ısısal hız bileşeni, I_0 , Akıyı, h , plank sabiti, λ , dalga boyunu göstermektedir. Bu formülden yapılan hesaplamalarla elde edilen kuramsal çizgi-profil değişimi Şekil 23 ve 24' te gösterilmektedir.



Şekil 23: $l=2$, $m=0$ (soldaki), $m=-1$ (ortadaki), $m=-2$ (sağdaki). Zonklama genliği $v_p=5\text{km/s}$, $v_{sini}=30\text{km/s}$, ısısal hız $v_{th}=4\text{km/s}$ ve $i=55^\circ$ olarak alınmış bir çizgi profil değişimi (Aerts, 2007).



Şekil 24: Önceki şekille aynı girdi parametreleri kullanılıp sadece l ve m değerleri farklı alınarak hesaplanmış diğer bir çizgi profili değişimi. Burada ise $l=6$, $m=2$ (sol), $m=4$ (orta) ve $m=6$ (sağ) olarak alınmıştır (Aerts, 2007).

Tayf çizgilerini kullanarak LPV'nin bulunmasında en çok kullanılan iki yöntem öne çıkmaktadır. Bunlar,

1. Moment Yöntemi
 2. Pikselden Piksele yöntemi
- olarak sıralanabilir.

3.3.1 Moment Yöntemi

Bu yöntem ilk olarak Balona (1986) tarafından sunulan tayf çizgilerinde anlık değişimleri göz önüne alan bir yöntemdir. Bu yöntem çizgi profilindeki tüm hız değişimleri ile tam olarak karakterize edilen istatistiksel özelliklere dayanmaktadır. Anakol boyunca farklı türden zonklama özelliklerine sahip birçok zonklayan için kullanılabilir bir yöntemdir. Özellikle de yavaş dönen yıldızlarda ($v \sin i < 50$ km/sn), düşük dereceli modlar için çok güçlü bir yöntemdir.

Yöntem temel olarak Momentlerin tanımlanması; S akı, λ_c merkez dalgaboyu, v^n moment, $n=0,1,2,3$ olmak üzere;

$$M_n = dv v^n S \lambda_c + \frac{v}{c} \quad (2)$$

Denklem (2) (Pijpers, 2006) ile tanımlanan momentler, eşdeğer genişlik değişimiyle tanımlanan M_0 momenti ile değişimi şeklinde ifade edilecek olursa (3), (4) ve (5) denklemleri (Pijpers, 2006) ile tanımlanır;

$$\frac{M_1}{M_0} = v_p A_1 l, m, i \sin \omega - m\Omega t + \psi \quad (3)$$

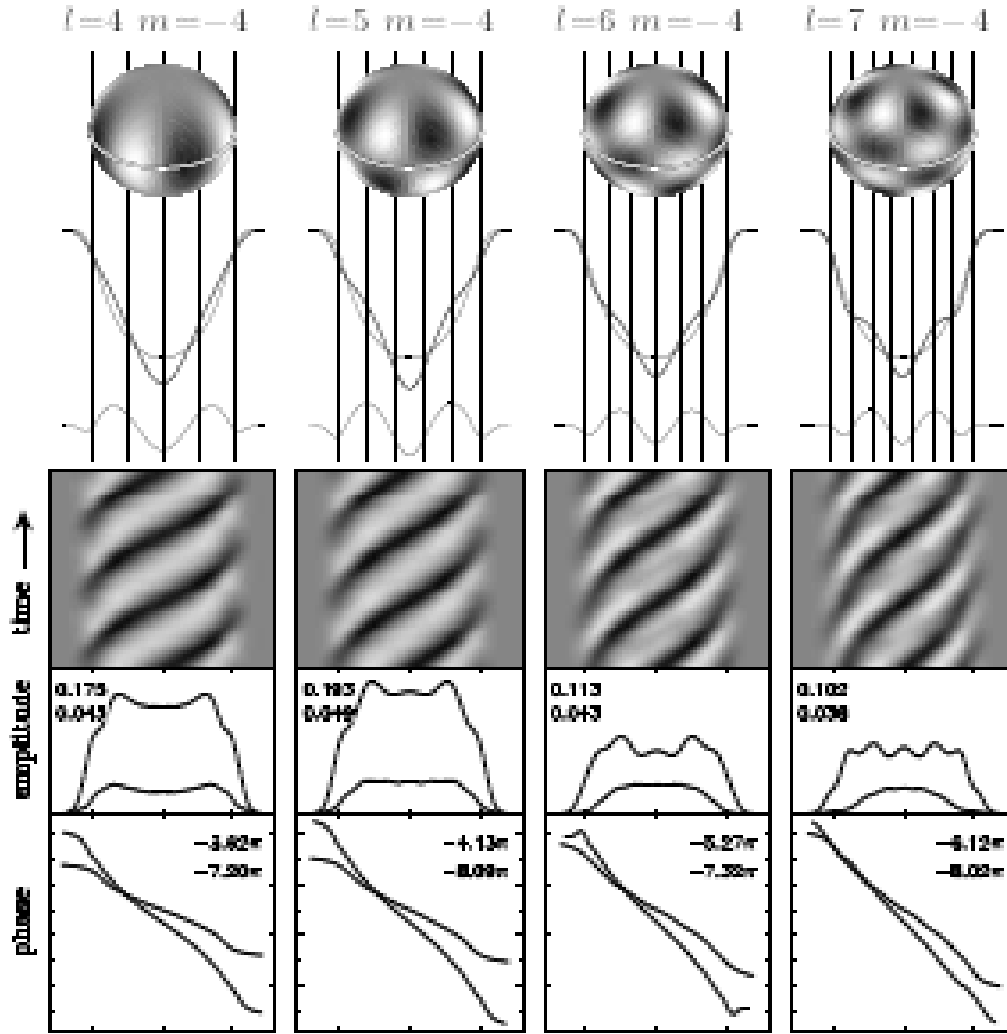
$$\begin{aligned} \frac{M_2}{M_0} = v_p^2 A_{20} l, m, i + A_{22} l, m, i \sin 2 \omega - m\Omega t + 2\psi + \frac{3\pi}{2} \\ + v_p v_\Omega A_{21} l, m, i \sin \omega - m\Omega t + \psi + \frac{3\pi}{2} + \sigma^2 + b_2 v_\Omega^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{M_3}{M_0} = v_p^3 A_{31} l, m, i \sin \omega - m\Omega t + \psi + A_{33} l, m, i \sin 3 \omega - m\Omega t + 3\psi \\ + v_p^2 v_\Omega A_{32} l, m, i \sin 2 \omega - m\Omega t + 2\psi + \frac{3\pi}{2} \\ + v_p v_\Omega^2 B_\Omega l, m, i + \sigma^2 B_\sigma l, m, i \sin \omega - m\Omega t + \psi \end{aligned} \quad (5)$$

Denklemlerde v_p ve v_Ω sırasıyla zonklamamanın hız genliği ve dönme hızı. ψ referans evre (sabit), b_2 seçilen kenar kararım fonksiyonundan kaynaklanan bir sabit, σ çizginin öz genişliği, A_1 , A_{20} , A_{21} , A_{22} , A_{31} , A_{32} , A_{33} , B_σ , ve B_Ω eğim açısı i , küresel harmonik (l) ve azimutal (m) dereceye bağlı genlik fonksiyonlarıdır. Moment yöntemi (3), (4) ve (5) denklemleri yardımıyla tanımlanmış momentler ile gözlemsel momentler elde edilir ve daha sonra elde edilen momentlerin yorumlanmasıyla çizgi profil değişimi incelenir.

3.3.2. Pikselden Piksele Yöntemi

Bu yöntem ilk olarak Gies ve Kullavanijaya tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir. Çizgi profil değişiminin hesaplanmasında genlik ve evre özelliklerini temel almaktadır. Daha çok yüksek dereceli modlara ulaşmak için kullanışlıdır. Genellikle $v_{sini} > 50$ km/sn olan zonklayan yıldızlarda kullanılır. Yöntem aynı zamanda düşük dereceli modların tanımlaması için de uygundur. Bu yöntem kullanılarak elde edilmiş bir çizgi profil değişimi Şekil 25' te yıldız yüzeyi ile uyumlu bir şekilde gösterilmektedir;



Şekil 25: Farklı “ l ” ve “ m ” değerleri için dikine olmayan zonklamadan kaynaklanan çizgi profil değişimi gösterimi (Telting ve Schrijver 1997).

Bu yöntem kullanılarak l ve m ’yi evre değişimine bağlı olarak denklem (6), (7) yardımıyla bulabiliriz (Telting ve Schrijver 1997);

$$l \approx 0.10 + 1.09 \Delta\psi_0 \pi \pm 1 \quad (6)$$

$$m \approx -1.33 + 0.54 \Delta\psi_1 \pi \pm 2 \quad (7)$$

Bu yöntem yüksek dereceli l değerlerini bulmada oldukça etkilidir.

