

Açık Küme Üyesi Sefeid Yıldızlarının Dönem Değişimlerinden Evrim Durumlarının Belirlenmesi

Ebrar Taç¹  , Esin Sipahi¹ 

¹ Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova İzmir

Accepted: May 7, 2025. Revised: May 7, 2025. Received: November 29, 2024.

Özet

Bu çalışmada, açık küme üyesi Sefeid değişenlerinin dönem değişimleri incelenmiştir. [Berdnikov \(2008\)](#) kataloğundan seçilen 64 Sefeid yıldızının *V* bandındaki fotometrik verileri, PERIOD04 programı kullanılarak Fourier analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Maksimum zamanlarına dayalı olarak O-C diyagramları oluşturulmuş ve yıldızların dönem değişimleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yedi yıldızın anlamlı dönem değişimleri sergilediği belirlenmiş, bunlardan T Mon ve GY Sge'de ikinci bir zonklama döneminin varlığı tespit edilmiştir. Hesaplanan dönem değişim miktarları ve oranları, Sefeidlerin kararsızlık kuşağındaki evrimsel konumlarını değerlendirmek için kullanılmıştır. [Bono ve diğ. \(2000\)](#) modeline dayanarak, dönem değişimi gösterdiği ortaya koyulan yedi yıldızdan, beş yıldızın kararsızlık kuşağındaki üçüncü, iki yıldızın ise ikinci geçişlerini gerçekleştirdiği ortaya konulmuştur. Bu bulgular, açık kümelerdeki Sefeidlerin evrimsel süreçlerini ve gökada diskinin yapısı ve kimyasal evriminin anlaşılması için önemlidir.

Abstract

This study investigates the period variations of Cepheid variables in open clusters. Photometric data in the *V* band for 64 Cepheid stars, selected from the [Berdnikov \(2008\)](#) catalog, were analyzed using Fourier techniques implemented in the PERIOD04 program. Based on the times of maxima, O-C diagrams were constructed to examine period changes. The analysis revealed significant period variations in seven stars, with evidence of a secondary pulsation period identified in T Mon and GY Sge. Period change rates and amplitudes were calculated to assess the evolutionary stages of the Cepheids within the instability strip. Utilizing the model proposed by [Bono ve diğ. \(2000\)](#), it was determined that five of these stars are undergoing their third crossing of the instability strip, while the remaining two are in their second crossing. These findings provide critical insights into the evolutionary tracks of Cepheids in open clusters and contribute to a deeper understanding of the structure and chemical evolution of the Galactic disk.

Anahtar Kelimeler: Cepheid – O-C – Period Change

1 Giriş

Gökadamızda bulunan yıldız topluluklarının hepsi küresel kümeler gibi düzenli bir yapıda değildir. Daha dağınık yapı gösteren yıldız toplulukları “açık küme” olarak bilinir. Açık kümeler, yıldızlararası maddenin ve genç Öbek I yıldızlarının bulunduğu gökada diskinde yoğunlaşmışlardır. Bu nedenle açık kümeler bazen galaktik kümeler olarak da adlandırılırlar ve küresel kümelere göre gökada düzlemine daha yakındırlar. Bu yüzden açık yıldız kümeleri gökada diskinin yapısı ve kimyasal evriminin en iyi göstergesi olarak bilinir. Açık kümelerin Hertzsprung-Russell diyagramında yıldızlar genellikle anakolda toplanmıştır. Anakol genç kümeler için mavi devlere kadar uzanırken, daha yaşlı kümelerin çok sayıda kırmızı dev içerdiği görülür.

Kümelerde bulunan yıldızlar aynı gaz ve toz bulutunda oluşur ve bu nedenle kimyasal kompozisyon, yaş ve uzaklık gibi parametreleri benzer olur ([van den Bergh 1957](#); [Efremov 1975](#); [Tsarevsky ve diğ. 1966](#); [Turner 1986](#); [Turner ve diğ. 1993](#); [Baumgardt ve diğ. 2000](#); [Hoyle ve diğ. 2003a](#); [An ve diğ. 2007](#); [Majaess ve diğ. 2008](#); [Turner 2010](#)). Buna benzer özellikleri

kullanarak teorik modellerden küme yıldızlarına ait kütle, metal bolluğu, uzaklık gibi astrofiziksel parametrelere ulaşılabilir.

Diğer yandan bir küme içerisinde Sefeid türü zonklayan bir değişenin yer alması özel bir durumdur. Çünkü Sefeid değişenleri uzaklık belirlemek için astrofiziksel açıdan büyük önem taşır. Kümelerin uzaklıkları farklı yollarla da belirlenebilir. Böylece Sefeid değişenleri kullanılarak elde edilen uzaklık ölçümleri diğer yöntemlerle karşılaştırılarak kümenin uzaklığı test edilebilir. Sefeid değişenleri kararsızlık kuşağı içerisinde bulunan, büyük ışıtmalara sahip, çoğunlukla büyük genlikli zonklayan yıldızlardır. Evrim süreçleri içerisinde birkaç kez kararsız hale gelerek zonklama değişimleri gösterirler. Kararsızlık kuşağı içerisindeki evrim süreçleri Sefeidlerin dönem değişiminden belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada açık küme üyesi olduğu bilinen 64 Sefeid değişeninin [Berdnikov \(2008\)](#) kataloğundan fotometrik verileri alınmıştır. Yıldızların dönem analizleri yapılarak, O-C diyagramları oluşturulmuş ve dönem değişimi gösterdiği belirlenen yıldızların dönem değişim oranları hesaplanarak kararsızlık kuşağı içerisindeki evrim sürecini yaptığı ortaya konmuştur.

