

## Kısa Dönemli Değen Çift Yıldızın İlk Fotometrik Analizi: KIC3848042

Muhittin ŞAHAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Osmaniye, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6716-8463>

\*Sorumlu yazar: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.01.2022

Kabul tarihi:02.09.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

#### Anahtar Kelimeler:

W UMa türü çift yıldız

Işık eğrisi analizi

Değen çift sistemler

KIC3848042

Bu çalışma, Kepler'in görüş alanında W UMa türü değen çift sistem olan 0.4114527 gün yörünge periyotlu KIC3848042'nin ilk fotometrik analizini vermektedir. Fotometrik veriler Wilson-Devinney tabanlı PHOEBE kodu kullanılarak modellenmiştir. Işık eğrisi modellemesinin sonuçlarından, sistemin en iyi çözümü için kütle oranı ( $q$ ) 2.12, yörünge eğikliği  $34.0 \pm 0.1$ , birinci (baş) bileşenin sıcaklığı 6440 K (daha düşük kütleli) ve yüzey potansiyelleri ( $\Omega_1 = \Omega_2$ )  $2.80 \pm 0.01$  olarak bulunmuştur. Sonuçlar, KIC3848042'nin, % 8.3'lik doldurma oranına sahip değen bir çift yıldız sistemi olduğunu göstermektedir. KIC3848042'nin birinci ve ikinci (yoldaş) bileşenleri için kütle, yarıçap ve ışınım güçleri sırasıyla  $M_1 = 0.77 \pm 0.24 M_{\odot}$ ,  $M_2 = 1.64 \pm 0.85 M_{\odot}$ ,  $R_1 = 0.99 \pm 0.25 R_{\odot}$ ,  $R_2 = 1.41 \pm 0.35 R_{\odot}$  ve  $L_1 = 1.53 \pm 0.22 L_{\odot}$ ,  $L_2 = 2.97 \pm 1.24 L_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, mutlak ve bolometrik parlaklıkları sırasıyla  $M_{V,1} = 4^m.71 \pm 0.43$ ,  $M_{V,2} = 3^m.99 \pm 0.36$  ve  $M_{bol,1} = 4^m.31 \pm 0.68$ ,  $M_{bol,2} = 3^m.59 \pm 1.19$  olarak hesaplanmıştır. Sisteme olan mesafe  $1.94 \pm 0.33$  kpc olarak bulunmuştur. Bileşenlerin tayf türleri yaklaşık olarak F7V olduğu görülmektedir. Kütle oranı, periyot, tayf türü ve birinci bileşenin sıcaklığı ( $T_1 > T_2$ ) göz önüne alındığında, KIC3848042 ana kolda W-alt türü W UMa örten çift yıldız sistemidir.

## The First Photometric Analysis of Short-Period Contact Binary Star: KIC3848042

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 27.01.2022

Accepted: 02.09.2022

Published online: 12.12.2022

#### Keywords:

UMa type binary stars

Light curve analysis

Contact binary systems

KIC3848042

This study gives the first photometric analysis of W UMa type eclipsing contact binary KIC3848042 with an orbital period of 0.4114527 days in the Kepler field of view. The photometric data were modeled using the PHOEBE code based on the Wilson-Devinney code. According to the results obtained from light-curve modeling, it was found that the best solution for system was to be a mass ratio ( $q$ ) of 2.12, orbital inclination of  $34.0 \pm 0.1$ , temperature of the primary component of 6440 K (less massive), and surface potentials ( $\Omega_1 = \Omega_2$ ) of  $2.80 \pm 0.01$ . The results show that KIC3848042 is a contact binary system with a fill-out factor of 8.3 %. The masses, radii and luminosities were calculated to be  $M_1 = 0.77 \pm 0.24 M_{\odot}$ ,  $M_2 = 1.64 \pm 0.85 M_{\odot}$ ,  $R_1 = 0.99 \pm 0.25 R_{\odot}$ ,  $R_2 = 1.41 \pm 0.35 R_{\odot}$  and  $L_1 = 1.53 \pm 0.22 L_{\odot}$ ,  $L_2 = 2.97 \pm 1.24 L_{\odot}$  for the primary and secondary components of the KIC3848042, respectively. Moreover, their absolute and bolometric magnitudes were calculated to be  $M_{V,1} = 4^m.71 \pm 0.43$ ,  $M_{V,2} = 3^m.99 \pm 0.36$  and  $M_{bol,1} = 4^m.31 \pm 0.68$ ,  $M_{bol,2} = 3^m.59 \pm 1.19$ , respectively. Distance to the binary system was found to be  $1.94 \pm 0.33$  kpc. The spectral type of the components seems to be approximately F7V. Considering the mass ratio, period, spectral type, and temperature of the first component ( $T_1 > T_2$ ), KIC3848042 is a W-subtype W UMa eclipsing binary system in the main sequence.