Biz de yapacağımız çalışmada bu yöntemleri kullanan “FAMIAS” programı yardımıyla çizgi profil değişimlerinden yola çıkarak, “*ELODIE*” (Moultaka ve ark. 2004) veri tabanından elde edilen tayflar ile yıldızların zonklama özelliklerine ve onların salt parametrelerine ulaşacağız.

3.4. FAMIAS ve Mod Analizi

Çağımızda bilimsel çalışmaların gelişmesine en büyük katkılardan biri aynı anda bir çok iterasyon ve çözümlene yapabilen bilgisayar yazılımlarından gelmektedir. Yıldız sismolojisi açısından da düşünüldüğünde frekansların ve modların bulunmasında ve daha duyarlı çözümlerin elde edilebilmesi açısından da durum böyledir. Son yıllarda zonklama frekanslarının analizi ve mod tanımlama için en çok kullanılan programlardan biri FAMIAS'dır. FAMIAS, tayfsal ve ışıkölçümsel veri üzerinden zaman analizi gerçekleştirebilen bir bilgisayar yazılımıdır. İki ana araç seti içermektedir. İlk set, Fourier ve en küçük kareler metodu yardımıyla gözlemsel olarak elde edilen veriye uygulanan zaman analizini içermektedir. İkinci set ise, zaman analizi sonucunda elde edilen frekanslar ve frekanslara ait genlik-evre değerlerini kullanarak yapılan l ve m değerlerini tanımladığımız mod analizidir (Zima, 2008).

Bu yazılım Güneş'ten daha sıcak anakol yıldızları için uygulanabilir niteliktedir. γ Dor yıldızları, δ Scuti ve β Cep yıldızları yıldızları genellikle anakol ya da anakol civarında zonklama gösteren yıldızlardır. FAMIAS programı bu tür yıldızların mod analizi ve frekans analizi için son derece uygundur. Yazılım, tayfsal veriyi de mod analizi için moment yöntemi (Briquet ve Aerts, 2003) ve Fourier parametre uydurma yöntemlerini uygulayacak şekilde kullanılmaktadır (Zima, 2006). Fotometrik olarak yapılan mod analizinde ise, evre kayması ve genlik oran değerleri kullanılmaktadır. (Balona ve Stobie, 1979; Watson, 1988; Daszkiewicz ve ark., 2002).

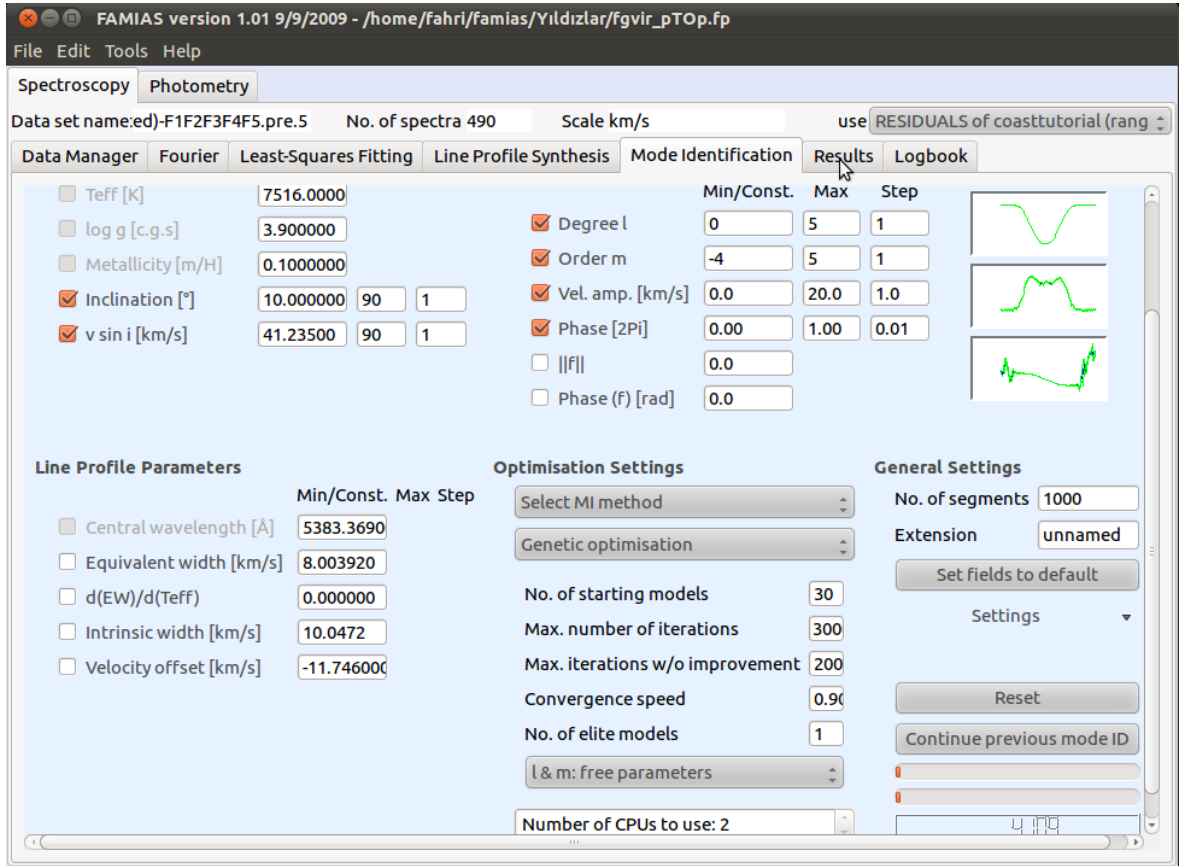
3.4.1. Fotometrik Mod Analizi

Fotometrik mod analizi için yüksek hassaslıkta ve farklı filtre seti ile yapılmış gözlem verisine ihtiyaç vardır. Fotometrik mod analizi ile sadece l derecesi tayin edilebilmektedir. Bu yöntem farklı filtrelerdeki evre kayması ve genlik oranlarını kıyaslayarak çalışmaktadır.

3.4.2. Tayfsal Mod Analizi

Tayfsal mod analizi için ($R > 40000$) yüksek çözünümlü ve yüksek sinyal/gürültü oranındaki ($S/N > 200$) veri setine ihtiyaç vardır. Tayfsal mod analizi ile l derecesi, m azimutal mertebeye ve bunlar ile birlikte sistemin $v \sin i$ değeri bulunabilir. Fourier yöntemi ile yüksek ve düşük dereceli modların genlik ve evre değerleri teorik modeller yardımı ile bulunmaktadır (Zima, 2006). Düşük genlikli modlar için moment yöntemi kullanılarak evre ve genlik değerleri bulunmaktadır (Briquet ve Aerts, 2003). Bu yöntemde, girdi parametreleri olarak, Güneş biriminde yarıçap (R_{\odot}), kütle (M_{\odot}), etkin sıcaklık (T_{\odot}), çekim ivmesi (g), metal bolluğu (Z), yörünge eğim açısı i , dönme hızı ($v \sin i$)

alınmaktadır (Şekil. 26).



Şekil 26: FAMIAS yazılımının tayfsal mod analizi penceresinden örnek bir görünüm.

BÖLÜM 4**ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****4.1. Tayf Analizi**

Bu tez çalışmasında zonklamaların tayf çizgileri üzerine etkilerini incelenmiştir ve bu inceleme sonucunda seçilen yıldızların zonklama doğasına ve salt yıldız parametrelerine ulaşılmıştır. Yapılan literatür taraması sonucunda, tez kapsamında tayfsal analiz açısından daha önceki bölümlerde de bahsettiğimiz özellikler göz önüne alınarak iki farklı yıldız analiz için uygun görülmüştür. Seçilen yıldızlar FG Virgo (FG Vir) ve Epsilon Cephei olarak isimlendirilen Delta Scuti türü değişim gösteren zonklayan yıldızlardır. Seçilen yıldızlardan FG Vir “FAMIAS” (Zima, 2008) paketinin ve yöntemlerin kullanımının doğruluğunu denetlemek amacıyla seçilmiştir. Epsilon Cephei ise Elodie veri tabanının verileri incelendiğinde tayf veri kalitesi ve sayısı açısından kullanılacak yöntemler için oldukça uygun görülmüştür.

Bu bölümde, veri tabanlarından elde edilen ve IRAF programının tayf verisi analizi için uygun paketlerinin yardımıyla tayf analizi ve mod analizi için hazır hale getirilen tayf verilerinin incelenmesi sonucunda bulduğumuz bulgular, seçilen her iki yıldız için de ayrı ayrı verilecektir.

