ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOURİER FİLTRELEME YÖNTEMİ İLE ROTSE-IIId VERİTABANINDAKİ W UMa TÜRÜ DEĞİŞEN YILDIZLARIN BELİRLENMESİ

Deniz ÇOKER

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2015

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Deniz ÇOKER tarafından hazırlanan **"Fourier Filtreleme Yöntemi İle ROTSE-IIId Veritabanındaki W UMa Türü Değişen Yıldızların Belirlenmesi"** adlı tez çalışması 08/01/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR
Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Altan BAYKAL
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR
Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Kutluay YÜCE
Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim DEMİR
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

08 / 01 / 2015

Deniz ÇOKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOURİER FİLTRELEME YÖNTEMİ İLE ROTSE-IIId VERİTABANINDAKİ W UMa TÜRÜ DEĞİŞEN YILDIZLARIN BELİRLENMESİ

Deniz ÇOKER

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

Gerek yer tabanlı gerekse uzaydan, 2-boyutlu dedektörlerle yapılan gökyüzü taramaları sayesinde, analiz edilmeyi bekleyen gözlemsel veri miktarı hızla artmaktadır. Bu verilerin hızlı bir şekilde anlamlandırılması için otomatikleştirilmiş analiz tekniklerine günümüzde daha da fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu türden fotometrik verinin hızla arttığı deneylerden birisi olan ROTSE–IIId'ye (TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi) ait veriler bu çalışmada analiz edilmiştir. Analizde önce, dönem belirlemede yaygın olarak kullanılan Lomb-Scargle algoritması uygulanmış, daha sonra, yığın verilerin sınıflandırılmasında yine yaygın olarak kullanılan Fourier serisi yöntemi uygulanmıştır. Fourier serisi fiti ile elde edilen katsayılar yardımıyla bazı değişen sistemlerin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yine Fourier katsayılarından yararlanılarak, W UMa sistemleri için değme oranı (f), yörünge eğim açısı (i) ve kütle oranı (q) tahmin edilmiştir. Bütün bu işlemler, hazırlanan bir bilgisayar (Python) kodu ile baştan sona otomatik bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Yöntemin ROTSE–IIId veritabanındaki 7 ayrı yönelimde yer alan yaklaşık 100000 ayrı noktasal hedef başarıyla uygulanması sonucunda, yeni değişen yıldızlar keşfedilerek sınıflandırılmaları yapılmış ve birçok W UMa türü sistem için ilk geometrik parametreler hesaplanmıştır.

Ocak 2015, 96 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fourier serisi, Lomb-Scargle algoritması, Veri analizi, Python, Örten değişen yıldızlar

ABSTRACT

Master Thesis

IDENTIFICATION OF W UMa TYPE VARIABLE STARS IN THE ROTSE-IIId DATABASE ON THE BASIS OF FOURIER FILTERING TECHNIQUE

Deniz ÇOKER

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

Sky surveys performed from both orbiting spacecrafts and ground-based experiments based on 2-dimentional detectors have increased the amount of data which needs to be analyzed. Due to huge growth of these photometric data, automated and fast responding analysis techniques are much more needed today. In the present study, the photometric data of such an experiment, ROTSE–IIId located in TÜBİTAK National Observatory, are studied. In the analysis two widely used techniques, i.e., Lomb-Scargle algorithm for determination of periodicities and Fourier decomposition method for classification of variable stars and for prediction of initial geometric parameters of the systems, are applied to the data, respectively. The coefficients of Fourier filtering method provides the information to classify some variable stars. In addition, by means of Fourier coefficients, some initial parameters of W UMa systems, such as degree of contact (f), orbital inclination (i), and mass ratio (q) are estimated. All steps are automatically performed by using a computer code written in Python language. As a result, applying these methods on approximately 100000 point sources within 7 pointings in the ROTSE–IIId database, some new variable stars are identified and classified, and preliminary geometric parameters for all W UMa systems are given.

January 2015, 96 pages

Key Words: Fourier series, Lomb-Scargle algorithm, Data analyses, Python, Eclipsing binary stars

TEŞEKKÜR

Erken yaştan itibaren bana okumayı, araştırmayı ve sorgulamayı öğreten babam Haluk ÇOKER'e, tüm sorunların ve zorlukların altından kalkılabileceğini gösteren annem Sacide ÇOKER'e, çalışmanın ve öğrenmenin zorluklarıyla birlikte verdiği hazzın önemini usanmadan anlatan ve çalışmama ivme kazandıran abim Yağmur ÇOKER'e, her derdimi anlatabileceğimi bildiğim yengem Esra ÇOKER'e, tez aşamasında yaşadığım ve yaşattığım sıkıntılara rağmen bilgilerini ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR'e (Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı), danışmanımla birlikte beni bu tez çalışma konusuna yönlendiren ve anlamlı projelerin içerisinde olmama olanak tanıyan Doç. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK'a, başta bilgisayar olmak üzere bir çok konuda "guru" sayabileceğim dostlarım Emre AYDIN ve Bülent GÜÇSAV'a, çalışmamda destek ve fikirleriyle yardımcı olan Zahide TERZİOĞLU'na, dertlerimi dinlemeye, somurtkan yüzümü çekmeye ve mutluluklarımı paylaşmaya her zaman hazır olan güzel arkadaşlarım Başak YILDIRAN, Esin KOÇ ve Hande GÜRSOYTRAK'a, düşünceli tavırlarıyla beni mutlu eden Christopher BECKER'a ve farkında olmadan nasıl bilim insanı olunmaması gerektiğini gösterenlere gönülden teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan ROTSE-IIId veritabanı verilerini sağladığı için TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne (TUG) ve işlenmiş verileri sağlayan TBAG108T475 nolu TÜBİTAK projesi çalışanlarına ve yöneticisine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deniz ÇOKER

Ankara, Ocak 2015

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **iv**
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
2. KISA DÖNEMLİ DEĞİŞEN YILDIZLAR VE IŞIK EĞRİLERİ **4**
2.1 Örten Değişen Yıldızlar **5**
2.1.1 Algol (EA) türü örten değişenler **7**
2.1.2 β Lyrae (EB) türü örten değişenler **9**
2.1.3 W Ursae Majoris (EW) türü örten değişenler **11**
2.1.4 Roche geometrisine göre yapılan sınıflama **14**
2.2 Zonklayan Yıldızlar **17**
2.2.1 β Cephei türü değişenler **17**
2.2.2 Sefeid türü değişenler **18**
2.2.3 δ Scuti türü değişenler **21**
2.2.4 γ Doradus türü değişenler **22**
2.2.5 RR Lyrae türü değişenler **23**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **26**
3.1 ROTSE-IIId Teleskobu ve Veriyolu **26**
3.2 Çalışmada Kullanılan Verilerin Özellikleri **28**
3.3 Lomb – Scargle Yöntemiyle Dönemlilik Analizi **29**
3.4 Fourier Katsayıları ile Filtreleme Metodu **33**
3.4.1 Fourier filtreleme metodunun kullanıldığı çalışmalar **36**
3.5 Çalışmada Kullanılan Yazılım **46**
3.5.1 Veri bilimi ve Python **46**
3.5.2 Program hakkında genel bilgi **48**

4. BULGULAR 52
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 69
KAYNAKLAR 72
EK 1 PnF.py Kaynak Kodu 80
ÖZGEÇMİŞ 94

SİMGELER DİZİNİ

P	Dönem
T_0	Epok
φ	Hesaplanan Evre
Δm_{max}	O'Connell etkisi
$m_{maxI,maxII}$	Birinci ve ikinci minimumu takip eden maksimum parlaklık
Gy	Giga yıl (10^9 yıl)
$L_{1,2,3,4,5}$	Lagrange Noktaları
Δm	Işık değişim genliği
f	Değme oranı
i	Yörünge eğim açısı
q	Kütle oranı
P_n	Lomb-Scargle periyodogramı gücü
ω	Açısal frekans
τ	Zaman kaydırma miktarı
$M_{1,2}$	Bileşen Yıldızlarının Kütlesi
$C_{1,2}$	Eşpotansiyel Yüzeyler
T_{eff}	Etkin Sıcaklık
K	Kelvin
β	Çekim Kararma Katsayısı
A	Bolometrik Albedo
l	Normalize ışınım gücü
θ	Yörünge evresi
a_i, b_i	Fourier katsayıları
ofac	Aşırı örnekleme faktörü (Oversampling factor)
hifac	En yüksek frekansın Nyquist frekansına oranı
Δν	Örnekleme oranı
t_s	Veriler arasındaki zaman aralığı
f_{hi}	En yüksek frekans
f_c	Nyquist frekansı
jmax	Periyodogramda en güçlü pike denk gelen indeks

fx	Periyodogramın frekans dizisi
fx_{jmax}	Periyodogramda en yüksek pike karşılık gelen frekans
fy_{jmax}	Periyodogramda en yüksek pikin gücü

Kısaltmalar

ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
ASAS	All Sky Automated Survey (Otomatikleştirilmiş Tüm Gök Taraması)
BDF	Bias/Dark/Flat
CCD	Charge Coupled Device (Yüklenme İliştirilmiş Araç)
CPU	Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
CUDA	Compute Unified Device Architecture (Birleştirilmiş Aygıt Mimarisi Hesabı)
E	Eclipsing (Örten Değişen)
E?	Candidate Eclipsing (Örten Değişen Adayı)
EA	Eclipsing Algol (Algol türü ışık değişimi gösteren örten değişen)
EB	Eclipsing β Lyr (β Lyrae türü ışık değişimi gösteren örten değişen)
EC	Eclipsing Contact (Değen örten değişen)
ED	Eclipsing Detached (Ayrık örten değişen)
ESD	Eclipsing Semi-Detached (Yarı-ayrık örten değişen)
EW	Eclipsing W UMa (W UMa türü ışık değişimi gösteren örten değişen)
FAP	False Alarm Probability (Hatalı Alarm Olasılığı)
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
GCVS	General Catalogue of Variable Stars (Değişen Yıldızların Genel Kataloğu)
GIP	Gama Işını Patlamaları
GPU	Graphics Processing Unit (Grafik İşlemci Ünitesi)
H-R	Hertzsprung Russel diyagramı
L-S	Lomb-Scargle Periyodogramı
MACHO	Massive Compact Halo Objects (Büyük Kütleli Yoğun Halo Cisimleri)
NFFT	Nonequispaced Fast Fourier Transform (Düzensiz Aralıklı Hızlı Fourier Dönüşümü)

NSVS	The Northern Sky Variability Survey (Kuzey Gök Değişenleri Taraması)
OGLE	The Optical Gravitational Lensing Experiment (Optik Kütleçekimsel Mercek Deneyi)
Pop I	Popülasyon I
Pop II	Popülasyon II
ROTSE	Robotic Optical Transient Search Experiment (Robotik Optik Araştırma Deneyi)
TUG	TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Çift sistemlerde yörünge eğimi ve tutulma 6
Şekil 2.2 Örnek bir Algol türü örten değişen ışık eğrisi 7
Şekil 2.3 Yansıma etkisinin görüldüğü Algol türü değişen 9
Şekil 2.4 Örnek β Lyr türü örten değişen ışık eğrisi 10
Şekil 2.5 Örnek W UMa türü örten değişen ışık eğrisi 12
Şekil 2.6 Çift sistemlerde q kütle oranına bağlı olarak (xy düzlemindeki) Roche geometrisi ve Lagrange noktaları 15
Şekil 2.7 Çift sistemlerde Roche şişimlerinin doluluk oranına göre yapılan sınıflama 16
Şekil 2.8 Örnek bir β Cep türü değişen yıldızın ışık eğrisi 18
Şekil 2.9 δ Cep yıldızının gözlenen pulsasyon özellikleri 19
Şekil 2.10 Sefeid türü değişen bir yıldıza (CE Her) ait örnek ışık eğrisi 20
Şekil 2.11 Örnek uzun dönemli Sefeid türü değişen ışık eğrisi 21
Şekil 2.12 Örnek δ Scuti türü değişen ışık eğrisi 22
Şekil 2.13 γ Dor türü değişim gösteren OU Pup'a ait, u ve v bantlarında elde edilmiş olan örnek ışık eğrileri 23
Şekil 2.14 Örnek bir RRab türü değişen yıldızın ışık eğrisi 24
Şekil 2.15 Örnek RRc türü değişen ışık eğrisi 25
Şekil 3.1 ROTSE–III teleskoplarının gerçel zamanlı çalışan veri yolu 28
Şekil 3.2 ROTSE–IIId teleskobu için geliştirilen veri yolu şeması 29
Şekil 3.3 Lagrange potansiyellerinin Roche modeli üzerinde gösterimi 34
Şekil 3.4 Tam tutulma gösteren örnek bir model ışık eğrisi ve uygulanan Fourier serisi fiti 35
Şekil 3.5 Farklı f değerleri (f = 0, 0.5, 1) için a_2 ve a_4 katsayıları arasındaki bağıntı 36
Şekil 3.6 OGLE kataloğundan alınan 933 örten değişen sistem için Rucinski tarafından elde edilen a_2 ve a_4 Fourier katsayılarının dağılımı 37
Şekil 3.7 OGLE kataloğundan alınan 933 örnek örten değişen sistem için elde edilen a_2 ve a_1 Fourier katsayılarının dağılımı 39

Şekil 3.8 NSVS verileri kullanılarak yapılan çalışmada elde edilen a_2 ve a_4 Fourier katsayılarının dağılımı 40
Şekil 3.9 ROTSE–IIId ile gözlenmiş 38 adet W UMa türü örten değişen sistemin $a_2 – a_4$ düzlemi üzerindeki dağılımı 41
Şekil 3.10 Minimumlar arasındaki farka duyarlı olan ve 38 adet sistem için hesaplanan a_1 katsayısının $a_2 – a_1$ düzlemindeki dağılımı 42
Şekil 3.11 Işık eğrilerinin $a_2 – a_4$ düzlemindeki dağılımı 43
Şekil 3.12 OGLE Şişkin Bölge değişenlerinden zonklayan ve örten değişen sistemlerin a) $b_2 – b_4$ ve b) $a_4 – b_4$ düzlemindeki dağılımı 44
Şekil 3.13 ASAS örten değişen sistemlerinin $a_2 – a_4$ düzlemindeki dağılımı..... 44
Şekil 3.14 Büyük Macellan Bulutu'nda bulunan örten değişen sistemlerin $a_2 – a_4$ düzlemindeki dağılımı..... 45
Şekil 3.15 ABD'nin en iyi 39 bilgisayar bilimleri bölümünde giriş dersi olarak öğretilen dillerin dağılımı..... 47
Şekil 4.1 Kriterlere uygun, dönemlilik gösteren örnek 4 adet sisteme ait evrelendirilmiş ışık eğrisi..... 53
Şekil 4.2 FAP olasılığı üssünün FAP ≤ -10 alınması sonucunda elde edilen ışık eğrilerine örnek 4 sistemin ışık eğrisi, dönem ve FAP bilgileri..... 59
Şekil 4.3 Toplam 61 adet sistem için uygulanan Fourier serisi fitlerinden elde edilen a_2 ve a_4 kaysayılarının dağılımı..... 60
Şekil 4.4 Literatürde tür bilgisi bulunan değişenlerin bu çalışmada belirlenen a_2 ve a_4 kaysayılarına göre dağılımı..... 61
Şekil 4.5 Toplam 61 adet sistem için uygulanan Fourier serisi fitlerinden belirlenen EC türü sistemlerin a_1 kaysayılarına göre dağılımı..... 62
Şekil 4.6 Literatürde sisteme ait tür bilgisi bulunan EW ve EB türü örten değişenlerin a_1 kaysayılarının dağılımı 62
Şekil 4.7 CK Boo yıldızının maksimumları arasındaki seviye farkının yıllar içindeki değişimi 68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 GPU ve CPU platformlarında L-S periyodogramının hesaplanma süreleri 32

Çizelge 3.2 GPU ve CPU platformlarında NFFT temelli geliştirilen L-S periyodogramının hesaplama süreleri 32

Çizelge 4.1 Toplam 90384 adet nokta kaynak için çalıştırılan program sonucunda kriterlere uygun olarak sınıflandırılan değişen sistemlere ait istatistikler 52

Çizelge 4.2 Kriterlere uygun olarak belirlenen 61 değişene ait dönem bilgileri yapılan sınıflandırmalar ve literatür bilgileri 54

Çizelge 4.3 Çoker vd.'nin yaptığı çalışmada W UMa türü örten değişen olarak belirlenen 9 adet sistemin, bu çalışma ve literatür ile karşılaştırmalı sonuçları 57

Çizelge 4.4 Sadece bir bölge için farklı *ofac* değerleri (4 ve 10) kullanılarak elde edilen dönemlerin karşılaştırması 58

Çizelge 4.5 Bu çalışmada EW olarak belirlenen sistemlere ait a_1, a_2 ve a_4 Fourier katsayıları ve elde edilen f , i ve q parametreleri..... 64

Çizelge 4.6 Bu çalışmada EW türü olarak belirlenen sistemlerden, literatürde f, i ve q parametresi verilenlerin karşılaştırılması 66

Çizelge 4.7 Örnek 8 adet EW türü sistemin program çıktı sonuçları ve literatür bilgileri 67

1. GİRİŞ

Değişen yıldızlar fiziksel özelliklerine göre bünyesel değişenler (zonklayan değişenler, novalar gibi) ya da geometrik (dıştan) değişenler (örten değişenler, X-ışın çiftleri, elipsoidal değişenler gibi) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Sahip oldukları fiziksel parametreler, yayınladıkları fotonlar içerisinde saklı olan bu sistemler sayesinde yıldızların yapılarına dair birçok fiziksel bilgi edinilebilmektedir. Genelde bu sistemleri tek tek çalışmak, fiziksel yapılarını ortaya koymak oldukça zaman alıcıdır. Bu nedenle yıldız sistemlerinden elde edilen bilgi miktarı sınırlı olmaktadır. Son yıllarda hızla artan gökyüzü tarama projeleri nedeniyle gözlem verileri de bir o kadar hızla artmaktadır. Buna paralel olarak, yığın verilerin hızlı indirgenebilmesi için otomatikleştirilmiş bazı yöntemlerin ve algoritmaların geliştirilmesi gerekmiştir (Eyer ve Blake 2005, Jonathan 2005, Debosscher vd. 2007, Richards vd. 2011, Dubath vd. 2011). Bu tür teknolojik ve gözlemsel gelişmeler, gözlemsel ve teorik astronomi yanında, sayısal astronominin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Robotik teleskoplarla yerden yapılan optik gökyüzü taramalarına örnek olarak Sloan Digital Sky Survey (SDSS), Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE), All-Sky Automated Survey (ASAS), Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System (Pann-STARRS), Large Synoptic Survey Telescope (LSST) gösterilebilirken uzaydan gerçekleştirilen fotometrik gökyüzü taramaları arasında Hipparcos, Convection Rotation and planetary Transits (COROT), Kepler Mission, Gaia Mission sayılabilir. Tüm bu sayılan projeler ve benzeri diğer gökyüzü tarama projeleri için yapılmış literatürde birçok otomatikleştirilmiş veri yolu çalışması bulunmaktadır (örn. Eyer ve Blake 2005, Devor 2005 gibi). Yığın verilere uygulanacak otomatik veri yolları sayesinde gökyüzü tarama projelerine hızlı bir şekilde anlam verilmekte ve bilimsel bir değer kazanması sağlanmaktadır. Bu nedenle kullanılacak veri setine uygun analizleri gerçekleştirebilmek için veri seti ile uyumlu veri yolları tasarlanmalı ve yeni yöntemler geliştirilmeye çalışılmalıdır.

Uzun yıllardır gözlemlerine TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) yerleşkesinde devam eden robotik teleskop ROTSE-IIId (Akerlof vd. 2003) ile alınmış, atıl halde duran verilerden değişen yıldızların bulunması, dönemlerinin hesaplanması, sınıflanması ve başlangıç parametrelerinin belirlenmesi gibi herhangi bir çalışmanın yapılmamış olması bu işlemleri otomatikleştirilecek ve hızlıca bu bilgilere ulaştıracak bir yöntemin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu tez çalışmasında ROTSE-IIId'nin örnek 7 bölgesinden seçilen, yaklaşık 100000 nokta kaynağına ait veri seti kullanılarak, kısa dönemli değişenler, özel olarak da W UMa türü örten değişen sistemler üzerine yoğunlaşan otomatik bir veri sınıflandırma yolu tasarlanmış ve uygulanmıştır.

W UMa türü örten değişen sistemler, örten değen sistem olarak da bilinen ortak zarfla çevrilmiş, kısa dönemli ($P \leq 1.0$ gün) orta ve geç tayf türlerine sahip çift sistemlerdir (Lucy 1968). Bu sistemler hakkında oldukça fazla çalışma olmasına karşın hala oluşumları, evrimleri ve evrimlerinin son safhaları hakkında birçok soru işareti bulunmaktadır (Tran vd. 2013). Özellikle gökyüzü taraması yapan projelerden gelen uzun süreli ve neredeyse sürekli olan gözlem verileri bu sistemler hakkında yeni bilgilere sahip olmamızı sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan yaklaşık 100000 nokta kaynağın türü ve fiziksel parametreleri hakkında herhangi bir ön bilgiye sahip olmadan, baştan sona tamamen otomatik çalışarak bu yıldızların dönemlilik gösterip göstermediğini belirleyerek, kriterlere uygun sistemleri ayıklayan, sınıflandıran ve içlerindeki W UMa türü örten değişen sistemlere ait bazı geometrik parametreleri tahmin eden bir yazılım geliştirilmiştir.

Tüm verilerin olası dönem hesaplamaları literatürde de sıkça kullanılan Lomb – Scargle (Lomb 1976, Scargle 1982) periyodogram analizi ile yapılmıştır. Belirlenen kriterlere uygun sistemlerin sınıflandırılması yapılarak, Fourier fiti sonucunda elde edilen katsayılardan W UMa türü sistemlere ait geometrik parametreler tahmin edilmiştir. Yakın çiftlere sentetik teorik ışık eğrilerinin fit edilebilmesi konusunda ilk yapılan çalışmalar arasında, Rucinski (1969), Hill ve Hutchings (1970) ve Mochnacki ve Doughty (1972) gösterilebilir. Örten değişen sistemlerin Roche şişimlerine göre yapılan

sınıflandırılmasında Fourier fitlerinden belirlenen katsayıların kullanılmasıyla olası zonklayan sistemlerin ayıklanması ve W UMa türü örten sistemlerin yaklaşık geometrik parametrelerinin elde edilmesinin mümkün olduğu Rucinski (1973, 1993, 1997a, 1997b) tarafından ilerleyen yıllarda gösterilmiştir.

Yazılımın başarısını kontrol etmek amacıyla hem kullanılan verilerden literatür bilgisi olan sistemlerin, hem de ışık eğrileri başka yerden alınmış ve yine literatür bilgisi olan W UMa örten değişen sistemlerin, literatürde verilen dönemleri ve geometrik parametreleri programın çıktı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yeni değişen olarak tanımlanan hedef sayısı 19 adet W UMa, 4 adet β Lyr, 4 adet zonklayan değişen, 2 adet ayrık örten değişen ve 4 adet yarı ayrık örten değişen sistemi olmuştur.

2. KISA DÖNEMLİ DEĞİŞEN YILDIZLAR VE IŞIK EĞRİLERİ

En basit tanımıyla, yayınladığı ışınım şiddetinde zamana bağlı değişim gösteren tüm yıldızlara değişen yıldız denilmektedir. Hala astrofiziğin önemli çalışma alanlarından biri olan değişen yıldızlar, gökcisimlerine ait bazı fiziksel parametrelerin elde edilmesini sağlamaktadır. Yıldızların yapısal analizleri ile, yıldız oluşumu, yıldız yapısı ve evrimi, kütle kaybı, kütle aktarımı, çift yıldız evrimi, ötegezegenler, yıldızların kütle, yarıçap ve sıcaklık ilişkisi gibi birçok bilgi elde edilebilmektedir. Bazı değişen türleri (RR Lyr, Sefeid, Mira, süpernova gibi) ise, küme ve galaksilerin uzaklıklarını belirlemede standart mumlar olarak kullanılmaktadır.

Değişen yıldız gözlemlerinden zamana bağlı akı değişimi ölçülür. Ölçülen bu değişimin zaman veya evreye göre çizdirilen grafiğine ışık eğrisi denilir. Yüzyıllardır astronomların ilgisini çeken değişen yıldızlar, sahip oldukları ışık eğrisi profillerine göre de sınıflandırılmaktadırlar. Ancak sadece bu yönteme dayandırılan sınıflandırma teknikleri sistematik hatalar içerebilir. Doğru bir sınıflandırma için yıldıza ait fiziksel özelliklere ve yıldızın H-R diyagramı üzerindeki yeri, metal bolluğu, sahip olduğu tayfsal bilgiler gibi özelliklere de dikkat edilmelidir (Majczyna vd. 2009). General Catalogue of Variable Stars (GCVS) kataloğunda kullanılan genel sınıflama, yıldızın sahip olduğu ışık eğrisi profili, sıcaklık, ışınım gücü ve öbek türüne göre yapılmıştır (Samus vd. 2009). Fiziksel özelliklerine göre değişen yıldızları şu iki grup altında incelemek mümkündür:

- **i.** Bünyesel değişenler: zonklama veya patlama gibi fiziksel özelliklerin neden olduğu değişimlerin görüldüğü yıldızlar.
- **ii.** Dıştan (geometrik) değişenler: yıldızın başka bir yıldız tarafından örtülmesi, güneşdışı gezegen tarafından örtülmesi veya yıldızın dönmesi gibi, yıldız dışında gerçekleşen süreçlerin neden olduğu değişimlerin görüldüğü yıldızlar.

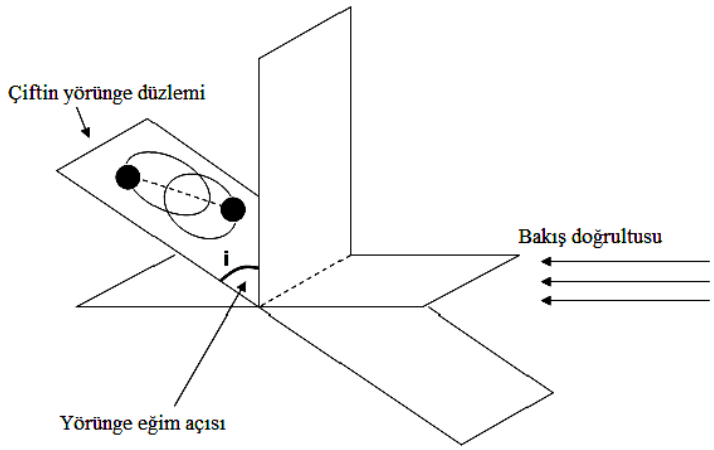
Alt türlerine bakıldığında oldukça fazla miktarda değişen yıldız türü bulunmasına rağmen, bu çalışmada örten ve bazı bünyesel değişenler üzerinde odaklanılmıştır. Her

iki grup altında da kısa dönemli (P < 5 gün) yıldızlar bulunmakla beraber, bu çalışmada özellikle dönemi, 0.1 gün < P < 1.5 gün arasında kalan sistemler incelenmiştir. Dönemde getirilen bu kısıtlamanın esas nedeni, araştırmanın, W UMa türü örten değişen yıldızlar ile sınırlandırılmış olmasıdır.

2.1 Örten Değişen Yıldızlar

Dıştan değişenler grubuna ait olan örten değişenler, evrende sayıca fazla olmaları ve bu sistemler sayesinde yıldızların temel fiziksel özelliklerinin doğrudan (kütle, sıcaklık, yarıçap, yoğunluk vs. gibi) elde edilebilmesi nedeniyle oldukça büyük bir öneme sahiptirler. Örten değişenler, ortak kütle merkezi etrafında Kepler yasalarına göre yörünge hareketi yapan en az iki yıldızdan oluşmuş sistemlerdir. Bu sistemlerde, yörünge düzlemi bakış doğrultusuna yakın veya çakışık olmasından dolayı, örtme ve örtülme kaynaklı ışık değişimleri görülmektedir (şekil 2.1). Sisteme ait bileşenlerin, yarıçaplarından bağımsız olarak, yörünge eğim açısının 90° olması durumunda gözlemci örtme ve örtülme olayını tüm örten değişen sistemlerde gözleyebilecektir. Yörünge açısı küçüldükçe, örtme ve örtülme olayının gözlenebilmesi yıldızların yarıçapları ve bileşenler arasındaki uzaklığa bağlıdır (bkz. denklem 2.1). Yani sistemin yörüngesi, yıldızların büyüklüğüne kıyasla ne kadar küçükse, tutulmayı görmek o kadar olasıdır. Örten değişenlerin özel bir alt türü olan aşırı değen çiftlerde (ortak zarfı olan sistemler), yörünge eğim açısı 35°'ye kadar inse bile örtülme gözlenebilmektedir (Kallrath ve Milone 2009).

$$\left|\sin(90 - i)\right| = \left|\cos(i)\right| = \frac{r_1 + r_2}{a} \tag{2.1}$$



Şekil 2.1 Çift sistemlerde yörünge eğimi ve tutulma

Örten değişen sistemlerin evrelendirilmiş ışık eğrilerinde genelde farklı derinliğe sahip iki minimum gözlenir. Derin olan minimum yani I. minimumda sönük bileşen parlak yıldızı örterken, sığ olan minimum yani II. minumumda ise, parlak bileşen sönük olan yıldızı örtmektedir. Örten değişen yıldızlarda yörünge dönemi "*P*" ile gösterilmektedir. Birinci minimumun zamanlama gözlemlerinden hassas olarak belirlenen ve Jülyen günü cinsinden verilen epok (minimum zamanı) ise "T_0" ile gösterilir. Bu iki ışık elemanının kullanılmasıyla evre hesabı yapılmaktadır. Evre (φ) hesabı,

$$\varphi = \left(\frac{T - T_0}{P}\right) - tam\ sayı\left(\frac{T - T_0}{P}\right) \tag{2.2}$$

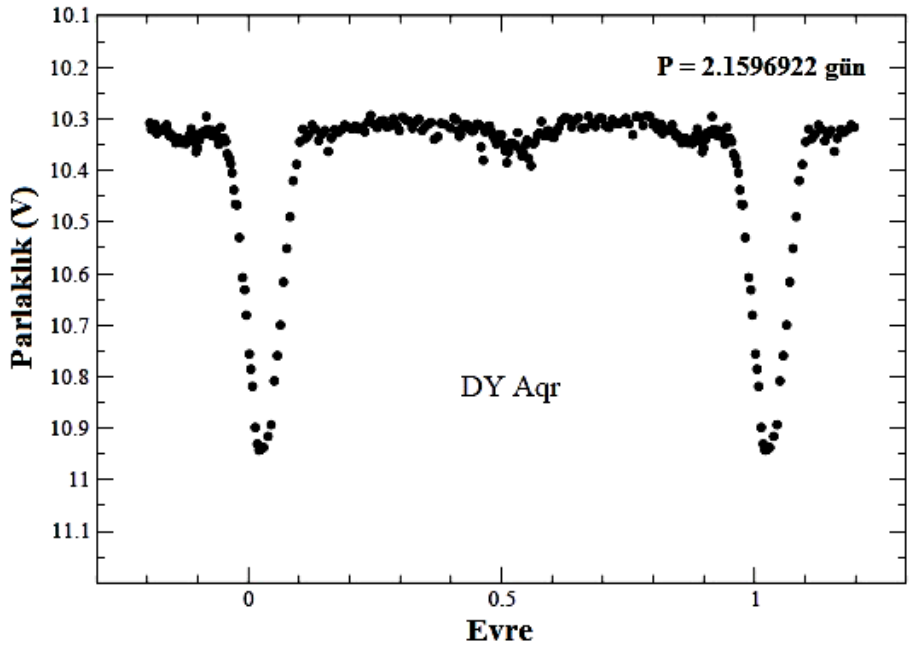
işlemi ile gerçekleştirilir. Dolayısıyla $0.0 \leq \varphi \leq 1.0$ aralığındadır.

Örten değişen sistemler, Roche geometrisi ve ışık eğrilerinin şekillerine göre farklı bir sınıflandırmaya tabi tutulmuşlardır. Işık eğrilerinin şekillerine göre örten çift yıldızların fotometrik sınıflandırması alt türlerinin prototipleri olan, **i)** Algol [β Per] (EA), **ii)** β Lyrae (EB) ve **iii)** W Ursae Majoris (EW) gibi 3 farklı alt gruba ayrılmıştır (bkz. GCVS[1]).

[1] http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/iii/vartype.txt

2.1.1 Algol (EA) türü örten değişenler

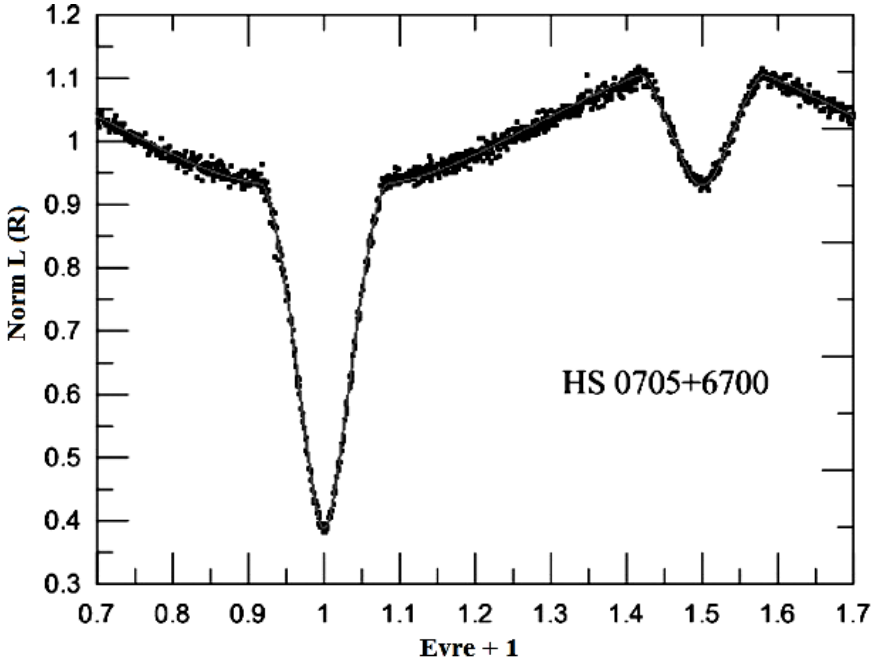
Algol türü sistemler, her iki bileşenin de küresel şekle sahip olduğu veya bileşenlerden birisinin hafif bir şekil bozulmasına uğramış olduğu (elipsoidal) çift sistemlerdir. Roche geometrisine göre ayrık ya da yarı ayrık (Algol yıldızı da yarı ayrık bir sistemdir) çift sistemler grubuna girerler (Yakut ve Eggleton 2005, Kallrath ve Milone 2009). Işık eğrilerinde tutulmaların başlangıç ve bitiş anları oldukça belirgin olup tutulmalar arasında (maksimumlarda) ışık eğrileri neredeyse sabittir (şekil 2.2). Yansıma etkisi, bileşenlerden birinin elipsoidal yapıda olması ve/veya fiziksel farklılıklardan kaynaklı bazı etkiler (örn. manyetik aktivite gibi) nedeniyle, ışık eğrilerinin maksimum seviyelerinin sabit olmadığı durumlarla da karşılaşılabilir. Işık değişim genlikleri $0^m.01$ ila bir kaç kadir arasında değişmektedir. Yörünge dönemleri genellikle 1 günden uzun olup 0.2 gün ila bir kaç yıl arasında değişen bir aralığa dağılmıştır. Ancak 27 yıllık dönemiyle ε Aur bu türün şimdiye kadar keşfedilmiş en uzun dönemli sistemidir.