* E-mail:tacebrar@gmail.com

2 Veri ve Analizler

Bu çalışma için literatürden açık küme üyesi Sefeid yıldızı olduğu bilinen 64 yıldız seçilmiştir. Bu 64 yıldızın bazı parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir. Seçilen yıldızların **Berdnikov (2008)** kataloğunda belli bir dönem ve tek renkte olsa gözlem verileri mevcuttur. Bu çalışma kapsamında yıldızların V bandındaki fotometrik verileri **Berdnikov (2008)** kataloğundan alınmıştır.

Zaman serisi analizinde en çok kullanılan yöntem Fourier analizidir. Bu çalışmada Fourier analizi için PERIOD04 (**Lenz & Breger 2005**) programı kullanılmıştır. Programın avantajı birden fazla frekans içeren ışık değişimleri için gözlem verileri üzerine kuramsal temsil yapabilmesidir. Kuramsal temsil aşağıdaki ifadesi ile belirlenmektedir:

$$f(t) = Z + \sum A_i \sin(2\pi(\omega t + \phi_i)) \quad (1)$$

Bu ifadede $f(t)$ hesaplanan parlaklık değerini, Z ışık değişiminin sıfır noktasını, A_i ışık değişiminin genliğini, ω frekansı ve ϕ_i evreyi temsil eder. **Breger ve diğ. (1993)** tarafından duyarlılık sınırı için sinyal bölü gürültü (S/N) oranı dört ve üstünde olan frekansların kabul edilmesinin daha güvenilir olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada bu kabul ile analizler yapılmıştır. Bu çalışmada, PERIOD04 programı kullanılarak veriler üzerinde dönem analizi gerçekleştirildikten sonra elde edilen Fourier temsilleri gözlem verileri ile karşılaştırarak ışık değişimlerinin maksimum zamanları belirlendi. Zonklayan yıldızlarda dönem değişiminin belirlenmesi için maksimum zamanları kullanılır. Bu amaçla Sefeid yıldızlarının belirlenen maksimum zamanları ile O-C diyagramları oluşturuldu. Bazı yıldızların O-C diyagramlarında az sayıda veri olması nedeniyle herhangi bir temsil yapılamamıştır.

3 Dönem Değişimi

Sefeidlerde dönem değişiminin varlığı O-C diyagramında kendini parabol değişimi ile gösterir. Parabolün kollarının aşağı yönlü olması dönemde azalmaya karşılık gelirken, dönemde artma söz konusu ise parabolün kolları yukarı yönlü olmaktadır. Seçilen 64 yıldızdan dönemde artma ya da azalmanın söz konusu olduğu yedi yıldız belirlenmiştir. Çalışmanın bundan sonraki analizleri dönem değişimi gösteren bu yedi yıldız üzerinden devam ettirilmiştir. Dönem değişimi belirlenen bu yıldızlara ilişkin O-C diyagramları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Sefeid türü zonklama gösteren bu yedi yıldızın ışık değişimleri incelenmiş ve ışık değişimlerinin klasik Sefeid türü zonklayan yıldızların ışık eğrilerinin özelliklerini sergilediği görülmüştür. Bazı yıldızlarda ikinci dönemin varlığını gösteren çıkıntı benzeri yapılar görülmüştür. Elde edilen veriler üzerinden oluşturulmuş ışık değişimlerinde maksimum ve minimum noktalar belirlenerek yıldızın ışık eğrisine ilişkin genlikler belirlenmiştir. İncelenen yıldızlara ilişkin V bandındaki ışık değişimleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

PERIOD04 programı için **Breger ve diğ. (1993)** tarafından duyarlılık sınırı S/N oranı dört ve üstünde olan frekansların kabul edilmesinin daha güvenilir olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada ikinci dönemin varlığına ilişkin analizler sırasında bu yedi yıldız arasından S/N oranı dört ve üzeri olan iki yıldız belirlenmiştir. Bu durum bu iki yıldızın zonklama değişimine ilişkin ikinci bir zonklama döneminin varlığını göstermektedir. Yıldızlara ait dönem, genlik ve ikinci dönemin varlığına ilişkin veriler Çizelge 2'de listelenmiştir.

