



# Kepler Uzay Teleskobu ve ASAS Görüş Alanındaki Sefeid Türü Değişen Yıldızların Frekans Analizi

Mehmet Oğuzhan Erturan,<sup>1,2</sup>★ Hasan Ak<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Konya Bilim Merkezi, Konya, 42160, Türkiye

<sup>2</sup>Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 38039, Türkiye

Accepted: January 13, 2022. Revised: January 11, 2022. Received: December 14, 2021.

## Özet

Bu çalışmada, The All-Sky Automated Survey (ASAS) kataloğunda bulunan ve sefeid türü değişen olarak sınıflandırılan yıldızlar arasından seçilen KIC 6269092 (ASAS ID: 190254+4139.5), KIC 7899428 (ASAS ID: 193836+4341.5) nesnelerinin zonklama frekanslarının analizleri yapıldı. Zonklama frekansı analizleri yapılan bu nesnelerin önceden ASAS araştırmasında  $V$  ve  $I$  filtrelerinde fotometrik gözlemlerinin yapıldığı bilinmektedir. Ardından 2010 yılında *Kepler* uzay teleskobunun da bilimsel göreve başlamasıyla değişen yıldızların fiziği üzerine yapılan araştırmalar ivme kazanmıştır.

Bu çalışmada incelenen kaynaklar ASAS ve *Kepler* uzay teleskobunun ortak görüş alanındaki (FoV) yıldızlar arasından seçilmiştir. Bu seçimdeki temel bilimsel hedef, gökyüzündeki bir kaynağın (yıldız) yer ve uzay tabanlı gözlem verilerini kullanarak bir incelemesini sunmaktır. Frekans analizinde kullanılan fotometrik veriler *Kepler* uzay teleskobunun veri tabanından alındı. Frekans analizinde kullanılan yöntem ise Fourier analizi tekniğidir. Analiz sonucunda, KIC 6269092 yıldızının ana zonklama frekansının  $f = 0.06091\text{gün}^{-1}$  ve KIC 7899428 yıldızının ana zonklama frekansının  $f = 0.08761\text{gün}^{-1}$  yöresinde olduğu bulunmuştur. Ana zonklama frekanslarından hesaplanan dönem değerleri ise, sırasıyla, 16.4176 gün ve 11.4142 gün yöresindedir. *Kepler* fotometrik veri setleri kullanılarak hesaplanan zonklama dönemleri ASAS veri tabanından okunan değerlere oldukça yakındır. ASAS araştırması yıldızların zonklama dönemlerini KIC 6269092 için  $P_{ASAS} = 16.510$  gün ve KIC 7899428 için  $P_{ASAS} = 11.573$  gün olarak vermiştir.

## Abstract

In this study, the pulsating frequencies of KIC 6269092 (ASAS ID: 190254+4139.5), KIC 7899428 (ASAS ID: 193836+4341.5) objects selected among the stars classified as Cepheid type variable and included in The All-Sky Automated Survey (ASAS) catalog were analyzed. It is known that photometric observations of these objects, whose pulsating frequency analyzes were performed, were made in  $V$  and  $I$  filters in the ASAS research. Then, with the launch of the *Kepler* space telescope in 2010, research on the physics of variable stars accelerated.

The sources examined in this study were selected among the stars in the common field of view (FoV) of the ASAS and *Kepler* space telescope. The main scientific goal in this selection is to present an investigation of a source (star) in the sky using ground and space-based observation data. Photometric data used in frequency analysis were obtained from the *Kepler* space telescope database. The method used in frequency analysis is the Fourier analysis technique. As a result of the analysis, the main pulsating frequency of the star KIC 6269092  $f = 0.06091\text{day}^{-1}$  and the main pulsating frequency of the star KIC 7899428  $f = 0.08761\text{day}^{-1}$  found in the area. The period values calculated from the main pulsating frequencies were found to be 16.4176 days and 11.4142 days, respectively. The pulsating periods calculated using *Kepler* photometric data sets are very close to the values read from the ASAS database. The ASAS survey gave the pulsating periods of the stars as  $P_{ASAS} = 16.510$  days for KIC 6269092 and  $P_{ASAS} = 11.573$  days for KIC 7899428.

**Anahtar Kelimeler:** techniques: photometric – methods: data analysis – individual: KIC 6269092, KIC 7899428 – stars: variables: Cepheids

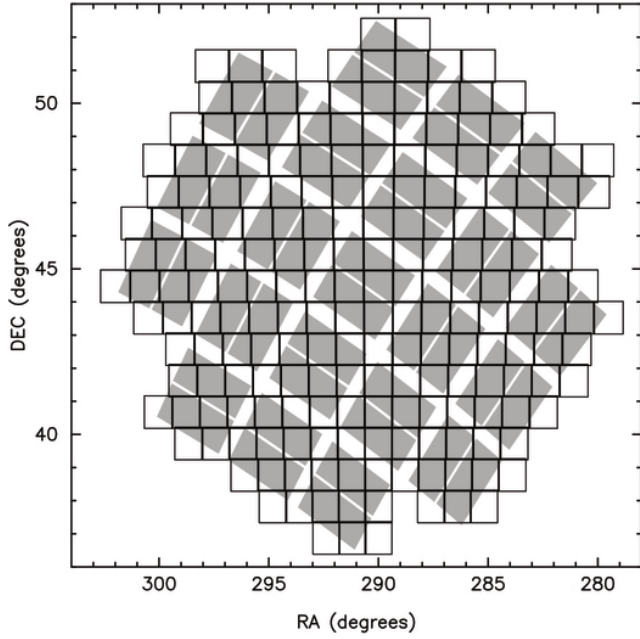
## 1 Giriş

*Kepler* uzay teleskobu 2009-2013 yılları arası yaklaşık dört yıl boyunca gökyüzünün belli bir bölgesinin aralıksız fotometrik gözlemini gerçekleştirdi. Gözlenen gökyüzü bölgesi 115 derecekarelik bir alanı kaplamaktadır. Şekil 1'de bu gökyüzü alanının ekvatorial koordinatları ve Şekil 2'de de ASAS *Kepler* FoV'daki değişen yıldızların türleri ve toplam sayıları görülmektedir. *Kepler* ile gözlenen bölge Kuğu ve Çalgı takımı yıldızları bölgesinin içindedir. *Kepler*'in birincil bilimsel görevi fotometrisini yaptığı yıldızların etrafında geçiş (transit)

yöntemiyle öte-gezegen(ler) bulmak olsa da, *Kepler* gözlemleri, yeni keşfedilen değişen yıldızlar ve yüksek duyarlılıklı fotometrik gözlemler sayesinde, astronominin fotometri alanında yeni bir sıçrama yapmasına da neden oldu. Özellikle zonklayan değişen yıldızların mili-kadir seviyelerinden daha duyarlı gözlemleri asterosismoloji araştırmalarında daha hassas sonuçların ortaya çıkmasını getirdi. *Kepler* teleskobu ve misyonun bilimsel amaçları konusundaki ayrıntılı bilgilere Borucki et al. (2010), Haas et al. (2010) ve Koch et al. (2010) çalışmalarından ulaşılabilir. *Kepler* uzay teleskobunun veri arşivine ise MAST bağlantısı üzerinden erişim sağlanmaktadır.