4.2. FG Virgo

FG Vir (HD 106384, $V = 6^m.57$, A5V) dikine olmayan zonklamalar gösteren Delta Scuti türünden bir değişen yıldızdır. FG Vir' in ışığındaki değişimler ilk olarak Eggen tarafından 1970 yılında gözlenmiştir. Gözlemler sonucunda yıldızın ışığının 0,07 günlük bir dönemde değiştiği ve değişiminin yarı genliğinin 25 mmag civarında olduğunu keşfedilmiştir (Eggen, 1970). Bundan sonraki yıllarda bu cisim ile ilgili fotometrik çalışmalar çok hızlı bir şekilde artmıştır. FG Vir' e ilişkin ilk öncü tayf çalışması Mantegazza ve ark. (1994) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, yüksek çözünürlükte alınan tayfların yardımıyla dar soğurma çizgilerinin incelenmesiyle FG Vir' in dönme hızının yaklaşık $v \sin i = 21 \text{ kms}^{-1}$ olduğu bulunmuştur. FG Vir' in tayf çizgileri kullanılarak mod tanımlaması ise Viskum ve ark. (1998) tarafından eşdeğer genişlik değişim yöntemini uygulayarak sekiz farklı frekans için “I” modları türetilerek yapılmıştır. Bu sonuç daha sonraları yapılan fotometrik mod tanımlalar ile de uyum sağlamaktadır. FG Vir'in ayrıntılı atmosfer yapısının incelenmesi ise Mittermayer ve Weiss (2003) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yıldızın kimyasal kompozisyonu hemen hemen Güneş bolluğunda bulunmuştur. Genellikle A tayf türünden yıldızlar arasında daha sık gözlenen metal bolluğu gariplikleri açısından incelendiğinde FG Vir için herhangi bir metal bolluğu

fazlalığı gözlenmemiştir.

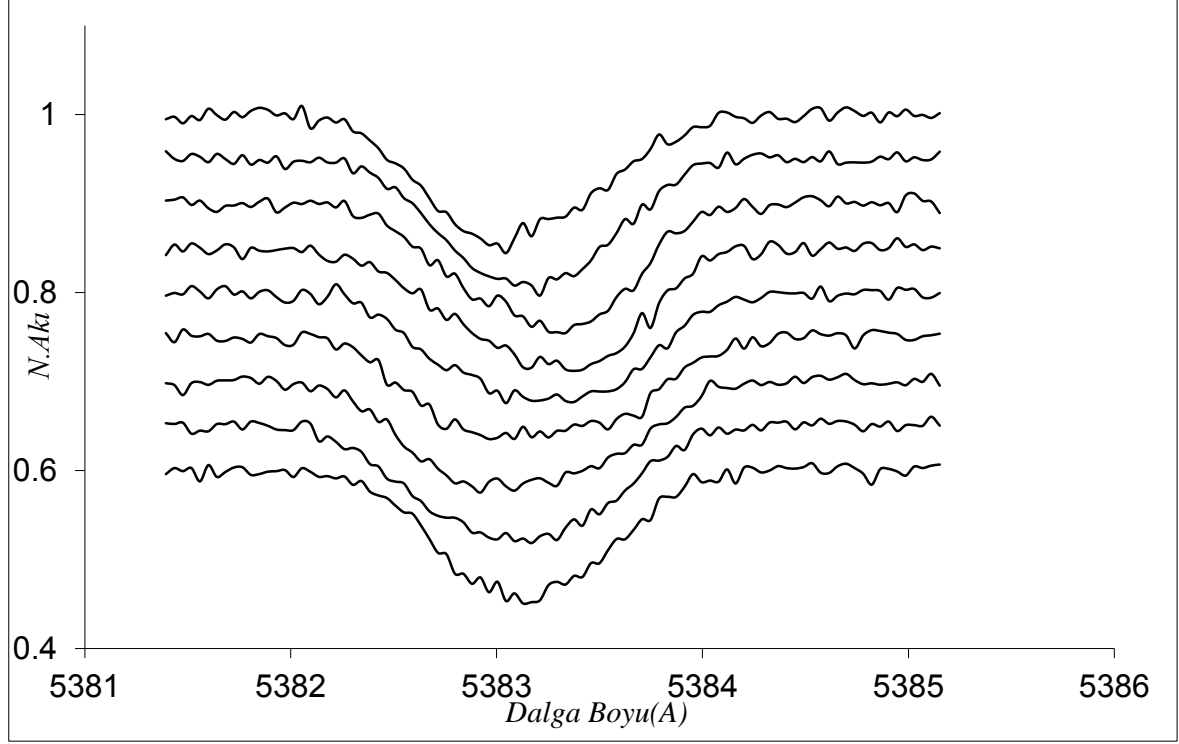
FG Vir' in zonklamaya ilişkin ilk geniş kapsamlı tayfsal çalışması Delta Scuti Ağı (DSN) kapsamında 1995 yılında yapılan beş gecelik kampanya gözlemleri sonucunda elde edilen yüksek çözünürlüklü tayfları kullanılarak Mantegazza ve Poretti (2002) tarafından yayınlanmıştır. Mantegazza ve Poretti analizlerinde çizgi profil değişimlerini pikselden piksele yöntemini kullanarak daha önceden bilinen 10 frekansı pikselden piksele değişim ve dikine hız değişimi ile taramışlardır. Çalışmalarında yıldızın dönme eksenini eğikliğini daha önceki çalışmalardan farklı olarak 15° almışlardır. Bu yaklaşım altında baskın modun $l=1$ ve $m=0$ olduğunu bulmuşlardır.

Çizelge 1. FG Vir' in ışıkölçüm yoluyla elde edilmiş frekansları ile yapılmış mod analizi sonuçları.

Frekans numarası	Frekans (gün^{-1})	Bu Çalışmada		Zima ve ark. (2006)	
		l	m	l	m
f_1	12,716	1	0	0; 1	0
f_2	24,227	1	0	0; 1	0
f_3	12,154	0; 1; 2	1	0; 1; 2	0; 1
f_4	21,051	1; 2	0	0; 1; 2	0
f_5	23,403	1; 2	0; 1	2	0
f_6	9,199	1; 2; 3	1	1; 2; 3	1
f_7	19,867	1; 2	0	0; 1; 2	0
f_8	9,656	0; 1; 2	0	0; 1; 2	0
f_9	19,227	1; 2	0; 1	1; 2	1
f_{10}	20,287	2; 3	-1; 1	1; 2; 3	-1
f_{12}	20,834	2; 3	1	2; 3; 4	1
f_{13}	12,794	2; 3	1; -1	2; 3; 4	-2

Bu çalışma kapsamında, FG Vir yıldızı üzerinde toplam 300 tayf çizgisi (örnek tayf çizgileri Şekil 27' de gösterilmektedir) kullanılarak daha önceki bölümlerde bahsedilen

yöntemlerden moment ve pikselden piksele değişim yöntemi kullanılarak yapılan frekans analizi incelemeleri sonucunda bulunan frekanslar ve onların hangi modlara karşılık geldikleri Çizelge 1’ de gösterilmektedir (çizelgede verilen modlar fotometrik yolla elde edilmiş frekansların tayf çizgileri üzerinde taratılması ile elde edilmiştir).

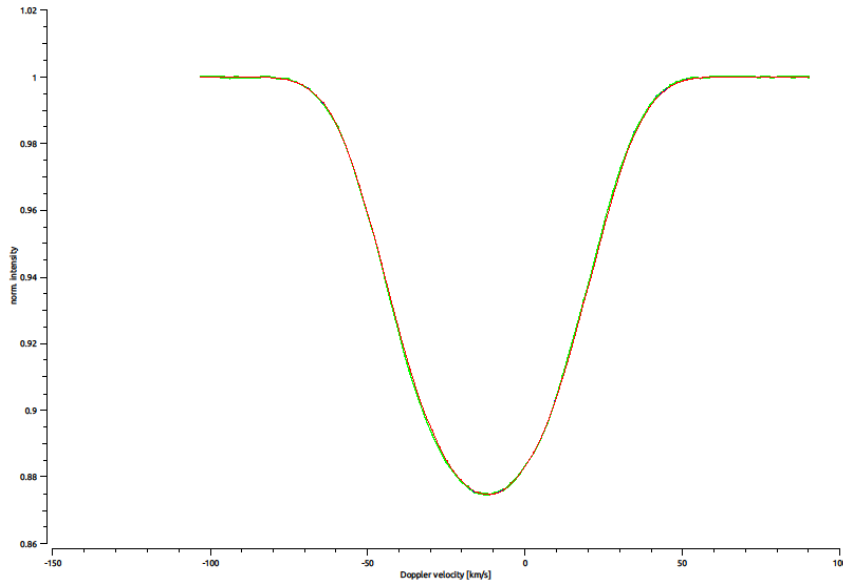


Şekil 27: FG Vir’in normalize edilmiş merkezi $5383,369\text{Å}$ olan dalga boyundaki FeI çizgilerinin profil değişimi.

Daha önceki bölümde de belirtildiği gibi tanımlanan frekansların hangi moda ait olduklarını tanımlamak için hedef yıldıza ilişkin bazı salt parametrelerin çözüm öncesi bulunması gerekmektedir. Bu doğrultuda FG Vir için yapılmış olan tayf analizi ile dönme hızı ($v \sin i$) ve dönme eğimi (i) incelenmiş ve yıldızın 45° lik bir eğim ve 40 kms^{-1} lik bir dönme hızına sahip olduğu bulunmuştur. Bulunan dönme hızı ile üretilen yapay tayf ve gözlemsel tayfin uyumunu Şekil 28’ de gösterilmiştir. Yıldıza ilişkin kütle, yarıçap, sıcaklık ve metal bolluğu gibi diğer girdi parametreleri ise Çizelge 2’ de verilmiştir.