Şekil 2.2 Örnek bir Algol türü örten değişen ışık eğrisi (Mas-Hesse vd. 2003)

Algol türü örten değişenlerin detaylı fotometrik veya radyal hız çalışmaları sayesinde, sistemin kütlesinin, çapının, ışınım gücünün ve sıcaklığının hassas bir şekilde elde edilmesi mümkündür. Ancak dikkat edilmesi gereken bir husus, fotometrik ve radyal hız çalışmalarında meydana gelen rastlantısal veya sistematik hatalardır. Sistemin fiziksel parametrelerinin belirlenmesi için yapılan fotometrik çalışmalarda, en az iki filtrede yapılmış gözleme ihtiyaç duyulmaktadır. Her iki bileşene ait radyal hız ölçümlerinde, çizgilerin "blend" olma derecelerinin iyi bilinmesi gerekmektedir (Percy 2007).

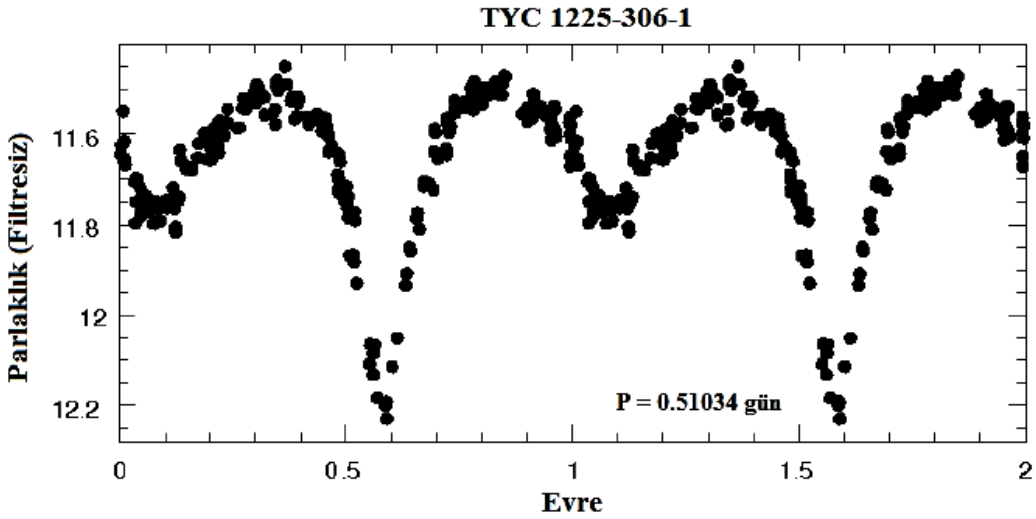
Genelde ışık eğrilerinde bileşenler arasındaki etkileşimin az olduğu görülür. Ancak bu durum her zaman doğru olmayabilir. Örneğin minimum derinlikleri arasındaki farkın çok olduğu durumlarda, bileşenler arasında da sıcaklık farkı olup, sıcak yani daha mavi olan yıldız, sistemden gelen ışığın baskın bileşeni olmaktadır. Böyle durumlarda ışık eğrisinde, ikinci minimum civarında, yansıma etkisinden kaynaklı (sıcak yıldızın, soğuk yıldızın atmosferini etkilemesiyle ışınım gücünü arttırması) bir ışık artışı görülmektedir (şekil 2.3). Bu etki özellikle soğuk yıldızın, diğer bileşenden büyük olduğu durumlarda çok daha rahat görülebilmektedir. Bu tür sistemler kızılötesi bölgede gözlendiği zaman, soğuk yıldızın sistemden gelen toplam ışığa daha fazla katkısı olması nedeniyle, β Lyr türü ışık eğrisine benzerlik göstermektedir (Kallrath ve Milone 2009).



Şekil 2.3 Yansıma etkisinin görüldüğü Algol türü değişen (Çamurdan vd. 2012)

2.1.2 β Lyrae (EB) türü örten değişenler

Örten değişen türü sistemlerin bir diğer alt grubu β Lyr türü sistemlerdir. Baş ve yoldaş yıldızlardan birinin veya her ikisinin de şekil bozulmasına uğramasından dolayı, tutulmalar dışında da sürekli ışık değişimi görülmektedir. β Lyr türü örten değişenler yarı-ayrık sistemler olarak kabul edilmelerine rağmen (β Lyr yıldızı da yarı ayrık bir sistemdir; Lomax vd. 2012), TU Mus değişeni gibi değen sistemler de mevcuttur (Penny vd. 2008). Sinüs benzeri ışık eğrilerinde meydana gelen sürekli değişim, tutulma zamanlarının belirlenmesini biraz güçleştirmektedir (şekil 2.4). GCVS'de yapılan öneriye göre, EB ile EW türü örten değişenler arasındaki ayrım sistemin minimum profilleri arasındaki farka bakılarak yapılmaktadır. EB türü sistemlerin 1 günden uzun yörünge dönemine ve A veya B tayf türüne sahip olmaları da bu ayrımı yapmada kullanılan bir diğer kriterdir (Sterken ve Jaschek 1996). Ancak sadece bu kriterlere dayandırılarak yapılan sınıflama da çok doğru olmayacaktır (örn ~0.29 gün döneme sahip QY Hya, Szalai vd. 2007). Dev veya süperdev bileşenlere sahip olan sistemler ise, normalde gün bazında yörünge dönemlerine sahip EB türü sistemlere göre daha uzun dönemlere sahiptirler (Kallrath ve Milone 2009).



Şekil 2.4 Örnek β Lyr türü örten değişen ışık eğrisi (Hoffman vd. 2008)

EB türü değişenler arasında çok farklı evrim aşamasındaki çiftlere rastlanabilmektedir (Sterken ve Jaschek 1996):

i. Evrimleşmemiş, iki anakol yıldızından oluşan, göreceli olarak kısa yörünge dönemine sahip çiftler.

ii. Roche şişimlerini henüz doldurmamış, tek veya her iki bileşenin de evrimleştiği çiftler.

iii. Evrimleşmiş bileşenden, henüz evrimleşmemiş olan yıldıza madde aktarımının olduğu yarı-ayrık çiftler.

iv. Bir bileşenin ileri düzeyde evrimleştiği (sıcak altcüce veya beyaz cüce), diğer yıldızın ise evrimleşmiş, şekil bozulmasına uğramış olduğu çiftler.

Işık eğrilerinde, minimum derinlikleri arasında belirgin farkın görüldüğü sistemler, bileşenler arasında da sıcaklık farkının olduğuna işaret eder. Bileşenlerin birbirlerini çekimsel olarak etkilediğine dair belirtiler ışık eğrilerinde gözlemlenebilmektedir. Bu sistemlere ait bileşenler çekimsel tedirginlik bozulmasına uğramakta, verdikleri ışık eğrileri bu bozulmayı yansıtmaktadır. EB sistemlerinin parametrelerini belirlemede

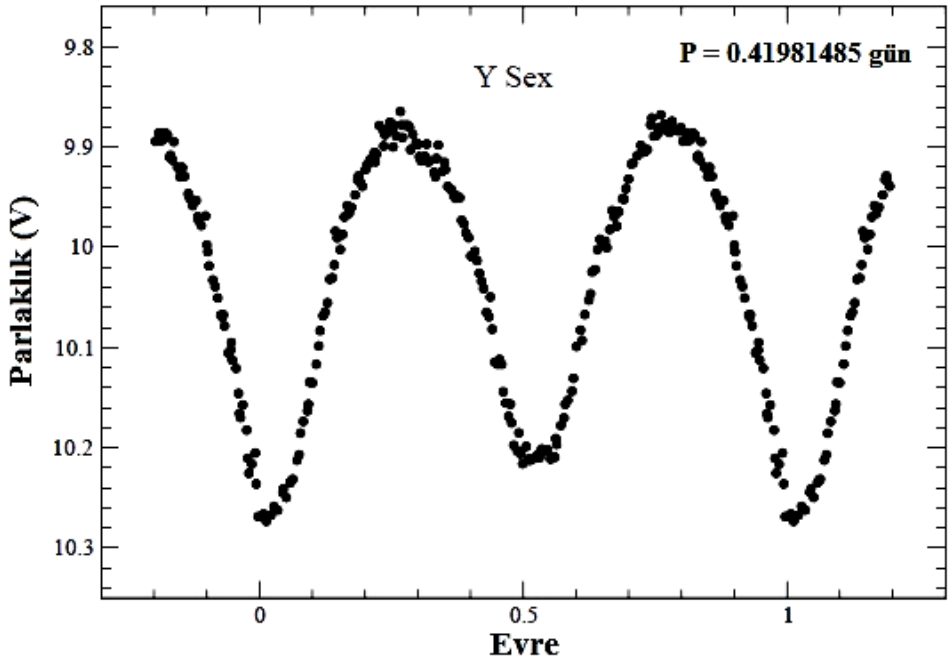
Roche geometrisi kullanılarak yapılan modellemeler oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Kallrath ve Milone 2009).

2.1.3 W Ursae Majoris (EW) türü örten değişenler

Roche geometrisine göre değen ya da aşırı değen çift sistemler grubuna giren W UMa'ların, bileşenlerinin her ikisi de anakol veya anakoldan biraz evrimleşmiş yıldızlardır. Bileşenlerinin tayf türleri A – K aralığında olup genelde 0.3 günden uzun ve 1 günden kısa döneme sahiplerdir. Rucinski'nin (1998) yaptığı çalışmada ise W UMa türü örten değişenlerin dönemlerinin üst limiti 1.3 – 1.5 gün olarak önerilmiştir. Bileşenlerin birbirlerine oldukça yakın olduğu bu tür sistemlerde, yıldızların birbirlerine uyguladıkları tedirginlik kuvvetleri nedeniyle bileşenler küresellikten sapmıştır. Sistemi saran ortak zarf ile ışınım ve enerjinin taşınması sonucunda yıldızların yüzey sıcaklıkları hemen hemen eşit görünür. Bu nedenle de W UMa türü sistemlerin ışık eğrilerinde minimumlar neredeyse eşit derinliktedir (şekil 2.5). Bu sistemlerde bileşenlerin sıcaklıklarının eşit olmamasından kaynaklı minimum farklılıkları çok küçüktür. Minimumlardan derin olanına birinci minimum sığ olanına ise ikinci minimum denilir. Bu sistemler, birinci (derin) minimumun geçiş (transit) veya örtme (occultation) sırasında oluşmuş olmasına göre sırayla A veya W türü olmak üzere iki alt sınıfa ayrılırlar. Bunun yanında üçüncü bir alt tür (B-türü) daha Lucy ve Wilson (1979) tarafından önerilmiştir. Ayrıca ilerleyen yıllarda Csizmadia ve Klagyivik (2004) tarafından da, yüksek açısal momentuma ve büyük kütle oranına sahip bir alt tür (H-türü) daha önerilmiştir.

A alt türü sistemlerde kütlesi büyük olan bileşen daha sıcaktır. W türü sistemlerde ise kütlesi büyük olan bileşen daha soğuktur (Binnendijk 1970). Dolayısıyla W alt türü sistemlerde birinci minimum "occultation" şeklinde gerçekleşirken, A alt türü sistemlerde birinci minimum "transit" şeklindedir. Daha uzun dönemlere sahip A türü sistemler A – F tayf türünden bileşenlere, W türü sistemler ise kısa dönemli olup G – K tayf türünden bileşenlere sahiptir (Sterken ve Jaschek 1996). Yapılan çalışmalar sonucunda A türü sistemlerin genellikle küçük kütle oranına ($q < 0.3$), W türü

sistemlerin ise $q > 0.3$ olan kütle oranına sahip oldukları görülmüştür (Prasad vd. 2014).



Şekil 2.5 Örnek W UMa türü örten değişen ışık eğrisi (Mas-Hesse vd. 2003)

Ayrıca bu tür yıldızlarda, ışık eğrisinin maksimumlarında (0.25 ve 0.75 evreleri) parlaklık farklarına neden olabilen O'Connell etkisine rastlanabilmektedir. Bu etkinin nedeni halen tam olarak bilinememekle beraber, literatürde açıklayıcı bazı teoriler önerilmiştir. Asimetrik dağılıma sahip lekelerin, yıldız etrafında bulunan toz bulutunun veya bileşenler arası madde aktarımı sırasında oluşan sıcak lekelerin bu etkiye neden olabileceği üzerine teorilerin olduğundan bahseden Wilsey ve Beaky (2009), literatürde bu modellerden en çok leke kaynaklı teorinin üzerinde durulduğuna dikkat çekmiştir. Ancak hala bu olayı tam olarak açıklayabilen bir teorinin olmadığında da bahsetmiştir. Wilsey ve Beaky (2009) özellikle leke orjinli açıklamaların literatürdeki güvensizliğinin (veri azlığı, tek bantta yapılan gözlemler ve Doppler görüntüleme gibi çalışmalar ile katkı sağlanmaması gibi) üzerinde durmuştur. Kepler uydusu verileri ile gerçekleştirilen analizler sayesinde O'Connell etkisinin büyüklüğünün ve yönünün hafta ve ay bazında değiştiği Beaky ve Koju (2012) tarafından gözlenmiştir. Aynı çalışmada hem sabit, hem de enlem ve büyüklüklerinin değiştiği leke modelleri ile uydu verilerinden elde edilen

ışık eğrilerinin oldukça uyumlu olduğu saptanmıştır. Bu da O'Connell etkisinin, bazı durumlarda, tek veya her iki bileşenin de üzerinde göç eden lekelerden kaynaklı olduğunu desteklemektedir (Beaky ve Koju 2012). Drake vd. (2014) tarafından Catalina Gökyüzü Taraması (CSS) verilerine dayalı olarak yapılan kapsamlı bir çalışmada, yaklaşık 31000 değen ve elipsoidal çift sistemin incelenmesi sonucunda, O'Connell etkisi gösteren birçok yıldızın olduğu ancak, 2000 günden uzun süreli gözlem verisi bulunan bu sistemlerin ışık eğrilerinin birçoğunda herhangi bir değişimin bulunmamasının, O'Connell etkisinin leke kaynaklı olmadığına dair bir kanıt olduğu ileri sürülmüştür. Bu sistemler arasında ışık eğrilerinde leke kaynaklı uzun dönemli değişimlerin görülmesine rağmen, diğer sistemlerde bu değişimin görülmemesi de yine Drake vd. (2014) tarafından elde edilen sonucun bir ispatı olarak verilmiştir. O'Connell etkisi

$$\Delta m_{maks} = m_{maksII} - m_{maksI} \tag{2.3}$$

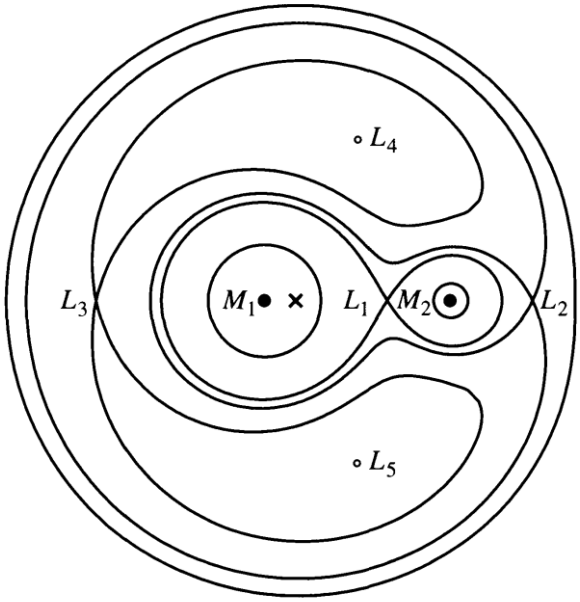
ikinci minimum seviyesi ile birinci minimum seviyesi arasındaki parlaklık farkı olarak tanımlanmaktadır. Bu etkiye bazı yakın çift sistem türlerinde rastlanmakla beraber W türü W UMa değişenlerinde daha sık görülmektedir (Davidge ve Milone 1984).

Rucinski vd. (2013) tarafından 90 adet EW türü değişene ait tayfsal gözlemler ile yapılan metal bolluk çalışmasında 50 adet F tayf türü EW sisteminden elde edilen en iyi sonuçlar, bu sistemlerden 1 tanesi hariç tümünün 3 – 3.5 Gy yaşa sahip ince disk populasyon yıldızlarına ait olduğunu göstermektedir.

Bu değişenlerin ışık eğrileri sinüsoidal yapıya sahip olduğundan, bir zonklayan yıldız türü olan RRc (RR Lyr alt sınıfı) değişenlerinin ışık eğrilerine benzemektedir. Ayrıca her iki tür değişenin de dönem aralıkları benzer olduğundan bu sistemlerin doğru sınıflandırılması büyük dikkat gerektirmektedir. Bu karışıklığı önleyebilmek için dikkat edilmesi gereken en önemli husus, 0.4 günden daha kısa döneme sahip sistemlerin detaylı incelenmesi olmalıdır.

2.1.4 Roche geometrisine göre yapılan sınıflandırma

Örten değişenlerin modern sınıflaması Roche geometrisine (kütleçekimsel eşpotansiyel yüzeylerine) göre yapılmaktadır (Kopal 1959). Bazı çift sistemler fiziksel olarak temas ettiğinden, bileşenler, tedirginlik etkileri nedeniyle küresellikten saparlar. Bu tarz sistemleri modelleyebilmek için ihtiyaç duyulan analitik ifadeler Fransız matemetikçi Edouard Roche'un yaptığı çalışmalara dayandığı için, bu çözüm yöntemine "Roche Modeli" denilmiştir. Tam ayrık sistemlerde bileşen yıldızları küresel şekillere sahiplerdir. Bileşenler birbirine yaklaştıkça, iki kütleyi birleştiren doğrultu boyunca bileşenlerin birbirlerine bakan yüzeyleri tedirgin olurken, birbirlerine bakmayan yüzeylerinde bozulma olmamaktadır. İki bileşeni saran potansiyel yüzeyler, "iç Lagrange noktası" olarak da bilinen birinci Lagrange (L_1) noktasında birbirlerine değerler. L_1 noktasında birbirine değen iki yüzey, sistemin bileşenlerinin "Roche limiti" olarak adlandırılır. Roche şişimi olarak da bilinen üç boyutlu sınır hacim, çift sistemlerde, yıldızların etrafındaki maddeyi çekim alanında tutan hacimdir. Roche şişiminin boyutları, bileşenler arasındaki uzaklık ve bileşenlerin kütle oranlarına bağlıdır (Paczynski 1967, Eggleton 1983). Bileşenlerden birisi birinci Roche yüzeyini doldurduğu zaman, L_1 noktasından diğer bileşene madde akmaya başlar. Değen ve aşırı değen sistemler Roche limitini de kaplayan ortak bir zarfla çevrilidir. Bu zarfla birlikte tüm sistemi kaplayan ayrıca bir eşpotansiyel yüzey daha mevcut olup L_2 noktasında kesişmektedir. L_2 noktası, maddenin, sistemin kütle çekim alanından kurtulabileceği "dış Lagrange noktası" olup, bu noktanın yaklaşık simetrisinde L_2'den daha yüksek potansiyeldeki maddenin kaçış noktası olarak bilinen L_3 noktası bulunmaktadır. L_1, L_2 ve L_3 noktalarının da bulunduğu düzlemin üzerindeki, kütle merkezleri M_1 ve M_2'nin bir köşesini oluşturduğu eşkenar üçgenin üçüncü köşelerini ise, potansiyel maksimumlar olarak da bilinen L_4 ve L_5 Lagrange noktaları oluşturmaktadır (şekil 2.6).

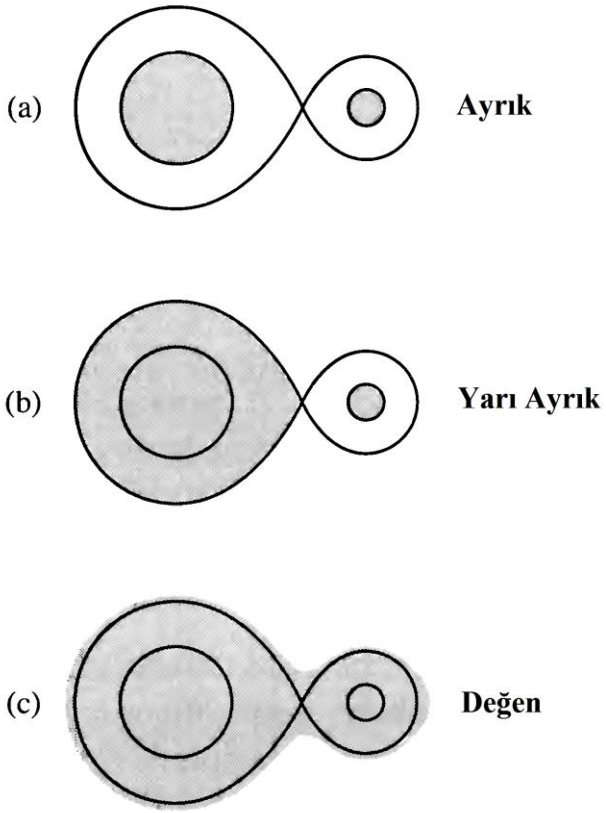


Şekil 2.6 Çift sistemlerde q kütle oranına bağlı olarak (xy düzlemindeki) Roche geometrisi ve Lagrange noktaları (Carroll ve Ostlie 1996)

Roche şişimlerinin yıldız madddesi tarafından oluşturulan doluluğuna göre yapılan sınıflandırmada, değişenler ayrık, yarı-ayrık ve değen olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadır (şekil 2.7).

a. Ayrık örten değişenler (ED), her iki bileşeninin de Roche şişimlerini doldurmadığı sistemlerdir. Birbirleri arasında herhangi bir kütle aktarımı veya etkileşimi olmayan bu sistemlerin en az iki filtrede yapılan fotometrik gözlemleri ve hassas radyal hız ölçümleri sayesinde bileşenlere ait kütle, yarıçap, ışınım gücü ve sıcaklık gibi fiziksel parametreleri duyarlı bir şekilde elde edilebilmektedir.

b. Yarı-ayrık örten değişenler (ESD), bileşenlerden birinin Roche şişimini doldurduğu ve diğer bileşene kütle aktarımı yaptığı sistemlerdir. Kütle aktarılan bileşenin etrafında bir yığılma diski bulunabilmektedir. EA sistemlerinin çoğu ayrık sistemler olmasına rağmen Algol yıldızının kendisi yarı-ayrık bir sistemdir. Literatürde genellikle Algol değişeni olarak sınıflanan sistemler, yarı-ayrık örten değişen sistemleri belirtmektedir (Kogure ve Leung 2007).



Şekil 2.7 Çift sistemlerde Roche şişimlerinin doluluk oranına göre yapılan sınıflama (Carroll ve Ostlie 1996)

c. Değen örten değişenler (EC) ise, bileşenlerin her ikisinin de Roche şişimlerini doldurduğu, hatta bazılarında birinci Roche şişimlerinin sınırlarını aşıp bileşenlerin her ikisinin de ortak bir zarf ile çevrildiği sistemlerdir. Bileşenler eşit kütlelere sahip olmasalar da, ortak zarf nedeniyle benzer sıcaklıklara sahip olabilmektedirler. Bu tür sistemlere en iyi örnek ise W UMa değişenleridir.

β Lyr türü ışık değişimi gösteren bazı sistemler ayrık, yarı ayrık veya değen örten değişen sistemler tarafından sergilenmesinden dolayı, bu tür sistemlerin sadece ışık eğrilerine bakarak Roche sınıflamalarını yapmak doğru olmayacaktır (Kallrath ve Milone 2009).

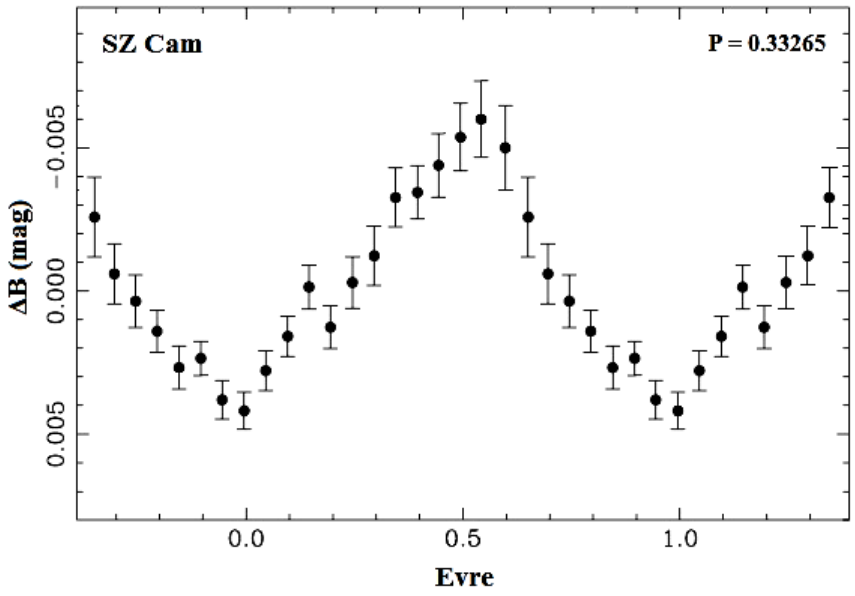
2.2 Zonklayan Yıldızlar

Bünyesel değişenler grubuna giren zonklayan yıldızlar, dönemsel olarak, çapsal (radyal) veya çapsal olmayacak (radyal olmayan) şekilde zonklama modlarına sahiptirler. Çapsal zonklamalar yıldızın küreselliğinin bozulmadığı, hacminin değiştiği mod olup, çapsal olmayan zonklamalar ise yıldızın şeklinin küresel simetriden saptığı (yıldız yüzeyinin bir kısmı içe çökerken bir kısmının da dışa doğru hareket ettiği), ancak toplam hacminin sabit kaldığı moddur.

Zonklayan yıldızların farklı ışık eğrileri ve dönemlilikleri olması nedeniyle birçok alt türü mevcuttur. Bu çalışmada sadece kısa dönemli yıldızlar çalışıldığı için sadece buna uygun gelen zonklayan yıldız türleri incelenmiştir.

2.2.1 β Cephei türü değişenler

Uzun yıllardır çalışılmasına karşın hala bazı sorunları tam olarak anlaşılamamış bir değişen türüdür. Çoğunlukla çapsal zonklama göstermesine rağmen çapsal olmayan zonklama da gösterebilmektedirler. Erken B tayf türünden, dev ve altdev olan bu yıldızlar kısa dönemli ışık değişimleri göstermektedir. Işık değişim genlikleri $0^m.01$ – $0^m.3$ arasında, dönemleri ise 0.1 gün – 0.6 gün arasında dağılmaktadır. Işık eğrileri genellikle yarı sinüsel ve tek dönemlidir (şekil 2.8). Son senelerde yapılan kampanya gözlemleri sayesinde bu yıldızların açık kümelerde ve oymaklarda bulunduğu belirlenmiştir. Astrosismoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bu sistemlerin, hızla artan sayıları sayesinde fiziksel yapılarının ve evrim safhalarının daha iyi anlaşılması beklenmektedir (Pigulski ve Pojmanski 2008).

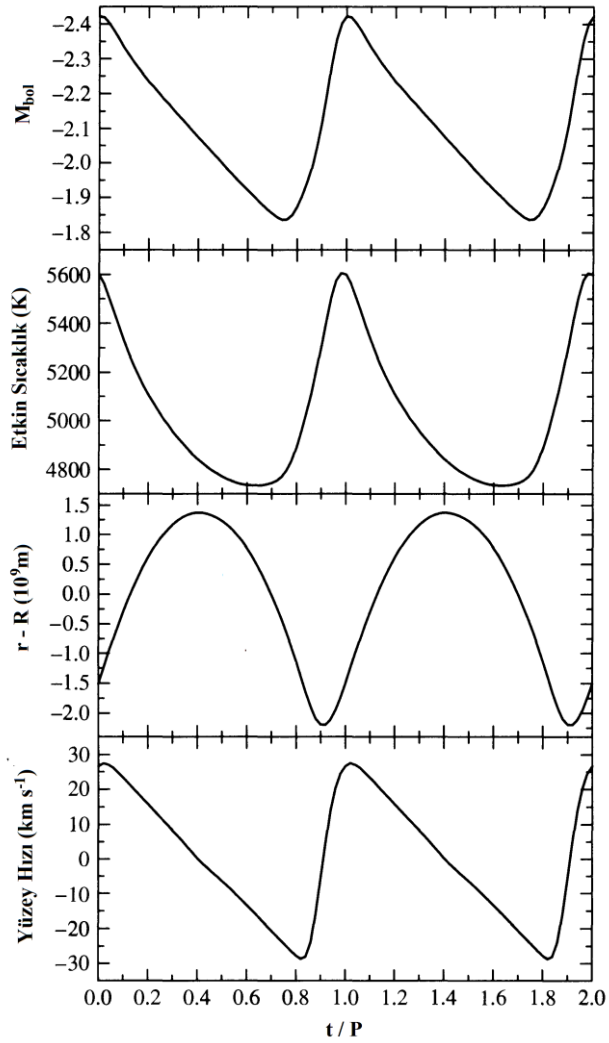


Şekil 2.8 Örnek bir β Cep türü değişen yıldızın ışık eğrisi (Tamajo vd. 2012)

2.2.2 Sefeid türü değişenler

Sefeidler (Cepheid), çapsal değişim gösteren yıldızlardır. Yüksek ışınım gücüne sahip olan bu değişenler, maksimumda F tayf türünden iken minimumda G – K tayf türündendirler. Ancak bu değişenlerin dönemleri uzadıkça tayf türü daha geç tayf türlerine doğru kaymaktadır. Işık eğrileri ile radyal hız eğrileri birbirinin ayna görüntüsü gibidir (şekil 2.9), yani ışık eğrisi maksimum seviyedeyken, radyal hız eğrisi minimumdadır (yıldız yüzeyi maksimum büzülmeye ulaşmıştır). Her ne kadar ışık eğrileri ile radyal hız eğrilerinin birbirlerine olan bağıntısı bu şekilde olsa da, yıldızın sıcaklık değişimi profili aynı paralellikte gitmemekte ve ufak bir evre farkı göstermektedir. Sefeid değişenlerinin yüksek ışınım güçleri sayesinde üyesi oldukları yıldız topluluğunun uzaklığı, sergiledikleri Dönem – Parlaklık bağıntısı yardımıyla, duyarlı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Bu değişenler ayrıca Hubble sabitinin hesaplanması, karanlık enerjinin var olduğunu gösteren Tip Ia süpernovaların uzaklık kalibrasyonu gibi çalışmalarda da kullanılmaktadır. Sefeid değişenleri ile yapılan bu hesaplamaların, temel kozmolojik parametrelerin belirlenmesinde büyük bir öneme sahip olduğu Engle vd. (2014) tarafından belirtilmiştir. Ancak hala Sefeid yıldızlarında görülen bazı değişimlerin (hızlı evrimsel değişimler, dönem değişimi, ışınım gücü ve genliğinde görülen değişimler) tam olarak açıklanamaması, bu sistemlerin

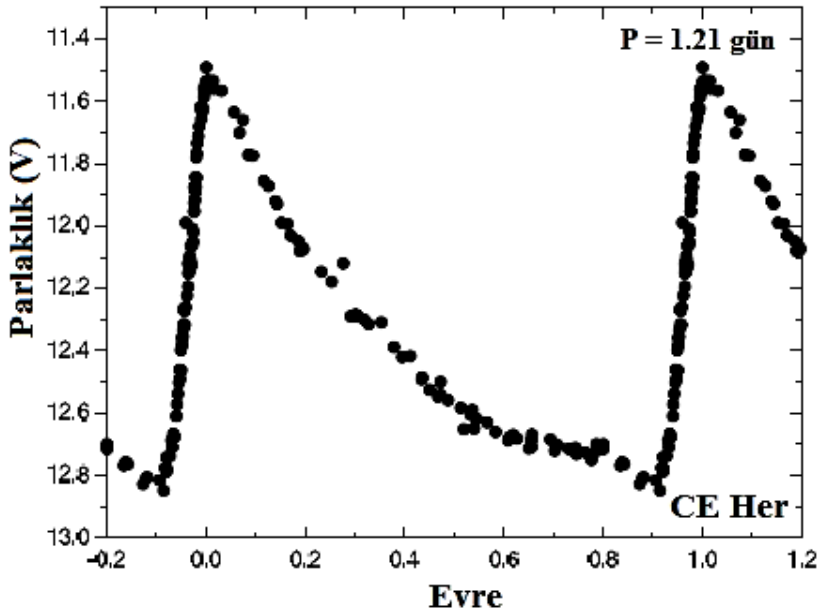
atmosferlerindeki pulsasyon nedenli şokların etkisinin tam olarak belirlenememesi, evrenin yapısını anlamada büyük öneme sahip olan bu sistemlerin daha iyi çalışılması ve anlaşılmasının gerekliliğini göstermektedir.



Şekil 2.9 δ Cep yıldızının gözlenen pulsasyon özellikleri (Carroll ve Ostlie 1996)

Sefeid değişenlerinin dönemleri genelde 1 – 50 gün arasında olup nadiren 200 güne kadar çıkabilen örnekleri de bulunmaktadır. Işık değişimleri ise $0^m.1$'den küçük olabileceği gibi 2^m'e kadar da çıkabilmektedir. Her ne kadar büyük çoğunluğu temel modda zonklasa da bir kısmı ilk harmonikte zonklamaktadır. İlk harmonikte zonklama gösteren yıldızların dönemleri 2 – 7 gün arasında değişir, daha düşük genlikleri vardır ve ışık eğrileri daha sinüseldir. Kısa dönemli Sefeid'lerin ışık eğrileri daha dik ve dar

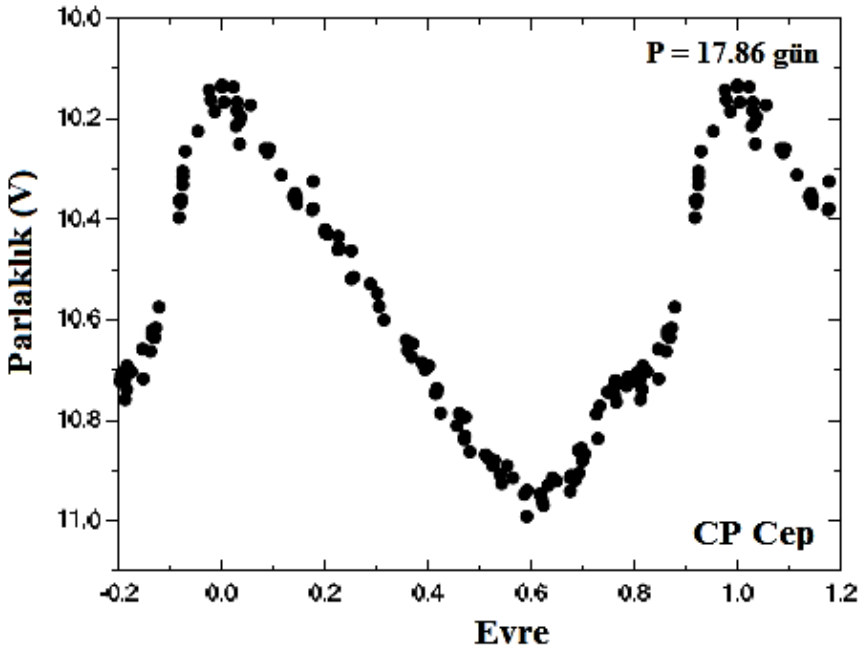
maksimumlara sahiptir (şekil 2.10). Dönemleri uzadıkça bu maksimumlar genişlemeye başlar. Kısa dönemli (P < 8 – 10 gün) Sefeid'lerin ışık eğrilerinin iniş kolunda, uzun dönemlilerinin ise çıkış kolunda bir çıkıntı mevcuttur. Uzun dönemli (20 – 40 gün) Sefeid'lerin çıkış kolları ise oldukça diktir (Sterken ve Jaschek 1996). Çok uzun döneme sahip sistemlerde ışık eğrileri sinüzoidal profile yaklaşmaktadır (şekil 2.11).