All-Sky Automated Survey (ASAS) projesi, küçük ve nispeten ucuz bir donanım ile tüm gökyüzünün, belli bir

★ mehmetoguzhanerturan@gmail.com



**Şekil 1.** Kepler uzay teleskobunun gökyüzündeki 115.6 derecekarelik görüş alanının haritası. Şekildeki gri renkli bölgeler Kepler uzay teleskobunun 42 tane CCD modülünü göstermektedir.

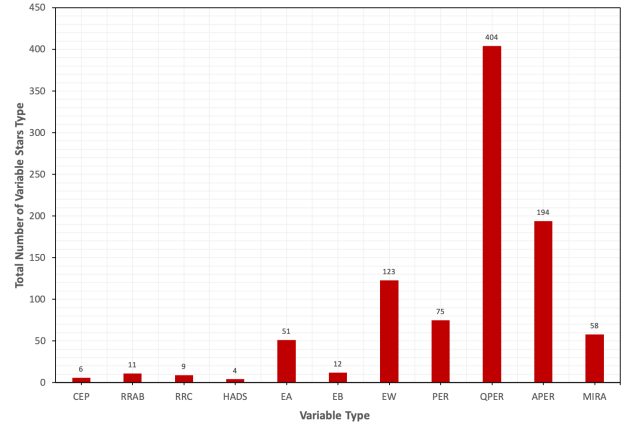
parlaklık limitine kadar ( $\approx 14$ kadir), uzun yılları kapsayan fotometrik bir taramasını amaçlayan bir projedir. Hem kuzey (Hawai'de) hem de güney (Şili'de) yarı-kürede olmak üzere iki farklı sitede projeye adanmış teleskoplar vardır. Projede  $V$  ve  $I$  bantlarında gözlenebilen tüm gökyüzü her iki günde bir tam bir taraması yapılacaktır şekilde gözlenmektedir. Böylece belli bir yıldızın her yıl birkaç yüz fotometrik verisi birikmiş olmaktadır. Bu fotometrik gözlemlerin zaman analizi yapılarak onbinlerce yeni değişen yıldız keşfedildi. ASAS gözlemleri ve donanımla ilgili ayrıntılı bilgiye Paczyński et al. (2006) çalışmasından ulaşılabilir.

ASAS tüm gökyüzü taraması yaparken, doğal olarak, Kepler gözlem bölgesini de gözledi. Bu alan ASAS Kepler Görüş Alanı (ASAS Kepler Field of View, ASAS Kepler FoV) olarak bilinir ve Pigulski et al. (2009) çalışmasında her iki taramadaki değişen yıldızların türlerine göre sayı dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. ASAS Kepler FoV'da sefeid olarak sınıflandırılan altı yıldız vardır. Bu çalışmada, ASAS gözlemlerine göre sefeid olarak sınıflanan ve dört yıla yakın bir süre boyunca Kepler tarafından kesintisiz uzay gözlemi yapılan KIC 6269092 (ASASID:190254+4139.5) ve KIC 7899428 (ASASID:193836+4341.5) yıldızları incelendi.

### 1.1 Kepler Gözlemlerinin Akı Kalibrasyonu

Fotometrik veri iletim hattından gelen veriler, teleskopta çekilen her görüntü için bir ASCII dosyasından oluşur. Bu dosyalar bir başlık ve iki veri tablosu içerir. Başlık, bir bütün olarak görüntü hakkında bilgi içerir: Jülyen tarihi, teleskop koordinatları, filtre, pozlama süresi vb. Kepler teleskobunun görüş alanında bulunan ve yörüngesinde bir ötegezegen bulunması muhtemel olan hedef yıldız için ölçülen yıldızın parlaklığı Kepler fotometresi ( $K_P$ ) olarak tanımlanır.

Kepler uzay teleskobunun önceden ayarlanmış bir açıklığı vardır ve hedef yıldızların fotometrik gözlemleri bu açıklıktan



**Şekil 2.** ASAS Kepler FoV'daki farklı türden değişen yıldızların histogramı. Histogram, ASAS Kepler FoV'dan alınan verilere göre oluşturuldu.

gerçekleştirilir. Açıklık da piksel sayısı ve dizi olarak tanımlanır. Her kaynak, bir hedef açıklık maskesi ve uygun fotometrik açıklık ile ifade edilir. Uygun açıklık, maskedeki toplam piksellerin bir alt kümesini içerir. İdeal olarak, gözlemlenen kaynak sayısını en üst düzeye çıkarmak için kaydedilen ekstra piksel sayısının küçük olması gerekir. Akı, arka plan radyasyonunu çıkardıktan sonra uygun açıklıktaki piksellerin ağırlıksız toplamıdır. Buna, basit açıklık fotometrisi (*Simple Aperture Photometry: SAP*) denir. Bu açıklık, Poission gürültüsünü, okuma gürültüsünü kaynak ve arka plan için nicelendirme gürültüsünü hesaba katan en büyük türetilmiş sinyal-gürültü oranına sahip piksel seti olarak tanımlanır (Farmer et al. 2013).

Kepler bilim ekibi teleskobun fırlatılmasından önce teleskobun görüş alanındaki yıldızları sınıflandırmak için kapsamlı bir gözlem programı yürütmüştür (Gilliland et al. 2010a). Burada esas amaç, ötegezegen tespiti için birincil kaynak hedefleri olan F, G, K, M tayf sınıfından yıldızların istatistiğini gerçekleştirmektir. Hedef nesnelerin gözlemleri SDSS filtreleri kullanılarak yapılmıştır. Bu gözlemler, 2MASS verileriyle birlikte Kepler Girdi Kataloğu'nun (KIC) temelini oluşturur.