Dönem değişimi gösterdiği tespit edilen yıldızların Fourier analizi ile belirlenen maksimum zamanları kullanılarak dönem değişim oranları hesaplanmıştır. Parabolik dönem değişimi kuramsal temsili için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\Delta T = \Delta T_0 + E \cdot \Delta P + E^2 \cdot \Delta P' \quad (2)$$

Burada, T hesaplanan minimum zamanını, P dönemi, T_0 başlangıç minimum zamanını, E çevrim sayısını ve P' dönem değişim miktarını belirtmektedir. Bağıntı en küçük kareler yöntemi uygulanarak çözülmüştür. Çözüm sonucunda dönem değişimi gösteren yıldızlara ilişkin dönem değişim miktarları ve dönem değişim oranları hataları ile hesaplanmıştır. Bu parametrelere ilişkin hesaplanan değerler Çizelge 3'de listelenmiştir.

Çizelge 3'de dönem değişim oranları hatalarının belirlenmesini etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler Sefeid yıldızlarının ışık değişimlerinden maksimum zamanlarının belirlenmesindeki belirsizlikler, ikinci bir dönemin varlığı, hesaplamalarda kullanılan kuramsal yaklaşımların doğruluğu, gözlem verilerinin düzensiz aralıklar ile alınması ve gözlemlerin uzun zaman aralıklarında sürdürülmesi olarak sıralanabilir. Dolayısı ile bu çalışmamızda seçilen yıldızların uzun döneme sahip olması nedeni ile hata oranlarının belirlenmesinde yukarıda ifade edilen faktörler etkili olmaktadır.

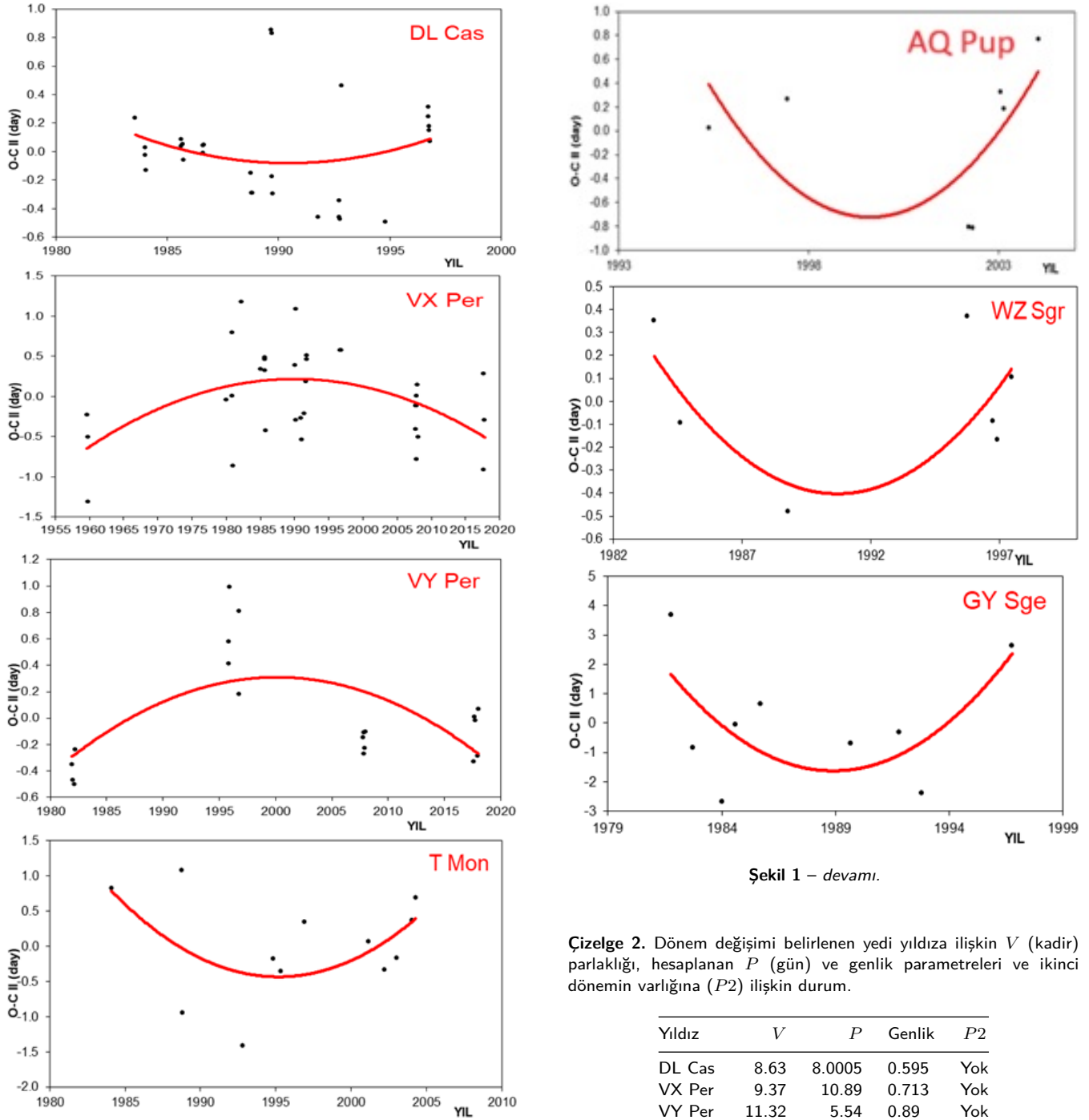
4 Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada belirlenen 64 açık küme üyesi Sefeid değişiminin dönem analizi yapılmıştır. Fourier ile temsil edilen gözlem verileri üzerinden maksimum zamanları okunarak O-C diyagramları oluşturulup dönem değişimi gösterip göstermedikleri incelenmiştir. İnceleme sonucu 64 yıldızdan yedi yıldızın dönem değişimi gösterdiği