Şekil 2.10 Sefeid türü değişen bir yıldıza (CE Her) ait örnek ışık eğrisi (Schmidt vd. 2005)

Sefeidler de kendi içinde ikiye ayrılmışlardır: Klasik Sefeidler (Tip I Sefeidleri veya δ Cep değişeni olarak da adlandırılan) görece genç, açık küme veya galaktik disk üzerinde bulunan Pop I yıldızlarıdır. Gün ya da ay mertebesinde dönemlilik gösterip, 1^m'den küçük değişim genlikleri vardır. Tip II Sefeidler ise daha yaşlı, Pop II yıldızlarıdır. Genellikle 1 – 50 gün arasında dönemleri olup $0^m.7 – 2^m$ arasında ışık değişim genliği gösterirler. Tip II Sefeid değişenleri de kendi arasında dönemlerine göre gruplaşmışlardır. 8 günden kısa döneme sahip olanlara BL Her değişeni, 8 günden uzun döneme sahip olanlara da W Vir değişeni denilmektedir. 20 günden uzun döneme sahip RV Tau değişenleri de bazen Tip II Sefeidlerin bir alt sınıfı olarak ele alınmaktadır. Benzer dönemlilik ve ışık değişim genliği gösteren Tip I ve II Sefeidlerin

belirlenebilmesi bazen oldukça güçtür. Bu nedenle, ışık eğrilerinin detaylı incelenmesi veya tayfsal analizlerinin yapılması ile doğru sınıflandırma yapılabilmektedir.

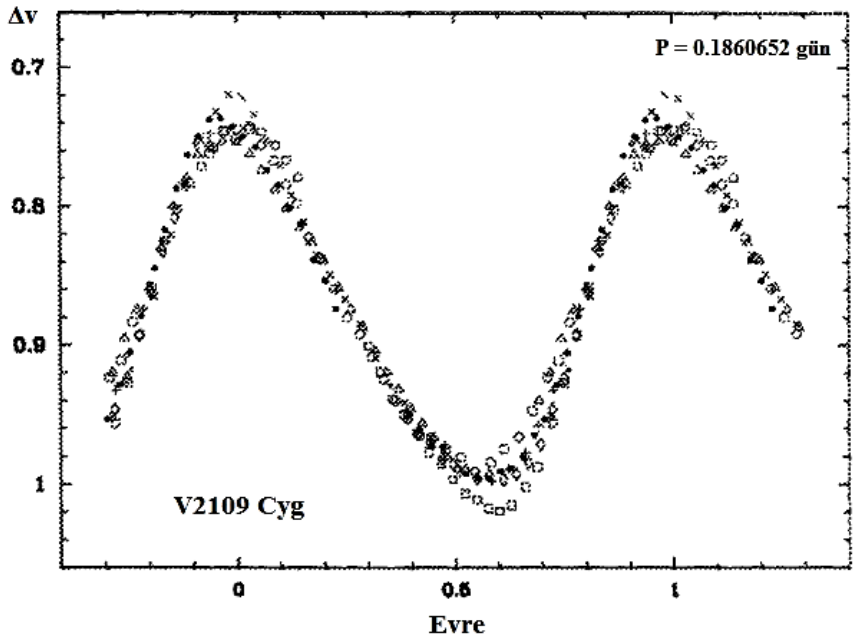


Şekil 2.11 Örnek uzun dönemli Sefeid türü değişen ışık eğrisi (Schmidt vd. 2004)

2.2.3 δ Scuti türü değişenler

δ Scuti değişenlerinin bir kısmı çapsal modda, bir kısmı da hem çapsal hem de çapsal olmayan modlarda zonklama yapmaktadır. A – F aralığında tayf türüne sahip δ Scuti değişenleri üzerine yapılan birçok çalışma sonucunda, çoklu dönemlere sahip oldukları keşfedilmiştir.

Işık eğrilerinde, dönemlerinde ve genliklerinde oldukça farklılık gösteren bu değişenler, 1^m'den küçük ışık değişim genliklerine ve 0.01 – 0.2 gün arasında değişen dönemlere sahiptir (şekil 2.12).



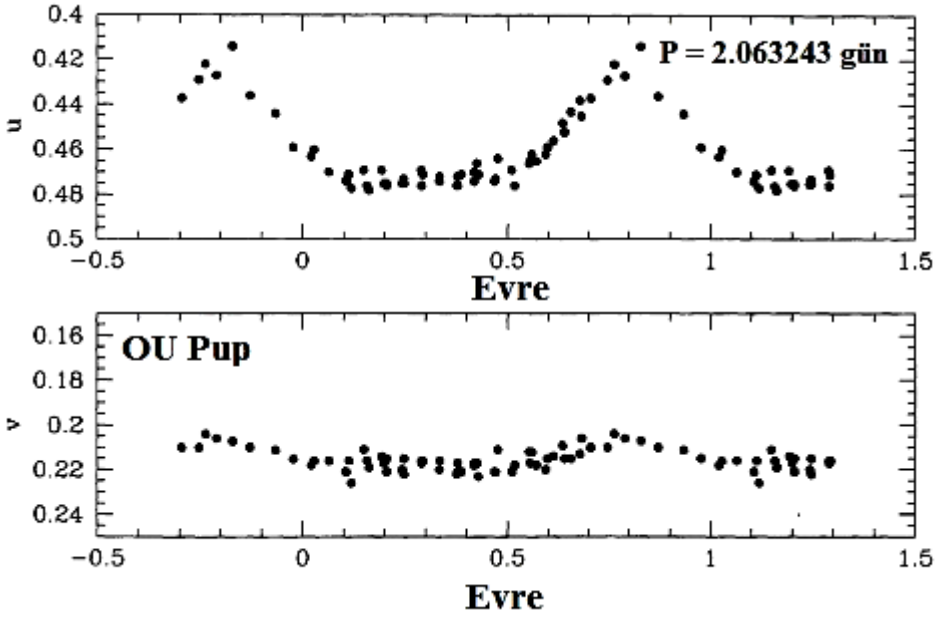
Şekil 2.12 Örnek δ Scuti türü değişen ışık eğrisi (Rodriguez vd. 2003)

2.2.4 γ Doradus türü değişenler

GCVS'ye 2000 yılından sonra eklenen γ Doradus değişenleri, erken F tayf türünden, anakol yıldızlarıdır. Bu değişenler çapsal olmayan modda zonklama yaparlar. Işık değişim genlikleri $0^m.1$'i geçmez ve dönemleri 0.5 – 3 gün arasında değişmektedir (şekil 2.13).

δ Scu, SX Phe ve γ Dor değişenlerinin üçü de birbirine benzer tayf türlerinden ve ışınım sınıflarından yıldızlardır. SX Phe değişenleri, δ Scu değişenleri ile benzer dönemlilik (0.04 – 0.08 gün) göstermesine rağmen ışık değişim genliklerinin ($0^m.3 – 0^m.8$) δ Scu ve γ Dor değişenlerine nazaran daha fazla olduğu şeklindeki önceki kanının tersine, Kepler gözlemlerinden bunun doğru bir sınıflama kriteri olmadığı tespit edilmiştir (Balona ve Nemec 2012). Ayrıca Kepler gözlemlerine dayalı olarak son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda, çoğu δ Scu ve γ Dor değişeninin kendine özgü belirli bir frekansta zonklama yapmayıp, her iki türün de frekans aralığının birbirinin içine girdiği tespit edilmiştir (Grigahcene vd. 2010). Ayrıca Balona (2014) tarafından yapılan çalışma sonucunda çoğu δ Scu değişeninin düşük frekanslı γ Dor değişenlerine ait karakteristik özellikleri

gösterdiği tespit edilmiştir. Bu üç değişen türüne, çalışmamızda yaptığımız seçim kriterlerinden (0.1 gün < P < 1.5 gün seçilmesi ve $\Delta m < 0^m.1$'den küçük değişimlerin gözlenmesinin çok zor olması gibi) dolayı rastlamamız mümkün değildir.



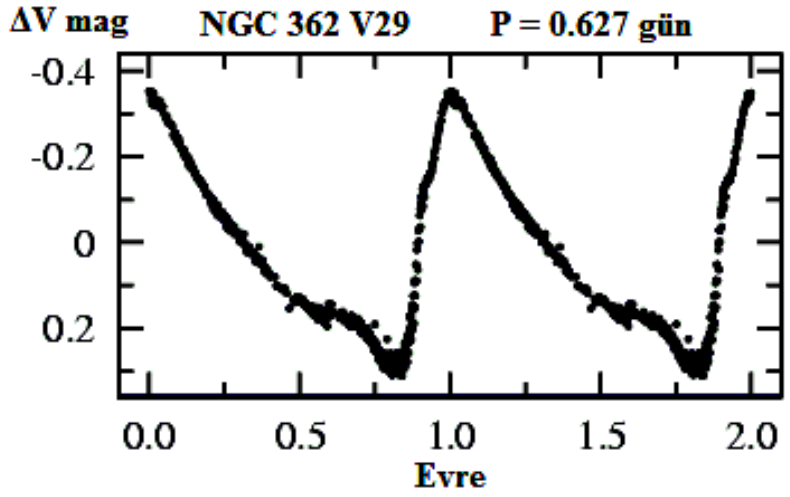
Şekil 2.13 γ Dor türü değişim gösteren OU Pup'a ait, u ve v bantlarında elde edilmiş olan örnek ışık eğrileri (Poretti vd. 1997)

2.2.5 RR Lyrae türü değişenler

RR Lyrae türü değişenler, çapsal modda zonklama yapan, A – F tayf türünden yıldızlardır. Kısa dönemli Sefeidler veya küme değişenleri olarak da adlandırılırlar. Sefeidler'e kıyasla yaşlıdırlar ve çoğunlukla küresel kümelerde bulunurlar. Sefeidler'de olduğu gibi, RR Lyr değişenlerinde de radyal hız eğrileri ile ışık eğrileri birbirlerinin ayna simetrisi gibidir. Bu değişenler de Dönem – Parlaklık bağıntısı sergiledikleri için, üyesi oldukları küresel kümenin uzaklığı da hesaplanabilmektedir.

RR Lyr değişenlerinin çoğunun, değişim genliklerinde ve döneminde uzun süreli değişimlere rastlanır. Blazhko etkisi olarak bilinen bu olayın nedeni hala tam olarak bilinmemekle birlikte, zonklama, dönme ve manyetik alanın bileşik etkisinden

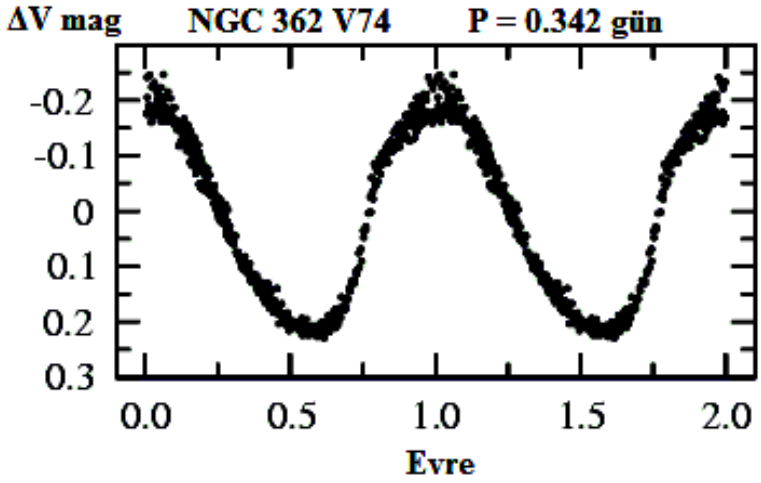
kaynaklandığı düşünülmektedir. Kovacs (2009), son 15 yıldır yapılan gözlemsel ve teorik çalışmaların bu olay hakkında hala bir açıklama getiremediğine dikkat çekmiştir. Kepler uydusunun çalışmaya başlaması ile birlikte RR Lyr ve Cepheid türü değişenler ile ilgili yapılan çalışmalar da artmıştır. Yapılan son çalışmalarda modülasyon şekillerinin çeşitliliği ve bazı durumlarda ise dönemden döneme bazı farklılıklar görülmüştür. En önemli keşiflerden birisi oldukça iyi bilinen, dönem katlanmasının, Blazhko RR Lyr değişenlerinde tespiti olmuştur. Bu keşif sayesinde Blazhko etkisinin altında yatan mekanizmanın daha iyi anlaşılacağı düşünülmektedir. Bir diğer keşif ise uzaydan yapılan gözlemler sayesinde Blazhko RR Lyr değişenlerinin frekans çözümüne ek olarak başka frekanslarının da sık sık bulunabildiğinin tespiti olmuştur (Szabo 2013). Dinamik bir olay olan Blazhko etkisinin neden olduğu değişimin dönemi genelde 20 – 200 gün arasında olup, ışık eğrisi üzerinde bu etki rahatlıkla görülebilmektedir.



Şekil 2.14 Örnek bir RRab türü değişen yıldızın ışık eğrisi (Szekely vd. 2007)

RR Lyr değişenlerinin ışık eğri genlikleri $0^m.2 - 2^m$ arasında, dönemleri ise 0.2 – 1 gün arasında değişmektedir. Işık eğrilerinin şekillerine göre kendi içinde de alt gruplara ayrılırlar. RRab'ler, hem RRa hem de RRb yıldızlarının özelliklerini gösteren bir alt gruptur. RRab'lerin ışık değişim genlikleri oldukça fazla ($0^m.5 - 2^m$) olup, dönemleri 0.3 – 1.2 gün arasında değişmektedir (şekil 2.14). Bu alt sınıftaki yıldızların temel modda zonkladıkları düşünülmektedir. Işık eğrileri asimetrik bir yapıya sahiptir (dik çıkış yavaş iniş). RRb türünün, RRa türüne kıyasla tek farkı biraz daha küçük genliğe

ve biraz daha uzun döneme sahip olmasıdır. Bu nedenle, bu iki tür, genellikle RRab olarak adlandırılmaktadır. RRc türü değişenler ise sinüs benzeri eğrilere sahiptir (şekil 2.15). Genlikleri $0^m.8$'den azdır, dönemleri 0.2 – 0.5 gün arasındadır ve temel frekansın ilk harmoniğinde zonklarlar. RRc türü değişenleri ve W UMa türü değişenlerinin ışık eğrileri, genlik, ışık eğrisi profili ve dönemleri bakımından benzediğinden bu tür değişenlerin sınıflandırılmasında dikkatli inceleme yapılması gereklidir.



Şekil 2.15 Örnek RRc türü değişen ışık eğrisi (Szekely vd. 2007)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yerden ve uydulardan yapılan gökyüzü taramalarının son yıllardaki artışıyla birlikte, yığın verilerde çok hızlı bir artış gözlenmektedir. Veri sayısının sürekli artması ve bu verilerin analizlerini yapacak insan gücünün de oldukça sınırlı olması, bilgisayar çağında bu tür indirgemelerin otomatikleştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu amaçla, TUG (TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi) yerleşkesinde bulunan ROTSE–IIId (Akerlof vd. 2003) teleskobundan alınmış veriler kullanılarak, bir yazılım yardımıyla, kısa dönemli bazı hedeflerin sınıflandırılması ve bu arşiv içinde rastlanan W UMa türü örten değişen yıldızlarının *f* (değme oranı), *i* (yörünge eğim açısı) ve *q* (kütle oranı) gibi parametreleri hakkında ilk tahminde bulunulması amaçlanmıştır. Analizde esas alınan yöntem, Rucinski (1973, 1993) ve Hambalek ve Pribulla'nın (2013) W UMa türü değişenler için ürettiği sentetik ışık eğrilerine (farklı *f*, *i* ve *q* geometrik parametrelerinin kombinasyonları kullanılarak) uyguladıkları Fourier analizi metodu olmuştur.

3.1 ROTSE–IIId Teleskobu ve Veriyolu

Asıl amacı GIP'ların (Gama Işını Patlamaları) yerden, görsel bölgedeki takip gözlemlerini yapmak olan ROTSE–III projesi (Robotic Optical Transient Search Experiment), dünyanın 4 farklı bölgesine konuşlandırılmış teleskoplardan oluşmaktadır. Projenin temel hedefinin GIP gözlemlerinin gerçekleştirilmesi olması nedeniyle, teleskoplar 24 saat gözlem yapabilecek şekilde Siding Spring Gözlemevi, Avustralya (ROTSE–IIIa), McDonald Gözlemevi, Teksas (ROTSE–IIIb), H.E.S.S yerleşkesi, Namibia (ROTSE–IIIc) ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Türkiye'ye (ROTSE–IIId) yerleştirilmiştir. Teleskopların her biri tam otomatik çalışmaktadır. Gelen GIP alarmlarına hızla cevap verip, hemen gözleme başlayabilen, konumsal olarak hassas ve hızlı yönlenebilen teleskoplardır. Gözlem zamanlarının %70'i ROTSE grubu tarafından, %30'u ise konuşlandırıldığı yerleşke tarafından kullanılmaktadır[2].

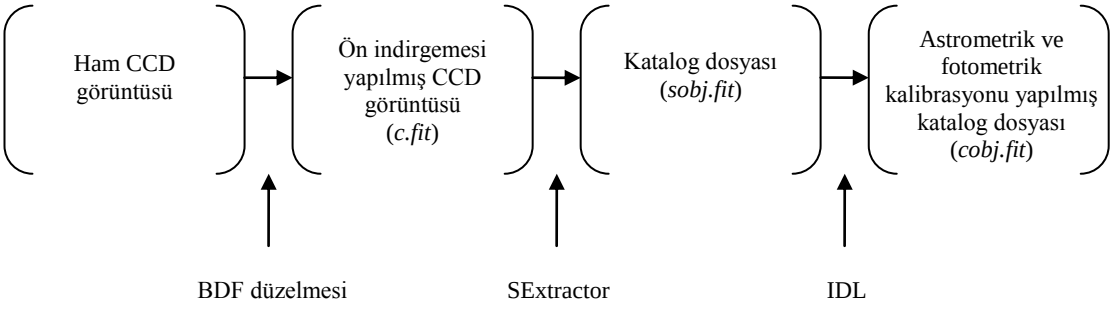
[2] http://tug.tubitak.gov.tr/tr/teleskoplar/rotse-iii-d

ROTSE–III teleskopları 45 cm ayna çapına ve f/1.80 odak oranına sahip olan, düzeltici merceklerle birlikte 850 mm odak uzaklığı olan "modifiye" Cassegrain sistemlerdir. Bu teleskopların oldukça geniş görüş alanları (1°.85 x 1°.85) vardır. Kullanılan dedektör arkadan aydınlatmalı, 2048 x 2048 pikselli Marconi (Marconi Applied Technologies CCD42-40-2-243) CCD'sidir. CCD'nin etkin duyarlılığı 0.40 – 0.90 mikron arasında seçilmiş olup gözlemler filtresiz olarak yapılmaktadır. Piksel ölçeği (3".28 piksel^{-1}) her ne kadar atmosferik görüş (seeing) değerini aşıyor olsa da, 2°.64'lik diagonal görüş alanını elde edebilmek için bu durum dikkate alınmamıştır. Los Alamos Ulusal Labaratuvar'ında yapılan testlerde 5, 20 ve 60 s poz süreleri için ulaşılan limit parlaklık değerleri sırasıyla 17 ^{m}, 17 ^{m}.5 ve 18^{m}.5 olmuştur. ROTSE–III teleskopları hakkında daha detaylı bilgiye Akerlof'un (2003) makalesinden ulaşılabilir.

ROTSE–III teleskopları, gecelik gözlemlerini ve gerçel zamanlı indirgemelerini otomatik olarak gerçekleştirir (şekil 3.1). Her gece aldığı Bias, Dark ve Flat (BDF) görüntüleri ile ilk önce ham veriler üzerinden BDF düzeltmesini yapar ve ön indirgemesi yapılmış dosyaları oluşturur (*c.fit*). Bir sonraki aşamada, ön indirgemesi yapılmış verilerden gökcisimlerinin belirlenmesi için SExtractor (Bertin ve Arnouts 1996) programı çalıştırılır ve her görüntü için birer katalog dosyası (*sobj.fit*) oluşturulur. Katalog dosyalarında tanımlanan gökcisimlerinin astrometrik ve fotometrik bilgilerini elde etmek için çalışan IDL (Interactive Data Language) programları, USNO-A2.0 (Monet 1998) kataloğunu kullanarak gerekli kalibrasyonları gerçekleştirir. Bu veriyolunun sonuç dosyaları (*cobj.fit*) aşağıdaki sütunlardan oluşmaktadır.

1. RA – Sağ Açıklık (USNO-A2.0 ile kalibre edilmiş) [derece]
2. DEC – Dik Açıklık (USNO-A2.0 ile kalibre edilmiş) [derece]
3. X – Yatay Piksel Koordinat (CCD görüntüsü üzerinden)
4. Y – Dikey Piksel Koordinat (CCD görüntüsü üzerinden)
5. M – Kalibre edilmiş görünen parlaklık [kadir]
6. MERR – Kalibre edilmiş görünen parlaklığın hatası [kadir]
7. FWHM – Parlaklık hesaplamasında kullanılan fitin yarı yükseklikteki tam genişliği
8. FLAGS – SExtractor kontrol mekanizması

9. RFLAGS – ROTSE kontrol mekanizması

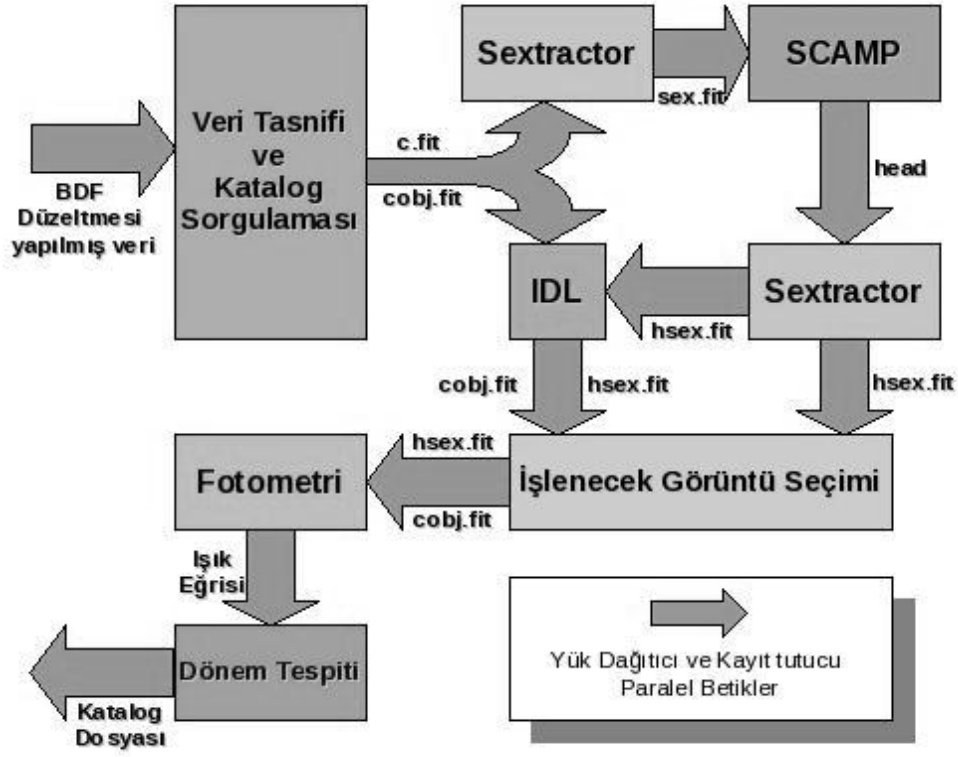


Şekil 3.1 ROTSE–III teleskoplarının gerçel zamanlı çalışan veri yolu (Güçsav 2010)

3.2 Çalışmada Kullanılan Verilerin Özellikleri

Bu çalışmada, Güçsav'ın (2010) elde ettiği verilerden yararlanılmıştır. ROTSE–III veriyoluna alternatif bir yöntem geliştiren Güçsav, çalışmasında gökcisimlerinin astrometresini ROTSE'nin *c.fit* veya *cobj.fit* dosyalarını ve SCAMP (Bertin 2006) programını kullanarak yapmıştır. Astrometrisi yapılan görüntülerden işlenecek görüntülerin seçimi yapıldıktan sonra, elde edilen verilerin aletsel akı değerlerini kullanarak, Homojen Olmayan Grup Fotometrisi (ensemble photometry on an imhomogeneous set) yöntemini uygulamıştır (Honeycutt 1992). Bu yöntem ile ışık eğrisi analizi yapma aşamasına gelen verilerin, düzeltilmiş parlaklık değerleri elde edilmiştir. Güçsav'ın yaptığı bu çalışma 2004 ila 2009 seneleri arasında gözlenmiş, üzerinde en az 100 adet nokta kaynak bulunan, ~300 farklı bölgeye uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmanın veri yolu şeması şekil 3.2'de verilmiştir.

Güçsav'ın geliştirdiği veri yolunun kullanımıyla temin edilen veriler ROTSE-IIId'nin gözlediği 7 farklı bölgeyi (pointing) içermektedir. Tüm bu bölgeler içinde tespit edilen her noktasal gökcismine ait birer ışık eğrisi dosyası bulunmaktadır. Bu dosyalar gözlemsel verilerin işlenmiş halini barındırmaktadır. Işık eğrileri elde edildikten sonra, ortalama parlaklığa göre ±3 sigma dışındaki değerler, eğrilerden çıkartılmıştır.



Şekil 3.2 ROTSE–IIId teleskobu için geliştirilen veri yolu şeması (Güçsav 2010)

3.3 Lomb – Scargle Yöntemiyle Dönemlilik Analizi

Zaman serisi analizi, zamana bağlı değişim gösteren verilere uygulanan istatistiksel ve matematiksel testlerin tümüdür. Yapılan testlerin sonucunda değişiminin boyutları ve sistem hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Modern zaman serisi analizlerinin ilk adımları Jean Baptiste Joseph Fourier tarafından "Fourier serisi" ve sonrasında ise "Fourier dönüşümleri" ile atılmıştır. Bilgisayarların gelişimiyle birlikte daha fazla veri işlenebilmesi söz konusu olmuş ve bu da daha hızlı ve daha verimli algoritmaların gereksinimini doğurmuştur. İlerleyen yıllarda, halen çok sık kullanılan bir yöntem olan, Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform – FFT) ve dalgacık (wavelet) analizi gibi farklı yöntemler de gelişmeye başlamıştır (örn. bkz. Templeton 2004). Günümüzde zaman serisi analizleri, günlük hayatımızda, radyo, iletişim, mühendislik ve temel bilimler gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Astronomi alanında, özellikle de değişen yıldız araştırmalarında, sistemlere ait dönemsel değişimleri ortaya çıkaracak analizlerin yapılması çok önemlidir. Ancak, yer tabanlı gözlemlerde gece – gündüz etkisi, yeterli gözlem zamanı alınamaması veya hava şartları gibi nedenlerden, uzaydan yapılan gözlemlerde ise kozmik parçacıklardan veya düzeltilemeyen aletsel sorunlardan dolayı astronomik ölçümlerde kesiklilikler bulunabilmektedir. Yani astronomik veriler genellikle eşit olmayan (kesikli) aralıklarla alınabilmektedir. Düzensiz veri setlerine ait spektrumlarda, düzenli veri setlerinde olduğu gibi, dönemin kesin bir şekilde belirlenebileceği bir frekans aralığı bulunmamaktadır. Spektrum içindeki her gerçek pik, spektrum içinde farklı boylarda yanıltıcı sahte piklerin (alias) oluşmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da "prewhitening" uygulanmadan daha güçlü dönemlerin bulunmasına engel olunabilmektedir. Zaman bazında eşit dağılmayan verilere ait spektrumun hesaplanmasında en sık kullanılan yöntemlerden birisi periyodogram analizleridir (Lomb 1976). Ancak bu yöntemin eşit dağılıma sahip veri setlerinde olduğu gibi eşit dağılıma sahip olmayan veri setlerinde de doğru bir şekilde uygulanabilmesi için periyodogramın klasik tanımında ufak bir değişikliği ihtiyaç duyulmuştur. Normalize periyodogramın, verilere en küçük kareler metodu ile farklı frekanslarda yapılan sinüs dalga fitleri ile eşdeğer olduğu Scargle (1982) tarafından gösterilmiştir. Ayrıca Scargle, yaptığı bu çalışmasında güç spektrumundaki (power spectrum) piklerin yüksekliğinin doğruluğunu, yani istatiksel anlamlılığını ölçmemizi sağlayacak bir kriter olan "false alarm probability" yöntemini (FAP) de geliştirmiştir. Günümüzde bu yöntem Lomb – Scargle (L-S) algoritması olarak bilinmektedir. Günümüze kadar birçok kez revize edilmiştir. Scargle (1982) tarafından tekrar tanımlanan periyodogram, $\omega = 2\pi f$ olmak üzere,

$$P_n(f) = \frac{1}{2}\left\{\frac{\left[\sum_j X_j \cos\omega(t_j-\tau)\right]^2}{\sum_j \cos^2\omega(t_j-\tau)} + \frac{\left[\sum_j X_j \sin\omega(t_j-\tau)\right]^2}{\sum_j \sin^2\omega(t_j-\tau)}\right\} \qquad (3.1)$$

ve her ω için hesaplanan frekansa bağlı, zaman kayma değeri τ,

$$\tan 2\omega\tau = \frac{\sum_j \sin 2\omega t_j}{\sum_j \cos 2\omega t_j} \tag{3.2}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Formülde $X(t_j)$ eşit aralıklarla örneklenmiş $\{X(t_j), j = 1, 2, ..., N_t\}$ veri setini, N_t gözlem sayısını, t_j ise gözlem zamanlarını temsil etmektedir.

Yapılan önemli yaklaşımlardan biri, L-S yönteminin uygulanmasında, eşit aralıklı örneklenmiş Ayrık (Discrete) Fourier Dönüşümü algoritması ile FFT'nin hızlandırılması olmuştur. Press ve Rybicki (1989) tarafından geliştirilen bu yöntemde, FFT'den yararlanabilmek için eşit aralıklı olmayan veriler, eşit aralıklı olacak şekilde interpole edilmiştir. Bu yöntem sayesinde L-S periyodogramının hesaplama işlemi ciddi bir hız kazanmıştır. Schwarzenberg-Czerny (1996) ise ANOVA metodu olarak bilinen çoklu harmonik periyodogramını geliştirmiş ve L-S algoritmasına kıyasla (özellikle iyi S/N değerlerine sahip veri setlerinde) daha güvenilir sonuçlar elde etmiştir.

İlerleyen yıllarda, bilgisayar alanındaki gelişmelerin getirdiği hesaplama gücü, kullanılan L-S yönteminin de hızlanmasını ve daha fazla verinin daha hızlı bir şekilde analiz edilebilmesini sağladı. Bunun için önemli adımlardan birini Townsend (2010), L-S periyodogram hesaplamasında grafik kartlarında bulunan işlemcilerin (GPU) kullanımıyla attı. "GPU (Graphics Processing Unit) Computing" son yıllarda özellikle grafik işlemcilerinin gelişimiyle öne çıkan, CPU (Central Processing Unit) ile birlikte kullanılarak bilim ve mühendislik gibi alanlarda hesaplamaların hızlanmasını sağlayan bir ortamdır. GPU ile hesaplama, grafik kartları üzerinde bulunan işlemcilerin bir çeşit paralel hesaplama mimarisi olan CUDA (Compute Unified Device Architecture) teknolojisinin kullanılmasıyla yapılabilmektedir (CUDA, grafik işlemcileri üreticisi NVIDIA tarafından 2006 yılında geliştirilmiştir). Townsend (2010) çalışmasında, CUDA ile çalıştırılabilen L-S algoritması kullanıldığında, periyodogramın hesaplama süresinin önemli derecede kısaldığını göstermiştir. Aynı çalışmada GPU temelli algoritma (CULSP) ile CPU temelli algoritmanın (CULSP kodunun CPU için modifiye edilmiş hali; LSP), farklı işlemciler kullanılarak yapılan karşılaştırmasının sonuçları da verilmiştir (çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 GPU ve CPU platformlarında L-S periyodogramının hesaplanma süreleri (Townsend 2010)

Periyodogram Hesaplama Süresi			
Kod	Platform	$\langle t_{calc} \rangle$ (s)	$\sigma(t_{calc})$ (s)
CULSP [a]	GeForce 8400 GS	570	0.0093
CULSP	Tesla C1060	20.3	0.00024
LSP [b]	CPU (1 thread)	4570	14
LSP	CPU (8 threads)	566	6.9

[a] CULSP: L-S periyodogramının CUDA uyarlaması
[b] LSP: CULSP kodunun CPU için uyarlanmış hali

Günümüzde kişisel bilgisayarlarda bu özelliklere sahip (GPU hesaplamalarına uygun) grafik işlemcilerin bulunması, bu çalışma alanının önemini göstermektedir. Leroy (2012) tarafından yapılan çalışmada ise, düzensiz örneklenmiş zaman serilerinin hızlı Fourier dönüşümü (nonequispaced Fast Fourier Transform – NFFT) için geliştirilen algoritmalardan yararlanılarak, bir L-S periyodogramı sunulmuştur. Townsend'in (2010) sonuçlarıyla yapılan karşılaştırmada bu yöntemin 5 kat daha hızlı sonuç verdiği görülmüştür (çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 GPU ve CPU platformlarında NFFT temelli geliştirilen L-S periyodogramının hesaplama süreleri (Leroy 2012)

Kod	Platform	$\langle t_{calc} \rangle$(s)	$\sigma(t_{calc})$(s)
	CPU uygulaması		
NFFTLS [a]	Dell Laptop	5.6	0.057
NFFTLS	Server	5.1	0.039
FASPER [b]	Dell Laptop	42.	1.1
FASPER	Server	30.	1.4
	GPU uygulaması		
CULSP [c]	GeForce 8400 GS	570.	0.0093
CULSP	Tesla C1060	20.3	0.00024

[a] NFFTLS: L-S periyodogramının NFFT (nonequispaced FFT) ile hesaplaması
[b] FASPER: Press vd. (1992) tarafından geliştirilen FASPER fonksiyonu
[c] CULSP: L-S periyodogramının CUDA uyarlaması

3.4 Fourier Katsayıları ile Filtreleme Metodu

Eğer gözlemsel veri sinüs ve kosinüs fonksiyonları cinsinden ifade edilebiliyorsa, en küçük kareler yöntemi, Fourier serisi katsayılarını tayin etmemize imkan sağlar. İlk önce, geometrik etkilerden şekillenen W UMa ışık eğrilerini sentetik olarak elde etmek için değme oranı (*f*), yörünge eğim açısı (*i*) ve kütle oranı (*q*) parametrelerinin farklı kombinasyonlarını kullanarak 48 teorik ışık eğrisi modelleyen Rucinski (1973), daha sonra en küçük kareler yönteminden yararlanarak, teorik ışık eğrisi verilerine uygulanan fitlerden Fourier katsayılarını elde etmiştir.

