

# Açık Küme Sefidlerinden Dönem-Işıtma Bağıntısının Belirlenmesi

Esin Sipahi<sup>1</sup>★, Tansel Ak<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

## Özet

Bu çalışmada klasik sefid yıldızları için dönem-ışıtma (P-L) bağıntısının kalibrasyonuna katkı yapmak amacıyla açık küme sefidleri kullanılarak güncellenmiş bir bağıntı sunulmuştur. Açık küme üyesi olduğu bilinen ya da bir kümeye üye olması muhtemel 16 sefid değişenin mümkün olduğunca BVRI fotometrisi ve tayfsal gözlemleri yapılmıştır. Fotometrik ve tayfsal gözlemler ile öz hareket verileri bir arada kullanılarak sefidlerin astrofiziksel parametreleri elde edilmiştir. Daha önce incelenmiş açık kümelerin ve sefid yıldızlarının verileri literatürden alınmıştır. Bu çalışmada seçilen sefid yıldızlarından üç tanesi (V371 Gem, VY Per ve PW Cas) belirlediğimiz kriterlere göre açık küme üyesi kalibratör adayı olarak önerilmiştir. Literatürde açık küme sefid olduğu ifade edilen tüm yıldızlar bu çalışmada incelenmiş, güvenilir küme verisi olan ve belirlediğimiz kriterlere uyan toplam 26 küme üyesi sefid yıldızı kullanılarak dönem-ışıtma bağıntısı güncellenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** stars: variables: Cepheids, Yıldızlar, Ötegezegenler

## 1 Giriş

Bir küme içerisinde sefid türü zonklayan bir değişenin yer alması özel bir durumdur. Çünkü sefid değişenlerinin uzaklık hesapları çok önemlidir ve kümelerin uzaklıkları farklı yollar ile hesaplanabilir. Bu çalışmada açık kümelerdeki sefid yıldızlarının çalışılması tercih edilmiştir, çünkü açık kümeler için anakol çakıştırma yöntemiyle uzaklık tayini nispeten kolaylıkla yapılabilir. Hipparcos uydusu, çok sayıda açık yıldız kümesini içine alan uzaklıklara kadar trigonometrik paralaks-ları ölçmüştür. Bu yüzden yakın kümeler için elde edilen renk-parlaklık diyagramları salt parlaklık kalibrasyonunun doğrudan hesaplanmasına olanak tanır. Böylece kümenin uzaklığını, varsa küme üyesi sefid yıldızından bağımsız olarak belirlemek mümkün olur. Sefid yıldızı içeren çok sayıda küme bu şekilde incelenerek ve uzaklıkları başka yöntemler ile belirlenmiş olan kümelerdeki sefid yıldızları kullanılarak dönem-ışıtma bağıntısı kalibre edilebilir. Bu çalışma dahilinde açık küme sefidleri olma ihtimali bulunan 16 yıldızın BVRI fotometrisi ve tayfsal gözlemleri yapılmıştır. Fotometrik ve tayfsal gözlemler ile öz hareket verileri bir arada kullanılarak sefidlerin astrofiziksel parametreleri elde edilmiştir. Gözlediğimiz yıldızlardan V371 Gem, VY Per ve PW Cas belirlediğimiz kriterlere göre açık küme üyesi kalibratör adayı olarak önerilmiştir. Ayrıca literatürde açık küme sefid olduğu ifade edilen 64 yıldız da bu çalışmada incelenmiştir. Sonuçta güvenilir küme verisi olan ve belirlediğimiz kriterlere uyan toplam 26 sefid yıldızı dönem-ışıtma bağıntısının güncellenmesinde kullanılmıştır.