## 1. Giriş

W UMa türü (EW) değişen yıldızlar, yörünge dönemleri kısa ( $0.2 < P < 0.8$  gün) olan değen ya da aşırı değen çift yıldız sistemleridir. Bileşenlerinin her biri çekirdeklerinde hidrojen yakan ve tayf türleri genellikle A ile K aralığında bulunan birer ana kol yıldızıdır. Bu sistemlerin kütle oranları ( $q = M_2/M_1$ ) düşük ( $0.08 < q < 0.8$ ) ve bileşen yıldızlar ortak bir zarf içerisinde bulunduğundan neredeyse eşit derinlikli iki minimumları olan ve süreklilik gösteren ışık eğrileri vardır (Lucy, 1968; Rucinski, 1986; Skelton ve Smith, 2009; Joshi ve ark., 2016). Minimumlarının yaklaşık eşit derinlikte olması bileşenlerin yaklaşık olarak eşit yüzey sıcaklıklarına sahip olduklarını göstermektedir.

EW türü sistemlerde bileşen yıldızlar, birbirlerine uyguladıkları karşılıklı tedirginlik sonucu küresellikleri bozulmuş elipsoid bir şekle sahiptirler ve bileşen yıldızlar Roche loblarını doldurdıkları için ortak bir zarf içerisinde bulunurlar (Lucy, 1968). Işık eğrilerinde minimum derinliklerinin birbirine yakın olması, örtme ve örtülme sırasında neredeyse eşit miktarda ışınım gücü kaybı nedeniyle gerçekleşir. Bu evrelerde renk değişimlerinin de benzer şekilde gerçekleşiyor olması bileşen yıldızların sıcaklıklarının birbirlerine yakın olmasını gerektirmektedir. Kütle ve yarıçapları birbirinden farklı olmasına rağmen sıcaklıklarının birbirine yakın olması, ancak sistemi oluşturan bileşen yıldızların ortak bir zarf içerisinde bulunması durumunda mümkündür. EW türü sistemlerin yörünge dönemlerinin çok kısa olmasından dolayı, araştırmacılar tarafından fotometrik olarak gözlemlerinin en çok yapıldığı sistemlerdir.

Binnendijk (1970), W UMa türü çift yıldızlarının özelliklerini incelemiş ve bu tür sistemleri W-alt türü ve A-alt türü olmak üzere iki gruba ayırmıştır. A-türü sistemlerde büyük kütleli bileşen daha yüksek etkin sıcaklığa sahipken, W-türü sistemlerde küçük kütleli bileşen daha yüksek etkin sıcaklığa sahiptir (Binnendijk 1970; Lucy ve Wilson, 1979; Wadhwa, 2005; Skelton ve Smith, 2009). Bunun yanı sıra sınıflandırmanın yapıldığı bazı durumlara ise şu şekilde özetlenebilir. Genellikle, erken tayf (A-F) türlerinden olan A-alt türü çift yıldızların başlangıçta kütleleri  $1,8 \pm 0.1 M_{\odot}$ 'den daha büyük iken, geç tayf (G-K) türünden olan W-alt türü çift yıldızları bundan daha düşük kütleyle sahiptirler (Csizmadia ve Klagiyevik, 2004; Wadhwa, 2005; Skelton ve Smith, 2009; Yıldız ve Doğan, 2013). Kütle-Yarıçap ve Kütle-Işınım gücü diyagramlarına dayanılarak yapılan bazı çalışmalarda, A-alt türü çift yıldızların W-alt türlerine göre daha fazla evrimleştiği öne sürülmesine rağmen (Hilditch ve ark., 1988; Hilditch, 1989), Gazeas ve Niarchos (2006) toplam kütleleri ve toplam açısal momentumları daha büyük olan A-türü sistemlerin W-türlerinden daha fazla evrimleşemeyeceğini göstermişlerdir. W-alt türleri anakol kol yıldızları iken A-alt türleri ise genellikle anakoldan ayrılmak üzeredirler. A-alt türleri genellikle daha düşük kütle oranlarına ( $q = M_2/M_1 < 0.3$ ) sahipken, W-alt türleri ise genellikle daha yüksek kütle oranına ( $q > 0.3$ ) sahiptirler (Csizmadia ve Klagiyevik, 2004; Wadhwa, 2005; Skelton ve Smith, 2009). A-alt türü çift yıldızların bir birlerine değme (taşma) değme dereceleri ( $f$ ) W-alt

türlerinininkine göre daha yüksektir (Lucy ve Wilson, 1979; Wilson, 1979; Skelton ve Smith, 2009). Evre-renk ilişkisine göre daha mavi renkte olan A-alt türü çiftler genellikle daha uzun yörünge dönemlerine ( $0.4 < P < 0.8$  gün) sahipken, daha kırmızı olan W-türü çift yıldızlar ise daha kısa yörünge dönemlerine ( $0.22 < P < 0.4$  gün) sahiptirler (Wadhwa, 2005; Gazeas ve Stepien, 2008; Rucinski, 1986; Skelton ve Smith, 2009).