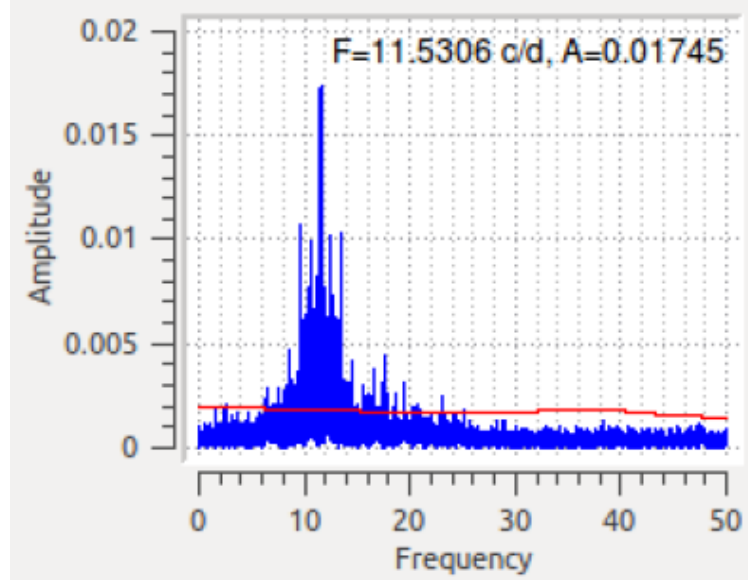
Çizelge 2. FG Vir’ in mod analizi ve yapay tayfının oluşturulması için gereken salt parametreler çizelgedeki ilk beş parametre Zima ve ark. (2006)’ dan alınmıştır. Son iki parametre ise bu çalışmada ilgili tayf çizgilerinden bulunmuştur (parantez içindeki değerler hatalardır)

Parametre	Değer
Kütle (M_{\odot})	1,85
Yarıçap (R_{\odot})	2,273
Etkin Sıcaklık (T_{eff}) (K)	7516
Log g (c.g.s)	3,9
Metal bolluğu (m/H)	0,1
Dönme eğimi (i) ($^{\circ}$)	45(15)
Dönme hızı ($v \sin i$) (km/s)	40(12)



Şekil 28: FG Vir’ in normalize $v \sin i = 40$ km/s ve $i = 45^{\circ}$ ile hesaplanmış dönme profili ve gözlenen tayf verisinin uyuşumu. Şekilde, kırmızı çizgi ile gösterilen yapay tayfı, yeşil çizgi ise gözlenen tayf çizgisini göstermektedir.

FG Vir’in mod analizi sonucunda Çizelge 1’de görüldüğü gibi bazı frekanslar için birden fazla mod tanımlandı. Bu tanımlama, hatası en düşük olan modlar dikkate alınarak yapılmıştır. Bulunan modların daha önce Zima ve ark.’nın (2006) yapmış olduğu çözümle kıyaslaması ise Çizelge 1’ de gösterilmektedir. Tayf verilerinin fourier analizi sonucunda elde edilen frekanslar ise fotometrik yolla elde edilen frekanslardan biraz daha farklı çıkmıştır (Çizelge 3). Elde edilen frekanslardan en baskın (f_1) olan frekansın güç tayfı ve 4σ (Breger, 1979) koşuluyla çizdirilen duyarlılık sınırı Şekil 29’ da gösterilmektedir.

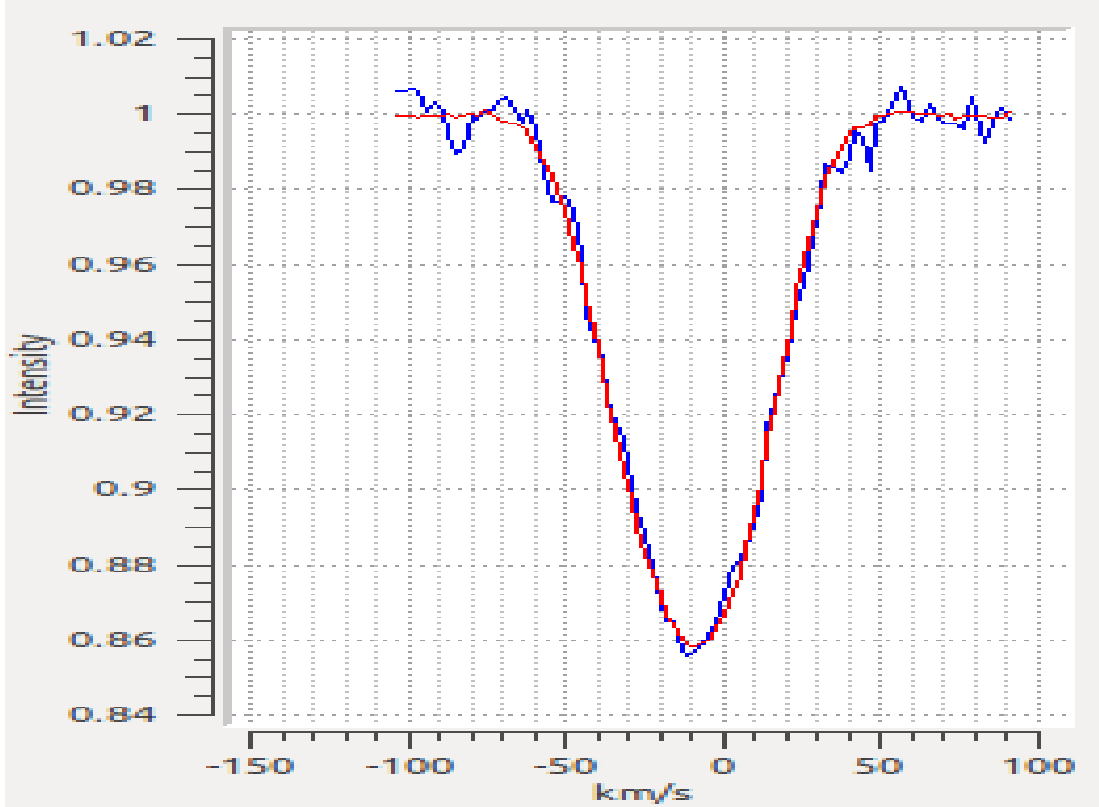


Şekil 29: FG Vir'in tayfsal verisi kullanılarak elde edilen güç tayfi. Yatay eksen frekans aralığını, dikey eksen genliği göstermektedir. Kırmızı çizgi ise 4σ sınırını göstermektedir.

Çizelge 3. FG Vir' in tayfsal frekans ve mod analizi sonucu elde edilen l ve m değerleri

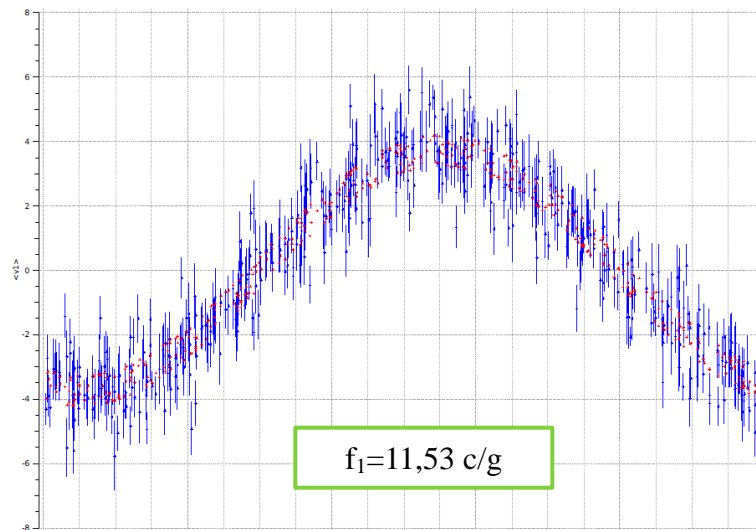
Frekans numarası	Frekans (gün^{-1})	l	m
f_1	11,5274	2; 1	0
f_2	23,0613	3	2; 1
f_3	17,5003	3	3; 0
f_4	9,4951	3	-3; 1
f_5	35,004	-	-
f_6	29,0326	-	-
f_7	12,4906	-	-

Ayrıca tayfsal frekans tanımlaması sonucu elde edilen frekansların kullanılması ile oluşturulan çizgi profili ve gözlemsel olarak elde edilmiş tayf çizgilerinin uyuşumu da Şekil 30' da gösterilmektedir.



Şekil 30: Frekans analizi sonucu elde edilen frekanslar ile oluşturulmuş yapay çizgi profiline gözlemler sonucu elde edilen çizgi profili ile uyumu.

FG Vir için moment yöntemi kullanılarak yapılan mod analizi sonucunda, baskın frekansa karşılık gelen ilk momentteki dikine hız değişimi yaklaşık olarak -4 ile 4 kms^{-1} aralığında olduğu bulundu. Bu değişimin gözlemsel dikine hız değişimi ile teorik momentler arasındaki uyumu Şekil 31’ de gösterilmektedir.