görülmüştür. Dönem değişimi gösterdiği belirlenen bu yedi yıldızın V bandındaki ışık değişimlerinden zonklama genlikleri hesaplanmıştır. Çalışmadaki öncelikli amacımız Sefeid yıldızlarının dönem değişimini inceleyerek kararsızlık kuşağından kaçınıcı geçişlerini yaptıklarını belirlemektir. Dönem değişimini belirleyebilmek için mümkün olduğunca fazla gözlem noktasına ihtiyaç vardır. Seçilen yıldızlar için veri arşivlerinde sadece V bandında daha fazla veri bulunmuştur. Bu nedenle analizler V bandı verileri üzerinden yapılmıştır. Farklı dalgaboylarındaki verilerin kullanılması ile seçilen yıldızların genlik ve sıcaklıkları belirlenebilirdi. Bu çalışma seçilen yıldızlar için **Sipahi & Ak (2020)** tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen veriler üzerinden oluşturulan O-C diyagramlarının analizinden DL Cas, T Mon, WZ Sgr, GY Sge, VY Per, VX Per ve AQ Pup yıldızlarında zonklama döneminin değiştiği belirlenmiştir. Sefeidlerin dönem değişimi üzerine literatürdeki çalışmalar incelendiğinde maksimum zamanlarının elde edilmesindeki güçlükler nedeniyle O-C diyagramlarında veri sayısının azlığı göze çarpmaktadır. **Vinko (1991)** tarafından yapılan çalışmada yer alan RY CMa, TW CMa, TX Cen ve CP Cep Sefeid yıldızlarının O-C değişimleri bu çalışmada yer alan yıldızlarınkı ile benzerdir. **Turner (1998)**'de döneminde artma ve azalma gösteren Sefeid yıldızlarına ilişkin dönem değişim oranları verilmiştir. Bu çalışmada AQ Pup ve GY Sge Sefeidler için verilen dönem değişim oranları bizim çalışmamızdakiler ile uyumludur. Ne yazık ki veri sayısının az olması nedeniyle hata değerleri yüksektir. Sonraki çalışmalarda bu yıldızların dönem değişim oranları tekrar değerlendirilmelidir. **Boistel (2022)** SV Vul Sefeidinin 1913-2022 yılları arasındaki