## 2 Gözlemler

Çalışmanın fotometrik ve tayfsal gözlemleri 150, 100 ve 60 cm çaplı teleskoplar ile sırasıyla 16ARTT150-959, 16AT100-970 ve 16AT60-971 nolu gözlem projeleri dahilinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde yapılmıştır. Bu çalışmada gözlemleri yapılan sefid değişenlerinin zonklama döneminin belirlenmesi için

gözlemler T60 teleskobunda yapılmıştır. Dönem analizinde kullanılan T60 verilerinin parlaklıktaki hataları V filtresinde  $\pm 0.009$  kadir mertebesinde dir. T100 teleskobu ise sefid yıldızlarının ışık ve renk eğrilerinin elde edilmesi ve sefid yıldızlarının üyesi olması muhtemel kümelerin gözlemi için kullanılmıştır. Sefid yıldızlarının tayf gözlemleri 150 cm'lik teleskoba bağlı TFOSC tayfçeki ile yapılmıştır. Proje yıldızlarının sayısı, dönemi ve gözlem zamanı paylaşımı gözönüne alındığında, yıldızların dikine hız eğrilerini elde etmek mümkün olmamıştır. Tayfsal gözlemlerde ilk hedefimiz, sefid yıldızlarından ve bu yıldızların üyesi olmaları muhtemel kümenin yıldızlarından alınan ya da literatürdeki verilerden belirlenen tayflardan hızları belirleyip karşılaştırarak, sefidlerin kümeye ait olup olmadıklarını belirlemektir.

## 3 Sefidlerin Zonklama Değişimleri

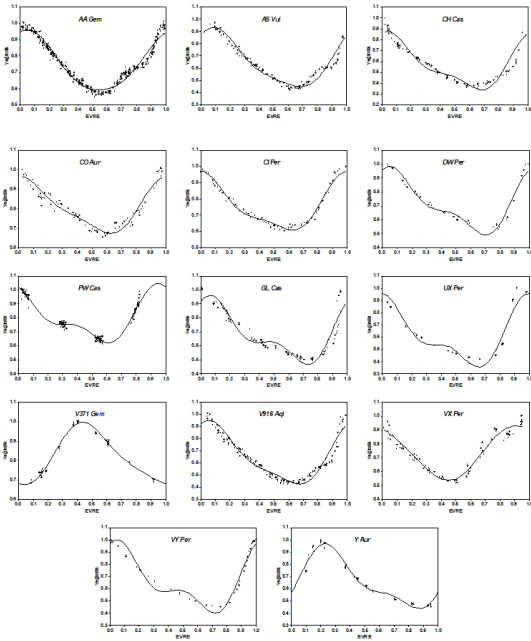
Bu çalışmada incelenen yıldızlarının elde edilen fotometrik gözlemlerinden zonklamaya ilişkin ışık ve renk değişimleri elde edilmiştir. Elde edilen ışık eğrileri incelendiğinde, belirlenen genlikler literatürde verilenler ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Klasik sefidlerin ışık eğrisi özellikleri bu ışık eğrilerinde de görülmektedir. Yıldızlarının bir çoğunun ışık eğrisinde, maksimuma daha dik bir çıkış ve keskin bir maksimum ardından geniş bir minimum değişimi görülmektedir. Sefid yıldızları için verilen V ışık değişimi ve renk eğrilerinden belirlenen genlikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Sefid yıldızlarına ilişkin zonklama dönemlerinin belirlenmesi ve dönem değişiminin olup olmadığının araştırması için yıldızlara ilişkin literatürdeki tüm veriler toplanmıştır. Bu verilerin bir kısmı çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilmiş fotometrik veri bir kısmı da çeşitli veri tabanlarından alınan tek renk verilerdir. Bu veri tabanlarındaki veriler çoğunlukla V bandında olduğundan dönem belirlenmesi ve dönem değişimi çalışmaları sadece V bandında elde edilen veri üzerinden yapılmıştır. Eldeki tüm verilerin aynı anda değerlendirilebilmesi için tüm veri yeğnliğe dönüştürülmüştür. Her bir sefid yıldızının ışık değişimi Fourier serisi ile temsil edilmiştir. Sefid yıldızlarına ilişkin Fourier temsilleri Şekil 1'de verilmiştir. Bu