Yörünge eğim açısı *i*, yörünge düzleminin gökyüzü düzlemiyle yaptığı açıyı, kütle oranı *q* ise küçük kütleli yıldızın (M_2), büyük kütleli yıldıza (M_1) olan oranını belirtir.

$$q = \frac{M_2}{M_1} \tag{3.3}$$

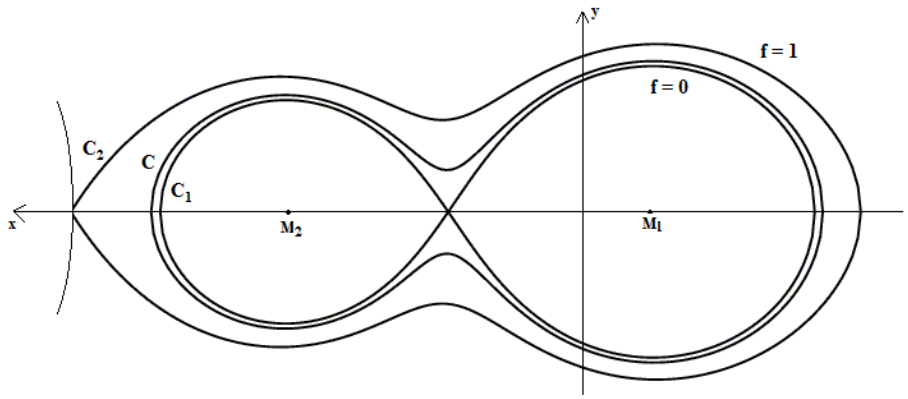
Değme oranı *f*, Mochnacki ve Doughty (1972) tarafından, iç ve dış Lagrange yüzeyleri arasında bir konumda yer alan ortak zarf için aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmıştır.

$$f = \frac{(C_1 - C)}{(C_1 - C_2)} \tag{3.4}$$

Sadece *q* parametresine bağlı olan sisteme ait Lagrange potansiyelleri *C* ile gösterilmektedir. Burada C_1 iç kritik ortak zarfın potansiyelini, C_2 ise dış kritik ortak zarfın potansiyelini belirtmektedir (şekil 3.3).

$$C_2(q) \le C \le C_1(q) \tag{3.5}$$

Mochnacki ve Doughty (1972), yüzey potansiyelini belirlemede C potansiyeli yerine q kütle oranına bağımlı olmayan ve Lagrange yüzeyinde her zaman sabit bir değere sahip olan değme oranı (f) parametresinin kullanımının daha uygun olacağını belirtmiştir.



Şekil 3.3 Lagrange potansiyellerinin Roche modeli üzerinde gösterimi (Rucinski 1973)

C ile gösterilen eğri, q kütle oranına sahip bileşen yıldızlarının yüzeyini temsil eden potansiyele karşılık gelmektedir.

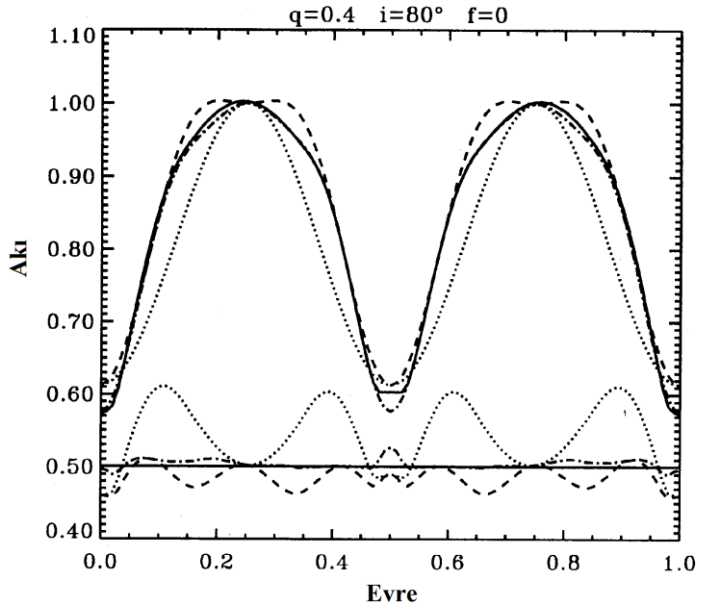
Model ışık eğrilerinin hesaplamalarında Güneş benzeri bir yıldız sıcaklığı kabul edilmiş (T_{eff} = 5770 K), ayrıca fotometrik gözlem bandının V, çekim kararma katsayısının β = 0.08 ve bolometrik albedo değerinin A = 0.5 olduğu varsayımları yapılmıştır (Rucinski 1973). Rucinski'nin ilk çalışmasında model ışık eğrilerinin üretiminde kullanılan parametrelerin aldıkları değerler, q = 1.00, 0.75, 0.50, 0.35, 0.20; f = 0, 1/2, 1; i = 90°, 75°, 60° şeklindedir. Sadece q = 0.5 durumunda f = 0, 1/3, 2/3, 1 değerleri için ışık eğrileri hesaplanmıştır (Rucinski 1973). Rucinski, 20 yıl sonra revize ettiği çalışmasında ise tabloları genişletmiş, kütle oranını $0.05 \leq q \leq 1$ aralığında Δq = 0.05 artımıyla ve yörünge eğim açısını $30 \leq i \leq 90$ derece aralığında Δi = 2°.5 aralıklarla, f = 0, 0.5, 1 değerleri için hesaplamalar elde etmiştir. Evrelendirme sırasında evre artımları $\Delta\theta$ = 0.01 alınmış, parlaklık değerleri maksimum seviyeye (0.25 ve 0.75 evreleri) normalize edilmiştir (Rucinski 1993). I. minimumun sıfır evresinden başlayacak şekilde oluşturulan model ışık eğrilerine 11 terimli kosinüs Fourier serisi fiti (en küçük kareler analizi ile) yapan Rucinski (1993), elde edilen a_i katsayılarının genellikle ±0.001

değerinden küçük belirsizliklere ve fitlerin ±0.003 değerinden küçük hatalara sahip olduğunu belirtmiştir. Fitlerde kullanılan Fourier serisi şu şekildedir:

$$l(\theta) = \sum_0^{10} a_i \cos(2\pi i \theta) \tag{3.6}$$

Bu eşitlikte $l(\theta)$, a_i ve θ değişenleri sırasıyla normalize edilmiş ışınım akısı, Fourier katsayılarını ve yörünge evresini temsil etmektedir. Rucinski (1993) ayrıca, tam tutulma gösteren sistemlerin bu fitlerle çok iyi temsil edilemediğini şekil 3.4 ile göstermiştir. Bu grafikte kullanılan sürekli çizgi q = 0.4, i = 80°, f = 0 değerlerine karşılık gelen eğriyi temsil etmektedir. Aynı grafik üzerinde bu model ile sadece a_2 katsayısına (noktalı), a_2 ve a_4 katsayılarına (kesikli) ve a_2, a_4 ve a_6 katsayılarına (çizgi-nokta) bağlı olarak temsil edilen farklı eğrilerle karşılaştırmaları yapılmıştır.

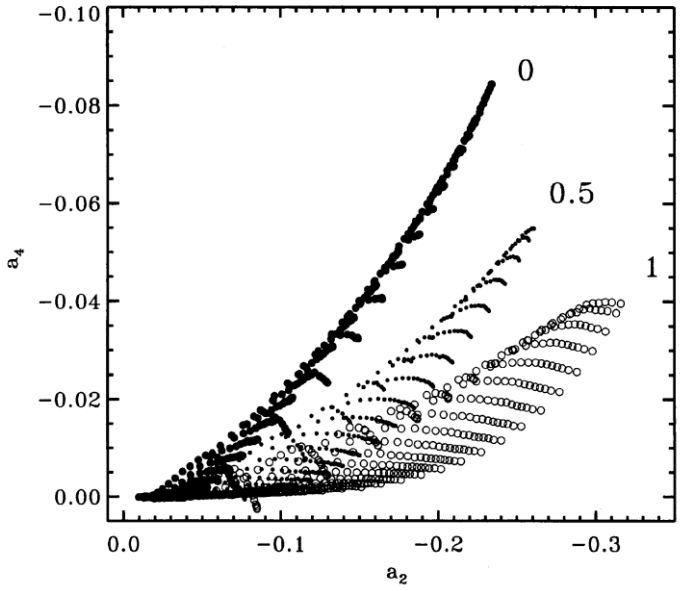
Elde edilen fitlere ait katsayıların bulunduğu tabloların tümüne Rucinski'ye ait web sitesinden[3] ulaşılabilmektedir.



Şekil 3.4 Tam tutulma gösteren örnek bir model ışık eğrisi ve uygulanan Fourier serisi fiti (Rucinski 1993)

[3] http://www.astro.utoronto.ca/~rucinski/tables/coef

Rucinski (1993) bu çalışmasında a_2 ve a_4 katsayılarının grafike edilmesiyle gözlemsel ışık eğrileri için *f* parametresinin yaklaşık olarak belirlenebileceğini göstermiştir (şekil 3.5). Değme oranı (*f*) parametresinin eldesinden sonra, *i* ve *q* parametrelerinin belirlenmesinde sadece a_2 katsayısından yararlanılabileceğini belirtmiştir. $a_2 - a_4$ düzleminde değme oranını belirlemede çelişki doğurabilecek en önemli bölge, a_2 ve a_4 katsayılarının sıfıra yaklaştığı, yani *f* oranının birbirinin içine girdiği yerdir.

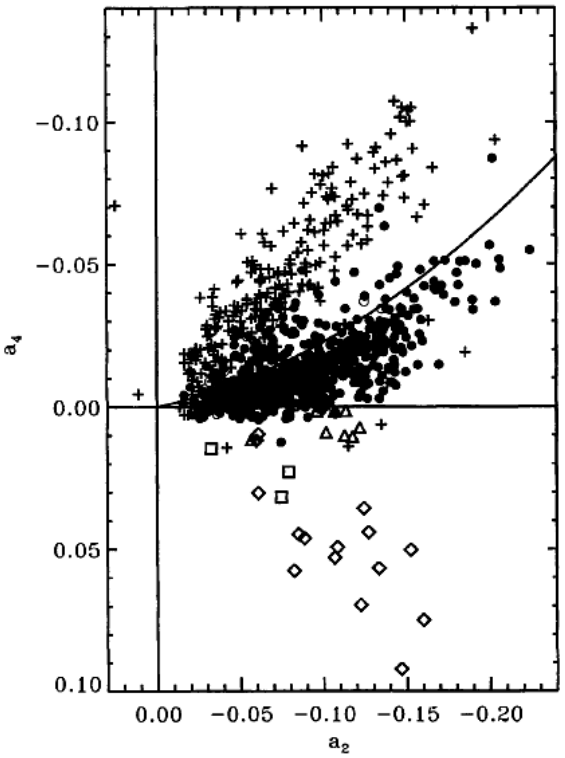


Şekil 3.5 Farklı *f* değerleri (*f* = 0, 0.5, 1) için a_2 ve a_4 katsayıları arasındaki bağıntı (Rucinski 1993)

3.4.1 Fourier filtreleme metodunun kullanıldığı çalışmalar

Gökyüzü taramaları gibi çok fazla hedefin gözlendiği ve verisinin arşivlendiği çalışmalardan temin edilen ışık eğrilerine yapılan Fourier serisi fitlerinden elde edilen katsayıların kullanımıyla, bazı yıldız sistemlerinin türlerinin ve özellikle de değen sistemlere ait geometrik parametre değerlerinin belirlenmesi hızlanmış ve kolaylaşmıştır. Özellikle bu yöntemin otomatikleştirilebildiği durumlarda metodun verimliliği ve hızı daha da artmaktadır. Bu bölümde geliştirilen "Fourier filtreleme" tekniği sayesinde yapılan bazı çalışmalar özetlenecektir.

Asıl amacı mikrolens tekniği ile karanlık madde araştırması yapmak olan The Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE) projesi kapsamında elde edilen gözlemlerden, Baade penceresi merkezi (BWC) ve çevresinden seçilen 11 bölgede (BW1-BW11) yapılan çalışmalar sonucunda bulunan değişenlerden OGLE Dönemli Değişen Yıldızlar Kataloğu (OGLE Catalog of Periodic Variable Stars) oluşturulmuştur (Udalski vd. 1994, 1995a, 1995b, 1996). Rucinski (1997a), çalışmasında, bu kataloglardan sadece BWC-BW8 arasındaki verileri kullanarak toplam 933 örten değişen sistemden 1 günün altında döneme sahip 676 sistemden yararlanmaktadır. Bu sayının $V - I$ renklerinin mevcut olması ve Fourier filtreleme kriterlerinin uygulanması sonucunda 388'e düştüğü belirtilmiştir. Rucinski'nin (1997a) bu çalışmasında, OGLE kataloğunda bulunan 933 örten değişen sistem için elde ettiği $a_2 - a_4$ grafiği şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 OGLE kataloğundan alınan 933 örten değişen sistem için Rucinski (1997a) tarafından elde edilen a_2 ve a_4 Fourier katsayılarının dağılımı

Değişenlerden EW türü içi dolu yuvarlak, EB türü içi boş yuvarlak, EA, E ve ? türü değişenler artı, zonklayan değişenlerden RRab türü içi boş baklava dilimi, RRc türü içi boş üçgen ve SX Phe türü değişenler için içi boş kare sembolleri kullanılmıştır. Orjinden geçen eğri iç kritik eşpotansiyel limitini gösteren (f=0) bağıntıyı temsil etmekte (denklem 3.7).

933 adet örten değişen sisteme ait a_2 ve a_4 katsayılarının çizdirildiği bu grafikte, EW, EB ve EA türü değişenlerin negatif a_4 değerlere sahip olduğu görülmüştür. OGLE kataloğunun sadece BWC bölgesinden alınan zonklayan sistemlere ait verilerin ise genellikle grafiğin alt kısmında kalan, yani $a_4 > 0$ (pozitif) değerlere sahiptir (Rucinski 1997a). Aynı grafikte görülen eğri, Rucinski'nin (1993) makalesinde bulunan ve şekil 3.5'te gösterilen grafikten elde edilen iç kritik eşpotansiyel limitini gösteren $f = 0$ bağıntısını temsil etmektedir:

$$a_4 = a_2(0.125 - a_2) \tag{3.7}$$

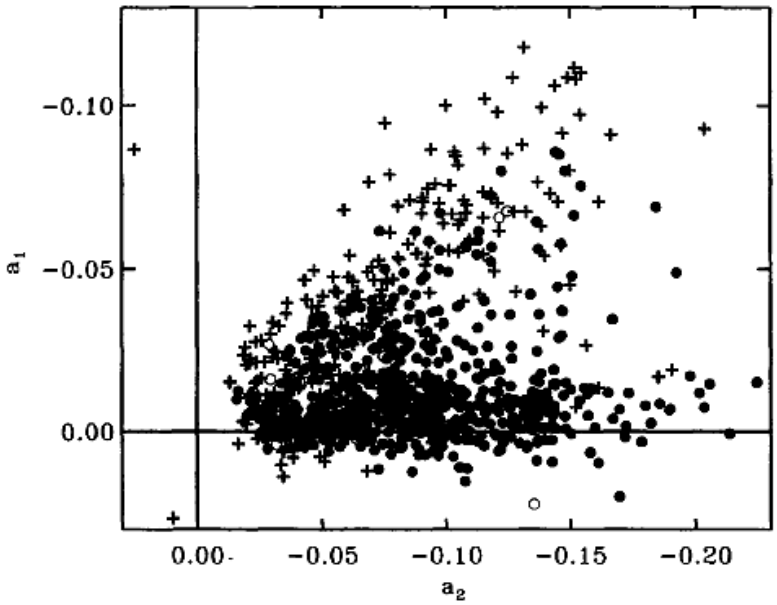
OGLE verileriyle yapığı çalışmanın devam makalesinde Rucinski (1997b), yine örten değişen olarak sınıflanan 933 adet veri kullanmıştır. Bu çalışmada minimumlar arası derinlik farkına duyarlı olan a_1 katsayısından yararlanılmıştır. Elde edilen $a_2 - a_1$ grafiğinde değen sistemlerin aşağıdaki gibi bir bant aralığında kaldığı görülmüştür (şekil 3.7).

$$-0.02 < a_1 < 0 \tag{3.8}$$

İlgili kriter tüm alt türleri tamamen birbirinden ayıramamakla beraber, sınıflamayı büyük oranda gerçekleştirebilmektedir. Değen sistemlerde, bileşenler arası madde aktarımının fazla olduğu durumlarda ortak zarf nedeniyle sıcaklık dağılımı hemen hemen eşit olmaktadır. Bu durum, yani neredeyse eşit olan minimumlar, W UMa türü örten değişen sistemler için önemli bir belirteçtir. Bu tür ışık eğrilerinde minimumlar arası farkın (0.04 kadirden küçük), yani a_1 katsayısının oldukça düşük (sıfıra yakın) olması beklenmektedir. E, EA ve E? türü değişenlerin ise, eşit olmayan minimum derinlikleri nedeniyle, 0'dan büyük ölçüde farklı a_1 katsayılarına sahip olması beklenmektedir.

Bu iki çalışmadan yola çıkarak ilk önce denklem (3.7) kriteri kullanılarak EA türü değişenlerin ayıklanması, daha sonra ise denklem (3.8) kriteri yardımıyla da EW ve EB

türü örten değişenlerin ayıklanması mümkündür. Örneğin, Selam (2004), HIPPARCOS kataloğundan (ESA 1997) belirlediği seçim ölçütlerine uygun 79 adet sistemden oluşan örnek grubu bu yöntemi kullanarak incelemiştir. Selam (2004) bu çalışmasında 11 terimli Fourier serisi fiti uygulayarak önce, elde ettiği a_1, a_2 ve a_4 katsayılarını listelemiş, daha sonra $a_2 - a_1$ ve $a_2 - a_4$ düzlemlerinden (kriterlerinden) yararlanarak örnek veri setindeki sistemleri sınıflandırmıştır. Ayrıca EW olarak belirlediği 64 sistem için *f*, *i* ve *q* parametrelerini elde etmiştir.

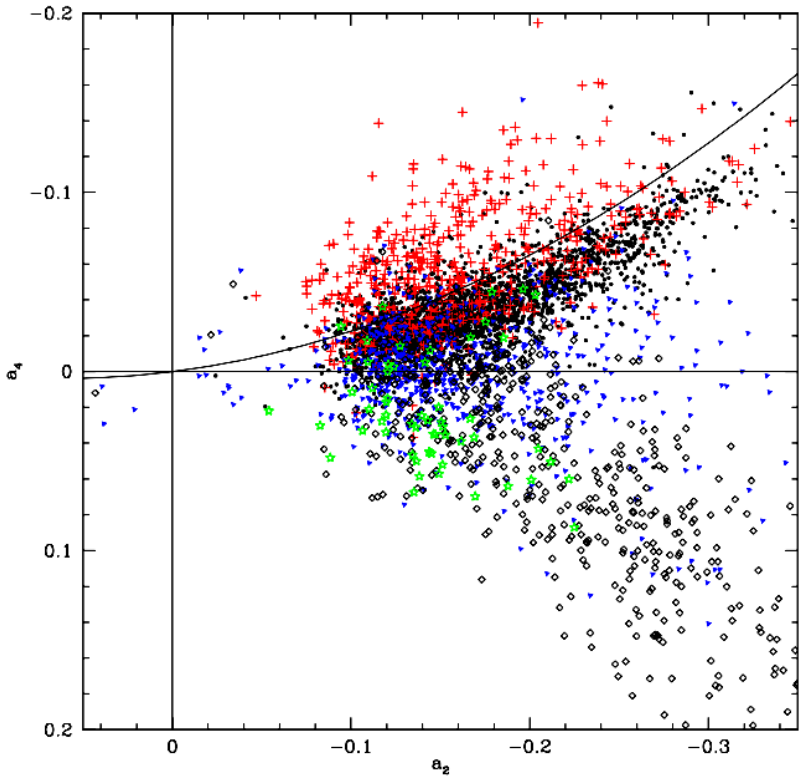


Şekil 3.7 OGLE kataloğundan alınan 933 örnek örten değişen sistem için elde edilen a_2 ve a_1 Fourier katsayılarının dağılımı (Rucinski 1997b)

EW türü değişenler içi dolu yuvarlak, EB türü içi boş yuvarlak ve geriye kalan diğer örten değişenler (E, EA, E?) için ise artı sembolleri kullanılmıştır.

Rucinski'nin (1993) önerisi doğrultusunda Fourier analizinin gerçekleştirildiği ışık eğrilerinden elde edilen katsayıların kullanımıyla değişen sistemlerin sınıflandırıldığı ve ilk geometrik verilerinin elde edildiği başka çalışmalar da yapılmıştır. Nef ve Rucinski (2008), OGLE kataloğunda Küçük ve Büyük Macellan Bulutu yönünde seçilen kalın bir hacim içinde yer alan sistemlerin ışık eğrilerine uyguladıkları Fourier analizleri sonucunda, 15 yeni değen çift sistem keşfetmiştir. NSVS verileri kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada ise Hoffman vd. (2009) Fourier katsayıları, ışık eğrisi özellikleri, dönemleri ve renk bilgilerinden yararlanarak toplam 4659 adet değişen sistemi

sınıflandırmıştır. Yapılan bu çalışmada elde edilen a_2 – a_4 grafiği, şekil 3.8'de sunulmuştur.



Şekil 3.8 NSVS verileri kullanılarak yapılan çalışmada elde edilen a_2 ve a_4 Fourier katsayılarının dağılımı (Hoffman vd. 2009)

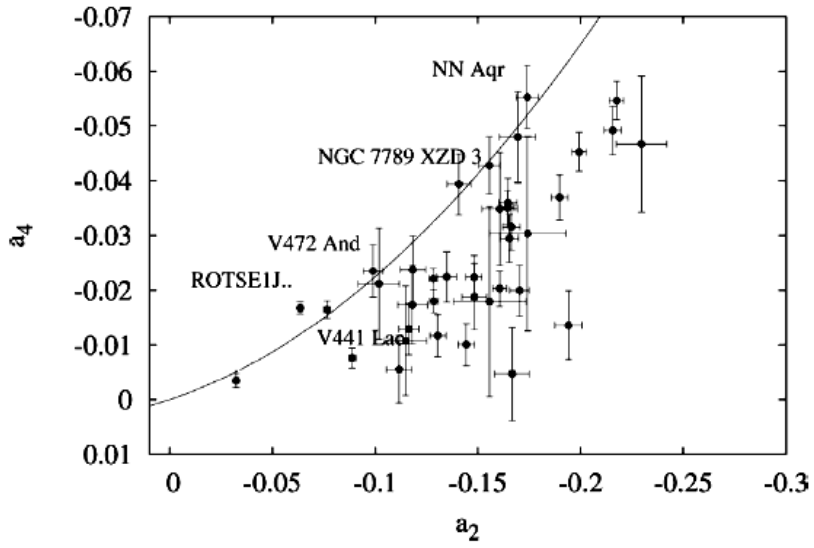
Bu grafikte kırmızı artılar EA/EB değişenlerini, içi dolu siyah yuvarlaklar EW değişenlerini, mavi üçgenler Cepheid/uzun – dönemli değişenleri, içi boş baklava dilimleri RR Lyr değişenlerini ve yeşil yıldızlar kısa – dönemli/δ Scuti değişenlerini temsil etmektedir. Sürekli eğri denklem (3.7) ile ifade edilmektedir

Hoffman vd. (2009) değişen sistemlerin sınıflandırmasını $a_4 = a_2(0.125 - a_2)$ kriterinden yararlanarak yapmıştır. İlgili çalışmada detayları verilmiş olan EA/EB adayı değişenler, eğrinin hem üstünde hem de altında dağılım göstermektedir. Bu aday değişenlerden a_4 katsayısı eğrinin altında kalan sistemlerin EB türü değişenler, üzerinde kalan sistemlerin ise ayrık veya EA türü değişenler olabileceği aynı çalışmada belirtilmiştir. RR Lyr adaylarının (baklava dilimleri) a_4 katsayılarının genellikle pozitif değerlere sahip olduğu da yine şekil 3.8'den rahatlıkla görülebilmektedir. RR Lyr değişenlerinin çoğunluğu asimetrik ışık eğrilerine sahip RRab alt türü sistemlerdir. Aynı

çalışmada, EW türü sistemlerin ışık eğrilerine oldukça benzer ışık eğrilerine sahip olan RRc alt türünden RR Lyr'lerin ayırt edilmesinin oldukça zor olduğu da belirtilmiştir.
Deb ve Singh (2010) tarafından yapılan çalışmada da 62 örten değişen sistemin sınıflandırılmasında yine $a_2 - a_4$ dağılımından yararlanılmıştır. Işık eğrilerine yaptıkları Fourier fiti fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$m(\phi) = m_0 + \sum_{i=1}^{4} \left[a_i \cos(2\pi i \phi) + b_i \sin(2\pi i \phi) \right] \tag{3.9}$$

Burada $m(\varphi)$ evrelendirilmiş ışık eğrisi, m_0 ise ortalama parlaklıktır. Başka bir çalışmada ise değişen sistemlerin sınıflandırılmasında sadece görsel bölgede alınan gözlem verilerine değil, orta kızılöte (MIR) bölgede Geniş Alan Kızılöte Araştırma (WISE) uydusu ile alınan gözlem verilerine de Fourier analizinin uygulanabilirliği gösterilmiştir (Masci vd. 2014).

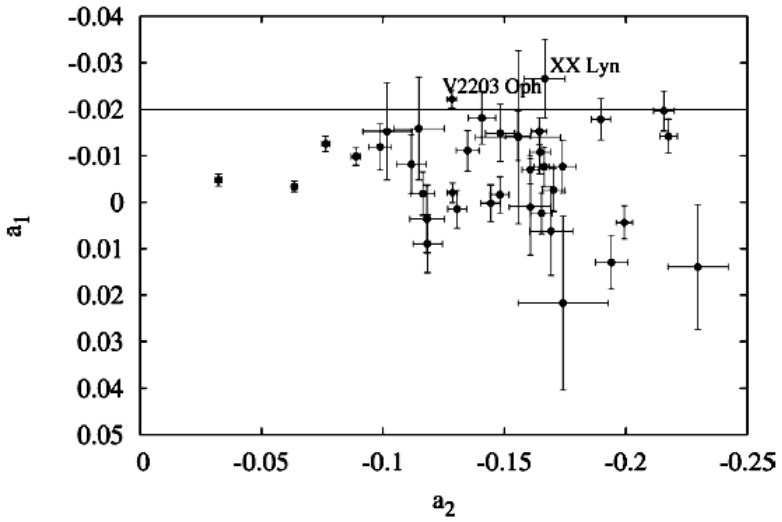


Şekil 3.9 ROTSE–IIId ile gözlenmiş 38 adet W UMa türü örten değişen sistemin $a_2 - a_4$ düzlemi üzerindeki dağılımı (Çoker vd. 2013)

ROTSE–IIId arşivinde bulunan ve literatürde EW türü örten değişen olarak bilinen 45 adet sistemin gözlem verileri kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada ise, bazı sistemler

elenerek, kalan 38 sistemin Fourier serisi fitleri gerçekleştirilmiş ve geometrik parametreleri tahmin edilmiştir (Çoker vd. 2013). Bu 38 sistemin hepsi $a_4 = a_2(0.125 - a_2)$ eğrisinin altında kalmış ya da çok yakınında çıkmıştır (bkz. şekil 3.9). Bu da seçilen tüm sistemlerin değen ya da yarı-ayrık sistemler olduğunu göstermiştir.

Ayrıca $-0.02 < a_1 < 0$ kriterinin de uygulandığı, bu çalışmada, 2 sistemin belirlenen limitin biraz üstünde kalmakla beraber, bunların ayrım çizgisine çok yakın olması ve hata barlarının çok büyük olması nedeniyle yine EW türü örten değişen olabileceği gösterilmiştir (şekil 3.10).



Şekil 3.10 Minimumlar arasındaki farka duyarlı olan ve 38 adet sistem için hesaplanan a_1 katsayısının $a_2 - a_1$ düzlemindeki dağılımı (Çoker vd. 2013)

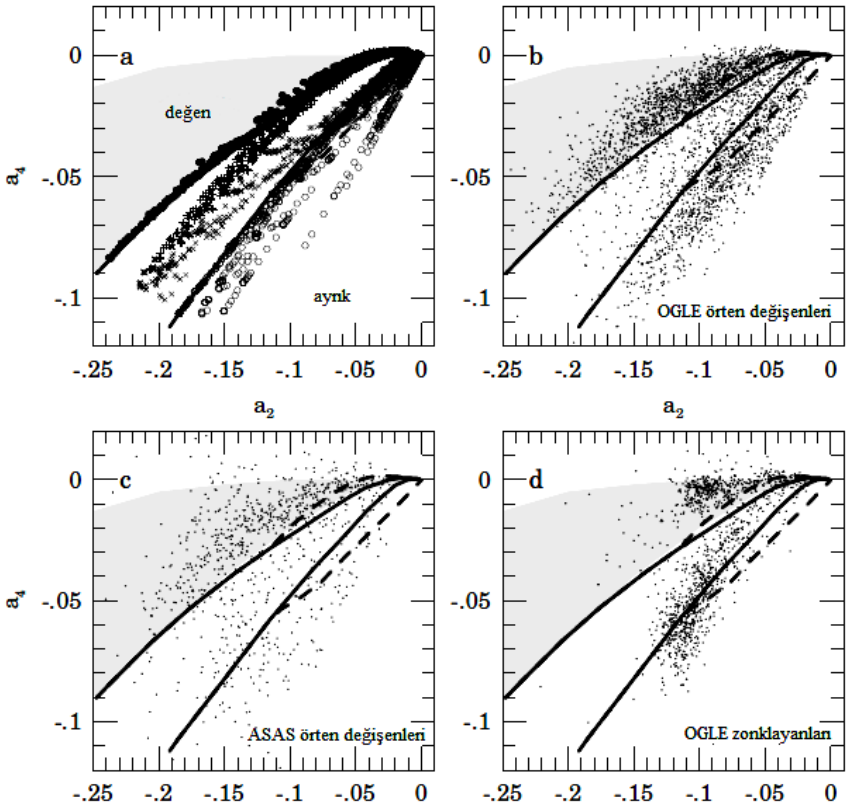
Rucinski'nin (1973, 1993) kullandığı Fourier analiz metodunu biraz daha geliştiren Pojmanski (2002), elde ettiği 4500 "teorik" ışık eğrisine yaptığı

$$\sum a_i \cos(2\pi i\varphi) + b_i \sin(2\pi i\varphi) \tag{3.10}$$

fitiyle EW, EB ve EA sınıflandırmasını yapmak yerine değen (EC), yarı-ayrık (ESD) ve ayrık (ED) sistemlerin ayrımını yapmıştır. şekil 3.11.a'da Wilson-Devinney

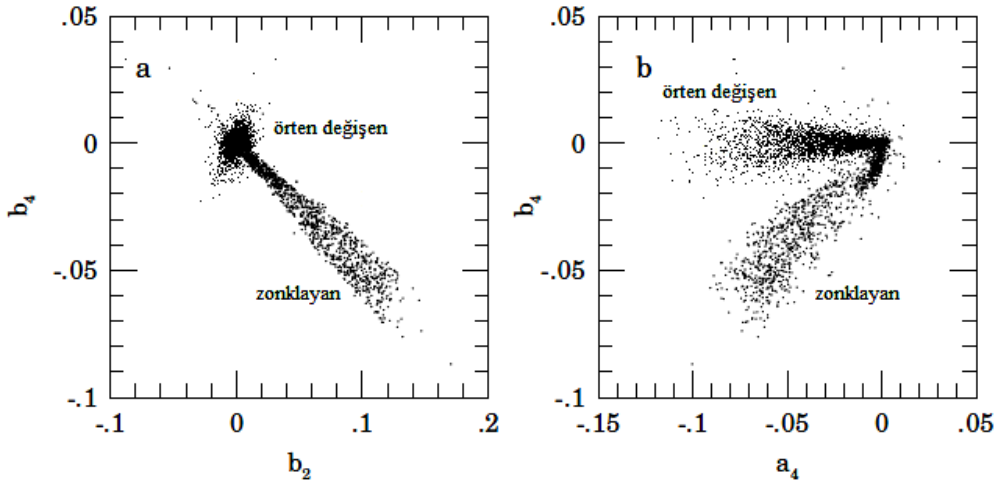
simülasyonu ile elde edilen "teorik" ışık eğrilerinin dağılımı görülmektedir. Tüm grafiklerdeki gri alan Rucinksi (1993) tarafından hesaplanan aşırı değen sistem verilerinin kapladığı alanı göstermektedir. İki sabit eğri değen ve ayrık sistemlerin yaklaşık olarak ayrıldığı alanları temsil etmektedir. Bu iki eğrinin arasında kalan ve kesikli çizgi ile gösterilen bölgede ise yarı-ayrık sistemlerin olduğu görülmüştür.

Ancak şekil 3.11.d'den de görüleceği gibi zonklayan değişenler ile örten değişen sistemler, a_2 – a_4 düzleminde aynı bölgelere düşmekte ve bu türden sistemlerin ayrımlarının yapılması imkansız hale gelmektedir.