Çizelge 1. Literatürde küme Sefeidi olduğu bilinen yıldızların bazı parametreleri. (1): Turner (1996), (2): Gieren (1988), (3): Usenko ve diğ. (2001) (4): Turner & Burke (2002). (5): Hoyle ve diğ. (2003b), (6): Turner (2010), (7): Anderson ve diğ. (2013), (8): Chen ve diğ. (2015).

Yıldız	α_{2000}	δ_{2000}	V (kadir)	P (gün)	Küme	Kaynak
CG Cas	00 00 59.250	+60 57 32.21	11.28	4.37	Berkeley 58	6
DL Cas	00 29 58.589	+60 12 43.06	8.63	8	NGC 129	1
BY Cas	01 47 11.920	+61 25 20.98	10.41	3.22	NGC 663	3
VX Per	02 07 48.479	+58 26 36.72	9.37	10.89	h,x Per	3
V440 Per	02 23 51.745	+55 21 53.50	6.3	7.57	h,x Per	3
SZ Cas	02 27 13.766	+59 27 38.17	9.6	13.63	h,x Per	3
VY Per	02 27 35.437	+58 55 01.98	11.32	5.53	h,x Per	3
alpha UMi	02 31 49.095	+89 15 50.79	2.02	3.97	ADS 1477	6
UY Per	02 34 31.292	+58 49 54.06	11.18	5.37	Czernik 8	4
SU Cas	02 51 58.751	+68 53 18.60	5.8	1.95	Cas R2	4
SZ Tau	04 37 14.779	+18 32 34.92	6.37	4.48	NGC 1647	1
T Mon	06 25 13.000	+07 05 08.56	5.98	27.04	Mon OB2	4
CV Mon	06 37 04.842	+03 03 50.25	9.9	5.38	van den Bergh 1	6
AC Mon	07 00 59.821	-08 42 32.36	10.29	8.01	NGC 2323	3
zet Gem	07 04 06.531	+20 34 13.07	3.79	10.15	ADS 5742	6
TV CMa	07 09 15.411	-13 47 09.93	10.59	4.67	NGC 2345	4
AQ Pup	07 58 22.092	-29 07 48.32	8.54	30.13	Pup OB3	4
AH Vel	08 11 59.968	-46 38 39.67	5.76	4.22	Cr 173	3
RS Pup	08 13 04.216	-34 34 42.70	6.7	41.4	PupR3	4
RZ Vel	08 37 01.303	-44 06 52.83	7.128	20.4	Vel OB1	2
SW Vel	08 43 38.688	-47 24 11.21	8.32	23.44	Vel OB5	1
T Ant	09 33 50.859	-36 36 56.75	9.26	5.9	C0929-364	4
CS Vel	09 41 10.260	-53 48 57.80	11.24	5.9	Ruprecht 79	4
AQ Car	10 21 22.976	-61 04 26.73	8.84	9.77	Pup OB2	3
UW Car	10 26 50.877	-59 40 10.36	9.47	5.35	Collinder 220	7
VY Car	10 44 32.691	-57 33 55.32	6.87	18.93	Car OB1	2
SX Car	10 46 05.840	-57 32 51.13	9.06	4.86	ASCC 61	7
U Car	10 57 48.187	-59 43 55.89	6.11	38.82	CarOB1	4
GT Car	10 59 26.060	-59 29 10.90	11.57	13.16	Anon. Car OB	1
GH Car	11 10 44.593	-60 45 01.00	9.04	5.73	Trumpler 18	4
V810 Cen	11 43 31.193	-62 29 21.82	5.03	152.76	Stock 14	4
S Mus	12 12 47.018	-70 09 06.44	6.17	9.66	ASCC 69	7
T Cru	12 21 21.130	-62 16 53.88	6.57	6.73	NGC 4349	4
R Cru	12 23 37.689	-61 37 44.85	6.42	5.82	NGC 4349	4
V Cen	14 32 33.083	-56 53 15.78	6.93	5.49	NGC 5662	6
TW Nor	16 04 55.220	-51 57 12.71	11.17	10.79	Lynga 6	5
QZ Nor	16 11 20.460	-54 21 14.77	8.71	5.37	NGC 6067	5
V340 Nor	16 13 17.682	-54 14 05.06	8.25	11.3	NGC 6067	4
GU Nor	16 14 54.749	-53 20 18.35	10.08	3.45	NGC 6067	3
S Nor	16 18 51.834	-57 53 59.23	6.49	9.75	NGC 6087	4
KQ Sco	16 51 38.550	-45 25 36.08	9.31	28.71	R103abOB	4
WZ Sgr	18 16 59.716	-19 04 32.97	7.45	21.85	Turner 2	6
XX Sgr	18 24 44.504	-16 47 49.83	8.41	6.43	Dolidze 52	8
U Sgr	18 31 53.331	-19 07 30.26	6.68	6.61	IC 4725	6
V367 Sct	18 33 35.240	-10 25 38.00	11.58	6.29	NGC 6649	6
EV Sct	18 36 39.602	-08 11 05.35	9.9	3.09	NGC 6664	4
CK Sct	18 41 00.665	-06 05 50.01	10.72	7.41	NGC 6683	8
RU Sct	18 41 56.382	-04 06 38.40	8.82	19.7	Trumpler 35	6
TY Sct	18 42 07.916	-04 17 36.55	11	11.04	Dolidze 34	8
CN Sct	18 42 30.490	-04 19 50.50	12.13	10	Dolidze 34	8
BB Sgr	18 50 59.872	-20 17 42.83	6.69	6.64	Collinder 394	6
GY Sge	19 35 13.628	+19 12 08.60	9.84	51.64	Sge OB1	4
SU Cyg	19 44 48.734	+29 15 52.88	6.44	3.85	Turner 9	6
S Vul	19 48 23.807	+27 17 11.39	8.69	68.87	Vul OB2	4
SV Vul	19 51 30.906	+27 27 36.83	6.74	45.08	Vul OB1	6
X Cyg	20 43 24.192	+35 35 16.08	6.47	16.27	Ruprecht 175	6
V1334 Cyg	21 19 22.180	+38 14 14.91	5.893	4.76	Dolidze 45	6
V1726 Cyg	21 29 38.963	+48 58 08.28	8.91	4.24	Platais 1	6
IR Cep	21 57 51.926	+61 01 07.91	7.86	2.11	Per OB1	3
delta Cep	22 29 10.265	+58 24 54.71	3.75	5.37	Cep OB6	4
CE CasB	23 58 09.313	+61 12 49.26	10.63	4.48	NGC 7790	1
CE CasA	23 58 09.313	+61 12 49.26	10.63	5.14	NGC 7790	1
CF Cas	23 58 17.980	+61 13 15.82	10.8	4.88	NGC 7790	1



Şekil 1 – devamı.

Çizelge 2. Dönem değişimi belirlenen yedi yıldıza ilişkin V (kadir) parlaklığı, hesaplanan P (gün) ve genlik parametreleri ve ikinci dönemin varlığına ($P2$) ilişkin durum.