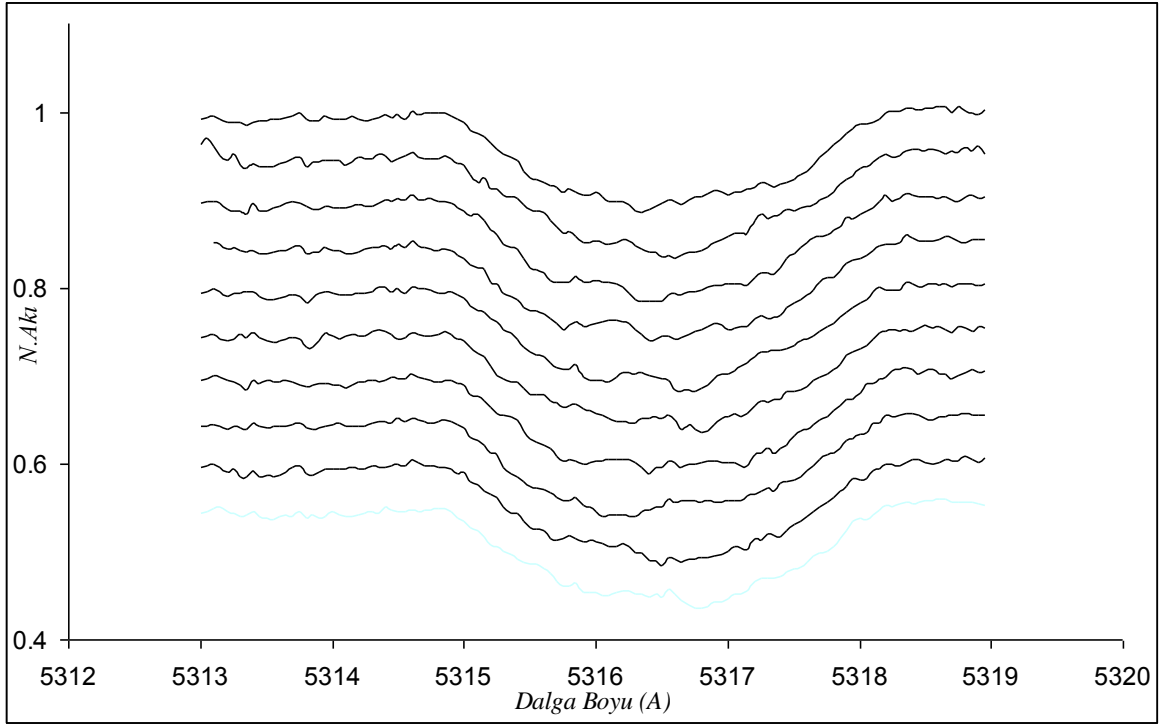
Şekil 31: Baskın frekans için gözlemsel dikine hız değişimi (mavi) ile teorik momentler (kırmızı) arasındaki uyumu.

4.3. Epsilon Cephei

Epsilon Cephei (HD 211336, $V = 4^m.19$, F0IV) ilk olarak Breger tarafından 1966 yılında zonklayan bir yıldız olarak tanımlanmıştır. Breger'in yaptığı 2 gecelik gözlemler sonucunda yaklaşık bir ($f = 23,8 \pm 1,7$ çevrim/gün) saatlik bir zonklama dönemi olduğu belirtilmiştir. Daha sonra 1973 yılında Fesen' in ortaband y filtresinde yaptığı gözlem ile birlikte frekansların üst üste gelmesinden dolayı zonklamada genlik değişimlerinin olduğu duyurulmuştur (Fesen, 1973). Epsilon cephei ile ilgili ilk tayfsal çalışma Gray tarafından 1971 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada fotometrik olarak bilinen 1 saatlik dönem ile değişimlerin gerçekleştiği kabul edilmiş ve üç gecelik dikine hız ölçümlerinin sonucunda ortalama olarak $15 \pm 3 \text{ kms}^{-1}$ lik bir genlik değişimi olduğu bulunmuştur (Gray, 1971).

1993 yılında Baade ve ark. çizgi profil değişimlerine ilişkin bir tarama yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda Epsilon Cephei'den 9 tane tayf alınmış ve tayfalarda görünen LPV değişimlerin yüksek azimutal dereceden $m \sim 6-8$ ile açıklanabileceği öngörülmüştür (Baade ve ark. 1993). Epsilon Cephei ile ilgili oldukça geniş kapsamlı bir tayfsal çalışma Kennelly ve ark. tarafından 1999 yılında yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında Epsilon cephei 8 gece boyunca gözlenmiştir. Gözlemlerin sonucunda 17-40 c/gün arasında değişen ve dikine dereceleri $L = 5-15$ aralığı kullanılarak iki boyutlu Fourier analizi yapmışlardır (Kennelly ve ark. 1999). Son olarak ise 2006 yılında Bruntt ve ark. Wire uydusunun verilerini ve yer tabanlı gözlemleri birleştirerek oldukça kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda $f = 12-40$ c/gün arasında değişen değerlerde frekanslar bulunmuştur (Bruntt ve ark. 2007).

Bu çalışma kapsamında, Epsilon Cephei yıldızının Elodie veri arşivinden elde edilen toplam 114 tayf verisi analize hazır hale getirilerek S/N oranı düşük olan bazı tayfların çıkarılmasıyla birlikte toplam 98 tayf ile (örnek tayf çizgileri Şekil 32' de gösterilmektedir) daha önceki bölümlerde bahsedilen yöntemlerden pikselden piksele değişim yöntemi ve frekans analizi için hem pikselden piksele değişim hem de moment yöntemi kullanılarak yapılan incelemeler sonucunda bulunan frekanslar ve onların hangi modlara karşılık geldikleri Çizelge 5' de gösterilmektedir.

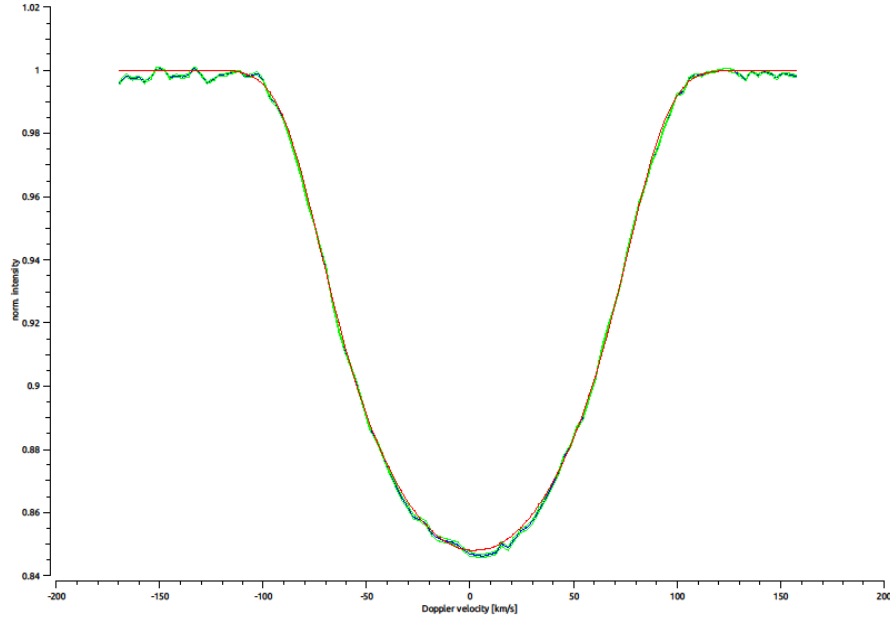


Şekil 32: Epsilon Cep'nin normalize edilmiş merkezi 5316,5Å olan dalga boyundaki Fe II tayf çizgilerinin profil değişimi.

Epsilon Cephei için de belirtildiği gibi belirlenen frekansların hangi moda ait olduklarını tanımlayabilmek için hedef yıldıza ilişkin bazı salt parametrelerin çözüm öncesi bilinmesi gerekmektedir. Epsilon Cephei için yapılan tayf analizi ile $v \sin i$ ve dönme eğimi (i) incelenmiş ve yıldızın 87° lik bir eğim ve 86 kms^{-1} lik bir dönme hızına sahip olduğu bulunmuştur. Bulunan dönme hızı ile üretilen yapay tayf ve gözlemsel tayfin uyuşumu Şekil 33' te gösterilmiştir. Yıldıza ilişkin kütle, yarıçap, sıcaklık ve metal bolluğu gibi diğer girdi parametreleri ise Çizelge 4' de verilmiştir.