Proje araştırmacıları tarafından etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, metal bolluğu, türetilmiş parlaklıklar  $g$ ,  $r$ ,  $i$ ,  $K_P$ 'yi kapsayan bir dizi yıldız tayf modeli oluşturmak için filtre yanıt fonksiyonlarını bir dizi modelle birleştirilmiştir. Bu değerler arasındaki korelasyonlar kullanılarak Kepler parlaklıkları, deneysel formüller kullanılarak, gözlemlenen SDSS parlaklıklarından tahmin edilir. Yaklaşık tahmini  $K_P$  değeri, Kepler Yıldız Sınıflandırma Programı (Kepler Stellar Classification Program: KASC) Blomme et al. (2010) ve Brown et al. (2011) tarafından verilen fotometrik dönüşüm bağıntılarına dayanmaktadır. Bu ilişkiler (1), (2), (3) ve (4) numaralı bağıntılar ile verilmiştir.

$$g = 0.54B + 0.46V - 0.07 \quad (1)$$

$$r = -0.44B + 1.44V + 0.12 \quad (2)$$

$$(g - r) < 0.8 \Rightarrow K_P = 0.2g + 0.8r \quad (3)$$

$$(g - r) \leq 0.8 \Rightarrow K_P = 0.1g + 0.9r \quad (4)$$

**Çizelge 1.** *Kepler* bilim ekibinin anakol yıldızları için verdiği mutlak parlaklık ve renk indeksi değerleri.

| Tayf Sınıfı | $M_V$<br>(kadir) | $(B - V)$<br>(kadir) | $(K_P - V)$<br>(kadir) |
|-------------|------------------|----------------------|------------------------|
| O3          | -5.50            | -0.33                | 0.16                   |
| B0          | -4.00            | -0.28                | 0.15                   |
| B5          | -1.10            | -0.16                | 0.12                   |
| A0          | 0.70             | 0.10                 | 0.08                   |
| A5          | 1.80             | 0.13                 | 0.05                   |
| F0          | 2.50             | 0.28                 | 0.01                   |
| F5          | 3.40             | 0.46                 | -0.03                  |
| G0          | 4.50             | 0.60                 | -0.06                  |
| G5          | 5.20             | 0.67                 | -0.08                  |
| K0          | 6.00             | 0.85                 | -0.13                  |
| K5          | 7.20             | 1.15                 | -0.29                  |
| M0          | 9.00             | 1.55                 | -0.46                  |

$B$  ve  $V$  filtrelerinde ölçülen parlaklıklar, SDSS  $g, r$  filtrelerine (1) ve (2) numaralı bağıntılar kullanılarak dönüştürülür. Yıldızların SDSS sistemindeki  $g$  ve  $r$  parlaklıkları biliniyorsa, (3) ve (4) numaralı bağıntılar kullanılır.

*Kepler* bilim ekibinin Smith et al. (2002) çalışmasında, farklı tayf türündeki anakol yıldızlarının mutlak parlaklıkları ve renklerini dikkate alarak elde ettikleri fotometrik dönüşüm formülleri kullanılarak,  $(K_P - V)$  renk indeksleri hesaplanmış ve elde edilen bulguları Çizelge 1'de listelenmiştir.

Çalışmada yıldızların etkin sıcaklıklarının ( $T_{\text{eff}}$ ) hesaplanmasında Çizelge 1'deki veriler dikkate alınmıştır.

## 2 Yıldızlar Hakkında Bireysel Açıklamalar

Bu çalışmada incelenen hedef nesnelere, hem ASAS projesinin hem de *Kepler* uzay teleskobunun görüş alanındaki sefeid türü değişen yıldızlardır. Program yıldızlarla ilgili literatürden derlenen bilgiler aşağıda verilmiştir.

### 2.1 KIC 6269092

KIC 6269092 yıldızının ( $\alpha_{2000} = 19^{\text{h}}02^{\text{m}}53^{\text{s}}.970$ ,  $\delta_{2000} = +41^{\circ}39'31''.26$ ) ilk fotometrik gözlemi ROTSE1 taramasında Akerlof et al. (2000) tarafından yapılmıştır. Ardından bu yıldızın  $V$  ve  $I$  filtrelerinde de fotometrik gözlemleri ASAS projesinde yapılmıştır (Pigulski et al. 2009). Yıldızın ASAS kataloğundan alınan bilgileri Çizelge 2'de listelenmiştir. ASAS taramasında yıldızın değişen türü PER/CEP olarak etiketlenmiştir. SIMBAD veri tabanında ise değişen türü  $\delta$  Cep olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yıldızın SIMBAD veri tabanında  $B$  filtresinde ölçülen parlaklık verisi bulunmamaktadır,  $V$  filtresinde ölçülen parlaklığı da 12.787 kadir verilmiştir.

KIC 6269092 yıldızının uzay tabanlı fotometrik gözlemi ilk defa *Kepler* uzay teleskobuyla yapılmıştır (Davenport 2016). Bu fotometrik gözlem teleskobun LC (Long Cadance) modunda ve Q1-Q16 sezonlarında gözlenmiş fakat Q5 ve Q9 sezonlarına ait verilerinin bulunmadığı tespit edilmiştir.

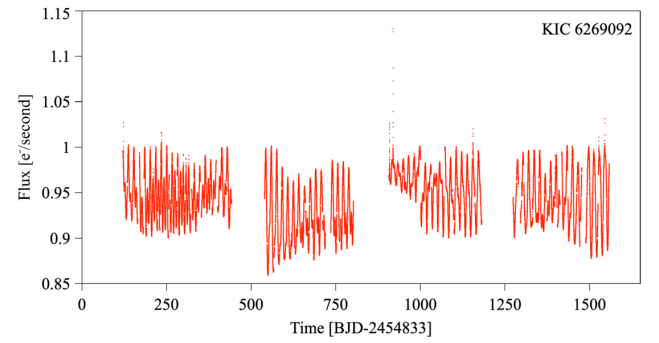
*Kepler* bilim ekibi tarafından verilen SDSS gri ve 2MASS  $JHK_s$  parlaklık bilgileri Çizelge 3 sol panelde ve *Kepler* Stellar 17 arşivinden alınan sıcaklık, kütle, yapıçap ve yüzey çekim ivmesi verileri Çizelge 3 sağ panelde verilmiştir. KIC 6269092 sisteminin *Kepler* ve ASAS ışık eğrileri, sırasıyla, Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** KIC 6269092 yıldızı için ASAS kataloğundan alınan verileri.

| Parametre        | Değer                      | Birim  |
|------------------|----------------------------|--------|
| ASAS Kodu        | 190254 + 4139.5            |        |
| 2MASS Kodu       | 19025396 + 4139313         |        |
| RA               | 285.72487                  | derece |
| DEC              | 41.6587                    | derece |
| $V$ (ASAS)       | 12.787                     | kadir  |
| $I$ (ASAS)       | 11.465                     | kadir  |
| $V - I$          | 1.322                      | kadir  |
| $J$ (2MASS)      | 10.614                     | kadir  |
| $J - H$          | 0.584                      | kadir  |
| $H - K_s$        | 0.184                      | kadir  |
| Değişen Türü     | QPER/CEP                   |        |
| Periyot          | 16.51                      | gün    |
| $V_{\text{amp}}$ | 0.26                       | kadir  |
| $I_{\text{amp}}$ | 0.20                       | kadir  |
| Diğer İsim       | ROTSE1 J190253.93+413931.1 |        |

**Çizelge 3.** KIC 6269092 sisteminin SDSS gri, 2MASS  $JHK_s$  ve *Kepler*  $K_P$  filtrelerindeki parlaklıkları (sol panel) ve *Kepler* Stellar 17 arşivinden alınan temel astrofizik parametreler (sağ panel).

