

# Sefeidlerin Evrimini İzlemek

Esin Sipahi<sup>\*</sup> 

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir

Accepted: May 31, 2022. Revised: May 5, 2022. Received: April 11, 2022.

## Özet

Klasik sefeid yıldızları oldukça yüksek ışıtmalara sahip zonklayan yıldızlardır. Düzenli parlaklık değişimleri gösterirler ve uzaklık belirteci olarak astrofizikte önemli bir yer teşkil ederler. Büyük kütleli bu yıldızlar evrim süreçleri içerisinde birçok kez kararsız duruma gelerek çapsal zonklama değişimleri sergilerler. Kararsızlık kuşağı içerisinde buldukları evrimsel aşama sefeidler için dönem değişimlerinden belirlenebilmektedir. Bu yıldızların dönem değişimlerinden büyük kütleli yıldızlar için mevcut yıldız evrim modelleri test edilebilir. Bu çalışmada sefeidler için dönem değişimlerinin evrim süreçlerindeki rolü üzerinde durulacaktır.

## Abstract

Classic Cepheids are high luminous pulsating stars. They show regular brightness changes and have an important place in astrophysics as distance indicators. These massive stars have become unstable many times during their evolutionary stages and exhibit radial pulsating changes. Evolutionary stages in the instability strip can be determined by period changes of cepheids. The evolutionary models can be tested from the period changes of these stars. In this study, the role of the period changes of Cepheids in the evolution stages will be emphasized.

**Anahtar Kelimeler:** Sefeids – Pulsation – Period change

## 1 Giriş

Astrosismoloji yıldızların iç yapısı ve evrim durumunu belirlemek için oldukça etkili bir alandır. Zonklama ışık değişimi gösteren birçok yıldız vardır ve bu tür değişim gösteren yıldızların sayısı günümüzde uyduların gözlemleriyle artmaktadır. Gözlenen zonklama parametreleri yıldızların kütle, yarıçap, yüzey çekimi, ortalama yoğunluğu gibi birçok temel parametresinin belirlenmesini sağlar. Özellikle sefeid türü değişenler uzaklık belirlemek için astrofiziksel açıdan büyük önem taşır. Klasik sefeidler 3-5 Güneş kütleli, birkaç gün ile birkaç ay mertebesinde dönemi olan, çoğunlukla büyük genlikli zonklayan yıldızlardır. Dönemleri ile salt parlaklıkları arasında dönem-ışıtma (P-L) bağıntısı olarak bilinen belirgin bir ilişki vardır (Leavitt 1912). Dönem parlaklık bağıntısı yardımıyla sefeidler için dönemlerinden itibaren salt parlaklıkları hesaplanabilir.

Sefeid değişenlerin sınıflanmasında metal bolluğu, gökada kinematiki ve ışık eğrisinin biçimi kriter olarak kullanılır (Harris 1981). Bu yıldızlar üzerine yapılmış gözlemsel ve kuramsal çalışmalar birçok alanda önemli bilgiler verir:

- Evrende uzaklık ölçeklerinin belirlenmesi
- Yıldızlarda zonklamanın anlaşılması ve yıldız zonklama teorilerinin sınanması
- Sefeid değişenlerine özgü özelliklerin belirlenmesi
- Gökadamızda yıldız evriminin çalışılması
- Samanyolu, Macellan Bulutları ve diğer gökadalardan karşılaştırılması.

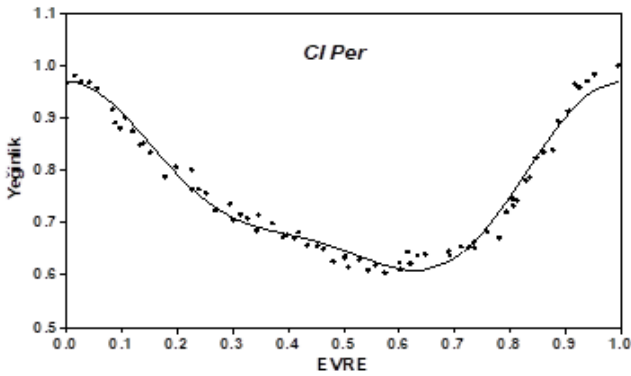
Değişen yıldızlarda zonklamalara neden olan kurgular, zarf iyonlaşma kurgusu, Stellingwerf bump kurgusu, epsilon kurgusu, Kato kararsız konveksiyonu, Shibahashi kararsız