Bu çalışmada, Kepler kataloğundan seçilen W UMA türü aşırı değen KIC3848042 çift yıldız sisteminin fotometrik analizi ilk kez yapılmış ve sisteme ilişkin mutlak parametreler elde edilmiştir. Çalışmaya ilişkin ayrıntılar ve ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

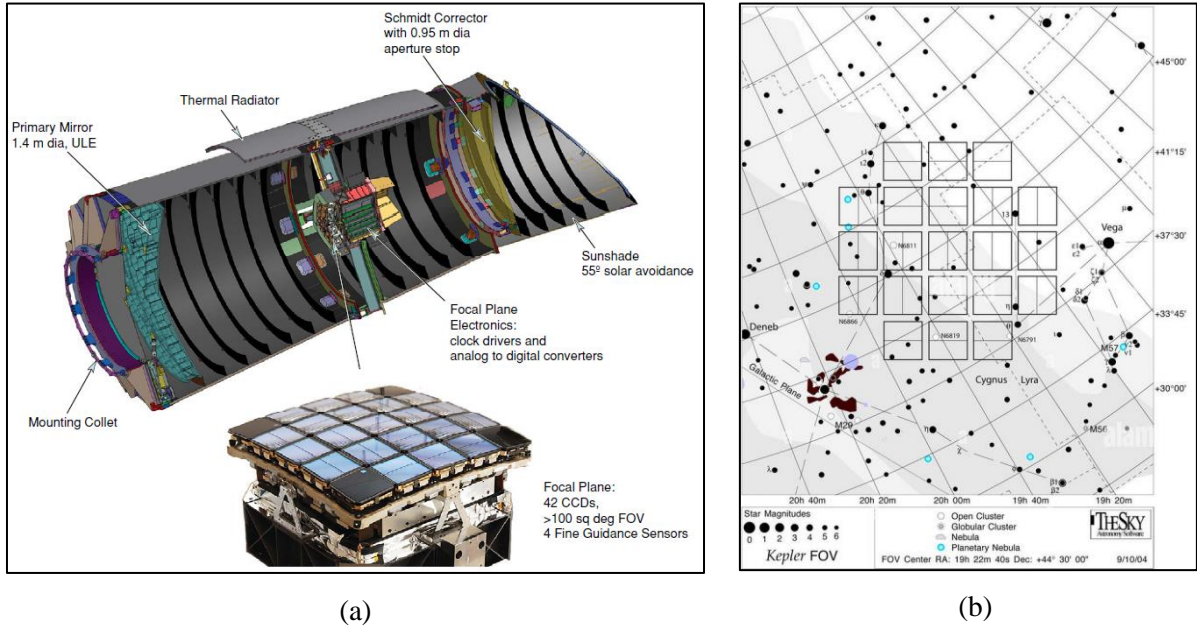
Kepler uzay teleskopu (Şekil 1a), Samanyolu Gökadamızın Orion kolunda yer alan Cygnus, Draco ve Lyra takımyıldızlarının bulunduğu bölgelerde (Şekil 1b) güneş benzeri yıldızların çevrelerindeki dünya benzeri gezegenlerin varlığını araştırmak ve gezegenlerin özelliklerini belirlemek amacıyla geçiş fotometrisi gözlemleri yapabilecek şekilde NASA tarafından tasarlanmış ve Mart 2009 uzaya fırlatılmış ve Mayıs 2013'e kadar ~200.000'den fazla yıldızın fotometrik gözlemini yapmıştır. 95 cm çaplı açıklığına ve  $105 \text{ derece}^2$  ( $\sim 12^\circ$  çaplı) görüş alanına (Field of View: FOV) sahip olan Schmidt türü Kepler teleskopunun odak düzlemi üzerinde her birinin genişliği 50x25mm olan 2200x1024 piksel boyutlu 42 tane CCD kamerası bulunmaktadır<sup>1</sup>. CCD'lerin üzerindeki piksellerin saturasyona uğramaması için pikseller üzerindeki veriler her üç saniyede bir okunur ve veriler 30 dakikalık poz süresince alınır (Abdul-Masih ve ark., 2016; Caldwell ve ark., 2010; Koch ve ark., 2010; Kolenberg ve ark., 2010; Matijevic ve ark., 2012).