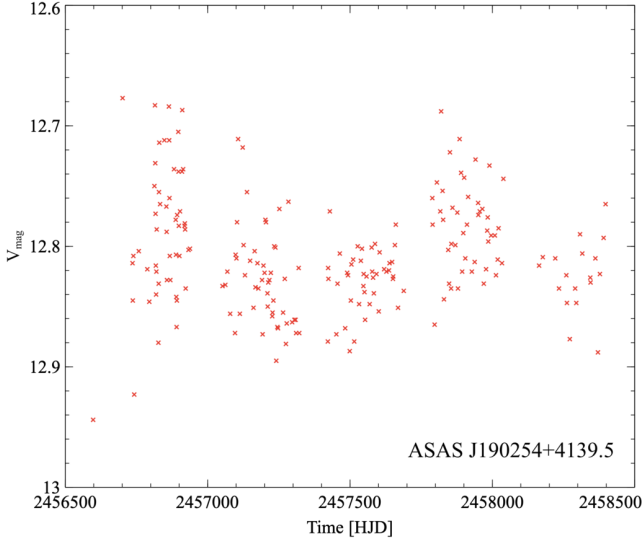
| Filtre | Parlaklık<br>(kadir) | Parametre        | Değer | Birim              |
|--------|----------------------|------------------|-------|--------------------|
| $g$    | 13.594               | $T_{\text{eff}}$ | 4518  | K                  |
| $r$    | 12.754               | $M$              | 0.621 | $M_{\odot}$        |
| $i$    | 12.452               | $R$              | 0.635 | $R_{\odot}$        |
| $J$    | 10.614               | $\log g$         | 4.625 | $\text{cm s}^{-2}$ |
| $H$    | 10.030               |                  |       |                    |
| $K_s$  | 9.846                |                  |       |                    |
| $K_P$  | 12.795               |                  |       |                    |



**Şekil 3.** *Kepler* uzay teleskobunun sağladığı 1437.419878 gün uzunluğundaki fotometrik veriden oluşturulan ham ışık eğrisi.

### 2.2 KIC 7899428

KIC 7899428 yıldızının ( $\alpha_{2000} = 19^{\text{h}}38^{\text{m}}35^{\text{s}}.892$ ,  $\delta_{2000} = +43^{\circ}41'31''.54$ ) ilk fotometrik gözlemi ROTSE1 gökyüzü taramasında Akerlof et al. (2000) tarafından yapılmıştır. ASAS  $V$  ve  $I$  fotometrik gözlemleri de Pigulski et al. (2009) tarafından gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular Çizelge 4'te listelenmiştir. ASAS araştırmasında yıldızın değişen türü PER/CEP olarak belirlenmiştir. Sistem SIMBAD veri tabanında  $\delta$  Cep olarak tanımlanmıştır. KIC 7899428 sisteminin SIMBAD veri tabanındaki  $V$  filtre parlaklığı 11.40 kadir



Şekil 4. KIC 6269092 yıldızının ASAS fotometrik verilerinden elde edilen ışık eğrisi.

$B$  filtresinde de 12.02 kadir olarak verilmiştir. Sistemin ASAS veri tabanında  $V$  filtresinde ölçülen parlaklık verisi 11.503 kadir iken,  $B$  parlaklığına ait bir ölçüm bulunamamıştır. SIMBAD veri tabanından ulaşılan parlaklık verilerinden de renk indeksi  $(B - V) = 0.62$  kadir hesaplanmıştır. KIC 7899428 yıldızının uzay tabanlı fotometrik gözlemi ilk olarak *Kepler* uzay teleskobuyla yapılmıştır (Davenport 2016). KIC 7899428 yıldızının fotometrik gözlemleri, *Kepler* uzay teleskobuyla yalnızca uzun poz süresi ( $\approx 30$  dk) modunda ve  $Q0-Q17$  sezonlarında yapılmıştır.

*Kepler* bilim ekibi tarafından verilen SDSS gri ve 2MASS  $JHK_s$  fotometrik verileri Çizelge 5 sol panelde, sistemin temel astrofizik parametreleri Çizelge 5 sağ panelde listelenmiştir. KIC 7899428 sisteminin *Kepler* ve ASAS ışık eğrileri, sırasıyla, Şekil 5 ve 6'te gösterilmiştir.

### 3 Yöntem

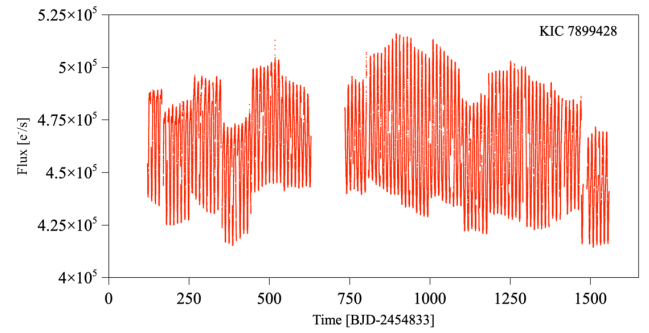
*Kepler* uzay teleskobunun veri arşivinde fotometrik veriler FITS dosyası olarak sunulmuştur. Yıldızların çeyreklerden (Quarter : Q) oluşan veri setleri ayrı ayrı Fits Viewer yazılımı kullanılarak görüntülendi ve *TIME*, *SAP FLUX*, *SAP FLUX ERR* sayısal değerleri bu dosyalardan alındı. Frekans analizine geçilmeden önce *Kepler* verilerinin normalize edilmesi gerekir. Bu işlem, her bir veri çeyreğine ayrı ayrı polinom fiti uygulanarak gerçekleştirildi. *Kepler* verileri, yer-tabanlı fotometrik gözlem verileriyle karşılaştırıldığında açık ara yüksek hassasiyette sahip ve süreklidir. Ancak aletsel etkilerden kaynaklanan hatalar ve genlik seviyesi farklılıkları da ortaya çıkmaktadır. Veriler üzerindeki tüm olumsuzluklar giderildikten sonra artık normalize edilmiş veriler analizlere hazır hale getirilmiştir. Veri indirgeme ve işleme süreçleri hakkında daha ayrıntılı çalışmalar García et al. (2011) ve Kinemuchi et al. (2012) tarafından verilmiştir.