manyetik konveksiyonu, Osaki kararsız konveksiyonu, çekimsel kuvvetli salınımlar ve Kelvin-Helmholtz kararsızlığı olarak bilinir (İbanoğlu & Akan 2009). Sefeid değişenlerindeki zonklamayı açıkladığı kabul edilen kurgu zarf iyonlaşma kurgusudur ve  $\kappa$ -mekanizması olarak bilinir. Sefeid değişenlerinin zonklama kurgularına ilişkin ayrıntılı inceleme için Kippenhahn & Weigert (1994); Maeder (2009); Aerts (2010); Smeyers (2010) çalışmalarına bakılabilir.

Kapa mekanizması donukluk değişimine dayalı bir mekanizmadır. He+ iyonizasyon katmanına sahip yıldızların, bu katmandaki ani donukluk değişimleriyle denge durumlarından saparak kararsız hale gelebileceği Christy (1966) tarafından gösterilmiştir. Kararsızlık nedeniyle yarıçap azalır sıcaklık artar. Saha-Boltzman eşitliğine göre bu durum farklı katmanlar arasındaki iyonizasyon dengesini değiştirir. Yarıçap azalmaya devam ettikçe daha fazla He iyonlaşacaktır. Bu yolla sıkışmaya bağlı enerji iyonizasyon derecesinin artmasına neden olur ve sıcaklık yavaşça artar (de Loore ve Doom 1992). Bu durum donukluğun artmasına ve dolayısıyla basıncın da artmasına neden olur. Bu durumda basınç çekim kuvvetini aşar ve katmanları dışa doğru iter. İç katmanlardaki ısınım kolayca dış katmanlara yayılır ve basınç düşer. Atalet nedeniyle dış katmanlar denge durumunun da ötesine itilir. Artan potansiyel enerji ile iyice genişlemiş olan dış katmanlar tekrar çökmeye başlar ve bu döngü tekrarlar.

Evrimeleşmiş yıldızlar olan Sefeidler HR diyagramında kararsızlık kuşağından kütlelerine ve enerji üretimlerine göre birkaç kez geçiş yaparlar. Orta kütleli sefeidler kabuk hidrojen yanması sırasında kararsız hale gelerek çapsal zonklama değişimi gösterirler. Bu durum yıldızın kararsızlık kuşağından ilk kez geçişine karşılık gelir. Merkez helyum yanması sırasında ikinci ve üçüncü kez kararsızlık kuşağından geçiş yapabilen sefeid yıldızları bazı evrim modellerine göre kabukta helyum

\* esin.sipahi@ege.edu.tr



Şekil 1. CI Per yıldızının Fourier temsili.

yanması sırasında dördüncü ve beşinci kez de kararsızlık kuşağından geçebilirler (İben 1965; Becker ve diğ. 1977; Becker 1985; Xu 2004).

Sefeid yıldızlarının evrimleri sürecinde kararsızlık kuşağı içerisindeki durumları çapsal olarak boyut değişimleri ve zonklama dönemleri ile ilişkilidir. Kararsızlık kuşağının soğuk kenarına doğru yıldızın yarıçapı arttığından zonklama dönemi artar. Sıcak kenara doğru ise yıldızın dönemi yarıçapın azalması ile azalır. Sefeid yıldızlarının kararsızlık kuşağı içinde gösterdikleri dönem değişimleri yıldızın O-C değişimleri çalışılarak belirlenebilir (Parenago 1958; Struve 1959; Erleksova & Irkaev 1982).