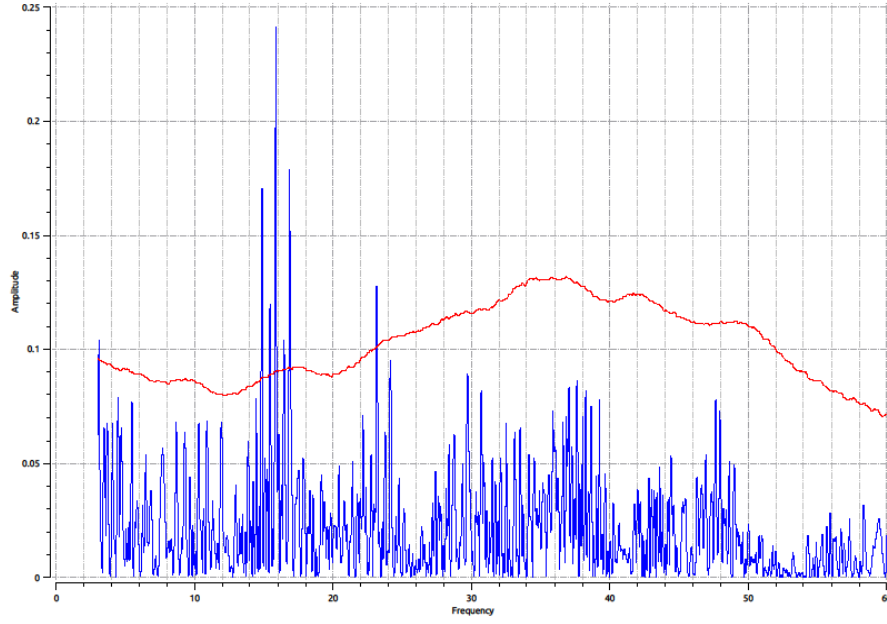
Çizelge 4. Epsilon Cephei' nin mod analizi ve yapay tayfinin oluşturulması için gereken salt parametreler. Çizelgedeki ilk beş parametre Bruntt ve ark. (2007) dan alınmıştır. Son iki parametre ise tayf çizgilerinden bulunmuştur (parantez içindeki değerler hatalardır)

Parametre	Değer
Kütle (M_{\odot})	1,75
Yarıçap (R_{\odot})	1,82
Etkin Sıcaklık (T_{eff}) (K)	7340
Log g (c.g.s)	4
Metal bolluğu (m/H)	0,08
Dönme eğimi (i) ($^\circ$)	87(18)
Dönme hızı ($v \sin i$) (km/s)	87(15)



Şekil 33: Epsilon Cephei’ nin normalize edilmiş $v_{\text{sin}}=87$ km/s ve $i=87^\circ$ ile hesaplanmış dönme profili ve gözlenen tayf verisinin uyumu. Şekilde, kırmızı çizgi ile gösterilen yapay tayfı, yeşil çizgi ise gözlenen tayf çizgisini göstermektedir.

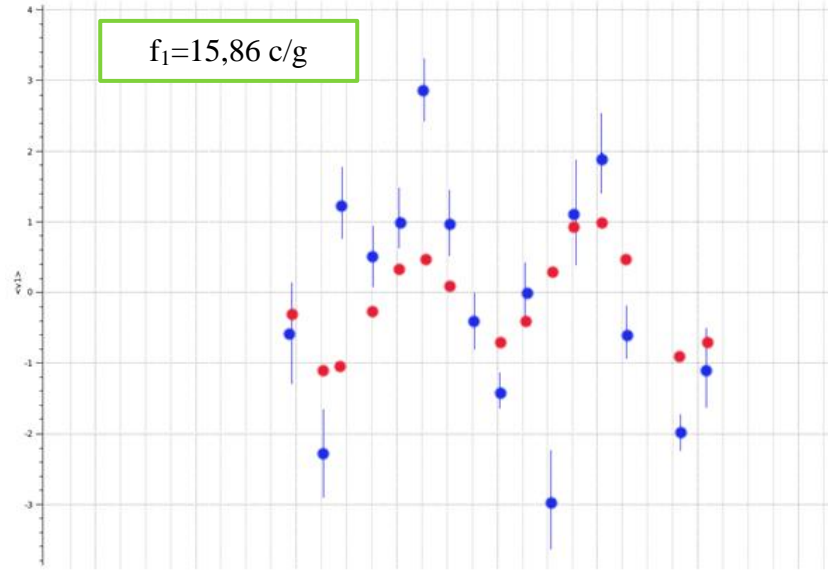
Epsilon Cephei’nin mod analizi sonucunda (Çizelge 5) bazı frekanslar için birden fazla mod tanımlandı. Bu tanımlama hatası en düşük olan modlar dikkate alınarak yapılmıştır. Bazı frekansların ise modları tanımlanmasına rağmen çizelgede belirtilmemiştir. Bunun nedeni o frekans için çok fazla mod tanımlanmış olması ve iyi bir uyum elde edilememiş olmasıdır. Tayf verilerinin fourier analizi sonucunda elde ettiğimiz frekanslar ise daha önceki fotometrik frekans belirleme çalışmalarından (Bruntt ve ark. 2007) elde edilen frekanslardan biraz daha farklı çıkmıştır. Elde ettiğimiz frekanslardan 3-60 c/g aralığında güç tayfı penceresi, en baskın (f_1) olan frekansın güç tayfı ve 3σ koşuluyla çizdirilen duyarlılık sınırı Şekil 34’ te gösterilmektedir. Burada duyarlılık sınırı diğer yıldızdan farklı olarak 3σ olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ise elde edilen tayfsal verinin azlığıdır.



Şekil 34: Epsilon Cephe'nin tayfsal verisi kullanılarak elde edilen güç tayfı. Yatay eksen frekans aralığını, dikey eksen genliği göstermektedir. Kırmızı çizgi ise 3σ hata sınırını göstermektedir.

Çizelge 5. Epsilon Cephei' nin tayfsal frekans ve mod analizi sonucunda elde edilen frekanslar ve l, m değerleri

Frekans numarası	Frekans (gün^{-1})	l	m
f_1	15,8583	3,2	3,1
f_2	27,5244	11	6,-5
f_3	12,5870	2	0,1
f_4	24,3283	6, 3	0,-1,1
f_5	23,403	4,3	0,1,2
f_6	9,9202	5	-3,3,-1
f_7	14,1317	-	-
f_8	7,656	-	-



Şekil 36: Epsilon Cephei için baskın frekanstaki gözlemsel dikine hız değişimi (mavi) ile teorik momentler (kırmızı) arasındaki uyuşum.

BÖLÜM 5**SONUÇ VE ÖNERİLER**

Zonklayan yıldızlar, yıldız içyapılarını ve yıldız evrimlerini inceleme açısından son derece önemlidir. Yıldız sismolojisinin temel verisi zonklama frekanslarıdır. Ancak frekansların modellemelerde kullanılabilir olması için hangi zonklama modunun hangi frekansa karşılık geldiğinin bilinmesi zorunludur. Zonklamalardan kaynaklanan astrofiziksel bilginin miktarı, başarılı bir şekilde tanımlanan modların sayılarına doğrudan doğruya bağlıdır. Bu nedenle modların daha duyarlı belirlenebilmesi için tayfsal verilerin de sürece dahil edilmesi oldukça önemlidir. Çünkü sadece fotometrik yolla elde edilebilecek mod sayısı sınırlıdır. Dolayısıyla fotometrik verilerin yanında tayfsal verilerde analizlere dahil edilerek çok daha fazla sayıda mod tanımlanabilir ve böylece yıldız o kadar çok parçaya bölerek daha ayrıntılı bir şekilde betimleyebiliriz.

Bu çalışmada, öncelikle zonklayan yıldız türlerinin genel özellikleri ve yıldız türleri üzerine yapılan güncel tartışmalardan bahsedildi. Daha sonra zonklamaların yapısı ve türleri anlatıldı. Bir sonraki bölümde ise mod tanımlama ve mod tanımlama yöntemlerinin olumlu ve olumsuz yönlerinden bahsedilmiştir. Bu yöntemler kullanılarak, seçilen iki Delta Scuti türü zonklayan yıldızın frekans analizi ve bulunan frekansların mod tanımlaması yapılmıştır. Ayrıca yıldızın dönme profili incelenmiş ve dönme eğim açısı taranmıştır. Dönme hızının ve dönme eğim açısının hesaplanmasında Zima ve ark. (2006)' dan farklı olarak öncelikle IRAF programı yardımıyla eşdeğer genişlik hesaplanmış ve sabit aldığımız eşdeğer genişlik ile FAMIAS programında öncelikle, seçilen iki yıldız için dönme hızı ve dönme eğim açısı hesaplanmış ve mod analizi için bu değerler sabit alınarak çözümlenmelere devam edilmiştir. Bu yaklaşım altında zonklama özellikleri incelenen FG Vir ve Epsilon Cep' nin ayrıntılı bir şekilde yapılan mod tanımlaması sonucunda elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

Öncelikle yöntem yeni olduğu için yöntemin doğruluğunu denetlemek için kullanılan FG Vir yıldızının analizleri sonucunda, $l=1$; 2 ve $m=0$ baskın modu ile zonkladığı sonucuna ulaşıldı. Daha önceki çalışmalar ile kıyasladığında ise tayfsal verinin ortaya çıkardığı frekansların daha önceki tayfsal frekans analizi çalışmalarında olduğu gibi ışıkölçümsel yolla bulunan frekanslardan biraz daha farklı bulunmuştur (Lehmann ve ark. 2009). Ancak tayfsal olarak karşılaştırıldığında oldukça yakın sonuçlara ulaşıldığı söylenilebilir. Bazı noktalardaki mod farklılıklarının kaynağını ise diğer çalışmalardan

farklı olarak FG Vir için bulunan dönme hızı $v \sin i = 40 \text{ kms}^{-1}$ ve dönme eğimi $i = 45$ derece olarak alınmasıdır.