Çizelge 4. KIC 7899428 yıldızının ASAS kataloğundan alınan verileri.

| Parametre    | Değer                      | Birim  |
|--------------|----------------------------|--------|
| ASAS Kodu    | 193836 + 4341.5            |        |
| 2MASS Kodu   | 19383589 + 4341314         |        |
| RA           | 294.64956                  | derece |
| DEC          | 43.69206                   | derece |
| $V$ (ASAS)   | 11.503                     | kadir  |
| $I$ (ASAS)   | 10.506                     | kadir  |
| $V - I$      | 0.997                      | kadir  |
| $J$ (2MASS)  | 9.731                      | kadir  |
| $J - H$      | 0.471                      | kadir  |
| $H - K_s$    | 0.137                      | kadir  |
| Değişen Türü | PER/CEP                    |        |
| Periyot      | 11.573                     | gün    |
| $V_{amp}$    | 0.09                       | kadir  |
| $I_{amp}$    | 0.08                       | kadir  |
| Diğer İsim   | ROTSE1 J193835.80+434130.6 |        |

Çizelge 5. KIC 7899428 sisteminin SDSS gri, 2MASS  $JHK_s$  ve *Kepler*  $K_P$  filtrelerindeki parlaklıkları (sol panel) ve *Kepler* Stellar 17 arşivinden alınan temel astrofizik parametreler (sağ panel).

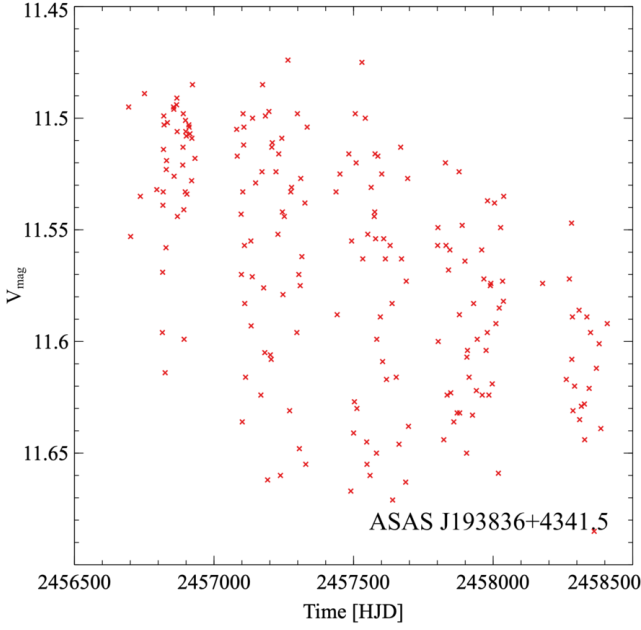
| Filtre | Parlaklık (kadir) | Parametre | Değer  | Birim              |
|--------|-------------------|-----------|--------|--------------------|
| $g$    | 11.988            | $T_{eff}$ | 4914   | K                  |
| $r$    | 11.404            | $M$       | 0.729  | $M_{\odot}$        |
| $i$    |                   | $R$       | 0.6747 | $R_{\odot}$        |
| $J$    | 9.731             | $\log g$  | 4.554  | $\text{cm s}^{-2}$ |
| $H$    |                   |           |        |                    |
| $K_s$  | 9.123             |           |        |                    |
| $K_P$  | 11.343            |           |        |                    |



Şekil 5. *Kepler* uzay teleskobunun sağladığı 1459.506014 gün uzunluğundaki fotometrik veriden oluşturulan ham ışık eğrisi.

#### 3.1 Fourier Analiz Yöntemi ve Sefeid Yıldızlarının Frekans Analizi

Klasik sefeid türü değişen yıldızların ışık eğrilerinin önemli derecede yapısal düzene sahip olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Hertzsprung dizisi olarak bilinen yıldızın dönemi ile ışık eğrisi biçiminin devamlılığı, literatürde geniş çapta tartışılmış bir konudur (Simon & Lee 1981). Son zamanlarda, değişen yıldızların ışık eğrisinin yapısına ve özelliklerine olan ilgi, *OGLE*, *MACHO*, *ASAS*, *NSVS* gibi değişen yıldız araştırma projelerinden elde edilen gözlemsel verilerin çoğalması nedeniyle artmıştır. Bunların dışında *CoRoT*, *Kepler*, *GAIA*, *TESS* ve



Şekil 6. KIC 7899428 yıldızının ASAS fotometrik verilerinden elde edilen ışık eğrisi.

ardından gelecek diğer uzay tabanlı gözlem görevlerinden tespit edilmesi beklenen çok sayıda farklı türden değişen yıldızın güvenilir ve otomatik olarak etiketlenmesi için de yeni teknikler araştırılmaktadır (Debosscher et al. 2007; Sarro et al. 2009). Fourier ayrıştırma tekniği, değişen yıldızların ışık eğrilerinin yapısını tanımlamanın en güvenilir ve etkili yoludur (Schaltenbrand & Tammann 1971). Yöntem, çeşitli araştırmacılar tarafından ışık eğrisi rekonstrüksiyonu, mod ayrımı ve zonklayan yıldızların sınıflandırılması için yaygın olarak kullanılan bir teknik olmuştur (Antonello et al. 1986; Mantegazza & Poretti 1992; Hendry et al. 1999; Poretti 2001; Ngeow et al. 2003; Moskalik & Poretti 2003; Jin et al. 2004; Deb & Singh 2009).

### 3.2 PERIOD04 Analiz Programı

PERIOD04 programı, değişen yıldızların frekans analizlerini gerçekleştirmek için kullanılan bir yazılımdır (Lenz & Breger 2005). PERIOD04, Period98 (Sperl 1998) yazılımının genişletilmiş bir sürümüdür ve çok yönlü, gelişmiş zaman serisi analizi için tasarlanmış bir yazılım paketidir. Süreksizliğe sahip çok miktarda zaman bağımlı verinin istatistiksel analizi için özel olarak geliştirilmiştir. PERIOD04, temel olarak aşağıda açıklanan üç modülden oluşur:

- Zaman Serisi Modülü:** Bu modül içerisinde kullanıcı, zaman serisi verilerini yönetme olanağına sahiptir. Modül, bir veri kümesinin alt dizilere ayrılmasına veya birleştirilmesine izin verir. Ayrıca süreçleri yönetmek için gerekli araçları içerir.
- Fit Modülü:** Bu modülü sayesinde, bir dizi frekans için en küçük kareler yöntemi kullanılarak fit(ler) gerçekleştirilir. Ayrıca, Monte Carlo simülasyonları gibi uyumlama parametrelerinin belirsizliklerini hesaplamak için de çeşitli araçlar bulunur.
- Fourier Modülü:** Bu modül, mevcut verilerden yeni

frekans değerleri bulmak için kullanılır. Fourier analizinin çeşitleri vardır ve PERIOD04 programında ayrıştırılmış Fourier dönüşümü algoritması kullanılır. Astronomik zaman serilerinden oluşan veri kümeleri genellikle eşit aralıklı olmadığından hızlı Fourier dönüşümü algoritması kullanılmaz.