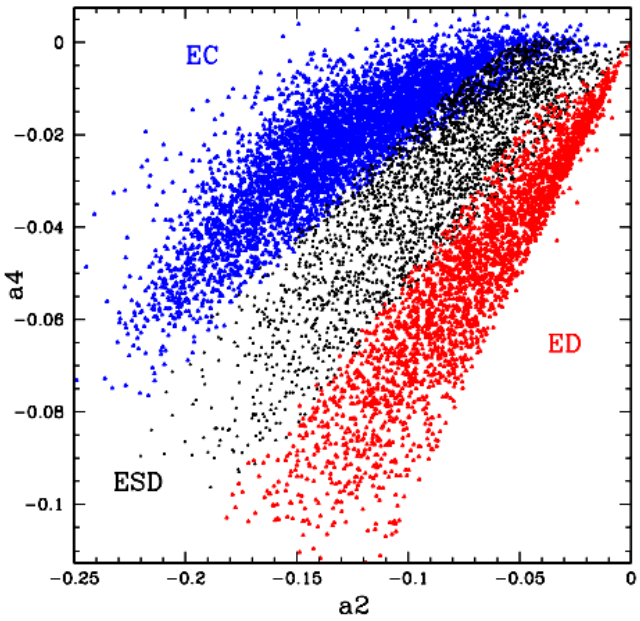
Şekil 3.11 Işık eğrilerinin $a_2 - a_4$ düzlemindeki dağılımı (Pojmanski 2002)

a) Wilson-Devinney ile elde edilen "teorik" veriler; b) OGLE Şişkin Bölge veritabanındaki örten değişenler; c) ASAS örten değişenleri; d) OGLE Şişkin Bölge zonklayan değişenleri. Sürekli çizgiler değen ve ayrık sistemlerin, kesikli çizgi ise yarı ayrık sistemlerin dağılımlarını tanımlamaktadır.



Şekil 3.12 OGLE Şişkin Bölge değişenlerinden zonklayan ve örten değişen sistemlerin a) $b_2 - b_4$ ve b) $a_4 - b_4$ düzlemindeki dağılımı (Pojmanski 2002)

Zonklayan değişenler ile örten değişen sistemler arasındaki ayrımın yapılmasında $b_2 - b_4$ veya $a_4 - b_4$ katsayılarının kullanımının daha doğru olacağı Pojmanski (2002) tarafından önerilmiştir (şekil 3.12).

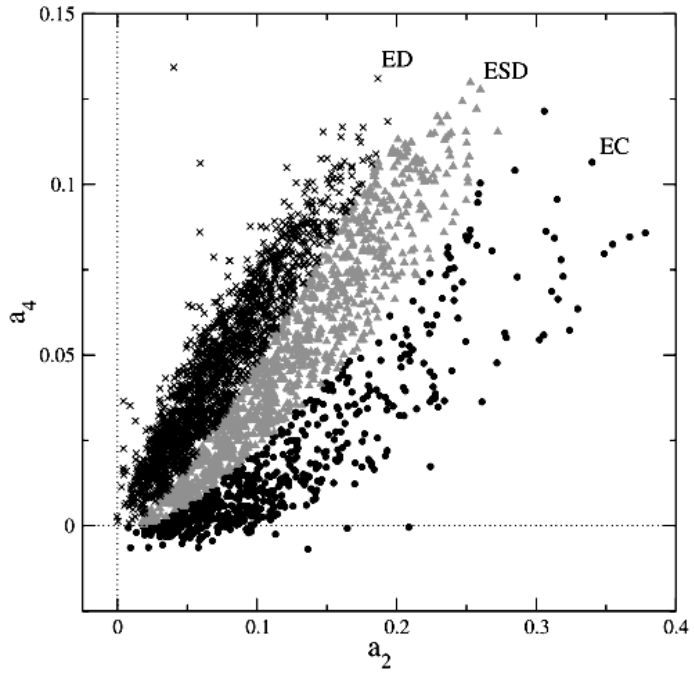


Şekil 3.13 ASAS örten değişen sistemlerinin $a_2 - a_4$ düzlemindeki dağılımı (Paczynski vd. 2006)

Mavi semboller EC sistemleri, siyah renk semboller ESD sistemleri ve kırmızı semboller ED sistemleri temsil etmektedir

Pojmanski'nin (2002) çalışmasından yararlanarak ASAS projesinde keşfedilen 11099 örten değişen sistemin sınıflamasını yapan Paczynski vd. (2006), bu sistemlerden 5384 adedini EC, 2957 adedini ESD ve 2758 adedini de ED değişen olarak tanımlamıştır. Paczynski vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada elde edilen a_2 ve a_4 Fourier katsayılarının dağılımı şekil 3.13'de verilmiştir.

MACHO[4] projesinde gözlenmiş ve örten değişen sistem olarak sınıflandırılmış 3031 adet yıldızın Fourier analizinin gerçekleştirildiği benzer bir başka çalışmada elde edilen, $a_2 - a_4$ dağılımı şekil 3.14'te gösterilmiştir (Derekas vd. 2007).



Şekil 3.14 Büyük Macellan Bulutu'nda bulunan örten değişen sistemlerin $a_2 - a_4$ düzlemindeki dağılımı (Derekas 2007)

Pojmanski'nin (2002) verdiği sınıflama yönteminden yararlanılarak gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise Nefs vd. (2012), WFCAM Transit projesinde[5] gözlenen M tayf türünden, kısa dönemli 25 adet örten cüce değişen sistemi incelemiş, yine $a_2 - a_4$ düzleminden yararlanarak EC, ESD ve ED sınıflandırmasını gerçekleştirmiştir.

[4] http://wwwmacho.mcmaster.ca.
[5] http://casu.ast.cam.ac.uk/surveys-projects/wfcam

3.5 Çalışmada Kullanılan Yazılım

Bu tez çalışmasında ROTSE-IIId veritabanındaki 7 ayrı yönelimde yer alan nokta kaynaklara ait fotometrik veriler kullanılarak olası W UMa türü örten değişen sistemler belirlenmiş, bunlara ait dönemler ve geometrik parametreler tahmin edilmiştir. Gerçekleştirilen bu adımlar hazırlanan bir Python kodu yardımıyla otomatikleştirilerek, büyük verilerin hızlı ve verimli bir şekilde analiz edilebilmesi sağlanmıştır.

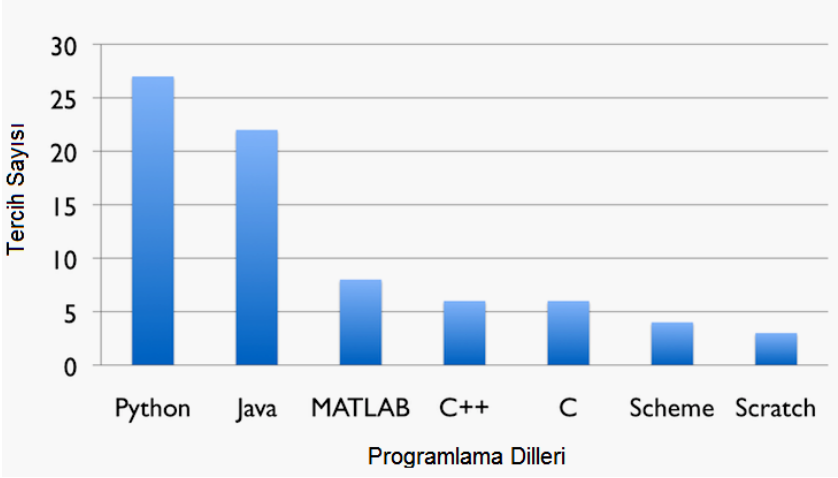
3.5.1 Veri bilimi ve Python

Hiç kuşkusuz son senelerde en çok gelişimin olduğu alanlardan biri de veri bilimidir. Teknolojinin hızlı gelişimi ve yaşamımız içindeki yeri gittikçe artmakta ve bu gelişim büyük miktarda veri oluşumuna yol açmaktadır. Veri biliminin amacı yüksek miktardaki verinin hızlı ve anlamlı bir şekilde analiz edilmesidir. Finans, ekonomi, sağlık ve birçok bilim dalında büyük bir öneme sahip olan veri bilimi için en çok tercih edilen programlama dilleri arasında Python[6] ve R[7] bulunmaktadır. Her ne kadar Python hala R'nin yerini alamamış olsa da son senelerde ki yükselişi herkesin dikkatini çekmektedir. R'nin Python'a kıyasla çok daha kompleks bir dil oluşu en büyük dezavantajlardan biridir. Her ne kadar bunun çok doğru olmadığını söyleyen programcılar olsa da, yazılımla yeni uğraşmaya başlayanlar için Python kullanmak çok daha kolay olacaktır.

Bu çalışmada kullanılan program, gökbilimcilerin çoğunlukla tercih ettiği Python programlama diliyle yazılmıştır. Oldukça zengin bir kütüphaneye sahip olan Python programlama dili platformdan bağımsızdır. Çoğu Linux dağıtımı ve tüm MacOS işletim sistemlerine yüklü olarak gelmekte, Windows işletim sistemine ise oldukça kolay kurulabilmektedir. Okunması oldukça kolay bir dil olması da kod yazmayı yeni öğrenenler için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Yakın zamanda, Guo (2014) tarafından yapılan bir çalışmaya göre ABD'de ki en iyi 10 üniversiteden 8'inde ve 39

[6] https://www.python.org
[7] http://www.r-project.org/

üniversiteden 27'sinde öğrencilere verilen programlama eğitiminde Python tercih edildiği görülmüştür (şekil 3.15).



Şekil 3.15 ABD'nin en iyi 39 bilgisayar bilimleri bölümünde giriş dersi olarak öğretilen dillerin dağılımı (Guo 2014)

NumPy ve SciPy gibi kütüphaneler sayesinde bilimsel çalışmalar Python ile kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle son yıllarda gökbilimcilerin de katkılarıyla birçok yeni paket, modül ve analizlerin gerçekleştirebileceği programlar geliştirilmiştir. Buna en güzel örneklerden birisi, 2013 yılında ilk versiyonunun yayınlandığı, profesyonel astronom ve astrofizikçilere hitap eden Astropy kütüphanesidir.

Python 2.7.3 versiyonu kullanılarak geliştirilen yazılımda (PnF.py[8]), Python'un standart kütüphanesinde bulunan time, os, math, csv, heapq modülleri dışında NumPy, SciPy, PyLab ve matplotlib kütüphanelerinden yararlanılmıştır. Dönem hesaplamasında kullanılan L-S modülünün (*lomb.py*[9]) ise ayrıca temin edilmesi gerekmektedir. Yazılım çalıştırılmadan önce kullanılacak veri dosyalarının ve çıktılarının tam adresleri, yapılacak filtrelemer (hata, dönem vb.) ve program içinde çağrılan modüllerin parametreleri kullanıcı tarafından istenilen şekilde değiştirilmelidir. Tüm adımlar ve gerekli parametreler programın içerisinde açıklanmıştır.

[8] EK-1'de ilgili yazılımın kodları sunulmuştur.
[9] http://www.astropython.org/snippet/2010/9/Fast-Lomb-Scargle-algorithm

3.5.2 Program hakkında genel bilgi

Bu çalışmada kullanılan yazılımın ilk parçasını, veriler üzerine uygulanan dönemsel değişimin araştırılması oluşturmaktadır. Dönem analizlerinde, literatürde de çok yaygın olarak kullanılan Lomb-Scargle (L-S) yönteminden yararlanılmıştır. Çoker vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ROTSE-IIId teleskobu ile gözlenmiş olan ve SIMBAD[10] veri tabanında EW türü örten değişen olarak tanımlanan 45 adet sistemin dönem analizi L-S yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Deney grubu olarak adlandırabileceğimiz bu 45 sistemin dönem hesaplamarı da, bu tez çalışmasında olduğu gibi *lomb.py* modülü kullanılarak yapılmış, sonuçlar ANOVA (Schwarzenberg-Czerny 1996) ve CLEANest (Foster 1995) algoritmalarıyla da denetlenmiştir (Çoker vd. 2013).

Kullanılan *lomb.py* modülü sırayla *x, y, ofac* ve *hifac* argümanlarının girilmesiyle çalışmaktadır. *x* ve *y* argümanları sırasıyla sistemlere ait zaman ve parlaklık değerlerine karşılık gelmektedir. o*fac* yani "oversampling factor" değeri genelde 4 veya üstü olarak belirlenmektedir. *ofac* değeri, sisteme ait gerçek frekansın (dönem) bulunabilmesi için kullanılan test frekansları arasındaki aralığı belirleyen bir katsayıdır. *Örnekleme oranı* aşağıda verildiği gibi seçildiğinde, periyodogramdan elde edilecek önemli dönemlilikler kaçırılmamış olur (Foster 2010).

$$\Delta\nu = \frac{1}{Nt_s} \tag{3.11}$$

Bu eşitlikte N veri sayısını, t_s ise veriler arasındaki zaman aralıklarını göstermektedir. Bu katsayı ($\Delta\nu$) büyüdükçe periyodogramın çözünürlüğü artmakta ve elde edilen olası dönemler de daha iyi hesaplanabilmektedir. Ancak bu çalışma için *ofac* değerinin 4 alınması, yani $\Delta\nu = 1/(4Nt_s)$ seçilmesi, yeterli olmuştur. Detaylı bilgi bir sonraki bölümde verilmiştir.

[10] http://simbad.u-strasbg.fr/

Bir diğer argüman, *hifac* ise hesaplanmak istenilen en büyük frekans değerini belirlemek için kullanılan bir değişkendir. Bu argüman için değer, toplam veri sayısı ve bu verilerin alındığı toplam zaman aralağına göre tüm sistemler için ayrı olarak hesaplanmaktadır. Bu seçimi yapabilmek için en yüksek frekans değeri (f_{hi}) ile Nyquist frekans[11] değerinin (f_c) karşılatırılması (f_{hi} / f_c) önerilmiştir (Press vd. 2007). Nyquist frekansı, *örnekleme* sayısına yani gözlem sıklığına bağlıdır. Eğer *N* tane veri *T* süresi içinde eşit zaman aralıklarıyla alındıysa, Nyquist frekansı aşağıdaki şekilde hesaplanmalıdır:

$$f_c = \frac{N}{2T} \tag{3.12}$$

Burada dikkat edilmesi gereken ayrıntı, bu çalışmada ilgilenilen en küçük dönemin 0.1^g olması nedeniyle periyodogramda hesaplanacak maksimum frekansın da 10 g^{-1} civarında olacak şekilde ayarlanmış olduğudur.

$$hifac = \frac{f_{hi}}{f_c} = \frac{10 \times 2 \times T}{N} = \frac{20 \times T}{N} \tag{3.13}$$

Analizlerde $0^m.5$'ten büyük hataya sahip parlaklık değerleri periyodogramın hesaplanmasında kullanılmamıştır. Periyodogramın elde edilmesinden sonra dönem hesabı tüm sistemlere aynı şekilde, aşağıdaki gibi uygulanmıştır:

$$P = 2 \times \frac{1}{fx_{j\max}} \tag{3.14}$$

Burada *jmax,* L-S modülünün bir çıktısı olup periyodogramdaki en güçlü pikin indeksini belirtmektedir. Bir diğer çıktı olan *fx* ise periyodogramın frekans dizisidir. Kısacası fx_{jmax} sisteme ait en olası (periyodogramda en yüksek pike karşılık gelen

[11] http://mathworld.wolfram.com/NyquistFrequency.html

frekans) döneme karşılık gelen frekanstır. Biraz önce de bahsedildiği gibi burada dönem hesabı, tüm sistemlerin örten değişen sistem olduğu varsayımıyla gerçekleştirilmiştir.

Program, analizi yapılan sisteme ait periyodogramdan elde edilen en güçlü pike ait logaritmik FAP üssü değeri -50'den büyük olduğu durumlarda bir sonraki veri setine geçmektedir. FAP üssü değeri -50'den küçük veri setleri için ise sadece 0.1 gün ile 1.5 gün arasında döneme sahip sistemlerin analizlerine devam etmektedir.

Bu kriterlere uygun tüm sistemlerin periyodogram çıktıları tek tek kaydedilmiştir. Farklı bir dosyada ise kriterlere uygun tüm sistemlerin sırasıyla yıldız adı, fx_{jmax}, fy_{jmax}, FAP, P ve N değerleri liste halinde bir dosyaya kaydedilmiştir (fy_{jmax}, periyodogramda en yüksek pikin gücünü göstermektedir). Her sisteme ait dönem hesabı gerçekleştirildikten sonra döneme göre katlanarak oluşturulan evrelendirilmiş ışık eğrisi verileri ve grafikleri de ayrı birer klasör altında toplanmıştır. Daha sonra normalize edilmiş ışık eğrileri oluşturularak ayrı bir klasöre kaydedilerek veriler, Fourier analizine hazır hale getirilmiştir. Bu aşamadaki veriye fit edilen 9 terimli Fourier serisi aşağıdaki gibidir:

$$l(\theta) = \sum_{i=0}^{4} a_i \cos(2\pi i\theta) + b_i \sin(2\pi i\theta) \tag{3.15}$$

Uygulanan Fourier serisi dizisinin üst sınırının 4 seçilmesinin nedeni a_4 ve b_4 sonrasındaki katsayıların oldukça küçük değerlere sahip olup, sistemlerin sınıflandırmasında hiçbir öneme sahip olmaması ve işlem süresini uzatmasından kaynaklanmaktadır.

Fourier fitinden elde edilen tüm sonuçlar, işlem yapılan yıldızın adı, önce *a* katsayıları daha sonra ise *b* katsayıları olacak şekilde hatalarıyla birlikte sıralı olarak tek bir dosyaya, liste halinde işlenmektedir. Yapılan Fourier fitlerinin uyumluluğunu görebilmek amacıyla, aynı klasör altında Fourier analizinin gerçekleştirildiği tüm yıldızların evrelendirilmiş ışık eğrileriyle uygulanan fitin çakışık grafikleri kaydedilmiştir.

Bu aşamadan sonra ise artık ilgilenilen sistemlerin sınıflandırılması işlemine başlanmaktadır. Fourier analizinden elde edilen a_1, a_2 ve a_4 parametrelerinden yararlanılarak sistemler ilk önce ayrık (ED), yarı-ayrık (ESD) ve değen (EC) örten değişenler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflamalara uymayan ve $a_4 > 0.005$ kriterine uyan tüm sistemler zonklayan ("Puls" isimlendirmesi kullanılarak) değişen olarak tanımlanmıştır. Değen örten değişen olarak belirlenen sistemler ise kendi içinde $-0.02 \le a_1 \le 0.015$ olduğu durumlarda EW, $a_1 \le -0.02$ olduğu durumlarda da EB olarak sınıflandırılmıştır. Bazı sistemler ise bu kriterlerin dışında kalmış ($a_1 > 0.015$) ve "?" olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlar isim ve belirlenen tür olarak Fourier analiz sonuçları ile aynı klasör içerisinde ayrı bir dosyaya kaydedilmiştir.

Program son olarak EW olarak sınıflandırılan sistemlerin yaklaşık *f*, *i* ve *q* değerlerini belirlemektedir. Bu işlem Rucinski (1993) tarafından listelenen sentetik katsayıların, Fourier analizi sonucunde elde edilen kaysayılar ile karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Sentetik katsayılar Rucinski (1993) tarafından sunulan tablolardan veya daha sonra Hambalek ve Pribulla (2013) tarafından oluşturulmuş olan daha detaylı tablolardan[12] belirlenebilmektedir. Kullanılacak olan sentetik tabloların a_i katsayılarından sonra sırasıyla *q, f* ve *i* değerlerini alacak şekilde düzenlenip, programa dizin konumu verilmelidir. Bu çalışmada Hambalek ve Pribulla (2013) tarafından oluşturulan sentetik katsayılardan yararlanılmıştır. Bu aşamada ilk önce sadece a_2 ve a_4 katsayılarından yararlanılarak yapılan karşılaştırma sonucunda, en küçük fark kareleri toplamına sahip, sentetik a_2 ve a_4 katsayılarının karşılık geldiği *f* değeri belirlenmektedir. Sonrasında ise bu *f* değerine karşılık gelen sentetik a_2 katsayılarından yararlanılarak, Fourier serisi fit edilen sistemlerin *i* ve *q* değerleri elde edilmektedir. Sonuçlar analizinin gerçekleştirildiği sistemin ismi, *f*, *i*, *q* ve sistemin türü, liste halinde, Fourier analiz sonuçları ile aynı klasöre kaydedilmektedir.

[12] http://www.ta3.sk/~lhambalek/download/unique.zip

4. BULGULAR

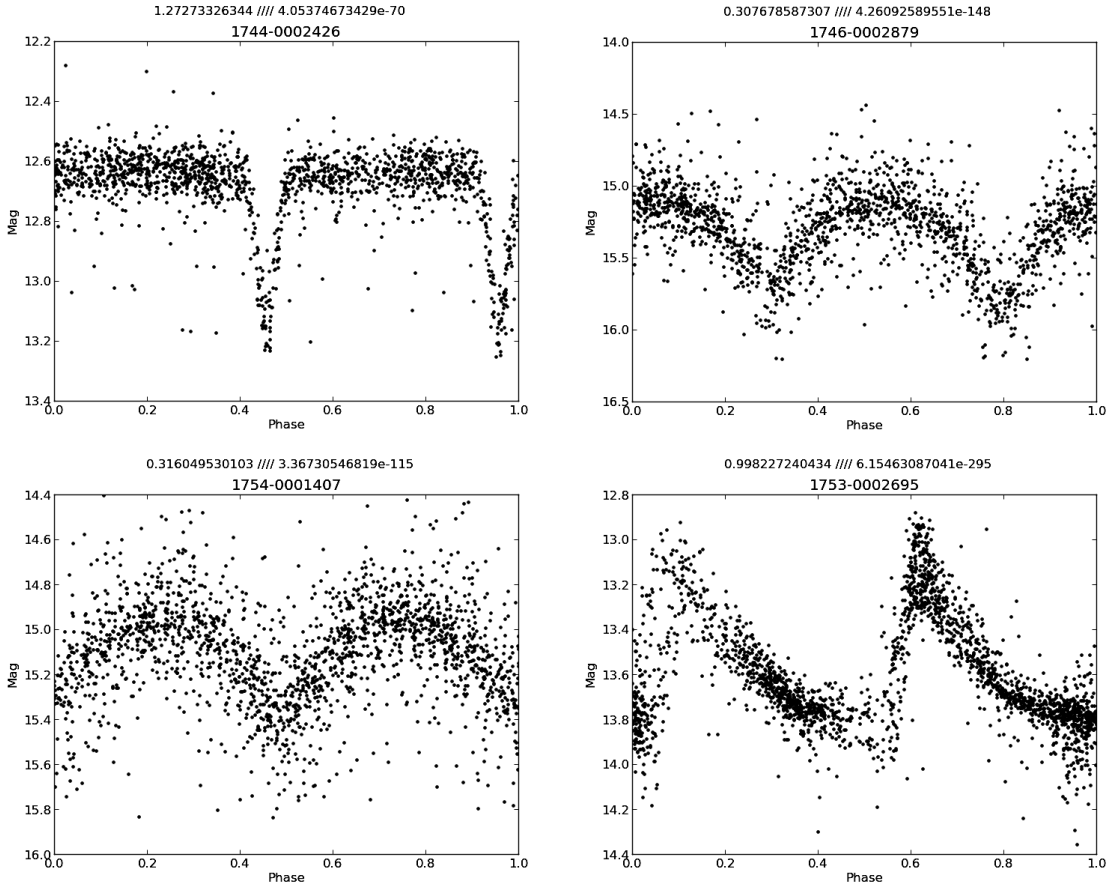
Bu çalışmada, ROTSE–IIId teleskobuyla gözlenmiş, TBAG108T475 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında kullanıma tahsis edilen verilerin, tekrar tasnif edilmiş hali kullanılmıştır. Toplam 7 yönlenmeye (pointing) ait klasörlerin içerisinden sırasıyla 6651, 19026, 10162, 2152, 4012, 10575 ve 37806 adet dosya alınmıştır. Program toplam 90384 adet nokta kaynağa ait veri seti için çalıştırılmıştır.

Programın L-S algoritması işlemi sonucunda, belirlenen kriterlere uygun (FAP üssü değeri -50'den küçük ve dönemi 0.1 gün ila 1.5 gün arasında olan sistemler) her bir yönlenme için sırasıyla 16, 14, 0, 3, 5, 6 ve 17 (toplam 61) sistem için sonuç elde edilmiştir. Daha sonra bu sistemlerin evrelendirilmiş ışık eğrilerine Fourier serisi fitleri gerçekleştirilerek, sistemlerin türleri belirlenmiş ve EW türü sistemlerin geometrik parametreleri elde edilmiştir. Kriterlere uygun, dönemleri hesaplanmış toplam 61 sistemden 34 tanesi EW türü örten değişen sistem olarak tanımlanmıştır. Elde edilen örnek bazı ışık eğrileri şekil 4.1'de ve sonuçların istatistiği çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Toplam 90384 adet nokta kaynak için çalıştırılan program sonucunda kriterlere uygun olarak sınıflandırılan değişen sistemlere ait istatistikler

Yönlenme			Kriterlere Uygun Belirlenen Cisim Sayısı						
No	Nokta Kaynak	İşlem Süresi* (sa)	EW	EB	ED	ESD	Pulsasyon	Türü Belirsiz	Toplam
1	6651	1.32	10	1	4	0	0	1	16
2	19026	4.56	7	1	1	4	0	1	14
3	10162	0.28	0	0	0	0	0	0	0
4	2152	0.12	3	0	0	0	0	0	3
5	4012	0.22	2	0	2	1	0	0	5
6	10575	0.20	2	1	2	1	0	0	6
7	37806	6.93	10	2	3	1	1	0	17
Toplam	90384	16.63	34	5	12	7	1	2	61

* Kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri; Dell Inspiron N5110, Intel(R) Core(TM) i5-2430M CPU @2.40 GHz, 4 GB RAM



Şekil 4.1 Kriterlere uygun, dönemlilik gösteren örnek 4 adet sisteme ait evrelendirilmiş ışık eğrisi

Her bir panelin üzerinde belirlenen dönem ve buna ilişkin FAP değeri verilmiştir

EW türü örten değişen olarak sınıflandırılan sistemlerden 15 tanesinin literatürde bilgisi olup bunlardan 3 adedinin literatüre göre hatalı sınıflandırıldığı görülmüştür. Ancak hatalı sınıflandırılan bu 3 sistemden 2 tanesi RRc türü değişen olup doğru dönemin hesaplananın yarısı olduğu tespit edilmiştir. Kalan 19 EW sisteme ait dönem bilgileri ise literatüre yeni kazandırılan sonuçlardır. Diğer dönemlilik gösteren sistemler için hesaplanan dönemler de literatür ile oldukça uyumludur (pulsasyon yapan sistemler için tablolanan dönemin yarısı alınması koşulu ile). Bu değişenlerden 1744-0002426 ve 1749-0003416 için yapılan detaylı literatür taraması sonucunda iyi çalışılmış sistemler olmadıkları ve literatürde verilen dönemlerin yanlış olduğu kanısına varılmıştır. Cisimlerin isimleri (USNO-B1.0 kataloğuna[13] göre), L-S algoritmasına göre elde edilen

[13] http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/ub1.html

dönemler, yapılan sınıflandırmalar, FAP üssü değerleri ve literatürde bilgisi olan sistemlere ait dönem ve değişim türleri çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Kriterlere uygun olarak belirlenen 61 değişene ait dönem bilgileri yapılan sınıflandırmalar ve literatür bilgileri

Yıldızın Adı	***Veri Sayısı***	***Dönemi (g)***	***FAP üssü***	***Türü***	***Dönemi (g) [Literatür]***	***Türü [Literatür]***	***Ref.****
1744-0002426	1548	1.272733263	-70	ED	***3.503400000***	EA	1
1745-0001501	2120	0.351844544	-94	EW	0.351800000	EW	1
1746-0002879	1672	0.307678587	-148	EB	0.307700000	EB	1
1747-0002739	2213	0.266823500	-225	ED	***0.133411290***	*HADS/DSCT*	1,2
1748-0001473	2153	0.472428826	-55	EW	***0.236260000***	*RRc*	1
1748-0002565	1881	0.354094001	-92	EW	0.354103400	EW	1
1749-0003259	1058	0.374704587	-56	?	-	-	-
1749-0003284	2015	0.441792304	-81	EW	-	-	-
1749-0003416	1382	1.087078196	-112	ED	***0.371650000***	*RRab*	1
1750-0003690	2260	0.733815858	-283	EW	***0.366970000***	*RRc*	1
1752-0002544	1375	0.285736935	-100	EW	0.285735500	EW	1
1752-0002574	1539	0.342458693	-68	EW	0.342454000	EW	1
1753-0002695	2250	0.998227240	-295	ED	***0.497173000***	*RRab*	1
1754-0001407	1932	0.316049530	-115	EW	0.316492000	EW	1
1754-0002600	2288	0.321226585	-94	EW	0.321495700	EW	1
1755-0003203	2291	0.995875158	-53	EW	***Yıldız***	*Yıldız*	3
1544-0037255	3797	0.688155978	-73	ESD	-	-	-
1544-0039186	4212	1.082835671	-54	ESD	-	-	-
1546-0036208	3575	0.348076862	-79	EW	-	-	-
1549-0029855	5079	1.212387777	-82	EB	-	-	-
1550-0034025	4810	0.276680484	-216	ESD	-	-	-
1551-0030140	2622	0.423025071	-115	EW	-	-	-
1552-0034403	3267	0.655367653	-99	EW	-	-	-
1554-0026521	3781	0.299580514	-176	EW	-	-	-
1556-0024849	5218	0.490781609	-62	EW	-	-	-
1556-0025427	6307	0.302393339	-123	EW	-	-	-
1558-0025512	4035	0.332435653	-159	?	-	-	-
1560-0026735	4797	1.444085040	-227	ED	-	-	-
1561-0024703	4064	1.137690067	-143	ESD	-	-	-

Çizelge 4.2 Kriterlere uygun olarak belirlenen 61 değişene ait dönem bilgileri yapılan sınıflandırmalar ve literatür bilgileri (devam)

Yıldızın Adı	*Veri Sayısı*	*Dönemi (g)*	*FAP üssü*	*Türü*	*Dönemi (g) [Literatür]*	*Türü [Literatür]*	*Ref.**
1561-0027039	4258	0.433722244	-81	EW	-	-	-
1611-0091333	799	0.434893282	-134	EW	0.434911000	EW	1
1611-0091801	784	0.376844928	-126	EW	0.376831000	EW	1
1614-0090440	778	0.707854313	-85	EW	-	-	-
1251-0248035	1093	0.358165689	-108	EW	0.358151670	EW	1
1252-0247216	1074	0.357643171	-66	EW	-	-	-
1252-0248943	976	0.838158980	-104	ESD	***0.419100000***	*RRc*	1
1254-0249365	1034	0.999657798	-68	ED	***Yıldız***	*Yıldız*	4
1258-0250074	695	1.022306253	-68	ED	***0.511179000***	*RRab*	1
1336-0316388	479	0.303649860	-84	EW	0.303653000	EW	1
1336-0317712	489	0.374348709	-84	EW	0.374353000	EW	1
1336-0318718	492	0.392755224	-76	ESD	0.392697000	*EW*	1
1337-0317368	420	0.320876467	-54	EB	-	-	-
1340-0322115	479	1.041579933	-56	ED	***0.521122700***	*RRab*	1
1346-0322862	468	1.149911385	-53	ED	-	*RR:*	1
1420-0466653	1616	0.393888321	-55	EW	-	-	-
1421-0478977	959	0.920447913	-52	EB	-	-	-
1422-0485614	1436	1.268316838	-88	ED	1.268348000	*EB*	1
1422-0487705	1443	0.359574744	-93	EW	-	-	-
1423-0487272	1786	0.345739827	-160	ED	-	-	-
1423-0489785	1819	1.036324311	-116	ED	-	-	-
1424-0477972	1618	0.416724635	-64	EW	-	-	-
1424-0482141	1142	0.412943264	-86	EW	-	-	-
1424-0488330	1162	0.508136305	-96	EW	-	-	-
1425-0484226	1834	0.308915416	-202	EW	0.308911300	EW	1
1427-0507531	1260	0.415295171	-106	EW	-	-	-
1428-0500836	1668	0.651491980	-123	ESD	0.651504500	EA	1
1429-0497839	1799	1.363409444	-60	Puls	-	-	-
1433-0429205	1767	0.409992450	-210	EW	-	-	-
1433-0432280	1369	0.292996299	-78	EW	-	-	-
1434-0397518	1632	0.527408781	-70	EW	-	-	-
1435-0392835	1247	0.522634544	-115	EB	-	-	-

Literatürde dönemi kalın/bold verilenlerin dönemleri bu çalışmadakinden farklıdır.

* Referanslar. (1) Watson (2006); (2) Samus vd. (2009); (3) http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/; (4) Vasconcellos (2011).

Ayrıca Çoker vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kullanılan 45 EW türü sistemden, bu çalışmada yararlanılan yönelimlere karşılık gelen 9 adet sisteme ait sonuçların karşılaştırılmaları da yapılmıştır. Dönem hesaplamalarından bu çalışmada elde edilen ve Çoker vd. (2013) çalışmasında elde edilen sonuçlar çizelge 4.3'te karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, birbiri ile uyumlu olup, Çoker vd.'nin (2013) yaptığı çalışmada 1336-0316388 yıldızına ait veri sayısının yeterli olmamasından dolayı bulunamayan dönem, bu çalışmada veri sayısının artmasıyla birlikte literatür ile uyumlu olarak hesaplanmıştır.

L-S periyodogramının çözünürlüğü ile ilişkili olan ve büyüdükçe bu çözünürlüğü arttıran o*fac* değerinin 4 yerine 10 alınarak periyodogram hesaplamarının yapıldığı bir yönelime ait veri setinden elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar çizelge 4.4'te verilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda çoğu sistem için hesaplanan dönemlerin aynı kaldığı, sadece bazılarının virgülden sonra 5'inci basamakta değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca, o*fac* değeri 10 alınarak yapılan işlemlerin sonucu ile 4 alınarak yapılan işlemler kıyaslandığında, EW türü örten değişen olarak sınıflandıralan 2 adet sistemin *ofac*=10 ile tespit edilemediği görülmüştür. Dolayısıyla gerek bazı sistemlerin tespit edilememesi gerekse *ofac*=4 için 1.32 saat süren aynı işlemin *ofac*=10 için 3.30 saat sürmesi gibi nedenlerden dolayı, *ofac* çözünürlüğünün 4 alınmasının uygun olacağı düşünülerek tüm hesaplamalar bu sonuca uygun olarak yapılmıştır.