★ esin.sipahi@ege.edu.tr

**Çizelge 1.** Sefeid yıldızlarına ilişkin V bandındaki ışık değişiminin ve renk eğrilerinin genlikleri.

Yıldız	V (mag)	B-V (mag)	V-R (mag)	R-I (mag)
AA Gem	0.762	0.344	0.220	0.136
AS Vul	0.954	0.432	0.223	0.161
CH Cas	0.871	0.337	0.263	0.176
CI Per	0.524	0.173	0.116	0.103
CO Aur	0.583	0.103	0.112	0.057
DW Per	0.633	0.233	0.147	0.115
GL Cas	0.747	0.279	0.176	0.150
PW Cas	0.646	0.262	0.152	0.146
UX Per	0.888	0.366	0.220	0.189
V371 Gem	0.428	0.162	0.108	0.076
V916 Aql	0.928	0.464	0.229	0.181
VX Per	0.512	0.308	0.226	0.171
VY Per	0.410	0.292	0.159	0.148
Y Aur	0.831	0.326	0.206	0.160

**Şekil 1.** Bu çalışmada yer alan sefeid değişenlerinin V bandındaki ışık değişimlerinin Fourier temsilleri.

analizlere NSVS 5547844 ve ROTSE1 J191645.93+391149.3 yıldızları dahil edilmemiştir. Gözlemlerimizden bu yıldızların sefeid türü ışık değişimi göstermediği bu çalışmada belirlenmiştir.

Sefeid yıldızları için literatürden toplanan veri ile birlikte bu çalışmada yapılan gözlemler birlikte kullanılarak PERIOD04 [Lenz-Breger \(2005\)](#) programı ile dönem analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde çalışmadaki yıldızların tek bir dönem (temel mod) ile zonkladığı belirlenmiştir. Dönem analizi ile yıldızlarda ikinci ya da çoklu dönemin varlığı incelendiğinde bulunan

**Çizelge 2.** Bu çalışmadaki sefeid yıldızlarının belirlenen bazı salt parametreleri.

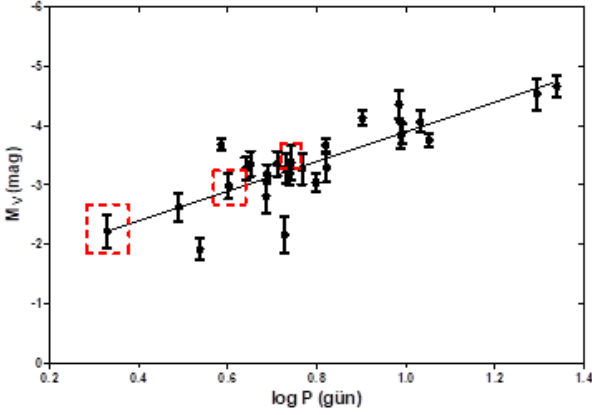
Yıldız	$T_e$ (K)	$M_V$ (mag)	R ( $R_\odot$ )	log g (cgs)	log t (yıl)
AA Gem	5954	-4.238	72.6	1.42	7.60
AS Vul	5356	-4.333	77.0	1.38	7.58
CH Cas	5348	-4.588	90.2	1.27	7.52
CI Per	6302	-2.748	28.8	2.03	7.96
CO Aur	6186	-2.004	18.1	2.33	8.14
DW Per	6205	-2.871	31.1	1.98	7.93
GL Cas	6094	-2.984	33.3	1.93	7.91
PW Cas	6165	-2.981	33.3	1.93	7.91
UX Per	5891	-3.141	36.8	1.87	7.87
V371 Gem	5924	-2.223	20.8	2.24	8.09
V916 Aql	5375	-4.448	82.7	1.33	7.55
VX Per	5738	-4.193	70.6	1.44	7.62
VY Per	6245	-3.374	42.5	1.77	7.81
Y Aur	5980	-2.938	32.4	1.95	7.92