### 3.3 Kepler Işık Eğrilerinin Asterosismik Analiz için Hazırlanması

Kepler uzay teleskobu, farklı tür zonklayan yıldızların asterosismik çalışmaları için benzersiz doğruluk ve kalitede fotometrik veri sağlar. Kepler teleskobu her 90 günde bir optik eksenini etrafında güneş panellerinin verimliliğini arttırmak için döndürülür. Bu nedenle bir yıldızın verisi sürekli aynı CCD üzerine düşmez. Bu tür etkileri analiz öncesinde düzeltmek için verinin ön işleme tabi tutulması gerekir. Bu veri ön işleme aşamaları, Kepler Asterosismik Bilim Konsorsiyumu (KASC) tarafından açıklanmıştır.

Kepler teleskobunun iki farklı gözlem modu vardır. Bu modlar, kısa pozlama (Short Cadence: SC) ve uzun pozlamadır (Long Cadence: LC). Kepler teleskobunun LC modu her 29.4244 dakikada (Nyquist Frequency =  $283.45\mu\text{Hz}$ ) ve SC modu her 58.84876 saniyede (Nyquist Frequency =  $8.5\mu\text{Hz}$ ) verileri örnekler. Parlak yıldızlar için (Kepler'in parlaklık sınırına kadar,  $K_P \simeq 12$ ) kısa poz modunda yapılan gözlemler daha hassas geçiş zamanlaması sağlar. Her iki durumda da, biriktirme süresi, 0.52 saniye okuma süresiyle 6.02 saniye olarak ayarlanır. Zaman, her pozun ortalama süresi 0.050 saniyelik doğrulukla belirlenir (Gilliland et al. 2010b). Kepler uzay teleskobunun ham ışık eğrilerindeki üç tür etkiyi (aykırı değerler, sıçramalar, eğilimler) düzeltmek için bazı yaklaşımlar izlenir. Bununla birlikte, ışık eğrileri üzerinde bazı termal veya diğer uzun vadeli aletsel etkilerin kalabileceği dikkate alınarak, verilerde bulunan düşük frekanslı sinyallerin mümkün olduğu kadar korunması gerektiği ifade edilmiştir (García et al. 2011).

### 3.4 Aykırı Değerler

İki nokta fark fonksiyonunda kısa pozlama için  $3\sigma$ 'dan ve uzun pozlama için  $5\sigma$ 'dan daha büyük bir noktadan noktaya sapma gösteren ışık eğrisinin ayrı ölçümleri, veri setlerinde aykırı değer olarak kabul edilmelidir. Burada  $\sigma$  ile gösterilen standart sapmadır. Bu kırpmadan etkilenen noktaların çoğu, momentum desatürasyon manevraları sırasında ve tepki motorlarının açılma hızlarının sifira yaklaştığı zamanlarda gözlemlenen noktalardır. Bu noktalar, ortalamasının üzerinde birçok standart sapma genişliğine sahiptir ve kaynakları henüz tam olarak anlaşılmamıştır (Van Cleve et al. 2010).

### 3.5 Sıçramalar

Sıçramalar, piksel duyarlılığındaki ani azalmalar nedeniyle ışık eğrisinin ortalama değerindeki beklenmedik değişiklikler olarak tanımlanır. Işık eğrilerindeki bu ani değişiklikler için, her pozda bir günlük bölümlerin ortalama akıları, belirli bir eşikten daha büyük olacak şekilde karşılaştırılarak kontrol edilir. Işık eğrisinin ilk kısmına göre eğri bölümleri eklenir veya çıkarılır.

Alt sınır (eşik) değer, bir biri ardına gelen bölümlerin ortalama akı değerleri arasındaki farkın beş katı olarak tanımlanır. Sıçramalardaki bir günlük bölümlerin tanımı, yalnızca ölçümlerin ikinci gününden çalışmanın bitiminden önceki güne kadar ışık eğrisindeki düzeltmelere imkan verir. Bu sıçramaları tespit etmek ve düzeltmek için otomatik bir



**Çizelge 6.** KIC 6269092 (sol) ve KIC 7899428 (sağ) yıldızları için hesaplanan ilk 10 frekans değeri.

| Frekans Sırası | Frekans<br>(gün <sup>-1</sup> ) | Genlik<br>(kadir) | Frekans Sırası | Frekans<br>(gün <sup>-1</sup> ) | Genlik<br>(kadir) |
|----------------|---------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| $f_1$          | 0.06191791                      | 0.022633          | $f_1$          | 0.08702591                      | 1.053254          |
| $f_2$          | 0.12264826                      | 0.012481          | $f_2$          | 0.00076468                      | 0.017158          |
| $f_3$          | 0.06059832                      | 0.016062          | $f_3$          | 0.08701685                      | 1.010509          |
| $f_4$          | 0.12317569                      | 0.011456          | $f_4$          | 0.17392572                      | 0.009668          |
| $f_5$          | 0.06429302                      | 0.498463          | $f_5$          | 0.00297937                      | 0.00939           |
| $f_6$          | 0.05983597                      | 0.006732          | $f_6$          | 0.17521432                      | 0.005261          |
| $f_7$          | 0.06253131                      | 0.006354          | $f_7$          | 0.00233810                      | 0.004954          |
| $f_8$          | 0.120616775                     | 0.005339          | $f_8$          | 0.08982896                      | 0.004260          |
| $f_9$          | 0.00180428                      | 0.008416          | $f_9$          | 0.08607952                      | 0.012298          |
| $f_{10}$       | 0.12154644                      | 0.00505747        | $f_{10}$       | 0.17461234                      | 0.006315          |

algoritma bulunmamaktadır. Zaman serilerinin bu kısımları incelenir ve gerekirse elle düzeltilmesi yapılır (Van Cleve et al. 2010).

### 3.6 Eğilimler

Eğilimler, genellikle sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanan ve birkaç gün süren küçük, düşük frekanslı bozulmalar olarak tanımlanır. Analiz öncesinde bu tür eğilim bozulmalarının da düzeltilmesi gerekir (García et al. 2005).

## 4 Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, sefeid türü değişen yıldızlar olarak bilinen KIC 6269092 ve KIC 7899428 yıldızlarının *Kepler* uzay teleskobu tarafından sağlanan fotometrik verilerinin frekans analizleri yapılmıştır (Table 6). Frekans analizinde PERIOD04 programı ve Fourier analizi tekniği kullanılmıştır.