Seçim kriterlerinden birisi olan dönem aralığı ($0.1 \leq P \leq 1.5$ gün), sonuçların sadece EW türü sistemlerle sınırlandırılmak istenmesinden kaynaklanmaktadır. FAP değerinin üssünün -50'den daha küçük değerlere sahip sistemlerle sınırlandırılmasının nedeni ise, dönemlilik gösteren sistemleri olabildiğince iyi bir şekilde ayıklanmak istenmesidir. Özel olarak belli bir yönelim için dönem kriteri değiştirilmeden, sadece FAP üssü -10'dan küçük olacak şekilde, daha geniş bir kriter aralığı sunularak program tekrar çalıştırılmıştır. Bu durumda ilgili alandan belirlenen 16 adet değişen sistemden sadece 1 sonuç hatalı çıkarken, yeni kritere göre aynı yönelimden 94 adet sistem değişen olarak tanımlanmış olup, bu sistemlerden 72 adedinin hatalı sonuç olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.3 Çoker vd.'nin (2013) yaptığı çalışmada W UMa türü örten değişen olarak belirlenen 9 adet sistemin, bu çalışma ve literatür ile karşılaştırmalı sonuçları

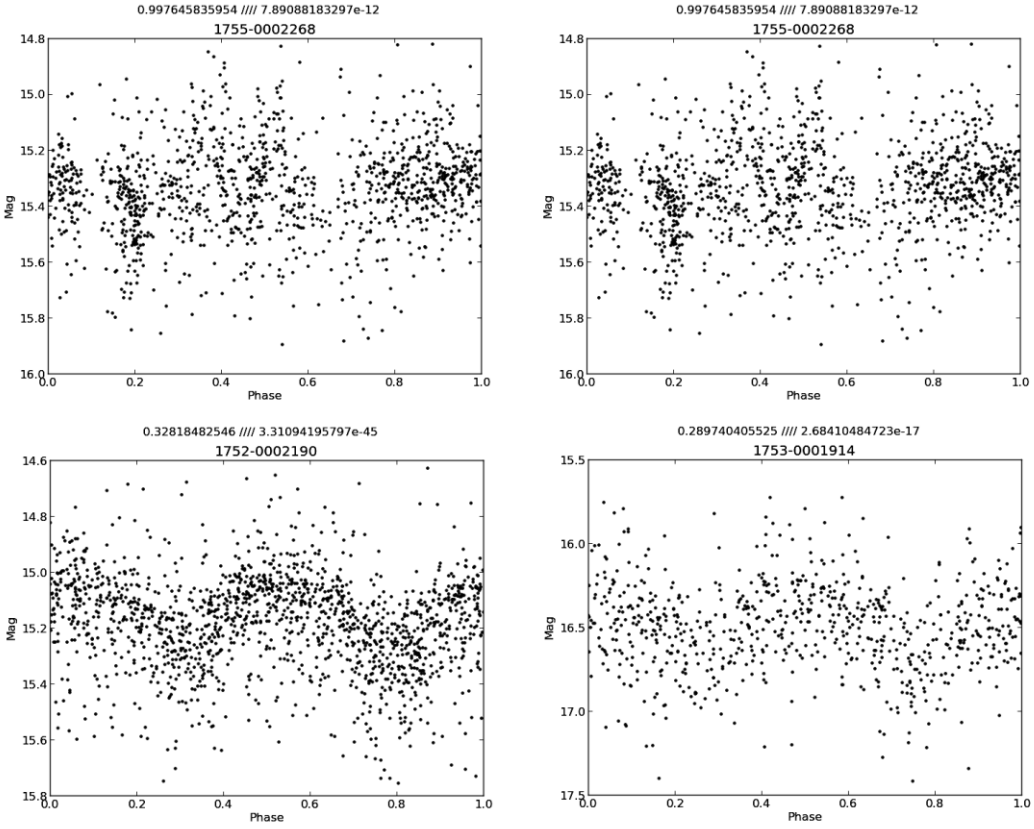
		Bu çalışma			Çoker vd. (2013)			Literatür	
Yıldızın Adı	***Parlaklığı (V Bandı)***	***Veri Sayısı***	***Dönemi (g)***	***FAP üssü***	***Veri Sayısı***	***Dönemi (g)***	***FAP üssü***	***Dönemi (g)***	***Referans***
1251-0248035	10.39	1093	0.358166	-108	1818	0.358156	-221	0.358157	Özkardeş ve Erdem (2007)
1336-0316388	13.93	479	0.303650	-84	53	-	-	0.303654	Pigulski vd. (2009)
1336-0318718	11.56	492	0.392755	-76	490	0.392762	-79	0.392740	Akerlof vd. (2000)
1425-0484226	12.20(R)	1834	0.308915	-202	2075	0.308915	-219	0.308911	Kreiner (2004)
1611-0091333	13.76	799	0.434893	-134	794	0.434929	-135	0.434911	Virnina (2011)
1611-0091801	14.25	784	0.376845	-126	786	0.376846	-123	0.376832	Virnina (2011)
1752-0002574	15.87	1539	0.342459	-68	1048	0.342448	-55	0.342457	Zhang vd. (2004)
1754-0002600	12.8	2288	0.321227	-94	1187	0.321229	-88	0.321496	Zhang vd. (2004)

Çizelge 4.4 Sadece bir bölge için farklı *ofac* değerleri (4 ve 10) kullanılarak elde edilen dönemlerin karşılaştırması

Yıldızın Adı	*Veri Sayısı*	*Dönemi (g) [ofac=4]*	*FAP üssü [ofac=4]*	*Türü [ofac=4]*	*Dönemi (g) [ofac=10]*	*FAP üssü [ofac=10]*	*Türü [ofac=10]*	*Dönemi* (g) [Literatür]*	*Türü* [Literatür]*
1744-0002426	1548	1.272733263	-70	ED	1.272733263	-70	ED	3.503400000	EA
1745-0001501	2120	0.351844544	-94	EW	0.351844544	-94	EW	0.351800000	EW
1746-0002879	1672	0.307678587	-148	EB	0.307678587	-148	EB	0.307700000	EB
1747-0002739	2213	0.266823500	-225	ED	0.266823500	-225	ED	0.133411290	HADS/DSCT
1748-0001473	2153	0.472428826	-55	EW	0.472428826	-55	EW	0.236260000	RRc
1748-0002565	1881	0.354094001	-92	EW	0.354090685	-95	EW	0.354103400	EW
1749-0003259	1058	0.374704587	-56	?	0.374704587	-56	?	-	-
1749-0003284	2015	0.441792304	-81	EW	0.441784599	-84	EW	-	-
1749-0003416	1382	1.087078196	-112	ED	1.087031250	-115	ED	0.371650000	RRab
1750-0003690	2260	0.733815858	-283	EW	0.733801768	-284	EW	0.366970000	RRc
1752-0002544	1375	0.285736935	-100	EW	0.285738016	-101	?	0.285735500	EW
1752-0002574	1539	0.342458693	-68	EW	0.342457141	-69	EW	0.342454000	EW
1753-0002695	2250	0.998227240	-295	ED	0.998227240	-295	ED	0.497173000	RRab
1754-0001407	1932	0.316049530	-115	EW	0.316052144	-117	?	0.316492000	EW
1754-0002600	2288	0.321226585	-94	EW	0.321230635	-97	EW	0.321495700	EW
1755-0003203	2291	0.995875158	-53	EW	0.995875158	-53	EW	Yıldız	Yıldız

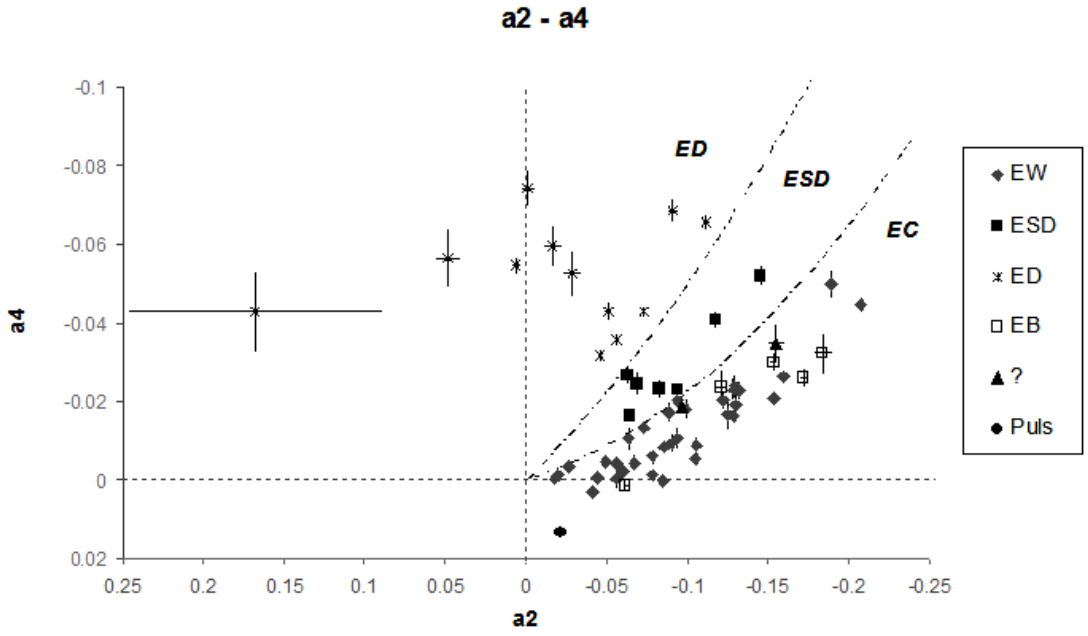
*Yıldızlara ait dönem ve tür bilgileri çizelge 4.2 ile aynı referanslara sahiptir.

FAP olasılığının üssü -10 alınarak elde edilmiş 50 adet EW türü sistemden 10 tanesi daha önceden EW olarak belirlenen sistemler olup, kalan 40 sistemden sadece 2 tanesi FAP değerinin üssü -50 alınması sonucunda gözden kaçan sistemlerdir. FAP olasılığının üssü -10 alınması ile elde edilen 4 sisteme ait ışık eğrileri, belirlenen dönemleri ve FAP değerleri şekil 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.2 FAP olasılığı üssünün FAP $\leq$ -10 alınması sonucunda elde edilen ışık eğrilerine örnek 4 sistemin ışık eğrisi, dönem ve FAP bilgileri

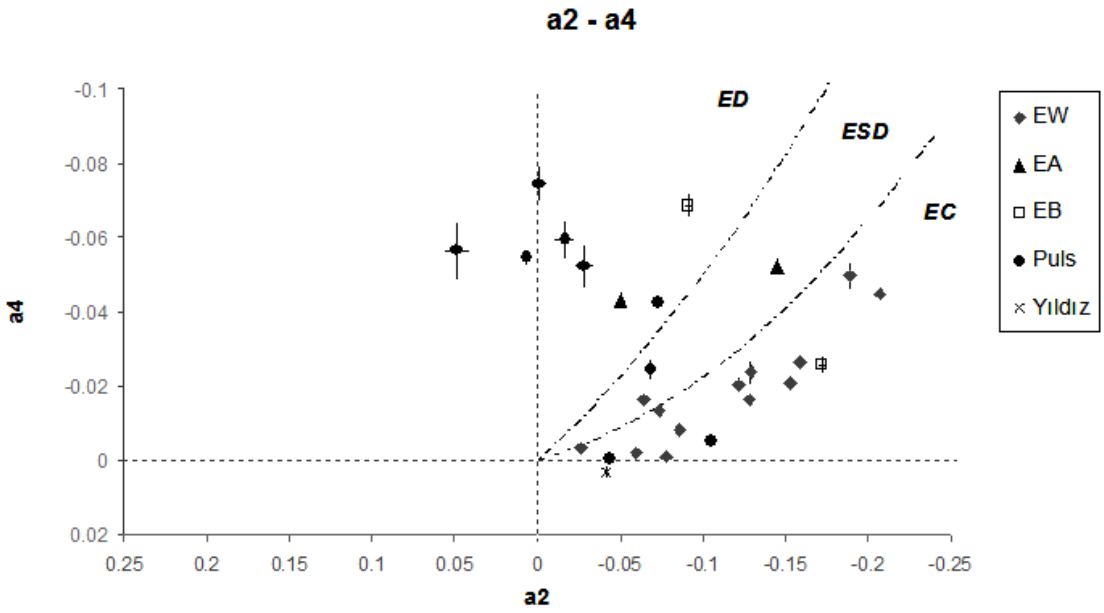
EW türü sistemler için oldukça iyi işleyen Fourier filtreleme metodu ne yazık ki RRc türü değişenlerin ayıklanmasına olanak tanımamaktadır. Algol ve β Lyr türü örten değişenlerin ya da zonklayan değişenlerin sınıflanmasının otomatikleştirilebilmesi için ise daha detaylı bir çalışmanın yapılması gerekmektedir. Fourier serisi yönteminin kullanımıyla yapılan sınıflamanın, literatürde de belirtildiği gibi ayrık, yarı-ayrık ve değen sistemler olarak gruplara ayrılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.



Şekil 4.3 Toplam 61 adet sistem için uygulanan Fourier serisi fitlerinden elde edilen a_2 ve a_4 katsayılarının dağılımı

Bu amaçla Fourier analizi gerçekleştirilen 61 adet sistemin $a_2 - a_4$ dağılımları incelenmiştir. İlgili dağılım şekil 4.3'te verilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü gibi sistemler ED, ESD ve EC olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 4.4'te ise bu sistemler arasında literatürde tür bilgisi olanların, bu bilgilere göre olan $a_2 - a_4$ düzlemindeki dağılımları gösterilmiştir. Grafikte, literatürde (çizelge 4.2'de verilen) EA olarak sınıflandırılan ve üçgen simgesi ile gösterilen sistemlerden birinin ESD, diğerinin ise ED bölgesine düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlar EA türü değişenlere ait Roche geometrisi ile uyumludur ancak, kullanılan yöntemle bu tür değişenlerin doğru bir şekilde sınıflandırılmalarının zor olduğu anlaşılmaktadır. Literatürde EW türü olarak sınıflanan sistemlerden birinin ise bu sistemlerin Roche geometrisine aykırı olarak, ESD bölgesine düştüğü görülmektedir (1336-0318718). Son olarak yine literatürde EB/ED (Svechnikov ve Kuznetsova 1990) olarak belirlenen bir sistemin (1422-0485614) ED bölgesine düştüğü yani, sınıflamanın doğru yapıldığı görülmektedir. Literatür bilgilerine göre zonklayan değişen olarak belirlenen sistemler, bu çalışmaya göre yanlış sınıflandırılmış olup, bu tür sistemlerin çoğunun ED bölgesine düştüğü görülmektedir. EC bölgesine düşen ve EW olarak yanlış sınıflandırılan her 2 sistem de RRc türü zonklayan sistemdir. Daha önce de belirtildiği gibi bu yöntemle RRc türü sistemlerin

EW türü sistemlerden ayıklanması mümkün değildir.”x” sembolü ile gösterilen ve EW türü olarak belirlenen sistem ise literatürde değişim göstermeyen bir yıldız olarak tanımlanmış olup (1755-0003203) hesaplanan dönem bilgisinin alias (yanıltıcı dönem) olma olasılığı yüksektir.

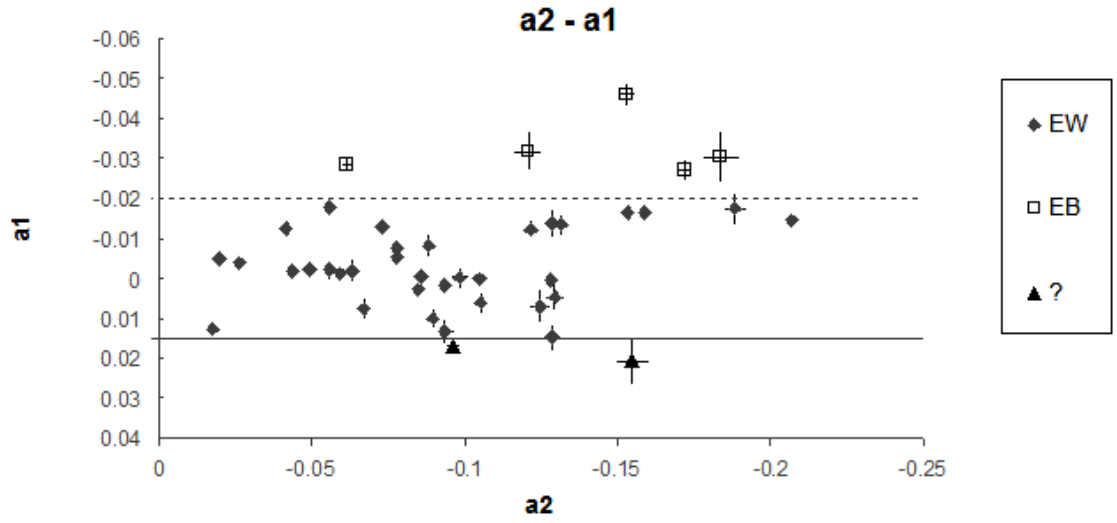


Şekil 4.4 Literatürde tür bilgisi bulunan değişenlerin bu çalışmada belirlenen a_2 ve a_4 katsayılarına göre dağılımı

EC türü sistem olarak belirlenen cisimlerin içinden EW türü değişenlerin ayıklanabilmesi için, minimumlar arası derinlik farkına duyarlı olan a_1 katsayısından yararlanılmıştır. Rucinski (1997b) tarafından sınırları verilen, EW türü sistemlerin çoğunun bir bant halinde dağılım gösterdiği bu kriter, aralığı biraz daha genişletilerek

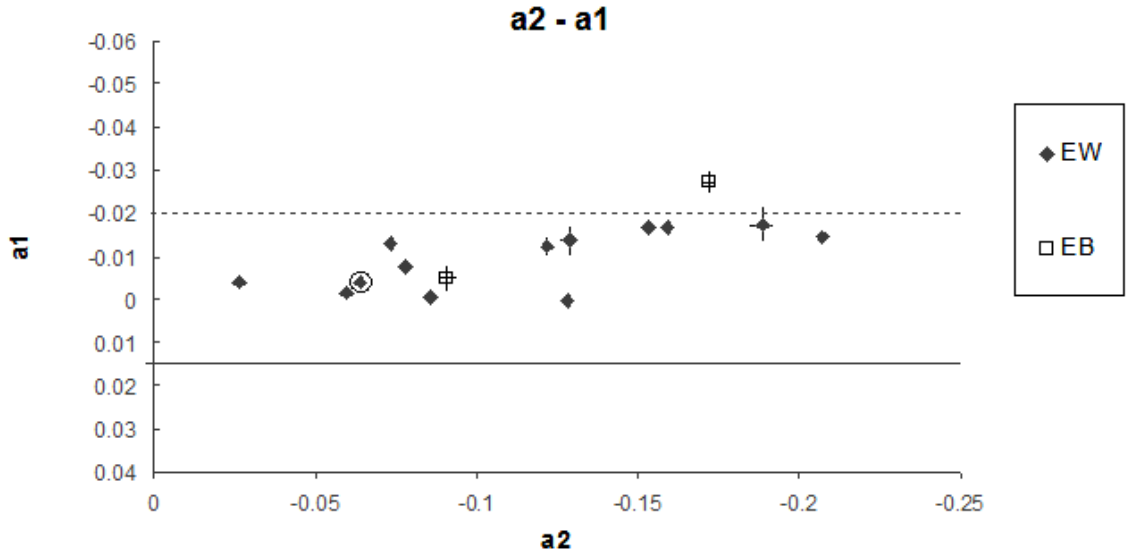
$$-0.02 \le a_1 \le 0.015 \qquad (4.1)$$

olarak uygulanmıştır. a_1 katsayısı -0.02’den daha küçük olam sistemler, EB türü değişen ve 0.015’ten daha büyük değerlere sahip olan sistemler ise “?” olarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçların $a_2 - a_1$ düzlemi üzerindeki dağılımları şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.5 Toplam 61 adet sistem için uygulanan Fourier serisi fitlerinden belirlenen EC türü sistemlerin a_1 katsayılarına göre dağılımı

61 adet sistem için yapılan literatür taramasında, EW ve EB türü sistem olarak tanımlanmış olan değişenlerin $a_2 - a_1$ grafiği üzerindeki dağılımı ise şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6'da yuvarlak içine alınan değişen, şekil 4.4'te de görülen, ESD bölgesine düşmüş olan EW türü değişendir (1336-0318718). EW türü değişen bölgesinde, yani şekil 4.6'da ki $a_1 \leq -0.02$ kriter çizgisinin altında kalan EB türü sistem ise şekil 4.4'te ED bölgesine düşmüş ve literatürde EB/ED olarak sınıflandırılmaktadır. O halde, $a_2 - a_1$ düzleminde kullanılan (4.1) denkleminde verilen kriterin, EB ile EW türü sistemleri birbirinden ayırmada oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6 Literatürde sisteme ait tür bilgisi bulunan EW ve EB türü örten değişenlerin a_1 katsayılarının dağılımı

Pojmanski (2002) tarafından yapılan çalışmada örten değişenlerle zonklayan yıldızların ayıklanması için kullanılan $b_2 - b_4$ grafiğinden bu çalışmada da yararlanılmak istenmiştir. Genel olarak örten değişen olarak sınıflandırılan sistemlerin $b_2 - b_4$ grafiğinin orijininde yığıldığı görülmektedir (bkz. şekil 3.12). İlgili şekilde bir bant şeklinde uzanan kolu zonklayan yıldızlar oluşturmakla birlikte, bu çalışmada muhtemelen zonklayan yıldız sayısının az olması nedeniyle $b_2 - b_4$ düzleminde böyle bir kol oluşturulamamıştır. Ancak orjinde gruplaşmış veri yığınından belirgin bir şekilde ayrı duran sistemlerden ($b_2 > 0.05$) bir EB türü hariç hepsinin ya literatürde zonklayan olarak bilinen değişenler olduğu, ya da ışık eğri profillerine bakıldığında, gerçekten de EW türü (2 sistem bu kritere göre zonklayan çıkmıştır) olarak yanlış sınıflandırılmış, zonklayan sistemler olduğu görülmüştür. Bu şekilde ($b_2 > 0.05$ kriterine göre) $a_2 - a_4$ düzleminden yararlanılarak sınıflandırılan 1 zonklayan yıldıza ek olarak, ED, ESD ve EC grupları içerisine dağılmış olan 10 zonklayan yıldız daha ayıklanabilmiştir.

EW türü olarak belirlenen 34 adet sistem için elde edilen *f, i* ve *q* geometrik parametreleri çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu 34 adet sistemden, 2 tanesinin literatürde RRc türü olarak tanımlandığı, bir tanesinin ise değişen olmayıp yanlış sınıflama yapıldığı görülmüştür. Kalan 31 adet W UMa sisteminden sadece 5 tanesinin literatürde *f, i* ve *q* bilgileri bulunmaktadır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda elde ettiğimiz sonuçların literatür bilgilerine kıyasla yakın değerler oldukları görülmüştür (çizelge 4.6). Özellikle yörünge eğim açıları (*i*) literatür ile oldukça uyumludur. Ancak uygulanan yöntemde W ve A alt tür ayrımı imkanı bulunmadığından özellikle *q* parametresinin daha hatalı belirlenebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.5 Bu çalışmada EW olarak belirlenen sistemlere ait a_1, a_2 ve a_4 Fourier katsayıları ve elde edilen *f*, *i* ve *q* parametreleri

Yıldızın Adı	a_1	a_2	a_4	***f***	***i***	***q***	***Tür [Lit.]****
1745-0001501	-0.001(1)	-0.060(1)	-0.002(1)	1.00	53	0.075	EW
1748-0001473	-0.002(1)	-0.044(1)	-0.001(1)	0.00	42	0.850	***RRc***
1748-0002565	-0.008(2)	-0.078(2)	-0.001(2)	0.50	44	0.725	EW
1749-0003284	0.003(2)	-0.085(1)	0.000(1)	1.00	40	0.750	-
1750-0003690	0.000(1)	-0.105(1)	-0.005(1)	1.00	44	0.875	***RRc***
1752-0002544	-0.017(4)	-0.189(4)	-0.050(4)	0.00	78	0.775	EW
1752-0002574	-0.014(3)	-0.129(3)	-0.024(4)	0.25	62	0.850	EW
1754-0001407	-0.012(2)	-0.122(2)	-0.020(2)	0.25	63	0.450	EW
1754-0002600	-0.004(1)	-0.027(1)	-0.003(1)	0.00	32	0.575	EW
1755-0003203	-0.012(2)	-0.042(2)	0.003(2)	0.00	41	0.700	***Yıldız***
1546-0036208	-0.008(3)	-0.088(3)	-0.017(3)	0.00	58	0.675	-
1551-0030140	0.005(4)	-0.130(3)	-0.019(3)	0.25	77	0.150	-
1552-0034403	-0.002(3)	-0.063(3)	-0.011(3)	0.00	53	0.325	-
1554-0026521	-0.013(3)	-0.132(3)	-0.023(2)	0.25	68	0.300	-
1556-0024849	-0.018(2)	-0.056(2)	-0.004(2)	0.75	37	0.400	-
1556-0025427	0.013(1)	-0.018(1)	-0.000(1)	0.25	30	0.100	-
1561-0027039	-0.002(2)	-0.050(2)	-0.004(2)	0.00	49	0.250	-
1611-0091333	0.000(1)	-0.128(1)	-0.016(1)	0.50	58	0.775	EW
1611-0091801	-0.017(2)	-0.159(2)	-0.026(1)	0.25	72	0.400	EW
1614-0090440	0.007(4)	-0.125(4)	-0.017(4)	0.50	76	0.125	-
1251-0248035	-0.001(2)	-0.086(2)	-0.008(2)	0.50	47	0.650	EW
1252-0247216	-0.005(1)	-0.020(1)	-0.001(1)	0.00	32	0.175	-
1336-0316388	-0.017(1)	-0.153(1)	-0.021(1)	0.25	68	0.675	EW
1336-0317712	-0.014(2)	-0.207(2)	-0.045(2)	0.25	82	0.475	EW
1420-0466653	0.008(2)	-0.067(2)	-0.004(2)	0.00	53	0.450	-
1422-0487705	0.015(3)	-0.129(3)	-0.023(3)	0.25	63	0.625	-
1424-0477972	-0.002(3)	-0.056(2)	-0.000(2)	0.50	36	0.900	-
1424-0482141	-0.000(3)	-0.099(3)	0.018(3)	0.00	70	0.125	-
1424-0488330	0.010(3)	-0.090(2)	-0.009(2)	0.50	47	0.850	-
1425-0484226	-0.013(1)	-0.073(1)	-0.013(1)	0.00	54	0.625	EW
1427-0507531	0.006(3)	-0.105(2)	-0.009(2)	0.25	56	0.900	-
1433-0429205	0.002(1)	-0.093(1)	-0.020(1)	0.00	59	0.800	-
1433-0432280	0.013(3)	0.094(3)	-0.011(3)	0.50	48	0.900	-
1434-0397518	-0.005(2)	-0.078(2)	-0.006(2)	0.75	45	0.375	-

Katsayılara ait hatalar parantez içinde verilmiştir.
*Yıldızlara ait tür bilgileri çizelge 4.2 ile aynı referanslara sahiptir.

Sonuçların güvenilirliğini test etmek amacıyla literatürde hem fotometrik hem de tayfsal radyal hız çalışması bulunan 8 adet EW türü sistemden yararlanılarak program bu sistemler için tekrar çalıştırılmıştır. Çizelge 4.7'de bu 8 sistemin V bandındaki fotometrik verilerinin temin edildiği adresler, hesaplanan *f, i* ve *q* değerleri ile literatürde verilen çözümlerin karşılaştırmalı sonuçları listelenmiştir. Tüm sistemler için *f* ve *i* geometrik parametrelerinin literatür ile oldukça yakın bulunduğu tespit edilmiştir. Ancak her ne kadar çoğu sistem için hesaplanan *q* değerleri literatürde verilen değerlere yakın çıksa da, bu yöntemle elde edilecek *q* parametrelerine dikkatle yaklaşılması gerektiği görülmüştür. Rucinski'nin (1973) de belirttiği gibi Fourier serisi yönteminin, ışık değişim genliği küçük olan ($0^m.3$'ten küçük) sistemler için, yani küçük yörünge eğim açısına veya küçük kütle oranına sahip sistemler için uygun olmadığı, çizelge 4.7'den görülmektedir.

Rucinski (1973) yaptığı çalışmada, ışık eğrisine ait maksimumlar arasındaki asimetrinin en iyi serideki sinüs terimleriyle temsil edildiğini ve bu terimlerden b_1'in en büyük değere sahip katsayı olduğunu belirtmiştir. Yine aynı çalışmada sinüs katsayılarından b_1 katsayısının A ve W alt türleri ile herhangi bir bağıntısı olup olmadığını görmek için yaptığı istatistiki çalışma sonucunda: W türü sistemlerin b_1 katsayı değerlerinin sıfır ve negatif değerlere sahip olduğunu, A türü sistemlerin ise sıfır civarında dağılım gösterirken hem pozitif hem de negatif değerler alabileceğini belirlemiştir. Ancak bu kriter çizelge 4.6 ve çizelge 4.7'de ki alt türleri bilinen veri setine uygulandığında, elde edilen sonuçlar, Rucinski'nin (1973) elde ettiği sonuçlarla uyuşmamıştır. W alt türü EW sistemlerimizin b_1 katsayıları pozitif olup, bir sistem hariç tüm A türü EW sistemlerimizin b_1 katsayı değerleri negatif çıkmıştır. Nedoroscik vd. (2014) tarafından ASAS değişenleri kullanılarak gerçekleştirilen istatistiki bir çalışmada b_1 katsayısının maksimumlar arasındaki farkı belirlemede kullanılabileceği belirtilmiştir. Olası O'Connell etkisi hakkında bilgi verebilecek olan bu kriter ile ilgili Pribulla vd. (2011) tarafından yapılan istatistiki çalışmada ise, Hipparcos kataloğundan alınan 107 değen sistemden erken tayf türüne sahip EW değişenlerinin birinci minimumu takip eden maksimumun bir sonraki maksimumdan daha parlak, yani pozitif b_1 değerlerine sahip olduğu şeklinde bir eğilim bulunmuştur. Aynı çalışmada geç tayf türüne sahip sistemlerde ise bu kriterin belirleyici olmayıp b_1 katsayısının hem pozitif hem de negatif

Çizelge 4.6 Bu çalışmada EW türü olarak belirlenen sistemlerden, literatürde *f*, *i* ve *q* parametresi verilenlerin karşılaştırılması

Yıldız Adı	***f*** ***(Bu çalışma)***	***i (°)*** ***(Bu çalışma)***	***q*** ***(Bu çalışma)***	***f*** ***[Literatür]***	***i (°)*** ***[Literatür]***	***q*** ***[Literatür]***	***W UMa Türü*** ***[Literatür]***	***Referans***
1752-0002544	0.00	78	0.775	0.93/1.02 0.15 0.62	80.0/77.8 79.63 83.5	0.47/0.59 0.53/***0.56*** 0.45	A/W W W	Worden vd. (1978) Branly vd. (1996) Liu vd. (2011)
1752-0002574	0.25	62	0.850	0.8 0.029	- 72.6	0.63 0.69	- A	van't Veer (1984) Zhu vd. (2014)
1251-0248035	0.50	47	0.650	0.15 0.20 0.20	57 56.91 57.20	***0.409*** ***0.434783*** 0.434783	W W W	Lu ve Rucinski (1999) Zola vd. (2004) Erdem ve Özkardeş (2006)
1336-0316388	0.25	68	0.675	0.153	46.78087	0.771	A	Slawson vd. (2011)
1336-0317712	0.25	82	0.475	0.321	65.22631	0.825764	W	Slawson vd. (2011)

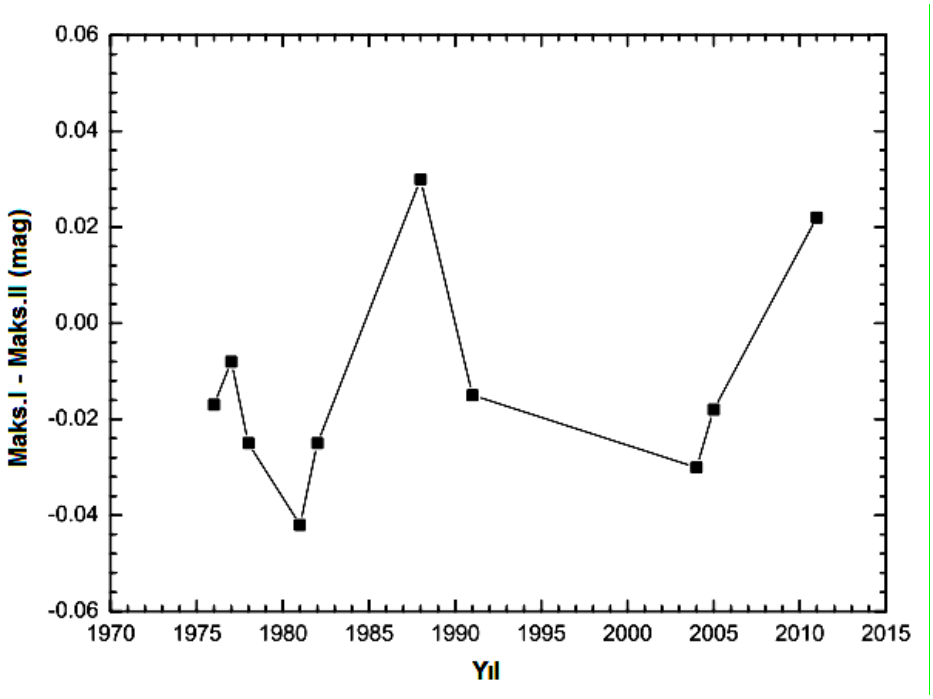
Literatürde kalın/bold verilen *q* değerleri tayfsal kütle oranlarıdır.

Çizelge 4.7 Örnek 8 adet EW türü sistemin program çıktı sonuçları ve literatür bilgileri

Yıldız Adı[1]	***f*** ***(Bu çalışma)***	***i (°)*** ***(Bu çalışma)***	***q*** ***(Bu çalışma)***	***f*** ***[Literatür]***	***i (°)*** ***[Literatür]***	q_{ph} q_{sp} ***[Literatür]***	***W UMa Türü*** ***[Literatür]***	***Referans***[2]
AB And[a]	0.25	83	0.675	0.15	86.8	0.491 0.560	W	Pribulla vd. (2003) Pych vd. (2004)
AO Cam[b]	0.25	75	0.625	0.10	75.1	0.585 0.413	W	Pribulla vd. (2003) Rucinski vd. (2000)
V776 Cas[b]	0.75	37	0.575	0.77	52.5	0.138 0.130	A	Zola vd. (2005) Rucinski vd. (2001)
SX Crv[b]	0.00	51	0.775	0.27	61.2	0.079 0.066	A	Zola vd. (2004) Rucinski ve Duerbeck (2006)
FU Dra[a]	0.25	73	0.500	0.23	78.6	0.251 0.251	W	Pribulla vd. (2003) Rucinski vd. (2000)
AP Leo[a,b]	0.00 0.25	75 79	0.575 0.775	0.23	79.9	0.301 0.297	A	Pribulla vd. (2003) Lu ve Rucinski (1999)
VZ Lib[b]	0.00	76	0.425	0.13	80.3	0.255 0.237	A	Zola vd. (2004) Rucinski ve Duerbeck (2006)
GR Vir[b]	1.00	61	0.375	0.93	81.9	0.106 0.122	A	Gazeas vd. (2005) Rucinski ve Lu (1999)

(1) Verilerin alındığı adresler *a* ve *b* indisleriyle belirtilmiş olup sırasıyla http://caleb.eastern.edu/ ve http://www.as.up.krakow.pl/sz/data.html, adreslerinden temin edilmiştir (2) Referans listesi sırasıyla *f*, *i*, q_{ph} parametreleri ve q_{sp} parametresi için ayrı ayrı verilmiştir.

değerlere sahip olabileceği belirtilmiştir. Buradan hareketle, A alt türü EW sistemlerinin A-F yani erken tayf türlerine ve W alt türü sistemlerin ise G-K yani geç tayf türlerine sahip olduğu bilindiğine göre, negatif b_1 değerlerine sahip çoğu sistemin W alt türü EW sistem olması gerektiği söylenebilir. Ancak gerek ROTSE, gerek kıyaslama amacıyla çizelge 4.7'de verilen sistemler ve gerekse literatürde tayfsal çalışmaları olan bazı sistemlerin yine literatürde verilen ışık eğrileri incelendiğinde, Pribulla vd. (2011) tarafından elde edilen istatistiki sonuç gözlenmemiştir (bkz. Pribulla vd. 2011 çalışmasında şekil 6). Ayrıca bir örneği şekil 4.7'den görülebileceği gibi, O'Connell etkisi ya da maksimumlar arasındaki fark zamanla değişim gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak, sistemin ışık eğrisinden elde edilen b_1 terimine dayanarak, EW türü sistemler için yapılacak A veya W alt türü sınıflamasının doğru olmayacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.7 CK Boo yıldızının maksimumları arasındaki seviye farkının yıllar içindeki değişimi (Yang vd. 2012)

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yığın verilerin analizlerinde otomatikleştirilmiş programlar büyük öneme sahiptir. Literatürde bilinen ve uzun zamandır tecrübe edilen yöntemlere dayalı olarak hazırlanan programlar, sonuçların başarısını artıracaktır. Özellikle analizlerin elle yapılması durumunda harcanacak zaman, otomatikleştirilmiş bir programla harcanan zamanla kıyaslandığında, hiç şüphesiz büyük bir zaman tasarrufu sağlanacağı ortadadır.