Sefeid yıldızlarının O-C çalışması yapılarak dönem değişimlerinin incelenmesi yıldız evrim teorilerinin test edilebilmesi için oldukça önemlidir. Sefeidlerde gözlenen dönem değişim oranı bu yıldızların kararsızlık kuşağından kaçınıcı kez geçtiği hakkında bilgi verir. Bu çalışmada seçilen sefeid yıldızlarının fotometrik gözlemleri Ege Üniversitesi Gözlemevi ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde yapılmıştır. Elde edilen ışık eğrileri kullanılarak O-C değişimleri incelenmiş ve dönem değişim oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ilk sonuçları sunulmuştur.

## 2 O-C Değişimleri

Çalışma için seçilen sefeid yıldızlarının bazılarının NSVS veri tabanında ve Berdnikov (2008)'un kataloğunda belli bir dönem ve tek renkte olsa gözlem verileri mevcuttur. Bu gözlem verileri ve bizim gözlem verilerimiz birleştirilerek dönem değişimi çalışması yapılmıştır. Bu çalışma için kullanılan yöntem, sefeid yıldızının zonklama değişimini temsil edip literatürde bulduğumuz gözlem aralığı içindeki gözlemler üzerine de uygulamak olacaktır. Yöntemin ayrıntısı için Sipahi ve diğ. (2013a,b) çalışmaları incelenebilir. Böylece sefeid yıldızının zonklama döneminde bir değişimin olup olmadığı incelenmiş olacaktır. Çalışmada yer alan yıldızlardan birine ilişkin zonklama değişimi ve fourier temsili Şekil 1'de görülmektedir.

Çalışılan sefeid yıldızlarına ilişkin Fourier temsillerinin katsayıları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgedeki her bir yıldızla ilişkin elde edilen Fourier katsayıları kullanılarak oluşturulan temsiller üzerinden ışık değişimlerinde gözlenen maksimum zamanları okunmuştur. Okunan maksimum zamanları kullanılarak her bir yıldız için O-C diyagramları oluşturulmuştur. CI Per yıldızına ilişkin O-C diyagramı Şekil 2 üst panelde görülmektedir. O-C grafiğinde dönemin azaldığı yönünde bir değişim görülse de belirlenen maksimum

Çizelge 1. Seçilen sefeid yıldızlarının Fourier katsayıları.

Yıldız	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$B_2$
AA Gem	0.754	0.175	0.01	0.057	0.014
AS Vul	0.656	0.174	0.03	0.152	0.036
CH Cas	0.573	0.200	0.085	0.114	0.010
CI Per	0.760	0.161	0.048	0.031	0.015
CO Aur	0.808	0.125	0.030	0.045	-
DW Per	0.716	0.162	0.083	0.122	0.016
GL Cas	0.685	0.146	0.088	0.126	0.046
PW Cas	0.807	0.169	0.046	-0.003	-
UX Per	0.616	0.234	0.104	0.063	0.042
V371 Gem	0.822	-0.148	0.006	0.029	-
V916 Aql	0.653	0.204	0.062	0.127	0.020
VX Per	0.739	0.179	-0.013	-0.079	-
VY Per	0.660	0.192	0.117	0.132	0.041
Y Aur	0.664	-0.023	-0.070	0.228	0.047

zamanlarının az olması nedeniyle dönem değişim miktarı hesaplanmamıştır. Bu durum çalışmadaki diğer yıldızların O-C değişiminde de görülmüştür. Sefeidlerde evrimsel dönem değişimleri uzun süreli gözlemler ile belirlenebilmektedir. Bu nedenle çalışmadaki yıldızların diğer veri arşivlerindeki verileri de çalışmaya dahil edilecektir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında O-C diyagramlarındaki çevrimsel değişimlerin genliği sürekli ışık değişimlerinin genliğine göre büyük ise, sefeidin evrimden kaynaklı dönemdeki değişimi belirlemek oldukça zordur (Berdnikov 2010). Eğer çevrimsel dönem değişimi, eldeki gözlem verisinin aralığına göre mevcut değişim ile karşılaştırılabilecek genlikte ise dönemdeki parabolik değişim O-C diyagramlarında görülmemektedir.