Yıldızların hesaplanan zonklama frekansları, Joshi & Joshi (2014) tarafından verilen Bağntı (5) ve (6) ile ifade edilen matematiksel ölçütler dikkate alınarak yorumlanmıştır. Bu ifadelerde  $P$  yıldızların gün biriminde zonklama dönemlerini, *FMCC* Fundamental Mode Classical Cepheid ve *CC* Classical Cepheid yıldızlarını ifade etmektedir.

$$0.01 < \log P < 2.31 \Rightarrow \text{FMCC} \quad (5)$$

$$-0.60 < \log P < 0.77 \Rightarrow \text{CC} \quad (6)$$

### 4.1 KIC 6269092

KIC 6269092 yıldızının frekans analizinde, *Kepler* uzay teleskobunun LC modunda sağladığı fotometrik veri seti kullanılmıştır. Frekans analizinde 142 frekans değerine ulaşılmış ve frekans tayfı da Şekil 7'de gösterilmiştir. Yıldızın ana zonklama frekansının değeri  $f = 0.06091\text{gün}^{-1}$ 'dir. Bu frekans değerine karşılık gelen zonklama dönemi ise  $P = 16.417\text{gün}$ 'dür. Yıldızın ana zonklama frekansına karşılık gelen zonklama döneminin logaritması  $\log P = 1.215$  gün olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan  $\log P$  değerine dayanarak, KIC 6269092 yıldızının, klasik sefeid türü değişen yıldız olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, yıldızın Şekil 8'de verilen normalize ışık eğrisi incelendiğinde de sinüsoidal olmadığı görülmektedir. Işık eğrisinin hem azalan hem de artan kollarında çıkıntılar görülmektedir. Işık eğrisinin biçimine bakılarak yapılacak bir başka yorum ise yıldızın maksimum parlaklığına hızla ulaştığı ve daha sonra parlaklığının giderek azaldığıdır. KIC 6269092 yıldızının normalize ışık eğrisi dört eş parçaya bölünerek daha detaylı olarak Şekil 9'de gösterilmiştir.

KIC 6269092 yıldızı için  $(K_P - V) = 0.008$  kadir hesaplanmıştır. Burada  $V$  ASAS veri tabanındaki görünen parlaklıktır. Çizelge 1'de sunulan verilere göre hesaplanan  $(K_P - V)$  renk indeksinden, yıldızın tayf türünün F0 ile F2 aralığında olabileceğini sonucuna varılmıştır. Bu tayf aralığı yıldızın Çizelge 3'te verilen etkin sıcaklık değeriyle uyumlu değildir.

### 4.2 KIC 7899428

KIC 7899428 yıldızının frekans analizi, *Kepler* uzay teleskobunun uzun poz (LC) modunda yapılan fotometrik gözlem verileri kullanılarak yapıldı. Analiz sonucunda 151 frekans değerine ulaşılmıştır ve frekans tayfı Şekil 10'da gösterilmiştir. Yıldızın hesaplanan ana zonklama frekansı  $f = 0.08761\text{gün}^{-1}$ 'dir ve bu frekansa karşılık gelen zonklama dönemi de  $P = 11.414$  gündür. Yıldızın zonklama döneminin logaritması  $\log P = 1.057$  gün hesaplanmıştır. Hesaplanan  $\log P$  değerine dayanarak, KIC 7899428 yıldızının klasik sefeid türü değişen yıldız olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca yıldızın Şekil 11'de verilen normalize ışık eğrisi incelendiğinde sinüsoidal bir biçime sahip olmadığı görülmektedir.

Hesaplanan  $\log P$  değerinin Bağntı (5) ile verilen matematiksel ölçüte göre yorumundan hareketle, KIC 7899428 yıldızının temel mod klasik sefeid olabileceği sonucuna varılmıştır. Yıldızın Şekil 11'de verilen ışık eğrisi incelendiğinde, ışık eğrisinin hem azalan hem de artan kollarında asimetrik yapılar ve çıkıntılar olduğu görülmektedir. KIC 7899428 yıldızının normalize ışık eğrisi dört eş parçaya bölünerek daha detaylı olarak Şekil 12'de gösterilmiştir.

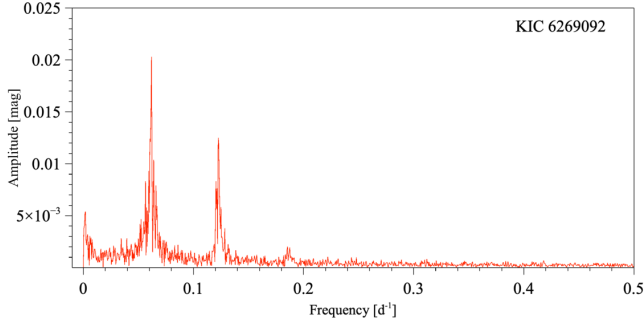
KIC 7899428 yıldızı için  $(K_P - V) = -0.16$  kadir hesaplanmıştır. Burada  $V$  yıldızın ASAS veri tabanından okunan parlaklık verisidir. Çizelge 1'de sunulan verilere göre hesaplanan  $(K_P - V)$  renk indeksinden yıldızın tayf türünün K0 ile K5 aralığında olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu tayf aralığı yıldızın Çizelge 5'de verilen etkin sıcaklık değeri ile uyumludur.

## 5 Teşekkür

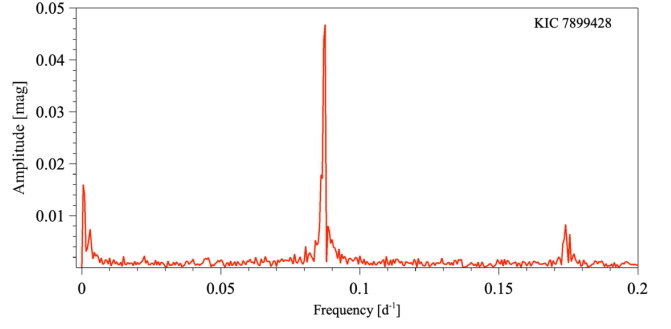
Bu çalışmanın hazırlanmasında çalışma ortamı sağlayan Konya Bilim Merkezi'ne ve  $\text{\LaTeX}$  yazımlarında yardımları için Sayın Dr. Nurten FLİZ AK'a teşekkür ederiz. Burada anlatılanlar ilk olarak 22 Ekim 2021 tarihinde çevrimiçi olarak Ege Üniversitesi Gözlemevi tarafından düzenlenen çalıştayda sunulmuştur.