Bu çalışmada dönem hesaplamalarında kullanılan L-S algoritması ile elde edilen sonuçların literatür ile oldukçu uyumlu olduğu görülmüştür. Belirlenen sistemlerden literatürde dönem bilgisi bulunan değişen sistemlere ait dönemlerden %92.6'sının, EW türü sistemlere ait dönemlerden ise %80'inin doğru sonuç olduğu görülmüştür. Dönemlilik gösteren sistemlerin ayıklanabilmesinde kullanılan seçim kriteri olan FAP üssü değelerinin, programın en düşük yanılma payı ile çalışmasında büyük bir rol oynadığı; FAP değerinin daha küçük seçilmesi suretiyle doğru sonuçlara ulaşıldığı açıkça görülmüştür. Yaklaşık 1 günlük dönemliliğe sahip değişenlerin, analizlerde gözden kaçmaması için, FAP değerinden hariç, dönem kriterine göre bir filtreleme adımının daha eklenmesi ile sonuçlar daha da iyileştirilebilecektir. Ayrıca yazılımın en hızlı ve olabildiğince doğru şekilde sonuçlara ulaşması için, *ofac* değerinin, ROTSE-IIId verileri için 4 alınmasının yeterli olduğu da bu çalışmada denetlenmiştir.

Geliştirilen yazılımın en önemli hedefi, işlenen yığın verinin doğru ve hızlı bir şekilde, değişim türüne göre sınıflandırma yapması; bulunan EW türü sistemlere ait geometrik parametreleri tahmin etmesidir. Yazılımın sonuçlara daha hızlı ulaşması için, ışık eğrilerine fit edilen Fourier serisinin basamak sayısı 4 (toplam 9 terimli) ile sınırlandırılmıştır. Fourier serisi fitinde seri terimlerini sınırlandırmada dikkate alınması gereken bir diğer ayrıntı da, ışık eğrilerindeki saçılma ve hata payının arttığı oranda, yüksek mertebede terimlerin anlamsız sonuçlara gitmesidir. O nedenle ışık eğrilerinin duyarlılığı mertebesinde, Fourier serisinin terimleri (üreteceği hataya bakılarak) belirli bir yerden sonra kesilmelidir.

Elde edilen Fourier parametreleri kullanılarak yapılan sınıflandırmalarda sistemler ilk önce değen (EC), yarı-ayrık (ESD) ve ayrık (ED) olarak ayrılmaktadır. Sonrasında ise, EW türü değişenlerin arasında bulunduğu EC sistemleri, tekrar ele alınarak, içlerinden EB türü sistemler ayıklanmaktadır. Buraya kadar yapılan sınıflandırmada yöntem oldukça başarılı sonuçlar vermekle birlikte, EW ve EB dışındaki türleri belirlemede çok da başarılı olamamaktadır. Özellikle RRc türlerinin ışık eğrileri EW türü değişenlerinin ışık eğrilerine benzerlik gösterdiğinden, Fourier serisi yöntemi ile iki sistemi birbirinden ayırmak imkansızdır. EA türü örten değişenler $a_2 - a_4$ düzleminde ESD veya ED bölgesine düştüğünden kolaylıkla sınıflandırılabilirken, RRab, RRc ve DSC gibi zonklayan yıldızlar bu grafiğin her bölgesinde bulunabildiğinden, bu sistemlerin ayıklanması oldukça zordur. Ancak kullanılan b_2 kriteri ($b_2 > 0.05$) sayesinde zonklayan 10 sistem başarılı bir şekilde ayıklanabilmiştir.

Bu tez çalışmasında asıl üzerinde durulan EW türü değişenlerin ayıklanmasında kullanılan $a_2 - a_4$ ve $a_2 - a_1$ düzlemlerinin oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Zonklayan sistemleri ayıklamada kullanılan, $b_2 - b_4$ dağılımının sonuçlarını daha iyi görebilmek için daha büyük bir veri seti üzerinde çalışılması düşünülmektedir.

Teorisi ilk defa Rucinski (1993) tarafından verilen, sentetik Fourier serisi katsayıları yardımıyla EW türü değişenlerin *f*, *i* ve *q* parametrelerinin tahmin edilmesi uzun zamandır, özellikle yığın verilerin analizlerinde kullanılan bir yöntemdir. İlerleyen yıllarda Fourier katsayılarının daha detaylı tabloları Hambalek ve Pribulla (2013) tarafından geliştirilmiştir. İlgili yönteme dayalı olarak elde edilen sonuçlar mevcut literatür bilgisi/çözümleri ile karşılaştırıldığında, *i* parametresinin çözümlere oldukça yakın olduğu, ancak *f* ve *q* parametrelerinin (özellikle de *q*'nun) çok güvenilir sonuçlar vermediği görülmüştür. Çizelge 4.6 – 4.7'de fiziksel parametreleri verilen sistemlerin ışık eğrileri, elde edilen fit sonuçları ve literatür bilgileri ile detaylı bir şekilde karşılaştırıldığında, a_i katsayılarındaki hataların ışık eğrilerindeki saçılmadan, veya bazı sistemlerin sahip olduğu küçük genlikli ($0^m.3$'ten küçük) ışık değişiminden ya da A/W alt tür ayrımının doğru yapılamamasından kaynaklandığı da düşünülmektedir. Ayrıca ışık eğrileri üzerindeki olası 3. ışık etkisinin, katkısı oranında, Fourier serisi fitini

olumsuz yönde etkilediği ve değişen türlerini sınıflandırmada başarı oranını düşürdüğü bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında ve Çoker vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada yöntem ve sonuçlar karşılaştırılmış, sistemler hakkında elde edilen bilgilerin literatür ile uyumluluğu görülmüştür. Ayrıca yine bu iki çalışmada da yazılan kodun yanısıra birçok sistemin ilk defa tür bilgileri, dönemlilikleri ve EW türü sistemlerin başlangıç parametrelerinin (*f, i* ve *q*) yaklaşık değerleri literatüre kazandırılmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan yöntemler ile EW türü sistemler için elde edilen *f, i* ve *q* değerlerinin, örten çift yıldız modellemelerinde kullanılan profesyonel programlarda (PHOEBE; Prsa ve Zwitter 2005 gibi) başlangıç parametreleri olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca hazırlanan kodun (EK 1) bir dizüstü bilgisayarla bile yığın verileri otomatik olarak ve hızlı bir şekilde analiz/tasnif edebilecek olması da, zaman kazanımı açısından önemli bir sonuçtur. Bu çalışmada yaklaşık 100000 adet nokta kaynağına ait 6 yıllık veri seti 17 saate yakın bir sürede[14] analiz edilebilmiştir. Bu kodun geliştirilmesi ve bilgisayarlar üzerinde paralelleştirilmesiyle, daha büyük miktarda veri setinin daha kısa sürede analiz edilmesi mümkündür.

[14] Kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri; Dell Inspiron N5110, Intel(R) Core(TM) i5-2430M CPU @2.40 GHz, 4 GB RAM

KAYNAKLAR

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.

Akerlof, C. W., Kehoe, R. L., McKay, T. A., Rykoff, E. S., Smith, D. A., Casperson, D. E., McGowan, K. E., Vestrand, W. T., Wozniak, P. R., Wren, J. A., Ashley, M. C. B., Phillips, M. A., Marshall, S. L., Epps, H. W. and Schier, J. A. 2003. The ROTSE-III Robotic Telescope System. The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 115 (803); 132 – 140.

Anonymous, 1997. The HIPPARCOS and TYCHO catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission. Noordwijk, Netherlands, ESA SP-1200.

Balona, L. A. and Nemec, J. M. 2012. A search for SX Phe stars among Kepler δ Scuti stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 426 (3); 2413 – 2418.

Balona, L. A. 2014. Low Frequency in Kepler δ Scuti stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 437 (2); 1476 – 1484.

Beaky, M. M. and Koju, V. 2012. Time-Dependent Behavior of the O'Connell Effect in Eclipsing Binary Star Systems. American Astronomical Society Meeting Abstracts, 220; 333.03.

Bertin, E. and Arnouts, S. 1996. SExtractor: Software for source extraction. Astronomy and Astrophysics Supplement, 117; 393 – 404.

Bertin, E. 2006. Automatic Astrometric and Photometric Calibration with SCAMP. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 351; 112.

Binnendijk, L. 1970. The Orbital Elements of W Ursae Majoris Systems. Vistas in Astronomy, 12; 217 – 256.

Branly, R. M., Athauda, R. I., Fillingim, M. O. and van Hamme, W. 1996. Light Curve Solutions for Eclipsing Binaries in NGC 188. Astrophysics and Space Science, 235 (1); 149 – 160.

Carroll, B. W. and Ostlie, D. A. 1996. An Introduction to Modern Astrophysics. Addison-Wesley, 1325, US.

Csizmadia, Sz. and Klagyivik, P. 2004. On the properties of contact binary stars. Astronomy and Astrophysics, 426; 1001 – 1005.

Çamurdan, C. M., Zengin Çamurdan, D. and Ibanoğlu, C. 2012. Photometric observations and orbital period variations of HS 0705 + 6700 and NY Vir. New Astronomy, 17 (3); 325 – 330.

Çoker, D., Özdemir, S., Yeşilyaprak, C., Yerli, S. K., Aksaker, N. and Güçsav, B. B. 2013. A Study on W Ursae Majoris – Type Systems Recognised by the ROTSE-IIId Experiment. Publications of the Astronomical Society of Australia, 30; id. e013.

Davidge, T. J. and Milone, E. F. 1984. A Study of the O'Connell Effect in the Light Curves of Eclipsing Binaries. Astrophysical Journal Supplement Series, 55; 571 – 584.

Deb, S. and Singh, H. P. 2010. Physical parameters of 62 eclipsing binary stars using the All Sky Automated Survey-3 data – I. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 412 (3); 1787 – 1803.

Debosscher, J., Sarro, L. M., Aerts, C., Cuypers, J., Vandenbussche, B., Garrido, R. and Solano, E. 2007. Astronomy and Astrophysics, 475 (3); 1159 – 1183.

Derekas, A., Kiss, L. L. and Bedding, T. R. 2007. Eclipsing Binaries in the MACHO Database: New Periods and Classifications for 3031 Systems in the Large Magellanic Cloud. The Astrophysical Journal, 663 (1); 249 – 257.

Devor, J. 2005. Solutions for 10,000 Eclipsing Binaries in the Bulge Fields of OGLE II Using DEBiL. The Astrophysical Journal, 628 (1); 411 – 425.

Drake, A. J., Graham, M. J., Djorgovski, S. G., Catelan, M., Mahabal, A. A., Torrealba, G., García-Álvarez, D., Donalek, C., Prieto, J. L., Williams, R., Larson, S., Christen sen, E., Belokurov, V., Koposov, S. E., Beshore, E., Boattini, A., Gibbs, A., Hill, R., Kowalski, R., Johnson, J. and Shelly, F. 2014. The Catalina Surveys Periodic Variable Star Catalog. The Astrophysical Journal Supplement, 213 (1); id. 9.

Dubath, P., Rimoldini, L., Süveges, M., Blomme, J., López, M., Sarro, L. M., De Ridder, J., Cuypers, J., Guy, L., Lecoeur, I., Nienartowicz, K., Jan, A., Beck, M., Mowlavi, N., De Cat, P., Lebzelter, T. and Eyer, L. 2011. Random forest automated supervised classification of Hipparcos periodic variable stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 414 (3); 2602 – 2617.

Eggleton, P. P. 1983. Approximations to the radii of Roche lobes. Astrophysical Journal, 268 (1); 368 – 369.

Engle, S. G., Guinan, E. F., Harper, G. M., Neilson, H. R. and Evans, N. R. 2014. The Secret Lives of Cepheids: Evolutionary Changes and Pulsation-induced Shock Heating in the Prototype Classical Cepheid δ Cep. The Astrophysical Journal, 794 (1); id.80.

Erdem, A. and Özkardeş, B. 2006. Photometric analysis of the contact binary star V829 Hercules using light curves on three consecutive years. New Astronomy, 12 (3); 192 – 200.

Eyer, L. and Blake, C. 2005. Automated classification of variable stars for All-Sky Automated Survey 1-2 data. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 358 (1); 30 – 38.

Foster, G. 1995. The Cleanest Fourier Spectrum. The Astronomical Journal, 109 (4); 1889 – 1902.

Foster, G. 2010. Analyzing Light Curves: A Practical Guide. Lulu.com.

Gazeas, K. D., Baran, A., Niarchos, P., Zola, S., Kreiner, J. M., Ogloza, W., Rucinski, S. M., Zakrzewski, B., Siwak, M., Pigulski, A. and Drozdz, M. 2005. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems: IV. Acta Astronomica, 55; 123 – 140.

Grigahcène, A., Antoci, V., Balona, L., Catanzaro, G., Daszyńska-Daszkiewicz, J., Guzik, J. A., Handler, G., Houdek, G., Kurtz, D. W., Marconi, M., Monteiro, M. J. P. F. G., Moya, A., Ripepi, V., Suárez, J.-C., Uytterhoeven, K., Borucki, W. J., Brown, T. M., Christensen-Dalsgaard, J., Gilliland, R. L., Jenkins, J. M., Kjeldsen, H., Koch, D., Bernabei, S., Bradley, P., Breger, M., Di Criscienzo, M., Dupret, M.-A., García, R. A., García Hernández, A., Jackiewicz, J., Kaiser, A., Lehmann, H., Martín-Ruiz, S., Mathias, P., Molenda-Żakowicz, J., Nemec, J.

M., Nuspl, J., Paparó, M., Roth, M., Szabó, R., Suran, M. D. and Ventura, R. 2010. The Astrophysical Journal Letters, 713 (2); 192 – 197.

Guo, P. J., 2014. Python is now the most popular introductory teaching language at top U.S. universities. Web Sitesi: http://www.pgbovine.net/CACM-python-most-popular-teaching-language.htm, Erişim Tarihi: 14.07.2014

Güçsav, B. B. 2010. Robotik Teleskop Arşivlerinden Farklı Gökcisimlerinin Saptanması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Hambalek, L. and Pribulla, T. 2013. The reliability of mass-ratio determination from light curves of contact binary stars. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso, 43; 27 – 46.

Hill, G. and Hutchings, J. B. 1970. The Synthesis of Close-Binary Light Curves. I. The Reflection Effects and Distortion in Algol. Astrophysical Journal, 162; 265.

Hoffman, D. I., Harrison, T. E., Coughlin, J. L., McNamara, B. J., Holtzman, J. A., Taylor, G. E. and Vestrand, W. T. 2008. New β Lyrae and Algol Candidates from the Northern Sky Variability Survey. The Astronomical Journal, 136 (3); 1067 – 1078.

Hoffman, D. I., Harrison, T. E. and McNamara, B. J. 2009. Automated Variable Star Classification Using the Northern Sky Variability Survey. The Astronomical Journal, 138 (2); 466 – 477.

Honeycutt, R. K. 1992. CCD Ensemble Photometry On An Inhomogeneous Set of Exposures. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 104 (676); 435 – 440.

Kallrath, J. and Milone, E. F. 2009. Eclipsing Binary Stars: Modeling and Analysis. Springer, 420, New York/US.

Kogure, T. and Leung, K.-C. 2007. The Astrophysics of Emission-Line Stars. Springer, 537, New York/US.

Kopal, Z. 1959. Close Binary Systems. The International Astrophysics Series, Chapman & Hall, 558, London.

Leroy, B. 2012. Fast Calculation of the Lomb-Scargle Periodogram Using Nonequispaced Fast Fourier Transform. Astronomy & Astrophysics, 545; A50.

Liu, L., Qian, S.-B., Zhu, L.-Y., He, J.-J., Liao, W.-P., Li, L.-J., Zhao, E.-G. and Wang, J.-J. 2011. Photometric investigation of three W UMa-type binary stars in the old open cluster NGC 188. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 415 (4); 3006 – 3012.

Lomax, J. R., Hoffman, J. L., Elias, N. M., II, Bastien, F. A. and Holenstein, B. D. 2012. Geometrical Constraints on the Hot Spot in Beta Lyrae. The Astrophysical Journal, 750 (1); id. 59.

Lomb, N. R. 1976. Least-squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data. Astrophys. Space Sci., 39; 447-462.

Lu, W. and Rucinski, S. M. 1999. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. I. The Astronomical Journal, 118 (1); 515 – 526.

Lucy, L. B. 1968. The Structure of Contact Binaries. Astrophysical Journal, 151; 1123.

Lucy, L. B. and Wilson, R. E. 1979. Observational tests of theories of contact binaries. Astrophysical Journal, 231 (1); 502 – 513.

Kovács, G. 2009. The Blazhko Effect. American Institute of Physics Conference Series, 1170; 261 – 272.

Kreiner, J. M. 2004. Up-to-Date Linear Elements of Eclipsing Binaries. Acta Astronomica, 54; 207 – 210.

Majczyna, A., Nalezyty, M., Siudek, M., Malek, K., Barnacka, A., Mankiewicz, L. and Zarnecki, A. F. 2009. Variable stars classification based on photometric data from the "Pi of the Sky" project. Proc. SPIE 7502, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 75020H.

Mas-Hesse, J. M., Giménez, A., Culhane, J. L., Jamar, C., McBreen, B., Torra, J., Hudec, R., Fabregat, J., Meurs, E., Swings, J. P., Alcacera, M. A., Balado, A., Beiztegui, R., Belenguer, T., Bradley, L., Caballero, M. D., Cabo, P., Defise, J. M., Díaz, E., Domingo, A., Figueras, F., Figueroa, I., Hanlon, L., Hroch, F., Hudcova, V., García, T., Jordan, B., Jordi, C., Kretschmar, P., Laviada, C., March, M., Martín, E., Mazy, E., Menéndez, M., Mi, J. M., de Miguel, E., Muñoz, T., Nolan, K., Olmedo, R., Plesseria, J. Y., Polcar, J., Reina, M., Renotte, E., Rochus, P., Sánchez, A., San Martín, J. C., Smith, A., Soldan, J., Thomas, P., Timón, V. and Walton, D. 2003. OMC: An Optical Monitoring Camera for INTEGRAL. Instrument description and performance. Astronomy and Astrophysics, 411; L261 – L268.

Masci, F. J., Hoffman, D. I., Grillmair, C. J. and Cutri, R. M. 2014. Automated Classification of Periodic Variable Stars detected by the Wide-field Infrared Survey Explorer. eprint arXiv:1402.0125.

Mochnacki, S. W. and Doughty, N. A. 1972. A model for the totally eclipsing W Ursae Majoris system AW UMa. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 156; 51-56.

Monet, D. G. 1998. The 526,280,881 Objects In The USNO-A2.0 Catalog. American Astronomical Society, 193rd AAS Meeting, #120.03; Bulletin of the American Astronomical Society, 30; 1427.

Nedoroscik, J., Vanko, M. and Pribulla, T. 2014. Eclipsing binaries in the ASAS survey. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso, 43 (3); 465 – 467.

Nef, P. D. and Rucinski, S. M. 2008. Luminosity function of contact binaries at high galactic latitudes towards the LMC and the SMC. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 385 (4); 2239 – 2242.

Nefs, S. V., Birkby, J. L., Snellen, I. A. G., Hodgkin, S. T., Pinfield, D. J., Sipőcz, B., Kovacs, G., Mislis, D., Saglia, R. P., Koppenhoefer, J., Cruz, P., Barrado, D., Martin, E. L., Goulding, N., Stoev, H., Zendejas, J., del Burgo, C., Cappetta, M. and Pavlenko, Y. V. 2012. Four ultra-short-period eclipsing M-dwarf binaries in the WFCAM Transit Survey. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 425 (2); 950 – 968.

Özkardeş, B. and Erdem, A. 2007. Photometric Analysis of the Contact Binary System V829 Hercules. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 370; 237 – 243.

Paczyński, B. 1967. Gravitational Waves and the Evolution of Close Binaries. Acta Astronomica, 17; 287.

Paczyński, B., Szczygieł, 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.

Penny, L. R., Ouzts, C. and Gies, D. R. 2008. Tomographic Separation of Composite Spectra. XI. The Physical Properties of the Massive Close Binary HD 100213 (TU Muscae). The Astrophysical Journal, 681 (1); 554 – 561.

Percy, J. R. 2007. Understanding Variable Stars. Cambridge University Press, 350, New York/US.

Pigulski, A. and Pojmanski, G. 2008. β Cephei stars in the ASAS-3 data. II. 103 new β Cephei stars and a discussion of low-frequency modes. Astronomy and Astrophysics, 477 (3); 917 – 929.

Pigulski, A., Pojmanski, G., Pilecki, B. and Szczygiel, 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.

Prasad, V., Pandey, J. C., Patel, M. K. and Srivastava, D. C. 2014. Photometric and polarimetric studies of three W UMa-type binaries: FZ Ori, V407 Peg and LP UMa. Astrophysics and Space Science, 353 (2); 575 – 594.

Press, W. H. and Rybicki, G. B. 1989. Fast algorithm for spectral analysis of unevenly sampled data. Astrophys. J., 1 (338); 277-280.

Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T. and Flannery, B. P. 1992. Numerical recipes in C. The art of scientific computing (2nd ed.). Cambridge University Press, 1256, New York.

Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T. and Flannery, B. P. 2007. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing (3rd ed.). Cambridge University Press, 1256, New York.

Pribulla, T., Kreiner, J. M. and Tremko, J. 2003. Catalogue of the field contact binary stars. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 33 (1); 38 – 70.

Pribulla, T., Vanko, M., Chochol, D., Hambalek, L. and Parimucha, S. 2011. O'Connell effect in the early-type contact binaries: du Boo and AG Vir. Astronomische Nachrichten, 332 (6); 607.

Prsa, A. and Zwitter, T. 2005. A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives. The Astrophysical Journal, 628 (1); 426 – 438.

Pojmanski, G. 2002. The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. I. 0 h - 6 hQuarter of the Southern Hemisphere. Acta Astronomica, 52; 397 – 427.

Poretti, E., Koen, C., Martinez, P., Breuer, F., Haupt, H. and de Alwis, D. 1997. Discovery and analysis of Gamma Doradus type pulsations in the F0 IV star HR 2740=QW PUP. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 292; 621.

Pych, W., Rucinski, S. M., DeBond, H., Thomson, J. R., Capobianco, C. C., Blake, R. M., Ogloza, W., Stachowski, G., Rogoziecki, P., Ligeza, P. and Gazeas, K. 2004. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. IX. The Astronomical Journal, 127 (3); 1712 – 1719.

Richards, J. W., Starr, D. L., Butler, N. R., Bloom, J. S., Brewer, J. M., Crellin-Quick, A., Higgins, J., Kennedy, R. and Rischard, M. 2011. On Machine-learned Classification of Variable Stars with Sparse and Noisy Time-series Data. The Astrophysical Journal, 733 (1); id. 10.

Rodriguez, E., Arellano-Ferro, A., Costa, V. and Sareyan, J. P. 2003. Long-period delta Sct-type variables: the case of V2109 Cyg. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 292; 125.

Rucinski, S. M. 1969. The Photometric Proximity Effects in Close Binary Systems. I. The Distortion of the Components and the Related Effects in Early Type Binaries. Acta Astronomica, 19; 125.
Rucinski, S. M. 1973. The W UMa-type Systems as Contact Binaries. I. Two Methods of Geometrical Elements Determination. Degree of Contact. Acta Astronomica, 23; 79.
Rucinski, S. M. 1993. A simple description of light curves of W UMa systems. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 105 (694); 1433 – 1440.
Rucinski, S. M. 1997a. Eclipsing Binaries in the OGLE Variable Star Catalog.I.W Uma-Type Systems as Distance and Population Tracers in Baade's Window. The Astronomical Journal, 113; 407 – 424.
Rucinski, S. M. 1997b. Eclipsing Binaries in the OGLE Variable Star Catalog.II.Light Curves of the W UMA-Type Systems in Baade's Window. The Astronomical Journal, 113; 1112 – 1121.
Rucinski, S. M. 1998. Eclipsing Binaries in the OGLE Variable Star Catalog. III. Long-Period Contact Systems. The Astronomical Journal, 115 (3); 1135 – 1144.
Rucinski, S. M. and Lu, W. 1999. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. II. The Astronomical Journal, 118 (5); 2451 – 2459.
Rucinski, S. M., Lu, W. and Mochnacki, S. W. 2000. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. III. The Astronomical Journal, 120 (2); 1133 – 1139.
Rucinski, S. M., Lu, W., Mochnacki, S. W., Ogłoza, W. and Stachowski, G. 2001. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. V. The Astronomical Journal, 122 (4); 1974 – 1980.
Rucinski, S. M. and Duerbeck, H. W. 2006. Radial Velocity Studies of Southern Close Binary Stars. I. Winter Systems. The Astronomical Journal, 132 (4); 1539 – 1546.
Rucinski, S. M., Pribulla, T. and Budaj, J. 2013. Spectroscopic Metallicity Determinations for W UMa-type Binary Stars. The Astronomical Journal, 146 (3); id. 70.
Samus, N. N., Durlevich, O. V., et al. 2009. General Catalogue of Variable Stars (Samus+ 2007-2013). VizieR Online Data Catalog, 1.
Scargle, J. D. 1982. Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. Astrophys. J., 1 (263); 835-853.
Schmidt, E. G., Johnston, D., Langan, S. and Lee, K. M. 2004. Photometry of Type II Cepheids. I. The Long-Period Stars. The Astronomical Journal, 128 (4); 1748 – 1760.
Schmidt, E. G., Johnston, D., Langan, S. and Lee, K. M. 2005. Photometry of Type II Cepheids. II. The Short-Period Stars. The Astronomical Journal, 129 (4); 2007-2017.
Schwarzenberg-Czerny, A. 1996. Fast and Statistically Optimal Period Search in Uneven Sampled Observations. Astrophysical Journal Letters, 460; L107.
Selam, S. O. 2004. Key parameters of W UMa-type contact binaries discovered by HIPPARCOS. Astronomy and Astrophysics, 416; 1097 – 1105.
Slawson, R. W., Prša, A., Welsh, W. F., Orosz, J. A., Rucker, M., Batalha, N., Doyle, L. R., Engle, S. G., Conroy, K., Coughlin, J., Gregg, T. A., Fetherolf, T., Short, D. R., Windmiller, G., Fabrycky, D. C., Howell, S. B., Jenkins, J. M., Uddin, K., Mullally, F., Seader, S. E., Thompson, S. E., Sanderfer, D. T., Borucki, W. and

Koch, D. 2011. Kepler Eclipsing Binary Stars. II. 2165 Eclipsing Binaries in the Second Data Release. The Astronomical Journal, 142 (5); 160 – 174.

Sterken, C. and Jaschek, C. 1996. Light Curves of Variable Stars: A Pictorial Atlas. Cambridge University Press, 350, New York/US.

Svechnikov, M. A. and Kuznetsova, E. F. 1990, Catalogue of Approximate Photometric and Absolute Elements of Eclipsing Variable Stars, A.M. Gorky University of the Urals, Sverdlovsk.

Szabó, R. 2013. Blazhko effect in Cepheids and RR Lyrae stars. arXiv preprint arXiv:1309.3969.

Szalai, T., Kiss, L. L., Mészáros, Sz., Vinkó, J. and Csizmadia, Sz. 2007. Physical parameters and multiplicity of five southern close eclipsing binaries. Astronomy and Astrophysics, 465 (3); 943 – 952.

Székely, P., Kiss, L. L., Jackson, R., Derekas, A., Csák, B. and Szatmáry, K. 2007. RR Lyrae stars in the southern globular cluster NGC 362. Astronomy and Astrophysics, 463 (2); 589 – 600.

Tamajo, E., Munari, U., Siviero, A., Tomasella, L. and Dallaporta, S. 2012. Asiago eclipsing binaries program IV. SZ Camelopardalis, a β Cephei pulsator in a quadruple, eclipsing system. Astronomy & Astrophysics, 539; A139.

Templeton, M. 2004. Time-Series Analysis of Variable Star Data. Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO), 32 (1); 41-54.

Townsend, R. H. D. 2010. Fast Calculation of the Lomb-Scargle Periodogram Using Graphics Processing Units. The Astrophysical Journal Supplement, 191 (2); 247 – 253.

Tran, K., Levine, A., Rappaport, S., Borkovits, T., Csizmadia, Sz. and Kalomeni, B. 2013. The Anticorrelated Nature of the Primary and Secondary Eclipse Timing Variations for the Kepler Contact Binaries. The Astrophysical Journal, 774 (1); id. 81.

Udalski, A., Kubiak, M., Szymanski, M., Kaluzny, J., Mateo, M. and Krzeminski, W. 1994. The Optical Gravitational Lensing Experiment. The Catalog of Periodic Variable Stars in the Galactic Bulge. I. Periodic Variables in the Center of the Baade's Window. Acta Astronomica, 44; 317 – 386.

Udalski, A., Szymanski, M., Kaluzny, J., Kubiak, M., Mateo, M. and Krzeminski, W. 1995a. The Optical Gravitational Lensing Experiment. The Catalog of Periodic Variable Stars in the Galactic Bulge. II. Periodic Variables in Four Baade's Window Fields: BW1, BW2, BW3 and BW4. Acta Astronomica, 45; 1 – 235.

Udalski, A., Olech, A., Szymanski, M., Kaluzny, J., Kubiak, M., J., Mateo, M. and Krzeminski, W. 1995b. The Optical Gravitational Lensing Experiment. The Catalog of Periodic Variable Stars in the Galactic Bulge. III. Periodic Variables in Four Baades Window Fields: BW5, BW6, BW7 and BW8. Acta Astronomica, 45; 433 – 622.

Udalski, A., Olech, A., Szymanski, M., Kaluzny, J., Kubiak, M., Krzeminski, W., Mateo, M. and Stanek, K. Z. 1996. The Optical Gravitational Lensing Experiment. The Catalog of Periodic Variable Stars in the Galactic Bulge. IV. Periodic Variables in Three Baade's Window Fields: BW9, BW10, BW11. Acta Astronomica, 46; 51 – 231.

Van't Veer, F. 1984. Young stars in the old galactic cluster NGC 188?. Astronomy and Astrophysics, 139 (2); 477 – 480.

Vasconcellos, E. C., de Carvalho, R. R., Gal, R. R., LaBarbera, F. L., Capelato, H. V., Frago Campos Velho, H., Trevisan, M. and Ruiz, R. S. R. 2011. Decision Tree Classifiers for Star/Galaxy Separation. The Astronomical Journal, 141 (6); 189.

Virnina, N. A., 2011. "Tsessevich" Project: an Attempt to Find the System YY Dra. I. Open European Journal on Variable stars, 133; 1.

Watson, C. L., 2006. The International Variable Star Index (VSX). Society for Astronomical Sciences Annual Symposium, 25; 47.

Wilsey, N. J. and Beaky, M. M. 2009. Revisiting the O'Connell Effect in Eclipsing Binary Systems. Society for Astronomical Sciences Annual Symposium, 28; 107.

Worden, S. P., Coleman, G. D., Rucinski, S. M. and Whelan, J. A. J. 1978. A study of the contact binary system ER Cephei. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 184; 33 – 42.

Yakut, K. and Eggleton, P. P. 2005. Evolution of Close Binary Systems. The Astrophysical Journal, 629 (2); 1055 – 1074.

Yang, Y. G., Qian, S. B. and Soonthornthum, B. 2012. Deep, Low-mass Ratio Overcontact Binary Systems. XII. CK Bootis with Possible Cyclic Magnetic Activity and Additional Companion. The Astronomical Journal, 143 (5); id. 122.

Zhang, X. B., Deng, L., Zhou, X. and Xin, Y. 2004. Variable stars in the field of the old open cluster NGC 188. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 355 (4); 1369 – 1377.

Zhu, L. Y., Qian, S. B., Soonthornthum, B., Liu, L., He, J. J., Liu, N. P., Zhao, E. G., Zhang, J. and Wang, J. J. 2014. Three Close Binaries in Different Evolutionary Stages in the Old Open Cluster NGC 188. The Astronomical Journal, 147 (2); 42 – 48.

Zola, S., Rucinski, S. M., Baran, A., Ogloza, W., Pych, W., Kreiner, J. M., Stachowski, G., Gazeas, K., Niarchos, P. and Siwak, M. 2004. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems: III. Acta Astronomica, 54; 299 – 312.

Zola, S., Kreiner, J. M., Zakrzewski, B., Kjurkchieva, D. P., Marchev, D. V., Baran, A., Rucinski, S. M., Ogloza, W., Siwak, M., Koziel, D., Drozdz, M. and Pokrzywka, B. 2005. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems. V. Acta Astronomica, 55; 389 – 405.