dönemlerin temel modun harmonikleri (zonklama döneminin katları) olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadaki sefeid yıldızlarının gözlemsel tayfları ile standart yıldızlara ilişkin tayfların çaprak korelasyonu ile yıldızlara ilişkin ortalama dikine hızlar belirlendi. Her bir yıldız ait eldeki tayflardan en iyi S/N oranına sahip olan tayflar modellenerek sefeid yıldızlarına ilişkin etkin sıcaklık, log g vb. parametreler elde edildi. Bunun için iSpec [Blanco-Cuaresma \(2014\)](#) analiz programı kullanıldı. Bu program atmosferik parametreler serbest bırakılarak ( $T_e$ , log g,  $V_{mic}$ ) yıldızla ilişkin sentetik tayf oluşturur.  $V_{mic}$  mikro-çalkantı hızını göstermektedir ve analizde serbest parametre olarak kullanıldığında rms değerleri düşmektedir. Elimizdeki tayf verisi ile en iyi uyum sağlayan (en düşük rms oranını veren) sentetik tayfı yıldızla ilişkin tayf modeli olarak kabul ettik. Kurucz-Castelli modellerinde [Grevesse-Sauval \(1998\)](#)'den bolluklar kullanıldığı için yaptığımız analizlerde Güneş bolluğu [Grevesse-Sauval \(1998\)](#)'den alındı. Model oluşturulurken Sodyum çizgileri,  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  gibi geniş çizgilerden kaçınıldı. Böylece kullanılan model atmosfer ile sentetik tayf üretiminde kullanılan Güneş bollukları aynı olmakta ve kendi içinde tutarlı bir süreç ilerlemektedir.

Literatürde sefeid yıldızlarına ait çalışmalarda bir sefeidin zonklama dönemi ile salt parametreleri (kütle, sıcaklık, yarıçap vb) arasındaki bağıntılar tanımlanmıştır. Klasik sefeidler için belirlenmiş bu bağıntılar kullanılarak seçilen sefeid değişenlerinin bazı salt parametreleri hesaplanarak Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çizelgede verilen etkin sıcaklık ( $T_e$ ) değerleri yıldızlara ilişkin tayf modellemesinden belirlenen sıcaklıklardır. Klasik sefeidlere ilişkin kütle-yarıçap ya da kütle-dönem ilişkileri hala tartışmalar içermektedir. Bu nedenle sefeid yıldızlarına ilişkin kütle değerleri hesaplanmamıştır.

Bu çalışmada amacımız literatürde açık küme üyesi olarak anılan tüm sefeidleri incelemek ve bunlardan güvenilir veriye sahip olanlar ile gözlemlerini yaptığımız sefeid yıldızlarından mümkün olursa küme üyesi olduğunu belirlediğimiz yeni kalibratör adayları ile dönem-ışıtma bağıntısında güncellemektir. Sefeid yıldızlarının küme üyelikleri üzerinde karar verirken sefeidin küme merkezinden olan uzaklığı, sefeidin öz hareketi ile



**Şekil 2.** Açık küme sefeidlerini kullanarak V bandı için güncellenen dönem-ışıtma bağıntısının dağılımı (Kare kutucuklar içerisinde yer alan yıldızlar bu çalışmada belirlenen kalibratör yıldızları V371 Gem, PW Cas ve VY Per yıldızlarıdır).

kümenin ortalama öz hareketi, küme ve sefeidin uzaklıkları, sefeid ve kümenin ortalama dikine hızı gibi parametrelerin uyumuna bakılmıştır. Bu kriterlere göre çalışmamızda yer alan üç sefeid yıldızı (PW Cas, V371 Gem ve VY Per) küme üyesi olma olasılığı taşımaktadır. Bu kriterlere göre küme üyeliğini kabul ettiğimiz sefeid yıldızları ve bu çalışmada bizim kalibratör adayı olarak düşündüğümüz üç yıldız ile birlikte değerlendirilerek dönem-ışıtma bağıntısı V bandı için güncellenmiştir. Kalibrasyonda kullandığımız tüm sefeidler için diğer dalgaboylarındaki parlaklıklar literatürde mevcut olmadığından tek renk için kalibrasyon yapılmıştır. Dönem-ışıtma bağıntısı kalibrasyonunun güncellenmesinde kullanılan tüm sefeidler Çizelge 3'te verilmiştir. Bu çizelgede yer alan yıldızlar kullanılarak oluşturulan  $\log P - M_V$  diyagramı Şekil 2'de ve bu şekilde görülen dağılımdan V bandı için güncellenen dönem-ışıtma bağıntısı aşağıda verilmiştir:

$$M_V = -2.50 (0.33) \times \log P - 1.39 (0.28) \quad (1)$$

Şekil 2'de görülen temsil **DAgostino-Stephens (1986)** tarafından önerilen ve p-testi olarak adlandırılan istatistiksel yöntem ile denetlenmiştir.