Yine sefeidler üzerine yapılan bazı dönem değişimleri çalışmaları, O-C diyagramlarının parabolik olmak zorunda olmadığına işaret etmektedir. Büyük kütleli bir yıldız evrimleşirken kararsızlık kuşağından sabit olmayan bir hızla geçmekte ise bu yıldızla ait O – C değişimleri üçüncü ya da dördüncü dereceden bir polinomla da temsil edilebilir.

Sefeid yıldızlarının uzun süreli fotometrik gözlem verileri üzerinden oluşturulan O-C diyagramları bu yıldızların evrim durumu hakkında bilgi edinmemize yardımcı olur. Fakat gerek eldeki verinin azlığı gerekse de O-C diyagramlarında karşılaşılabileceğimiz farklı görüntüler parabolik değişimin belirlenmesine engel olabilir. Bu çalışmada bazı yıldızların O-C değişimlerinde parabolik değişim kendini gösterirken diğer yıldızların O-C değişimlerinde dönem değişimi belirlenemmiştir.

## 3 İlk Bulgular

O-C değişimleri sefeidlerde evrimsel dönem değişimlerini izlemek için iyi bir yöntemdir. Bu yöntem ile çevrimsel değişimlerin genliği sürekli değişimlerin genliğine göre küçük ise parabolik değişimler kolaylıkla belirlenebilmektedir. Bu parabol değişimlerinin temsilinden parabolün parametreleri rahatlıkla hesaplanabilmektedir. O-C değişimlerinde bir parabolün görülmesi dönemde değişim olduğunu gösterir. Eğer sefeidin

zonklama döneminde bir artış varsa parabolün kolları yukarı doğru, zonklama döneminde azalma var ise parabolün kolları aşağı doğru olmaktadır. Yıldız evrim teorilerine göre zonklama döneminde artış olan sefeidlerin karasızlık kuşağından birinci ya da üçüncü geçişini yaptığını, zonklama döneminde azalma olanların ise ikinci ya da dördüncü geçişini yaptığını söyleyebiliriz.

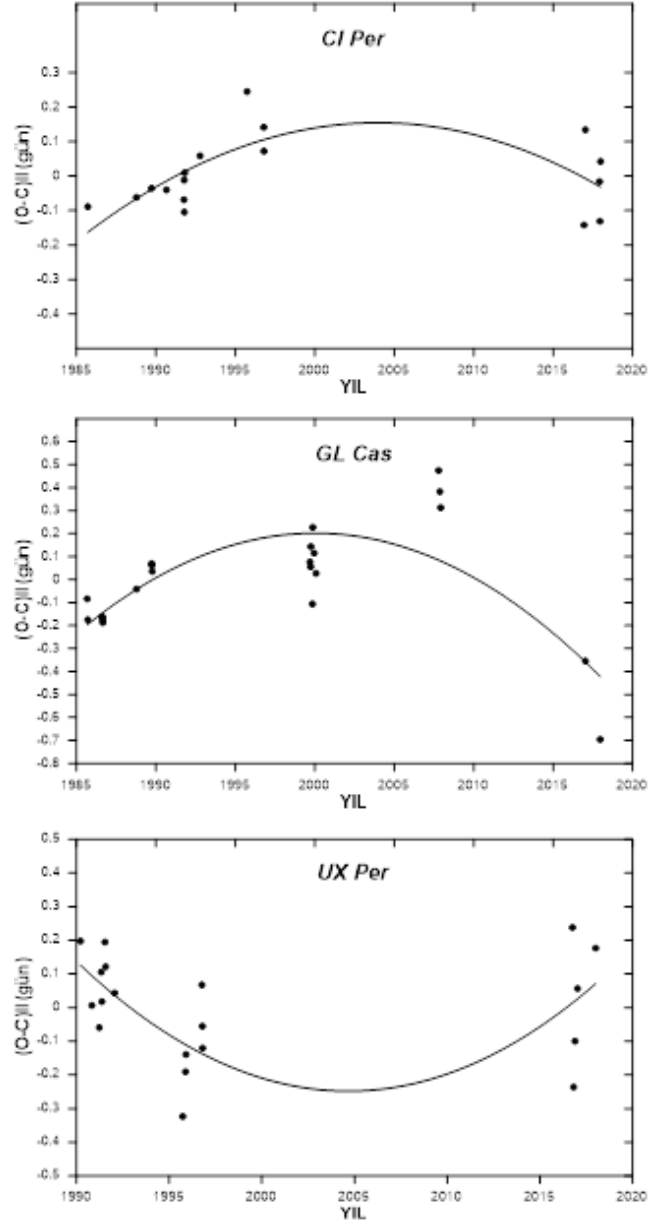
Bu çalışmada seçilen sefeid yıldızlarının O-C diyagramları oluşturularak dönem değişimi gösterip göstermedikleri incelenmiştir. İlk sonuçlara göre seçilen sefeid yıldızlarından AA Gem, CI Per, GL Cas, VX Per'de dönemde azalma görülürken AS Vul, CH Cas, UX Per, VY Per yıldızlarının O-C değişimlerinde dönemde artma görülmektedir. CO Aur, DW Per, PW Cas, V371 Gem, V916 Aql, Y Aur yıldızlarında ise bir dönem değişimi belirlenememiştir. Elde edilen O-C değişimlerinden üç sefeid yıldızına ilişkin olanları Şekil 2'de görülmektedir. Çalışmaya seçilen sefeid yıldızlarının yeni gözlem verileri ya da varsa diğer veri arşivlerindeki verileri eklenerek devam ettirilecektir.