EK 1 PnF.py Kaynak Kodu

```
#!/usr/bin/env python

"""
Algorithm for Automated Period Search and Rucinski's Fourier Filtering Technique

First part of the program deals with finding the period of the star using the Lomb-Scargle method.
Algorithm used for the Lomb-Scargle (lomb) method was written by Astropython.org visitor "Morgan"*.
One can use the error filtering (err2 <= 0.5) before applying the lomb algorithm. While applying the lomb
we used lofac = 4 Another filtering was done according to the significance/false alarm probability (sig < -
50) of the period found.

Mission of this project is to be able to filter EW type variables only. Hence we also had to filter periods
between 0.1 and 1.5 days. Though filtering only by periods causes us to get all short period variables like
Beta Lyr (EB), Algol (EA), RR Lyr (RR) or Pulsating (Puls). Next step in this algorithm is Rucinski's
Fourier Filtering technique, which is especially efficient in classification by the Roche lobe geometry of
eclipsing systems. Lastly, Fourier coefficients are used to estimate values of the geometric parameters of
W UMa type systems which are degree of contact (f), orbital inclination (i), and mass ratio (q).

Before applying the fourier filtering method, first the data has to be normalised and shifted to the first
minimum.

*http://www.astropython.org/snippet/2010/9/Fast-Lomb-Scargle-algorithm

v1: 1) f/i/q parameters are now being determined by using only a2 and a4 coeffs.
    2) prob < 0 problem solved.

        Copyright 2014 Deniz Coker <denizcoker@gmail.com>
"""


import time
import os
import math
import csv
import lomb
import heapq
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from pylab import *
from scipy.optimize import curve_fit

start_time = time.time()

## GETTING DATA READY ==VERILER DUZENLENIYOR==##
# Call files, list data. ==Dosyalar cagriliyor, veriler listeleniyor.==

####
# path0       -> Path to your data. ==Verilerin adresi==
# path1       -> Path to your result folders. ==Sonuc dosyalarinin adresi==
# path_coeffs -> Path to your synthetic Fourier coefficients files. ==Sentetik Fourier katsayilari
#                dosyalarinin adresi.==
####

path0 = '/home/... /FOLDER_NAME/text_lc/'
```

```
path1 = '/home/... /FOLDER_NAME/'
path_coeffs='/home/.../'

listing = os.listdir(path0)
total_numfile = len(listing)
listing.sort()

# Get synthetic coefficients. ==Sentetik katsayilari cagir.==

####
# coeffs_fileName -> Choose the coeffs file you're using. ==Kullanacaginiz katsayilar dosyasinin ismini
#                    verin.==
# In this program we chose to use "Coef.dat" which was published by Hambalek & Pribulla (2013) and #
                     can  be downloaded from the link below.
# You can also choose to use coefficients published by Rucinski (1993) which can be accessed from the
#                    link below.
# ----------------------
# ==Bu programda, Hambalek & Pribull (2013)tarafindan yayinlanan makalede elde edilen "Coef.dat"
#                    katsayilari kullanilmistir. Bu dosya asagidaki adresten temin edilebilir.==
# ==Istege bagli olarak Rucinski (1993) tarafindan yayinlanan makalede elde edilen katsayilar da
#                    kullanilabilir. Bu dosya asagidaki adresten temin edilebilir.==
# ----------------------
# Hambalek & Pribull (2013) -> http://www.ta3.sk/~lhambalek/download/unique.zip
# Rucinski (1993)           -> http://www.astro.utoronto.ca/~rucinski/tables/coef
####

coeffs_fileName = path_coeffs+"Coef.dat"
coeff = open(coeffs_fileName, "rb")
c = csv.reader(coeff, delimiter='\t')
coeffs = array([map(float, row) for row in c])
coeffs_numrows = len(coeffs)

file_counter = 0

# Start calling data one by one. ==Tek tek verileri cagir.==

for fileName in listing:

        # Giving names to the files. You can customize folder names. ==Dosya isimlendirme islemi
        #       yapiliyor. Dosyalar isteginize gore isimlendirilebilir.==
        # The folders you've named for results have to be created in path1 before starting the program.
        #       ==Sonuc dosyalarini path1 altinda olusturduktan sonra programi calistiriniz.==

        ####
        # o_fileName      -> Name of the data file that is called. ==Cagrilan veri dosyasinin ismi.==
        # p_fileName      -> Result:Periodogram files ending with "_per". ==Sonuc:Periyodogram
        #                    dosyalari, "_per" eklentili.==
        # pr_fileName     -> Result:File containing list of periods, "pr_results". ==Sonuc:Elde edilen
        #                    donemlerin listesi, "pr_results".==
        # lc_fileName     -> Result:Phased LC data files ending with "_LC". ==Sonuc:Evrelendirilmis
        #                    LC dosyalari, "_LC" eklentili.==
        # lc_imageName  -> Result:Phased LC graphs ending with "_LC.png". ==Sonuc:Evrelendirilmis
        #                    LC grafifleri, "_LC.png" eklentili.==
        # ns_fileName     -> Result:Normalised LC files starting with "norm_". ==Sonuc:Normalize LC
        #                    dosyalari, "norm_" ile baslayan.==
        # fp_fileName     -> Result:File containing list of Fourier coeffs, "fourier_parameters".
        #                    ==Sonuc:Elde edilen Fourier katsayilarinin listesi, "fourier_parameters".==
        # fiq_fileName    -> Result:File containing list of EW stars f/i/q parameters, "EW_fiq_results".
```

```
#                       ==Sonuc:EW yildizlarinin f/i/q parametrelerinin listesi,"EW_fiq_results".==
# f_imageName   -> Result:Fourier fit graphs to LCs ending with "_FIT.png". ==Sonuc:LC'lere
#                       yapilan Fourier fit grafikleri, "_FIT.png" eklentili.==
# typ_fileName ->    Result:File containing list of system types according to Fourier coeffs,
#                      "types". ==Sonuc:Fourier katsayilarina gore sistem turlerinin listesi,
#                       "types".==
####


file_counter += 1

o_fileName   = path0+fileName
p_fileName   = path1+"periodogram-results/"+fileName+"_per"
pr_fileName  = path1+"periodogram-results/pr_results"
lc_fileName  = path1+"mag-phase/"+fileName+"_LC"
lc_imageName = path1+"mag-phase-LC/"+fileName+"_LC.png"
ns_fileName  = path1+"norm-data/norm_"+fileName
fp_fileName  = path1+"fourier-results/fourier_parameters"
#fiq_fileName = path1+"fourier-results/EW_fiq_results"
fiq_fileName_new = path1+"fourier-results/fiq_results_a2a4"
f_imageName  = path1+"fourier-results/"+fileName+"_FIT.png"
typ_fileName = path1+"fourier-results/types"

# Read the files. ==Dosyalar okunuyor.==

####
# Our files contained 9 columns. Columns for HJD was 1, Mag was 2 and Err 3 (numbers start
# from 0 so HJD was actually the 2nd row).
# We did not include the data with the error bigger than 0.5 to our analyzes. You can change this
# filter according to your data.
# ----------------------
# ==Bizim kullandigimiz dosyalar 9 kolondan olusuyor. HJD kolon 1, Mag kolon 2 ve Err kolon
# 3'te bulunuyor (saymaya 0'dan baslanmali yani HJD aslinda 2. kolondu).==
# ==Analizlerimize 0.5'den buyuk hataya sahip verileri dahil etmedik. Bu filtreleme islemini
# verilerinize uygun olacak sekilde degistirebilirsiniz.==
####

openFile = open(o_fileName,"r")
err1 = []
hjd1 = []
mag1 = []
counter0 = 0

for lines in openFile:

        hjd2=float(lines.split()[1])
        mag2=float(lines.split()[2])
        err2=float(lines.split()[3])

        if err2 <= 0.5:
                hjd1.append(hjd2)
                mag1.append(mag2)
                err1.append(err2)
        counter0 += 1

# Converting data to array. ==Veriler arraye (dizi) donusuyor.==

hjd = array(hjd1)
```

```
mag = array(mag1)
err = array(err1)


## PERIOD SEARCH ==DONEM BULMA== ##
# Defining variables. ==Diger degiskenler belirleniyor.==

####
# For lomb.fasper to work one needs to give the needed parameters (hjd, mag, lofac, hifac).
# Here hifac is calculated for every incoming data. You can choose a different lofac than "4.0"
# "period" variable is calculated times 2 since this program is interested in EW stars.
# Results for "prob" (false alarm probability) less than 0 is filtered from further analyses. This
# filter can be changed.
# ---------------------
# ==lomb.fasper'in calismasi icin gerekli parametrelerin verilmesi gerekiyor (hjd, mag, lofac,
# hifac).==
# ==Her gelen veri icin yeni hifac degeri hesaplanmaktadir. Istege bagli olarak lofac degeri
# "4.0"dan farkli alinabilir.==
# ==Bu program EW yildizlari ile ilgilendigi icin "period" degiskeni elde edilen degeri 2 kati
# olarak alinmistir.
# =="false alarm probability" degeri ("prob") 0'dan kucuk olan sonuclar filtrelenmekte ve daha
# fazla analizi yapilmamaktadir. Bu filtre degistirilebilir.==
####

max_hjd = max(hjd)
min_hjd = min(hjd)
#print max_hjd, min_hjd

delta_t = max_hjd - min_hjd
Nt = counter0
hifac = int((20 * delta_t)/Nt)
#print delta_t, hifac, Nt

print "No:", file_counter, "/", total_numfile, "Name:", fileName, "Nt:", counter0

# lomb.py module is called to find periods with Lomb-Scargle method. ==Lomb-Scargle
# yontemi ile periyodlarin bulunmasi icin lomb.py modulu cagriliyor.==

fx, fy, nout, jmax, prob = lomb.fasper(hjd,mag,4.0,hifac)
period = (1/fx[jmax])*2

if prob > 0:
        sig = int(math.log10(prob))
else:
        print "FAP: ", prob
        continue


# Filtering data according to periods and significance. ==Donem ve dogruluk derecesine gore
# veriler eleniyor.==

####
# We did not include systems with bigger than "-50" significance result of their periods.
# Since this program is focused on EW systems we did not include stars with period less than 0.1
# and greater than 1.5 days
# ---------------------
# ==Donemlerinin dogruluk derecesi "-50"den buyuk sistemler elenmistir.==
# ==Bu programin asil ilgi alani EW sistemleri oldugu icin 0.1 gunden kucuk ve 1.5 gunden
```

```
# buyuk doneme sahip sistemler elenmistir.==
####

if sig < -50:
        if period < 1.5 and period > 0.1:
                print "Prob:", prob, "Period", period

                #### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####
                # Periodogram results saved for every system. ==Peridogram ciktilari
                # kaydediliyor her sistem icin kayediliyor.==
                # Result file consists of 2 columns. ==Sonuc dosyasi 2 kolondan olusuyor.==
                # ---------------------
                # fx[i] -> An array of Lomb periodogram frequencies. ==Lomb periyodogram
                # frekanlari dizisi.==
                # fy[i] -> An array of corresponding values of the Lomb periodogram.
                # ==Lomb periyodogrami frekanslarina karsilik gelen degerler==
                # ---------------------

                save1=open(p_fileName,"w")
                for i in range(int(nout)):
                        save1.write("%f\t%f\n" % (fx[i],fy[i]))
                save1.close()

                # Period results saved as a list. ==Donem sonuclari liste olarak kayediliyor.==
                # Result file consists of 6 columns. ==Sonuc dosyasi 6 kolondan olusuyor.==
                # ---------------------
                # filename -> File name of the corresponding results. ==Sonuclari yazilan
                # dosyanin ismi.==
                # fx[jmax] -> Frequency used to calculate period. ==Donemi bulmak icin
                # kullanilan frekans.==
                # fy[jmax] -> Corresponding value to the frequency which is used to calculate
                # period. ==Donemi bulmak icin kullanilan frekansa karsilik gelen
                # periyodogram degeri.==
                # prob     -> False Alarm Probability of the largest periodogram value. ==En
                # buyuk periodogram degerinin "false alarm probability" degeri.==
                # period   -> Calculated period (this value is twice the found period).
                # ==Hesaplanan donem (bulunan donemin iki kati).==
                # Nt       -> Total number of data used to calculate the periodogram.
                # ==Periyodogramin hesaplanmasinda kullanilan toplam veri sayisi.==
                # ---------------------

                save2=open(pr_fileName,"a")
                save2.write("%s\t" % fileName)
                save2.write("%s\t" % float(fx[jmax]))
                save2.write("%s\t" % float(fy[jmax]))
                save2.write("%e\t" % float(prob))
                save2.write("%s\t" % float(period))
                save2.write("%s\t" % Nt)
                save2.write("\n")
                save2.close()

                #### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####


                # Phase calculations. ==Evre hesabi yapiliyor.==

                phase1 = []
                t0 = min_hjd
```

```
for i in range(len(hjd)):
        phase2 = ((hjd[i]-t0)/period)
        phase3 = int((hjd[i]-t0)/period)
        phase4 = phase2 - phase3
        phase1.append(phase4)

phase = array(phase1)
#print phase, mag


#### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####
# Phase-Magnitude files saved. ==Evre-Parlaklik dosyalari kayediliyor.==
# Result file consists of 3 columns. ==Sonuc dosyasi 3 kolondan olusuyor.==
# ---------------------
# phase[i] -> Calculated phase. ==Hesaplanan evre.==
# mag[i]   -> Magnitude. ==Parlaklik==
# err[i]   -> Error. ==Hata==
# ---------------------

save3=open(lc_fileName,"w")
for i in range(len(phase)):
        save3.write("%f\t%f\t%f\n" % (phase[i],mag[i],err[i]))
save3.close()

# Plotting & Saving Phase-Magnitude. ==Evre-Parlaklik grafike ediliyor ve
# kaydediliyor==.

info = str(period) + " //// " + str(prob)

plt.plot(phase,mag,'g.')
plt.ylim(plt.ylim()[::-1])
plt.xlabel("Phase")
plt.ylabel("Mag")
plt.suptitle(info)
plt.title(fileName)
plt.savefig(lc_imageName)
#plt.show()
plt.close()

#### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####


# Unfiltered mag to V band conversion. ==Parlaklik V bandina geciriliyor.==
####
# Smith (2003) suggests that Rotse-IIIa calibrated magnitudes can be
# converted to V-band with a constant offset of 0.3 magnitude.
# Do not use this step if it is not needed.
# ---------------------
# Rotse-IIIa kalibre parlaklik degerlerinin V-bandina cevrilebilmesi icin tum
# degerlere 0.3 eklenmesi onerilmistir (Smith 2003).
# Eger ihtiyac yoksa bu adimi uygulamayaniz.
# ---------------------

mag = mag + 0.3

# Renaming & sorting variables. ==Degiskenlerin isimleri degistiriliyor ve
# siralaniyor.==
```

```
x = phase
y = mag
e = err
m = np.vstack((x,y,e)).T
s = sorted(m, key=lambda x: x[0])

#plt.plot(x, y,'go',label='Raw Data Phased')
#plt.show()

## PHASE SHIFT ==EVRE KAYDIRMA== ##
# Standard deviation calculations for LC shift. ==Evre kaydirma icin standart
# sapma hesaplaniyor==

diff_sqr1 = []
diff_sqrt1 = []
diff_sqr_add = 0
counter1 = 0

for i in range(len(s)):
        if i != len(s)-3 and i != len(s)-2 and i != len(s)-1:
                g_sum = s[i+1][1] + s[i+2][1] + s[i+3][1]
                g_sum_avrg = g_sum/3
                diff = s[i][1] - g_sum_avrg
                diff_sqr = diff**2
                diff_sqrt = sqrt(diff_sqr)
                #print diff_sqr
        elif i == len(s)-3:
                g_sum = s[i+1][1] + s[i+2][1] + s[0][1]
                g_sum_avrg = g_sum/3
                diff = s[i][1] - g_sum_avrg
                diff_sqr = diff**2
                diff_sqrt = sqrt(diff_sqr)
                #print diff_sqr
        elif i == len(s)-2:
                g_sum = s[i+1][1] + s[0][1] + s[1][1]
                g_sum_avrg = g_sum/3
                diff = s[i][1] - g_sum_avrg
                diff_sqr = diff**2
                diff_sqrt = sqrt(diff_sqr)
                #print diff_sqr
        elif i == len(s)-1:
                g_sum = s[0][1] + s[1][1] + s[2][1]
                g_sum_avrg = g_sum/3
                diff = s[i][1] - g_sum_avrg
                diff_sqr = diff**2
                diff_sqrt = sqrt(diff_sqr)
                #print diff_sqr

        diff_sqr1.append(diff_sqr)
        diff_sqrt1.append(diff_sqrt)

        diff_sqr_add = diff_sqr_add + diff_sqr
        counter1 += 1

diff_sqr_avr = diff_sqr_add/len(s)
diff_sqrt_avr = round(sqrt(diff_sqr_avr),3)
#print "StDev:", diff_sqrt_avr, "NData:", counter1
```

```
diff_sqr_s = array(diff_sqr1)
diff_sqrt_s = array(diff_sqrt1)

counter2 = 0

n1 = []

for i in range(len(diff_sqrt_s)):
	if round(diff_sqrt_s[i],3) < diff_sqrt_avr:
		n1.append(s[i])
		counter2 += 1

n = array(n1)
#print counter2

phase_filt = n[:,0]
mag_filt = n[:,1]
err_filt = n[:,2]

# Finding I. Min and Phase Shift ==1. Minimum Bulunuyor ve Evre
# Kaydiriliyor (Starting: i=0 & a=1).==

for i in range(len(n)):
	a=i+1
	max_mag=heapq.nlargest(a, mag_filt)[i]
	max_mag_index=np.where(mag_filt==max_mag)[0]

	if max_mag_index == len(mag_filt)-1:
		b = sqrt((mag_filt[max_mag_index]-mag_filt[0])**2)
	else:
		b = sqrt((mag_filt[max_mag_index]-
mag_filt[max_mag_index+1])**2)

	if b < diff_sqrt_avr:
		break
		#if max_mag_index < len(mag_filt)-1:
			#print "Min:", b, n[max_mag_index-1],
n[max_mag_index], n[max_mag_index+1]
			#break
		#else:
			#print "Min:", b, n[max_mag_index-1],
n[max_mag_index], n[0]
			#break

phase_filt2 = phase_filt - phase_filt[max_mag_index]
mag_filt2 = mag_filt
err_filt2 = err_filt

for i in range(len(phase_filt2)):
	if phase_filt2[i] < 0:
		phase_filt2[i] = phase_filt2[i] + 1
	else:
		phase_filt2[i] = phase_filt2[i]


#plt.plot(phase_filt2, mag_filt2, 'ro', label='Data_Filt_PhaseShifted')
#plt.show()
```

```
                    ## NORMALISATION ==NORMALIZASYON== ##
                    # Finding the minimum magnitude average (max=faintest) to normalize to.
                    # ==Normalize etmek icin ortalama minimum parlaklik (maks=sonuk)
                    # hesaplaniyor.==

                    for i in range(len(n)):

                            c=i+1
                            min_mag=heapq.nsmallest(c, mag_filt)[i]
                            min_mag_index=np.where(mag_filt==min_mag)[0]

                            d = sqrt((mag_filt[min_mag_index]-
mag_filt[min_mag_index+1])**2)

                            if d < diff_sqrt_avr:
                                    #print "Max:", d, n[min_mag_index-1], n[min_mag_index],
n[min_mag_index+1]
                                    break

                    e = min_mag_index
                    f = len(phase_filt2)

                    if e <= f-4 and e >= 3:

                            norm_sum_mag = mag_filt2[e-3]+mag_filt2[e-2]+mag_filt2[e-
1]+mag_filt2[e]+mag_filt2[e+1]+mag_filt2[e+2]+mag_filt2[e+3]
                            average_norm = norm_sum_mag/7
                            #print "as is"

                    elif e == 2:

                            norm_sum_mag = mag_filt2[f-1]+mag_filt2[e-2]+mag_filt2[e-
1]+mag_filt2[e]+mag_filt2[e+1]+mag_filt2[e+2]+mag_filt2[e+3]
                            average_norm = norm_sum_mag/7
                            #print "2"

                    elif e == 1:

                            norm_sum_mag = mag_filt2[f-2]+mag_filt2[f-1]+mag_filt2[e-
1]+mag_filt2[e]+mag_filt2[e+1]+mag_filt2[e+2]+mag_filt2[e+3]
                            average_norm = norm_sum_mag/7
                            #print "1"

                    elif e == 0:

                            norm_sum_mag = mag_filt2[f-3]+mag_filt2[f-2]+mag_filt2[f-
1]+mag_filt2[e]+mag_filt2[e+1]+mag_filt2[e+2]+mag_filt2[e+3]
                            average_norm = norm_sum_mag/7
                            #print "0"

                    elif e == f-3:

                            norm_sum_mag = mag_filt2[e-3]+mag_filt2[e-2]+mag_filt2[e-
1]+mag_filt2[e]+mag_filt2[e+1]+mag_filt2[e+2]+mag_filt2[0]
                            average_norm = norm_sum_mag/7
                            #print f-3
```

```
                elif e == f-2:

                        norm_sum_mag = mag_filt2[e-3]+mag_filt2[e-2]+mag_filt2[e-
1]+mag_filt2[e]+mag_filt2[e+1]+mag_filt2[0]+mag_filt2[1]
                        average_norm = norm_sum_mag/7
                        #print f-2

                elif e == f-1:

                        norm_sum_mag = mag_filt2[e-3]+mag_filt2[e-2]+mag_filt2[e-
1]+mag_filt2[e]+mag_filt2[0]+mag_filt2[1]+mag_filt2[2]
                        average_norm = norm_sum_mag/7
                        #print f-1

                print "Used Avrg Min Mag:", average_norm, "Min Mag:", mag_filt2[e]

                phase_filt3 = phase_filt2
                mag_filt3 = 10**((average_norm-mag_filt2)/2.5)
                err_filt3 = err_filt2

                #plt.plot(phase_filt3, mag_filt3, 'go', label='Data_Filt_Norm')
                #plt.legend(loc='upper left')
                #plt.show()

                #### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####
                # Normalised & Shifted data saved. ==Normalize ve Kaydirilmis veriler
                # kaydediliyor.== #
                # Result file consists of 3 columns. ==Sonuc dosyasi 3 kolondan olusuyor.==
                # ---------------------
                # phase_filt3[i] -> Calculated phase. ==Hesaplanan evre.==
                # mag_filt3[i]   -> Magnitude. ==Parlaklik==
                # err_filt3[i]   -> Error. ==Hata==
                # ---------------------

                save4=open(ns_fileName, "w")
                for i in range(len(phase_filt3)):
                        save4.write("%f\t%f\t%f\n" % (phase_filt3[i], mag_filt3[i],
err_filt3[i]))
                save4.close()

                #### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####


                ## FOURIER TECHNIQUE ==FOURIER TEKNIGI== ##
                # Phase to radian conversion. ==Evre, radyan evreye donusuyor.==

                x2 = phase_filt3*2*pi
                y2 = mag_filt3
                e2 = err_filt3

                # Fourier fit and the coefficient obtained, graph drawn. ==Fourier fit ve
                # katsayilar elde edildi, grafigi ciziliyor.==
                ####
                # SUM(a_i*cos(i*x) + b_i*sin(i*x)) i=0,1,2,3,4
                ####
```

```
fitfunc = lambda x2, *p: p[0] + p[1]*cos(x2) + p[2]*cos(2*x2) +
p[3]*cos(3*x2) + p[4]*cos(4*x2) + p[5]*sin(x2) + p[6]*sin(2*x2) + p[7]*sin(3*x2) + p[8]*sin(4*x2)

a_0=1
a_1=0
a_2=0
a_3=0
a_4=0
b_1=0
b_2=0
b_3=0
b_4=0

pname=(['a0','a1','a2','a3','a4','b1','b2','b3','b4'])
p0=array([a_0,a_1,a_2,a_3,a_4,b_1,b_2,b_3,b_4])

popt, pcov = curve_fit(fitfunc, x2, y2, p0[:], e2)

print "Final Fourier Parameters"

for i in range(len(pname)):
        print "%s = %.4f +/- %.4f" % (pname[i],popt[i],sqrt(pcov[i,i]))


#### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####
# Fourier Parameters, Errors and Type ==Fourier Parametreleri, Hatalari ve
# Turu== #
# Result file consists of 11 columns. ==Sonuc dosyasi 11 kolondan
# olusuyor.==
# ----------------------
# popt[i]       -> Calculated Fourier coeffs. ==Hesaplanan Fourier
# katsayilari.==
# sqrt(pcov[i,i] -> Calculated errors for corresponding coefficient.
# ==Hesaplanan katsayiya ait hata degeri.==
# a42           -> Fourier coeff a_4 divided by a_2. ==Fourier katsayisi a_4 bolu
# a_2.==
# logP          -> Logarithm of calculated period. ==Hesaplanan donemin
# logaritmasi.==
# ----------------------

a42 = popt[4]/popt[2]
logP = math.log10(period)

save5=open(fp_fileName,"a")
save5.write("%s\t" % fileName)
for i in range(len(pname)):
        save5.write("%f\t" % (float(popt[i])))
        save5.write("%f\t" % (float(sqrt(pcov[i,i]))))

save5.write("%f\t" % (float(a42)))
save5.write("%f\t" % (float(logP)))
save5.write("\n")
save5.close()

# Fourier Fit Plot ==Fourier fiti grafigi== #

plt.plot(x2,y2,'go')
plt.plot(x2,fitfunc(x2,*popt), 'ro', label='Fit')
```

```
plt.legend(loc='upper left')
plt.title("%s" %fileName)
#plt.show()
plt.savefig(f_imageName)
plt.close()

#### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####


# Determining the type of the system. ==Sistemin turu belirleniyor.==
####
# Using the calculated Fourier coeffs to seperate Contact (EC), Semi-detached
# (ESD), Detached (ED) and Puls.
# We also determine EW and EB type systems.
# ----------
# ==Hesaplanan Fourier katasayilari kullanilarak Degen (EC), Yari-ayrik
# (ESD) ve Ayrik (ED) Puls. ayriliyor.==
# ==Ayrica EW ve EW turu sistemler de belirleniyor.==
# ----------

a2 = popt[2]
a4 = a2*(0.125-a2)
a4_2 = a2*(0.4-a2)
b2 = popt[6]
b4 = popt[8]

print "Contact a4:", a4, "Detached a4:", a4_2, "Calculated a4:", popt[4]

if popt[4] > a4 and popt[4] < 0.005:
        #print "Type: Contact"
        if -0.02 <= popt[1] <= 0.015:
                Type = "EW"
                print "Type:", Type
        elif popt[1] > 0.015:
                Type = "?"
                print "Type:", Type
        elif popt[1] < -0.02:
                Type = "EB"
                print "Type:", Type
elif popt[4] < a4 and popt[4] > a4_2:
        Type = "ESD"
        print "Type:", Type
elif popt[4] < a4_2:
        Type = "ED"
        print "Type:", Type
elif popt[4] > 0.005:
        Type = "Puls"
        print "Type:", Type

#### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####
# Star types list saved to a file. ==Yildiz turleri listesi kaydediliyor.== #
# Result file consists of 2 columns. ==Sonuc dosyasi 2 kolondan olusuyor.==
# ----------
# fileName -> Name of the file. ==Dosyanin ismi.==
# Type     -> Determined type of the system. ==Sistemin belirlenen turu.==
# ----------

save7=open(typ_fileName,"a")
```

```
save7.write("%s\t" % fileName)
save7.write("%s\t" % (Type))
save7.write("\n")
save7.close()

#### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR== ####


# Determining approximate f, i, q parameters. ==Yaklasik f, i, q
# parametrelerinin belirlenmesi.==
# Comparing star coeffs with synthetic coeffs to get approximate (f,i,q)
# parameters.
# ----------
# ==Yildiza ait katsayilar ile sentetik katsayilar karsilastirilarak (f,i,q)
# parametrelerinin yaklasik degerleri elde ediliyor.
# ----------

o1 = []
o2 = []
coeffs_f = []
j_num=(len(p0)+1)/2

if Type == "EW":
        for i in range(coeffs_numrows):

                residuals_a2 = coeffs[i][2] - popt[2]
                residuals_a4 = coeffs[i][4] - popt[4]
                solution = sqrt(residuals_a2**2 + residuals_a4**2)
                o1.append(solution)

        f = array(o1)

        min_solution_f = heapq.nsmallest(1, f)
        f_min_solution_index=np.where(f==min_solution_f)[0]
        f_results = coeffs[f_min_solution_index]
        prm_f=f_results.item(12)

        for i in range(coeffs_numrows):

                if coeffs[i][12]==prm_f:

                        coeffs_f.append(coeffs[i,:])
                        residuals_a2_2 = coeffs[i][2] - popt[2]
                        solution = sqrt(residuals_a2_2**2)
                        o2.append(solution)

        coeffs_fiq = array(coeffs_f)
        iq = array(o2)

        min_solution_iq = heapq.nsmallest(1, iq)
        iq_min_solution_index=np.where(iq==min_solution_iq)[0]
        iq_results = coeffs_fiq[iq_min_solution_index]

        prm_q=iq_results.item(11)
        prm_i=iq_results.item(13)

        print "Parameters:", "f =", prm_f, "i =", prm_i, "q =", prm_q
```

```
                    #### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR==
                    ####
                    # Closest f/i/q results ==En yakin f/i/q sonuclari== #
                    # Result file consists of 5 columns. ==Sonuc dosyasi 5 kolondan
                    # olusuyor.==
                    # ---------------------
                    # fileName -> Name of the file. ==Dosyanin ismi.==
                    # prm_f    -> Approximate f parameter. ==Yaklasik f degeri.==
                    # prm_i    -> Approximate i parameter. ==Yaklasik i degeri.==
                    # prm_q    -> Approximate q parameter. ==Yaklasik q degeri.==
                    # Type     -> Determined type of the system. ==Sistemin belirlenen
                    # turu.==
                    # ---------------------

                    save6=open(fiq_fileName_new,"a")
                    save6.write("%s\t" % fileName)
                    save6.write("%s\t%s\t%s\t" % (prm_f, prm_i, prm_q))
                    save6.write("%s\t" % (Type))
                    save6.write("\n")
                    save6.close()
                    #### RESULTS SAVED ==SONUCLAR KAYDEDILIYOR==
                    ####

            else:
                    print "Not EW, No Parameters to be found"


elapsed = time.time() - start_time
print "Total time:", elapsed, "secs"
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Deniz ÇOKER

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 03.08.1985

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lise : Ankara Milli Piyango Anadolu Lisesi (2002)

Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü (2006)

Yüksek Lisan : Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı (Ocak 2015)

SCI Yayınlar

Coker, D., Özdemir, S., Yeşilyaprak, C., Yerli, S. K., Aksaker, N., Güçsav, B. B. 2013. A Study on W Ursae Majoris-Type Systems Recognised by the ROTSE-IIId Experiment. Publications of the Astronomical Society of Australia, 30; id. e013.

Yeşilyaprak, C., Yerli, S. K., Güçsav, B. B., Aksaker, N., Dikicioğlu, E., Helvacı, M., **Çoker, D.**, Aydın, M. E., Dinçel, B., Uzun, N. 2012. Long-term variations and periods of Mira stars from ROTSE-IIId. New Astronomy, Volume 17, Issue 5, pp. 504-513.

Rodríguez, E., Fauvaud, S., Farrell, J. A., Zhou, A.-Y., Sareyan, J.-P., López-González, M. J., Dupret, M.-A., Grigahcéne, A., De Ridder, J., Klingenberg, G., Wolf, M., van Cauteren, P., Lampens, P., Martínez, D., Casanova, V. M., Aceituno, F. J., Helvaci, M., Hintz, E. G., Král, L., Fumagalli, F., Simonetti, J. H., Granslo, B. H., Kotková, L., Santacana, G., Michelet, J., Fauvaud, M., Vugnon, J.-M., Sadsaoud, H., Aliouane, S., Grigahcéne, Z. C., Martín-Ruíz, S., Amado, P. J., Suárez, J. C., Moya, A., Kučáková, H., Kocián, R., Truparová, K., Avdibegović, A., Blažek, M., Kliner, J., Zasche, P., Vilásek, M., Bartošíková, S., Yasarsoy, B., Ulusoy, C., Graham, K. A., Nicholson, M. P., Trondal, O., Yesilyaprak, C., **Coker,**

D. 2007. The field high-amplitude SX Phoenicis variable BL Camelopardalis: results from a multisite photometric campaign. I. Pulsation. Astronomy and Astrophysics, 471 (1); 255 – 264.

Hakemli Dergiler

Gokay, G., Demircan, Y., Gursoytrak, H., Terzioglu, Z., Okan, A., Dogruel, M. B., Saral, G., Cerit, S., Semuni, M., Kilic, Y., **Coker, D.**, Derman, E., Gurol, B. 2012. Minima Times of Some Eclipsing Binary Stars. Information Bulletin on Variable Stars, 6039.

Güçsav, B. B., Yeşilyaprak, C., Yerli, S. K., Aksaker, N., Kızıloğlu, U., **Çoker, D.**, Dikicioğlu, E., Aydın, M. E. 2012. Experimental Astronomy, 33 (1); 197 – 209.

Yesilyaprak, C., Yerli, S. K., Aksaker, N., Gucsav, B. B., Kiziloglu, U., Dikicioglu, E., **Coker, D.**, Aydin, E., Ozeren, F. F. 2012. On detecting variables using ROTSE-IIId archival data. Astronomical Society of India Conference Series, 7; 53.

Demircan, Y., Gurol, B., Gokay, G., Terzioglu, Z., Saral, G., Gursoytrak, H., Okan, A., Demirhan, U., **Coker, D.**, Derman, E. 2011 Minima Times of Some Eclipsing Binary Stars. Information Bulletin on Variable Stars, 5965.

Gokay, G., Demircan, Y., Terzioglu, Z., Gursoytrak, H., Okan, A., **Coker, D.**, Saral, G., Gurol, B., Derman, E. 2010. Minima Times of Some Eclipsing Binary Stars. Information Bulletin on Variable Stars, 5922.

Gurol, B., Derman, E., Muyesseroglu, Z., Gurdemir, L., Gokay, G., Ozbek, N., Sagir, U., Kalci, R., Salman, G., **Coker, D.**, Eminoglu, B., Demircan, Y., Terzioglu, Z. 2007. Minima Times of Some Eclipsing Binary Stars. Information Bulletin on Variable Stars, 5791.

Uluslararası Kongreler

Yesilyaprak, C., Yerli, Sinan K., Aksaker, N., Esendemir, A., Ozdemir, S., Akkus, T., Demirci, H., Sakar, E., Guney, Y., Dikicioglu, E., Sahin, Y., Helvaci, M., Ozisik, T., Gucsav, B. B., Dincel, B., Uzun, N., **Coker, D**., Aydin, E. 2011. A Potential 4 Class IR Telescope in East Anatolia, Turkey. Telescoped from Afar. Hawaii, ABD.

Güçsav, B. B., Yeşilyaprak, C., Yerli, S. K., Aksaker, N., Aydın, M. E., **Çoker, D**. 2009. An HPC Application for the ROTSE-III Archival Data. High Performance Computing in Observational Astronomy: Requirements and Challenges. Pune, India.

Ulusal Kongreler

Çoker, D., Gökay, G., Gürsoytrak, S. H., Gürol, B., Derman, E. 2008. M67 Kümesinde Seçilmiş Bazı Blue Stragglers'ların Tayf Türlerinin Belirlenmesi. XVI. Ulusal Astronomi Kongresi, Çanakkale.

Yeşilyaprak, C., Yerli, S. K., Aksaker, N. Güçsav, B. B., **Çoker, D.**, Aydın, M. E. 2008. ROTSE ve Açık Kümelerde Değişen Yıldız Avı. XVI. Ulusal Astronomi Kongresi, Çanakkale.

Helvacı, M., Yeşilyaprak, C., **Çoker, D.**, Baştürk, Ö., Yelkenci, F. K. 2006. BL Cam Yıldızının Işık Eğrisi Analizi. XV. Ulusal Astronomi Kongresi, İstanbul.

Helvacı, M., Yeşilyaprak, C., Güçsav, B., Aydın, M. E., **Çoker, D.** 2006. Bazı AGB Yıldızlarının Düşük Çözünürlüklü Kırmızı-Öte Tayflarının Modellenmesi. XV. Ulusal Astronomi Kongresi, İstanbul.