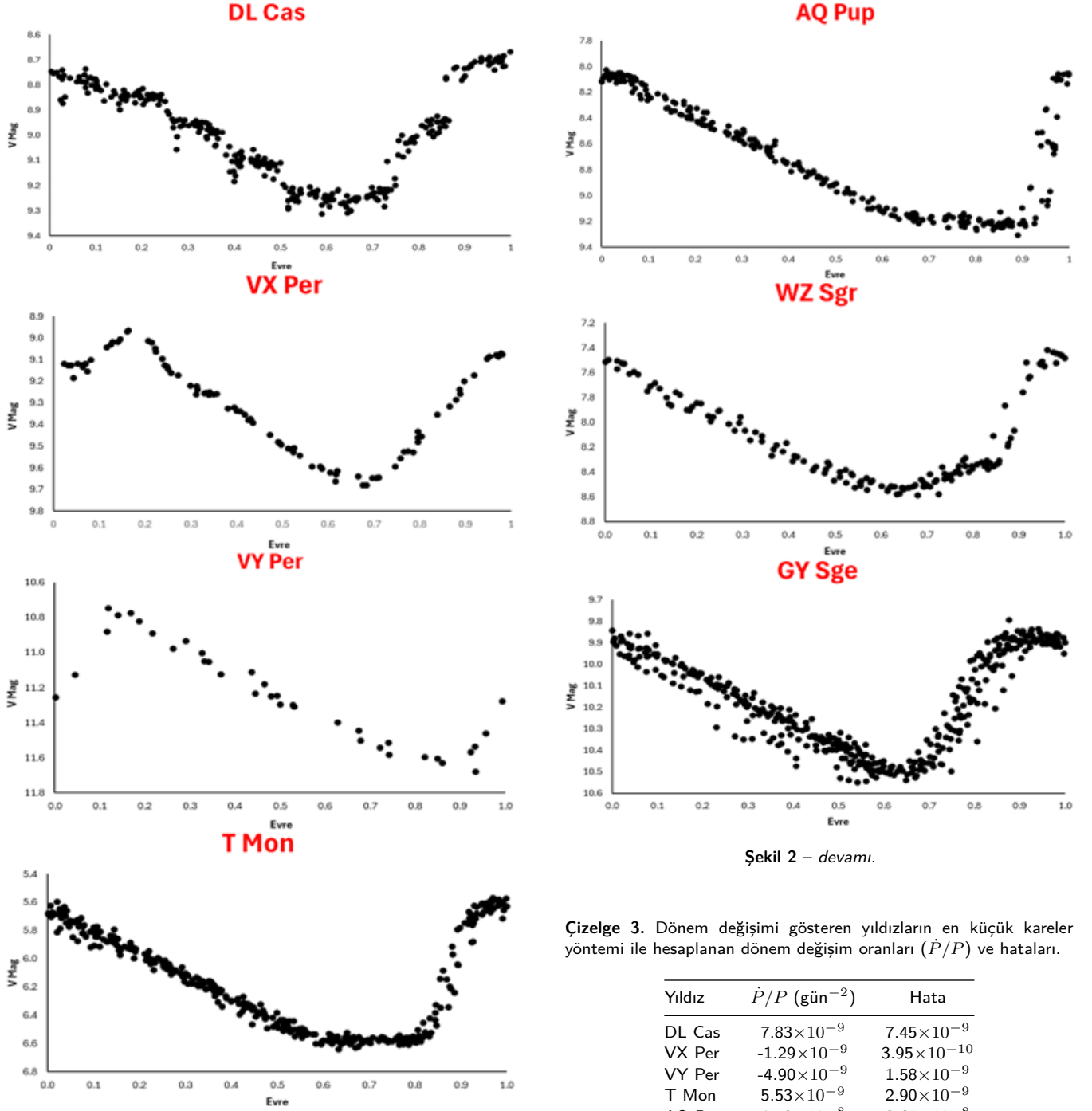
Yıldız	V	P	Genlik	$P2$
DL Cas	8.63	8.0005	0.595	Yok
VX Per	9.37	10.89	0.713	Yok
VY Per	11.32	5.54	0.89	Yok
T Mon	5.98	27.03	1.001	Var
AQ Pup	8.54	30.12	1.185	Yok
WZ Sgr	7.45	21.85	1.073	Yok
GY Sge	9.84	51.63	0.65	Var

minimum zamanlarını kullanarak dönem değişimini incelemiştir. Bu çalışma Sefeidlerin dönem değişimi çalışmalarında uzun dönemli verinin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir.

PERIOD04 programı üzerinden yapılan dönem analizi sonucunda ikinci dönemin varlığına ilişkin S/N oranına bakılmıştır. S/N oranı dört ve üzeri olan sinyaller anlamlı kabul edilmiş ve zonklama dönemine ilişkin ikinci dönemin varlığının olduğu anlamına geldiği kabul edilmiştir. Bu analiz sonucunda dönem değişimi gösteren yıldızlar arasında T

Mon ve GY Sge'de ikinci dönemin varlığı görülmüştür. Ardından elde edilen maksimum zamanları ile en küçük kareler yöntemi kullanılarak dönem değişim miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler üzerinden dönem değişimi belirlenen Sefeidlerin kararsızlık kuşağındaki konumları belirlenmiştir.