## Kaynaklar

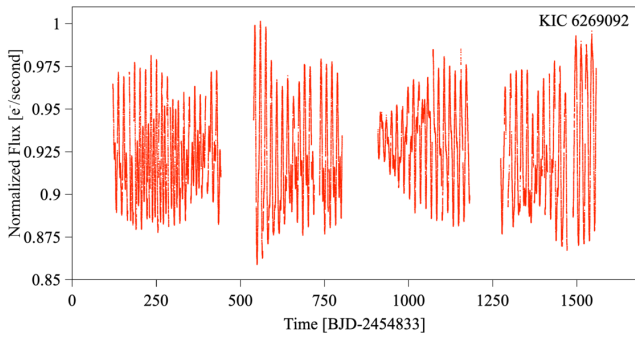
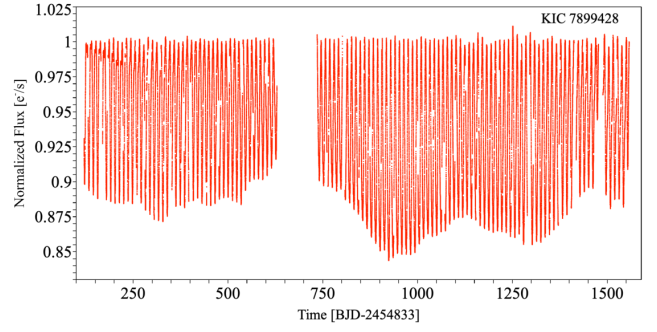
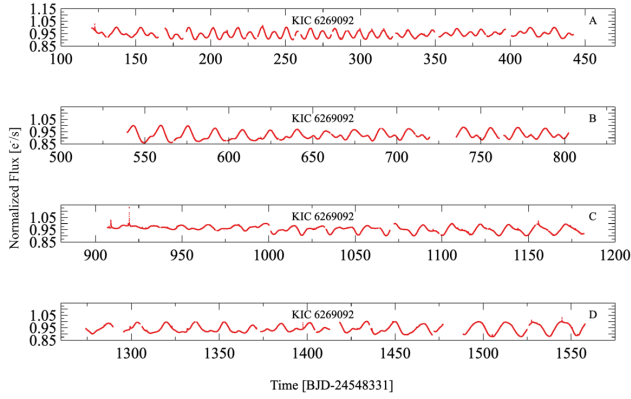
Akerlof C., et al., 2000, The Astronomical Journal, 119, 1901



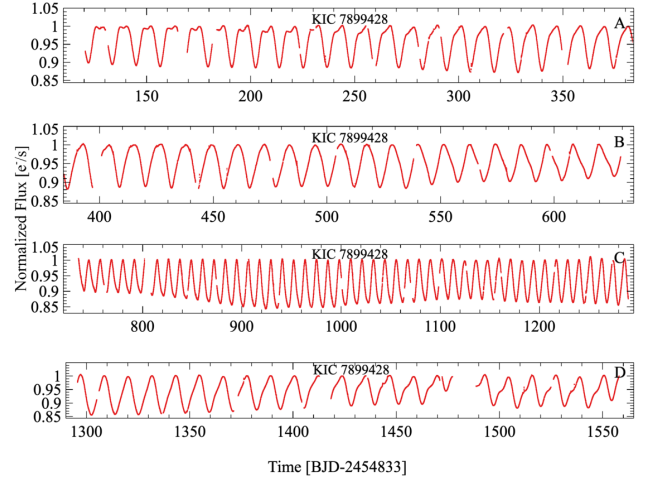
Şekil 7. KIC 6269092 yıldızının frekans tayfı.



Şekil 10. KIC 7899428 yıldızının frekans tayfı.

Şekil 8. KIC 6269092 yıldızının normalize edilmiş *Kepler* fotometrik veri setini temsil eden ışık eğrisi.Şekil 11. KIC 7899428 yıldızının normalize edilmiş *Kepler* fotometrik veri setini temsil eden ışık eğrisi.

Şekil 9. KIC 6269092 yıldızının normalize ışık eğrisinin daha detaylı olarak gösterimi. Tüm gözlem süresi dört parçaya bölünerek A, B, C, D panellerinde verilmiştir.



Şekil 12. KIC 7899428 yıldızının normalize ışık eğrisinin daha detaylı olarak gösterimi. Tüm gözlem süresi dört parçaya bölünerek A, B, C, D panellerinde verilmiştir.

- Antonello E., Broglia P., Conconi P., Mantegazza L., 1986, *Astronomy & Astrophysics*, 169, 122, [ADS](#)
- Blomme J., et al., 2010, *The Astrophysical Journal Letters*, 713, L204
- Borucki W. J., et al., 2010, *Science*, 327, 977
- Brown T. M., Latham D. W., Everett M. E., Esquerdo G. A., 2011, *The Astronomical Journal*, 142, 112
- Davenport J. R., 2016, *The Astrophysical Journal*, 829, 23
- Deb S., Singh H. P., 2009, *Astronomy & Astrophysics*, 507, 1729
- Debosscher J., Sarro L., Aerts C., Cuypers J., Vandenbussche B.,

- Garrido R., Solano E., 2007, *Astronomy & Astrophysics*, 475, 1159
- Farmer R., Kolb U., Norton A., 2013, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, 1133
- García R., et al., 2005, *Astronomy & Astrophysics*, 442, 385
- García R., et al., 2011, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters*, 414, L6

- Gilliland R. L., et al., 2010a, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 122, 131
- Gilliland R. L., et al., 2010b, *The Astrophysical Journal Letters*, 713, L160
- Haas M. R., et al., 2010, *The Astrophysical Journal Letters*, 713, L115
- Hendry M. A., Tanvir N. R., Kanbur S. M., 1999, in Egret D., Heck A., eds, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 167, Harmonizing Cosmic Distance Scales in a Post-HIPPARCOS Era*. pp 192–197
- Jin H., Kim S.-L., Lee C.-U., Lee D.-J., Kim K.-S., 2004, *The Astronomical Journal*, 128, 1847
- Joshi Y. C., Joshi S., 2014, *New Astronomy*, 28, 27
- Kinemuchi K., Barclay T., Fanelli M., Pepper J., Still M., Howell S. B., 2012, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 124, 963
- Koch D. G., et al., 2010, *The Astrophysical Journal Letters*, 713, L79
- Lenz P., Breger M., 2005, *Communications in Asteroseismology*, 146, 53
- Mantegazza L., Poretti E., 1992, *Astronomy & Astrophysics*, 261, 137, [ADS](#)
- Moskalik P., Poretti E., 2003, *Astronomy & Astrophysics*, 398, 213
- Ngeow C.-C., Kanbur S. M., Nikolaev S., Tanvir N. R., Hendry M. A., 2003, *The Astrophysical Journal*, 586, 959
- Paczyński B., Szczygieł D., Pilecki B., Pojmański G., 2006, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 368, 1311
- Pigulski A., Pojmanski G., Pilecki B., Szczygieł D., 2009, *Acta Astronomica*, 59, 33
- Poretti E., 2001, *Astronomy & Astrophysics*, 371, 986
- Sarro L., Debosscher J., Aerts C., López M., 2009, *Astronomy & Astrophysics*, 506, 535
- Schaltenbrand R., Tammann G. A., 1971, *Astronomy & Astrophysics Supplement*, 4, 265, [ADS](#)
- Simon N. R., Lee A. S., 1981, *Astrophysical Journal*, 248, 291
- Smith J. A., et al., 2002, *The Astronomical Journal*, 123, 2121
- Sperl M., 1998, *University of Vienna*, 111, 1
- Van Cleve J., Jenkins J., Caldwell D., et al., 2010, *NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA*

**Access:**M22-0301: [Turkish J.A&A](#) — Vol.3, Issue 3.