### Kaynaklar

- Aerts, C., Christensen-Dalsgaard, J., Kurtz, D.W., 2010, *Asteroseismology*, Astronomy and Astrophysics Library (Springer)
- Becker, S. A., Iben, I., Jr., & Tuggle, R. S. 1977, *ApJ*, 218, 633
- Becker, S. A. 1985, in *IAU Colloq. 82, Cepheids: Theory and Observations*, ed. B. F. Madore (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 104
- Berdnikov, L. N., 2008, *VizieR Online Catalog*, II/285
- Berdnikov, L.N., 2010, *Moscow conference 2009*, 29-36 pp
- Christy, R.F., 1966, *ARA&A*, 4, 353
- de Loore, C., Doom, C., 1992, *Structure and Evolution of Single and Binary Stars*, Astrophysics and space science library (Kluwer Academic Publishers)
- Erleksova, G. E., & Irkaev, B. N. 1982, *Perem. Zvezdy*, 21, 715
- Harris, H.C., 1981, *AJ*, 86, 719
- İbanoğlu, C., Akan, M.C., 2009, *Değişen Yıldızlar*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 316s
- Iben, I., Jr. 1965, *ApJ*, 142, 1447
- Kippenhahn, R., Weigert, A., 1994, *Stellar Structure and Evolution*, Astronomy and Astrophysics Library (Springer)
- Maeder, A., 2009, *Physics, Formation and Evolution of Rotating Stars*, Astronomy and Astrophysics Library (Springer)
- Leavitt, H.S., Pickering, E.C., 1912, *Harvard College Observatory Circular*, 173, 1
- Parento, P. P. 1958, *Perem. Zvezdy*, 11, 236
- Sipahi, E., İbanoğlu, C., Çakırlı, Ö., Evren, S., 2013a, *MNRAS*, 429, 757
- Sipahi, E., İbanoğlu, C., Çakırlı, Ö., Dal, H.A., Evren, S., 2013b, *RMxAA*, 49, 239
- Smeyers, P., 2010, *Linear Isentropic Oscillations of Stars*, Astronomy and Astrophysics Library (Springer)
- Struve, O. 1959, *S&T*, 18, 309
- Xu, H. Y., & Li, Y. 2004, *A&A*, 418, 213

### Access:

M22-0320: [Turkish J.A&A](#) — Vol.3, Issue 3.



Şekil 2. CI Per (üst panel), GL Cas (orta panel), UX Per (alt panel) yıldızlarının O-C değişimleri.