Yaptığımız çalışmada en büyük sıkıntı incelenen küme ve sefeid yıldızlarına ilişkin parametrelerin duyarlılığıdır. Birçok kümenin fotometrik verisi bulunmamakta ya da parametreleri belirlenmemiş durumdadır. Standartlaştırmada sıkıntılı olanlar vardır. Bu durum anadol çakıştırmada sorun yaratmaktadır. Çalışmamızda incelenen tüm sefeid yıldızlarının ve üyesi oldukları düşünülen tüm kümelerin gözlemlerini yapmak mümkün olmamıştır. Farklı çalışmalarda öz hareket verileri farklılıklar içermektedir. Tüm bu belirsizliklere rağmen literatürde açık küme üyesi sefeidler kullanılarak dönem-ışıtma bağıntısının belirlenmesi üzerine hala çalışmalar devam etmektedir. Açık küme üyesi yeni kalibratör sefeidlerinin bulunması oldukça önemsenmektedir.

#### Kaynaklar

- Blanco-Cuaresma, S., Soubiran, C., Heiter, U., ve Jofre, P., 2014, *A&A*, 569, 111  
 D'Agostino R. B., Stephens M. A., 1986, Goodness-of-fit techniques  
 Grevesse, N., Sauval, A. J., 1998, *Space Science Reviews*, v. 85, Issue

**Çizelge 3.** Bu projede dönem-ışıtma bağıntısının kalibrasyonunda kullanılmak üzere kalibrasyon yıldızı olarak belirlenen sefeid yıldızlarına ilişkin hesaplanan bazı parametreler.

Yıldız	Küme Adı	log P (gün)	$M_V$ (mag)	E(B-V)	D (pc)	log Yaş (yr)
CG Cas	Berkeley 58	0.64048144	-3.27	0.69	3715	7.88
DL Cas	NGC 129	0.90308999	-4.13	0.46	1625	7.70
UW Car	Collinder 220	0.72835378	-2.16	0.46	1547	7.82
SX Car	ASCC 61	0.68663627	-2.81	0.33	1700	7.85
S Mus	ASCC 69	0.98497713	-4.36	0.21	1000	7.65
V Cen	NGC 5662	0.73957234	-3.19	0.25	678	7.81
TW Nor	Lynga 6	1.03302144	-4.07	1.24	1600	7.62
QZ Nor	NGC 6067	0.72997429	-3.29	0.40	1417	7.82
V340 Nor	NGC 6067	1.05307844	-3.75	0.32	1417	7.60
GU Nor	NGC 6067	0.5378191	-1.92	0.40	1417	7.95
S Nor	NGC 6087	0.98900462	-3.84	0.12	901	7.65
WZ Sgr	Turner 2	1.33945144	-4.66	0.62	1190	7.41
U Sgr	IC 4725	0.82020146	-3.68	0.39	620	7.76
V367 Sct	NGC 6649	0.79865065	-3.04	1.27	1369	7.77
EV Sct	NGC 6664	0.48995848	-2.63	0.71	1164	7.98
RU Sct	Trumpler 35	1.29446623	-4.53	0.92	1206	7.44
BB Sgr	Collinder 394	0.82216808	-3.29	0.29	703	7.76
SU Cyg	Turner 9	0.58546073	-3.68	0.07	852	7.92
CE CasB	NGC 7790	0.65127801	-3.36	0.48	2944	7.87
CE CasA	NGC 7790	0.71096312	-3.36	0.48	2944	7.83
CF Cas	NGC 7790	0.68841982	-3.19	0.48	2944	7.85
V371 Gem	NGC 2158	0.329897	-2.22	0.45	1757	8.09
PW CAS	Czernik 43	0.60205103	-2.98	1.25	3134	7.91
VY Per	NGC 884	0.74288136	-3.37	1.30	1235	7.81
Be 51#162	Berkeley 51	0.99255352	-3.88	1.79	5300	7.64
Be 55#107	Berkeley 55	0.76715587	-3.27	1.74	2200	7.80