Epsilon Cep yıldızı için yapılan mod analizi sonuçlarında en düşük hata değerlerini veren küresel harmonikler ve azimutal merteye değerleri ise oldukça yüksek dereceden l ve m değerlerine ulaşılmıştır ($l=0-15$, $m=0-8$). Epsilon Cephei içinde bulunan frekanslar ışıkölçümsel yolla bulunanlardan belirgin ölçüde farklılaşmaktadır. Ancak bulunan frekanslar ile elde edilen harmonik derecelerin çözümlenmesiyle oluşturulan yapay tayfların gözlemlerden elde edilen tayflardaki çizgi profil değişimi ile oldukça iyi bir uyum içerisindedir. Ayrıca Epsilon Cephei için yapılan dönme hızı analizi sonucunda yörünge eğimi $i = 87^\circ$ ve $v \sin i = 87 \text{ kms}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen l - m değerleri ve frekans değerlerinin yıldız sismolojisi açısından hedef yıldızların atmosferlerinin ve içyapı modellerinin daha duyarlı tanımlanması açısından oldukça önemlidir.

İleriki çalışmalar açısından düşünüldüğünde, bu tez çalışmasında bulunan sonuçların, özellikle yıldızların kimyasal bolluğuna ve dönme eğimlerine olan bağımlılıkları dikkate alınarak, bu çalışma için seçilen yıldızların, veri tabanlarındaki yüksek çözünürlüklü tayfları arasından seçilen en iyi duyarlılıktaki veriler kullanılarak metal bolluğu ve sıcaklık gibi parametrelerinin tekrar incelenmesi planlanmaktadır.

Özellikle FG Vir için Zima ve ark. (2006)' da verilen metal bolluğu oldukça yüksektir bu nedenle tekrar metal bolluğu hesaplanmalıdır. Aynı yaklaşım altında Epsilon Cep' in de daha önceki çalışmalarında bulunan metal bolluğu oranındaki hataya bakıldığında oldukça büyüktür, bu nedenle bu yıldız için de en son yöntemler kullanılarak kimyasal yapısının tekrar incelenmesi ve yıldızın atmosfer özelliklerinin tekrar modellenmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aerts C., De Cat P., Peeters E., Decin L., De Ridder J., Kolenberg K., Meeus G., Van Winckel H., Cuypers J. ve Waelkens C., 1999, Selection of a sample of bright southern Slowly Pulsating B Stars for long-term photometric and spectroscopic monitoring, *A&A*, 343, 872
- Aerts C., Cuypers J., De Cat P., Dupret M. A., De Ridder J., Eyer L., Scuflaire R. ve Waelkens C., 2004, Long-term multicolour photometry and high-resolution spectroscopy of the two γ Doradus stars HD 12901 and HD 48501, *A&A*, 415, 1079
- Aerts C., De Cat P., Kuschnig R., Matthews J. M., Guenther D. B., Moffat F. J., Rucinski S.M., Sasselov D., Walker G. A. ve H., Weiss W.W., 2006, Discovery of the New Slowly Pulsating B Star HD 163830 (B5 II/III) from MOST Space-based Photometry, *ApJ*, 642, L165
- Aerts C., 2007, *Astroseismology Lecture notes*
- Aerts C., Briquet, M., Carrier F., Desmet M. ve Zima W., 2008a, Spectroscopic observations of pulsating stars, *CoAst*, 157.
- Aerts C., Hekker S., Desmet M., Carrier F., Zima W., Briquet M. ve Ridder J. De., 2008b, High-Precision Spectroscopy of Pulsating Stars, *psa. Conf.* 161
- Aerts C., Christensen-Dalsgaard J., Cunha M. ve Kurtz D. W. 2008c, The Current Status of Asteroseismology, *SoPh*, 251, 3
- Aerts C., Christensen-Dalsgaard J. ve Kurtz D. W., 2010, *Asteroseismology*
- Baade D., Bardelli S., Beaulieu J. Ph. ve Vogel S., 1993, A spectroscopic search for nonradial pulsations in the Delta Scuti stars Delta Delphini and Epsilon Cephei, *A&A*, 269, 195.
- Balona L. A. ve Stobie R. S., 1979, The effect of radial and non-radial stellar oscillations on the light, colour and velocity variations, *MNRAS*, 189, 649
- Balona L. A., 1986, Mode identification from line profile variations, *MNRAS*, 219, 111
- Breger M., 1966, A Variable Star with an Extremely Short Period, *ApJ*, 146, 958.
- Breger M., 1979, Delta Scuti and related stars, *PASP*, 91, 5
- Briquet M. ve Aerts C., 2003, A new version of the moment method, optimized for mode identification in multiperiodic stars, *A&A*, 398, 687
- Bruntt H., Suárez J. C., Bedding T. R., Buzasi D. L., Moya A., Amado P. J., Martín-Ruiz S., Garrido R., López de Coca P., Rolland A., Costa V., Olivares I. ve García-

- Pelayo J. M., 2007, Asteroseismology with the WIRE satellite. I. Combining ground- and space-based photometry of the δ Scuti star ϵ Cephei, *A&A*, 461, 619.
- Cunha M. S., Aerts C., Dalsgaard C. J., Baglin A., Bigot L., Brown T. M., Catala C., Creevey O. L., Domiciano de Souza A., Eggenberger P., Garcia P. J. V., Grundahl F., Kervalla P., Kurtz D. W., Mathias P., Miglio A., Monteiro M. J. P. F. G., Perin G., Pijpers F. P., Pourbaix D., Quirrenbach A., Rousset-Perreunt K., Teixeira T. C., Thevenin F. ve Thompson M. J., 2007, Asteroseismology and interferometry, *A&A*, 14, 217
- Daszynska-Daszkiwicz J., Dziembowski W. A., Pamyatnykh A. A. ve Goupil M.-J. 2002, Photometric amplitudes and phases of nonradial oscillation in rotating stars, *A&A*, 392, 151
- Daszynska-Daszkiwicz J. ve Pigulski A., 2006, Pulsational properties of the Cephei star SY Equ from combined photometric and spectroscopic observation, *ESASP*, 624, 119
- Daszynska-Daszkiwicz J. 2009, Challenges for stellar pulsation and evolution theory, *CoAst*, 159, 7
- Eggen O. J., 1970, Mount Stromlo and Siding Spring Observatories, Research School of Physical Sciences, the Australian National University. Report for the year ending 1969 December 31, *QJRAS*, 11, 290.
- Fesen Robert A., 1973, Photoelectric Observations of Four δ Scuti-Type Stars, *PASP*, 85, 732.
- Gies D. R. ve Kullavanijaya A., 1988, The line profile variations of Epsilon Persei. I - Evidence for multimode nonradial pulsations, *ApJ*, 326, 813
- Gizon L., Cally P. ve Leibacher J., 2008, Fourier Analysis of Gapped Time Series: Improved Estimates of Solar and Stellar Oscillation Parameters, *SoPh*, 251, 31
- Gray David F., 1971, The Radial Velocity Variation of Epsilon Cephei, *PASP*, 83, 103.
- Guzik J. A., Kaye A. B., Bradley P. A., Cox A. N. ve Neuforge C., 2000, Driving the Gravity-Mode Pulsations in γ Doradus Variables, *ApJ*, 542, 57
- Handler G., 2005, *JApA*, Asteroseismology of Delta Scuti and Gamma Doradus Stars, 26, 241.
- Kaye A. B., Handler G., Krisciunas K., Poretti E. ve Zerbi F. M., 1999, Gamma Doradus Stars: Defining a New Class of Pulsating Variables, *PASP*, 111, 840