Sefeid yıldızlarında ikinci dönemin varlığı, yıldızın temel zonklama döneminin yanında bir başka dönemli moda da zonkladığı durumu ifade eder. Bu ikinci dönemin varlığı, yıldızın iç yapısı ve evrimsel durumu hakkında bazı bilgiler sunar.



Şekil 2. Dönem değişimi gösterdiği belirlenen yedi yıldızın V bandındaki ışık değişimi.

İkinci bir zonklama dönemine sahip yıldızların çalışılması ile bu yıldızların iç yoğunluk dağılımını, zonklama mekanizmasının farklı derinliklerde nasıl işlediğini ve bu süreçlerin yıldızın evrim yolunu nasıl etkilediği konularında tartışma imkânı sunar. Sefeid yıldızlarında ikinci dönem bazen yıldızın temel modunun bir harmoniği olarak görülürken bazen de farklı bir fiziksel süreçten kaynaklanabilir. Örneğin, yıldızın manyetik alanı ve dönmesi nedeniyle ikinci bir dönemi oluşturacak yapılar görülebilir. Ya da Sefeid yıldızı bir çift sistemin üyesi olabilir ve gelgit etkisi

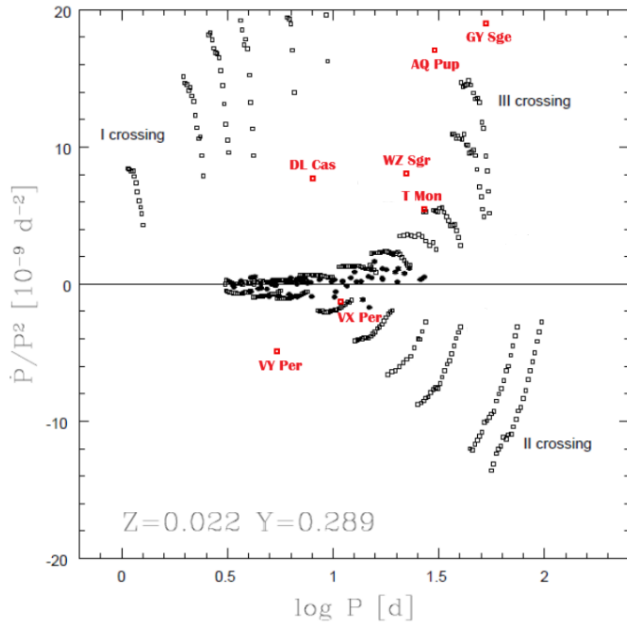
Şekil 2 – devamı.

Çizelge 3. Dönem değişimi gösteren yıldızların en küçük kareler yöntemi ile hesaplanan dönem değişim oranları ($\dot{P}/P$) ve hataları.

Yıldız	$\dot{P}/P$ (gün ⁻²)	Hata
DL Cas	7.83×10^{-9}	7.45×10^{-9}
VX Per	-1.29×10^{-9}	3.95×10^{-10}
VY Per	-4.90×10^{-9}	1.58×10^{-9}
T Mon	5.53×10^{-9}	2.90×10^{-9}
AQ Pup	1.70×10^{-8}	3.61×10^{-8}
WZ Sgr	8.15×10^{-9}	4.33×10^{-9}
GY Sge	1.99×10^{-8}	1.01×10^{-8}

ile yıldız sadece temel modda değil daha yüksek frekanslı bir zonklama da sergileyebilir. Ayrıca ikinci dönemin görülmesinde metal bolluğunun etkisinin tartışıldığı çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Alcock ve diğ. 1995; Sziládi ve diğ. 2018). Sefeidlerdeki ikinci dönemlerin doğası, henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Yeni gözlemler ve modellemeler, Sefeid yıldızlarındaki zonklamaların daha karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ve mevcut kuramların yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koyabilir.

Literatürde Sefeid değişenlerinin evrimi üzerine yapılan



Şekil 3. Bono ve diğ. (2000) tarafından Sefeidlerin dönem değişim oranlarından kararsızlık kuşağı içerisindeki geçişlerini gösteren modeller. Modeller üzerindeki kırmızı kareler bu çalışmada dönem değişimi gösterdiği belirlenen yıldızlardır.

çalışmalarda görüldüğü üzere Sefeidlerin dönem değişim miktarlarından yola çıkarak kararsızlık kuşağı içerisinde kaçınıcı geçişlerini yaptıklarını belirlemek mümkündür. Bono ve diğ. (2000) yapmış olduğu çalışmada Sefeid değişenlerinin kararsızlık kuşağı içerisindeki geçişlerini dönem değişim miktarları ile modellemiştir. Bu çalışmamızda, Bono ve diğ. (2000)'nın yapmış olduğu modeli kullanarak elde etmiş olduğumuz dönem değişim miktarları ile Sefeid değişenlerimizin kararsızlık kuşağı içerisinde kaçınıcı geçişini yaptıklarını inceledik. Yapmış olduğumuz analizler sonucunda dönem değişimi gösterdiğini belirlediğimiz Sefeid yıldızlardan DL Cas, AQ Pup, T Mon, WZ Sgr ve GY Sge'de dönemde artma görülüp kararsızlık kuşağı üzerinden üçüncü geçişlerini yaptıkları belirlenmiştir. VY Per, VX Per yıldızlarında ise dönemde azalma görülüp kararsızlık kuşağından ikinci geçişlerini yaptıkları belirlenmiştir. Modeller kullanılarak yapılan bu belirlemelere ilişkin veriler Şekil 3'de görülmektedir. Şekil 3'te modele ilişkin veriler grafik okuma yöntemi ile çizilmiştir.