- Kawaler S. D., Potter E. M., Vučković M., Dind Z. E., O'Toole S., Clemens J., C., O'Brien M. S., Grauer A. D., Nather R. E., Moskalik P. A., Claver C. F., Fontaine G., Wesemael F., Bergeron P., Vauclair G., Dolez N., Chevreton M., Kleinman S. J., Watson T. K., Barstow M. A., Sansom E., Winget D. E., Kepler S. O., Kanaan A., Bradley P. A., Dixson J., Provencal J. ve Bedding T. R., 2004, Whole Earth Telescope observations of the pulsating hot white dwarf PG 1707+427, *A&A*, 428, 969
- Kennelly E. J., Brown T. M., Ehrenfreund P., Foing B., Hao J., Horner S., Korzennik S., Nisenson P., Noyes R. ve Sonnentrucker P., 1999 Doppler Imaging of Stellar Oscillations: Multi-Site Observations of Epsilon Cephei, *ASPC*, 185, 264
- Kurtz D. W., 1980, Frequency analysis of the light variability of HD 101065, Przybylski's star, *MNRAS*, 191, 115
- Kurtz D. W. 2005, Asteroseismology: Past, Present and Future, *ApA*, 26, 123
- Kurtz D. W. 2006, Stellar Pulsation: an Overview, *ASPC*, 349, 101
- Lehmann H., Tkachenko A. ve Mkrtychian D. E., 2009, TW Dra: NRP mode identification with FAMIAS, *CoAst*, 159, 45
- Mantegazza L., Poretti E. ve Bossi M., 1994, Simultaneous intensive photometry and high resolution spectroscopy of Delta Scuti stars. 1: Mode typing of HD 106384 defined as FG Virginis, *A&A*, 287, 95.
- Mantegazza L. ve Poretti E., 2002, Line profile variations in the delta Scuti star FG Virginis: A high number of axisymmetric modes, *A&A*, 396, 911.
- Mathur S., Garcia R. A., Regulo C., Creevey P. L., Ballot J., Salabert D., Arentoft T., Quirion P. -O., Chaplin W. J. ve Kjeldsen H., 2010, Determining global parameters of the oscillations of solar-like stars, *A&A*, 511, 46
- Mittermayer P., ve Weiss W. W., 2003, Atmospheric properties and abundances of the delta Scuti star FG Virginis, *A&A*, 407, 1097.
- Moultaka J., Ilovaisky S. A., Prugniel P. ve Soubiran C., 2004, The ELODIE Archive, *PASP*, 116, 693
- Pijpers F. P., 2006, *Methods in helio- and asteroseismology*
- Rodríguez E., García J. M., Gamarova A. Y., Costa V., Daszyńska-Daszkiewicz J., López-González M. J., Mkrtychian D. E. ve Rolland A., 2004, δ Sct-type pulsations in eclipsing binary systems: AB Cas, *MNRAS*, 353, 310

- Şenyüz T., 2010, Seçilmiş bazı Delta Scuti bileşenli örten çift sistemlerin ışıkölçümü, *Fen Bilimleri Ens.*, Y.L. Tezi
- Telting J. H. ve Schrijvers C., 1997, Line-profile variations of non-radial adiabatic pulsations of rotating stars. II. The diagnostic value of amplitude and phase diagrams derived from time series of spectra, *A&A*, 317, 723
- Thoul A. 2009, Asteroseismology of B stars, *CoAst*, 159, 35
- Viskum M., Kjeldsen H., Bedding T. R., Dall T. H., Baldry I. K., Bruntt H. ve Frandsen S., 1998, Oscillation mode identifications and models for the delta Scuti star FG Virginis, *A&A*, 335, 549.
- Waelkens C., 1991, Slowly pulsating B stars, *A&A*, 246, 453
- Watson F., G., 1988, Multi-object spectroscopy with FLAIR, *ASPC*, 3, 125
- Zima W. 2006, A new method for the spectroscopic identification of stellar non-radial pulsation modes. I. The method and numerical tests, *A&A*, 455, 227
- Zima W. Wright D., Bentley J., Cottrell P. L., Heiter U., Mathias P., Poretti E., Lehmann H., Montemayor T. J. ve Breger M. 2006, A new method for the spectroscopic identification of stellar non-radial pulsation modes. II. Mode identification of the δ Scuti star FG Virginis, *A&A*, 455, 232
- Zima W. 2008, FAMIAS - A userfriendly new software tool for the mode identification of photometric and spectroscopic times series, *CoAst*, 157, 387

ÇİZELGELER

	Sayfa No
Çizelge 1. FG Vir' in Mod analizi sonuçları.....	32
Çizelge 2. FG Vir' in salt parametreleri.....	34
Çizelge 3. FG Vir' in tayfsal Mod analizi sonuçları.....	35
Çizelge 4. Epsilon Cephei' nin salt parametreleri.....	38
Çizelge 5. Epsilon Cephei' nin tayfsal Mod analizi sonuçları	40

ŞEKİLLER

Sayfa No

Şekil 1. H-R Diyagramı boyunca kararsızlık kuşakları.....	4
Şekil 2. Güneş türü zonklayan yıldızların dağılımı.....	6
Şekil 3. γ Dor yıldızları için örnek ışık eğrisi.....	7
Şekil 4. γ Dor yıldızlarının renk-parlaklık diyagramındaki yeri.....	7
Şekil 5. δ Scuti yıldızlarının renk-parlaklık diyagramındaki yeri	8
Şekil 6. EF Her' in ışık eğrisi.....	9
Şekil 7. EF Her' in tutulmalar dışındaki ışık değişimi.....	9
Şekil 8. HD 101065' in ışık eğrisi.....	10
Şekil 9. MOST uydusundan örnek bir SPB ışık eğrisi.....	11
Şekil 10. SY Equ'nun ışık değişimi.....	12
Şekil 11. RRab türü ışık eğrisi örneği.....	13
Şekil 12. RRc türü ışık eğrisi örneği.....	13
Şekil 13. RRd türü ışık eğrisi örneği.....	13
Şekil 14. Tip II Sefeid türü ışık değişimi.....	14
Şekil 15. Tip I Sefeid türü ışık değişimi.....	15
Şekil 16. Mira yıldızının ışık değişimi.....	16
Şekil 17. DOV örneği.....	17
Şekil 18. DBV örneği.....	17
Şekil 19. DAV örneği.....	18
Şekil 20. $l=3$ modlarının gösterimi.....	19
Şekil 21. Güneş benzeri bir yıldızdaki ses ve çekim dalgalarının yayılma yollarının enine kesiti.....	21
Şekil 22. Watson yöntemi evre-genlik göstergesi.....	23
Şekil 23. Farklı l ve m modları için çizgi profili görünümü.....	25

Şekil 24. Farklı l ve m modları için çizgi profili görünümü.....	26
Şekil 25. Farklı l ve m modları için çizgi profili değişimi.....	28
Şekil 26. Tayfsal mod analizi penceresinden örnek bir görünüm.....	30
Şekil 27. FG Vir'in örnek tayf çizgisi.....	33
Şekil 28. FG Vir' in dönme profili.....	34
Şekil 29. FG Vir'in güç tayfı	35
Şekil 30. Frekans analizi sonucu elde edilen frekanslar ile oluşturulmuş yapay çizgi profilinin, gözlemler sonucu elde edilen çizgi profile ile uyuşumu	36
Şekil 31. FG Vir' in 1. Momentindeki dikine hız değişimi.....	36
Şekil 32. Epsilon Cephei' nin örnek tayf çizgisi.....	38
Şekil 33. Epsilon Cephei' nin dönme profili	39
Şekil 34. Epsilon Cephei' nin güç tayfı	40
Şekil 35. Frekans analizi sonucu elde edilen frekanslar ile oluşturulmuş yapay çizgi profilinin, gözlemler sonucu elde edilen çizgi profile ile uyuşumu	41
Şekil 36. Epsilon Cephei' nin 1. Momentindeki dikine hız değişimi.....	42

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Fahri ALIÇAVUŞ

Doğum Yeri: Kırcaali

Doğum Tarihi: 09/08/1984

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü.

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı.

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce.

BİLİMSEL FAALİYETLER

a) Yayınlar-SCI-Diğer

- Erdem A., Aliçavuş F., Soydugan F., Doğru S.S., Soydugan E., Çiçek C., Demircan O., 2011. *The detached eclipsing binary TX Her revisited*. NewA, 16, 498.
- Soydugan F., Erdem A., Doğru S.S., Aliçavuş F., Soydugan E., Çiçek C., Demircan O., 2011. *Period studies of classical Algol-type binaries II: UX Leo, RW Mon, EQ Ori, XZ Uma and AX Vul*. NewA, 16, 253.
- Doğru S.S., Erdem A., Aliçavuş F., Akın T., Kanvermez C., 2011. *CCD Times of Minima of Some Eclipsing Variables*. IBVS, 5988.
- Erkan N., Erdem A., Akın T., Aliçavuş F., Soydugan F., 2010. *CCD Times of Minima of Some Eclipsing Binary Stars*. IBVS, 5924.

b) Bildiriler ve Posterler-Uluslararası-Ulusal

- Aliçavuş F., Soydugan F., Erdem A., Doğru S.S., Çiçek C., Soydugan E., ve Demircan O., 2010. *Bazı Klasik Algollerin Yörünge Dönemi Değişimlerine ilk Yaklaşımlar*. 17. Ulusal Astronomi Kongresi, ADANA, Baskıda.

- Aliçavuş F., Erdem A., 2010. *Kromosferik Aktif Çift yıldız SV Cam'ın Yörünge Dönemi Analizi*. Güneş Ve Güneş Benzeri Yıldızlar Sempozyumu, İstanbul, Sempozyum K., s.207, ISBN 978-975-404-886-5.

c) Katıldığı Projeler

- 108T714 Nolu TÜBİTAK Projesi. “*Klasik Algollerde Yörünge Dönemi Değişimlerinin Çok Yönlü İncelenmesi.*”

İLETİŞİM

E-posta Adresi: fahrilcv5@gmail.com