Literatürde Sefeidlerin dönem analizi çalışmalarına bakıldığında çok fazla olmadığı görülür. Bunun nedeni bu yıldızların gözlemlerinde belli bir dalgaboyunda sürekli bir veri seti bulmanın güçlüğü ve özellikle uzun dönemli Sefeidlerde maksimum zamanını belirlemedeki güçlük yatmaktadır. Tek bir gecede alınamayan gözlem noktaları üzerinden maksimum zamanı belirlemek için ışık değişimi genellikle Fourier serisi ile temsil edilmekte ve maksimum zamanı bu temsil kullanılarak belirlenmektedir. Gerek nokta sayısı gerekse de veri uzunluğu maksimum zamanını hesaplamada belirsizlik getirmektedir.

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Öğrenci Projesi olarak yürütülmüştür. Proje süresinin kısıtlı olması nedeniyle seçilen yıldızların küme üyeliği literatürdeki kaynaklarda verildiği şekilde kabul edilmiş ve küme üyeliklerinin test edildiği bir çalışma yapılmamıştır. Literatürde dönem değişimi gösteren

Sefeidlerin tartışıldığı çalışmalara bir örnek daha kazandırılması hedeflenmiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları yeni gözlem verileri ile desteklenmelidir. Sefeidlerin kararsızlık kuşağı üzerindeki evrimsel süreçlerinin daha ayrıntılı tartışması için Sefeid yıldızlarının küme üyeliklerinin, kütlelerinin, metal bolluklarının, yaşlarının ve farklı dalgaboylarındaki ışık değişimlerinin birlikte değerlendirileceği bir çalışmanın yapılması daha sonraki zamanlar için planlanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında TÜBİTAK-2209A-1919B012208768 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projemize verdiği destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alcock C., ve diğ., 1995, *AJ*, 109, 1653
 An D., Terndrup D. M., Pinsonneault M. H., 2007, *ApJ*, 671, 1640
 Anderson R. I., Eyer L., Mowlavi N., 2013, *MNRAS*, 434, 2238
 Baumgardt H., Dettbarn C., Wielen R., 2000, *A&AS*, 146, 251
 Berdnikov L. N., 2008, VizieR Online Data Catalog: Photoelectric observations of Cepheids in UBV(RI)c (Berdnikov, 2008), VizieR On-line Data Catalog: II/285. Originally published in: 2008yCat.2285....0B
 Boistel G., 2022, preprint, ([arXiv:2211.16025](https://arxiv.org/abs/2211.16025))
 Bono G., Caputo F., Cassisi S., Marconi M., Piersanti L., Tornambè A., 2000, *ApJ*, 543, 955
 Breger M., ve diğ., 1993, *A&A*, 271, 482, *ADS*
 Chen X., de Grijs R., Deng L., 2015, *MNRAS*, 446, 1268
 Efremov Y. N., 1975, in Kukarkin B. V., ed., , Pulsating Stars. John Wiley & Sons, p. 42
 Gieren W. P., 1988, *ApJ*, 329, 790
 Hoyle F., Shanks T., Tanvir N. R., 2003a, *MNRAS*, 345, 269
 Hoyle F., Shanks T., Tanvir N. R., 2003b, *MNRAS*, 345, 269
 Lenz P., Breger M., 2005, *Communications in Asteroseismology*, 146, 53
 Majaess D. J., Turner D. G., Lane D. J., 2008, *MNRAS*, 390, 1539
 Sipahi E., Ak T., 2020, Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics, 1, 505–508
 Sziládi K., Vinkó J., Szabados L., 2018, *Acta Astron.*, 68, 111
 Tsarevsky G. S., Ureche V., Efremov Y. N., 1966, *Astronomicheskij Tsirkulyar*, 367, 1, *ADS*
 Turner D. G., 1986, *AJ*, 92, 111
 Turner D. G., 1996, *J. R. Astron. Soc. Canada*, 90, 82, *ADS*
 Turner D. G., 1998, *JAAVSO*, 26, 101, *ADS*
 Turner D. G., 2010, *Ap&SS*, 326, 219
 Turner D. G., Burke J. F., 2002, *AJ*, 124, 2931
 Turner D. G., van den Bergh S., Younger P. F., Danks T. A., Forbes D., 1993, *ApJS*, 85, 119
 Usenko I. A., Kovtyukh V. V., Klochkova V. G., Panchuk V. E., Yermakov S. V., 2001, *A&A*, 367, 831
 Vinko J., 1991, *Ap&SS*, 183, 17
 van den Bergh S., 1957, *ApJ*, 126, 323

Access:

M25-0328: *Turkish J.A&A* — Vol.6, Issue 3.