Kepler uydusunun uzayda gördüğü görüş alanının yerini gösteren harita ( $\alpha_{2000} = 19^{\text{sa}} 22^{\text{dk}} 40^{\text{sn}}$ ,  $\delta_{2000} = +44^\circ 30' 00''$ ) Şekil 1b'de verilmiştir. Harita üzerindeki dikdörtgenler, uydunun 42 tane CCD'nin düzenini göstermektedir (Matijevic ve ark., 2012; Thompson ve ark., 2016; van Cleve ve ark., 2016). Uydu, 2009-2013 yılları arasında dünya benzeri öte-gezegenlerin varlığını araştırırken, aynı zamanda, benzer yöntemi kullanarak bakış doğrultumuzda bir yıldız diğerinin önünden geçtiğinde ışık eğrilerinde periyodik olarak örten değişen sistemleri de tespit etmek için kullanılmıştır. Bu nedenle, öte-gezegen arayışında önemli veriler elde etmenin yanı sıra, Kepler'in önemli bir misyonu da, görüş alanında bulunan yaklaşık 2165 örten değişen sistemlerin de gözlemlerini yapmıştır (Matijevic ve ark., 2012; Slawson ve ark., 2011).

Kepler uydusunun 512 hedef için kısa poz ( $\sim 1$  dk) (Short Cadence: SC) ve 170.000 hedef uzun poz ( $\sim 30$  dk) (Long Cadence: LC) olmak üzere iki adet gözlem seçeni bulunmaktadır. Teleskopun gözlem süreleri üçer aylık dönemler halinde Quarter (Q) adı verilen gözlem zamanlarından oluşmaktadır. Tüm bilimsel verileri 6.02 saniyelik bir integrasyon süresi ile toplanmıştır (Caldwell ve ark., 2010; Kolenberg ve ark., 2010).

---

<sup>1</sup> <http://www.nasa.gov/missionpages/kepler/spacecraft/index.html>



**Şekil 1.** a) Kepler Uzay Teleskobu (Koch ve ark., 2010), b) Kepler uzay teleskobunun gördüğü gökyüzüne ilişkin yıldız haritası (Thompson ve ark., 2016).

Bu çalışmada, Kepler uydusunun görüş alanında (FOV) olan ve Kepler Kataloğunda (Kepler Eclipsing Binary Catalog<sup>2</sup>) bulunan KIC3848042 değen çift yıldız sisteminin fotometrik analizlerini yapmak ve mutlak parametrelerini belirlemek amacıyla Kepler Örtün Çift Yıldız Kataloğundan ilgili sisteme ilişkin ışık eğrisi verileri alınmıştır (Matijevic ve ark., 2012; Prsa ve ark., 2011; Slawson ve ark., 2011). Kepler Kataloğunda belirli parametreleri alınan ve Tablo 1’de Kepler Kataloğunda KIC3848042 (2Mass ID J19231294+3857107;  $\alpha_{2000}=19^{\text{sa}}23^{\text{dk}}12^{\text{sn}}.3941$ ,  $\delta_{2000}=+38^{\circ}57' 10''.673$ ) sistemi için verilmiş parametreler sunulmuştur. KIC3848042 sistemi kısa dönemli ( $P = 0.4114527$  gün), W UMa türü fotometrik ışık eğrisine sahip bir çift yıldız sistemidir.

KIC3848042 çift sistemi 1-17 arasındaki çeyreklerde (Quarter:  $Q_i$ ) ve uzun poz süre (Long Cadence: LC) modunda 30 dakikalık etkili integrasyon süreleriyle gözlenmiştir (Kolenberg ve ark., 2010). Sistemin 1. çeyrek gözlemlerine 13.05.2009 (JD 2454964.51098) tarihidен başlanmış ve 17. çeyrek gözlemleri 11.05.2013 (2456392.22690JD) tarihine kadar yaklaşık dört yıl (1459 gün) boyunca gözlenmiştir. Tablo 1’de verilen morfoloji ifadesi, farklı EB sınıflarını sınıflandırmak için kullanılan bir sınıflandırma (-1.00 ile 1.00 arasında değişen) parametresidir<sup>3</sup>. W-UMa türü çift yıldızların morfolojisi 1.00’a yakın değerler almaktadır.

KIC3848042 çift yıldız sisteminin Kepler Veri Tabanı’ndan alınan Q1-Q17 arasındaki farklı quarter’larda (çeyreklerde) uzun poz süre (Long Cadence: LC) akı değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’de, zamana göre normalize edilmiş ham (a) ve değişimlerden arındırılmış (detrended) (b) evreye göre çözümleme (deconvolved) sonucu normalize edilmiş fotometrik ışık eğrisi de (c) ile (d)

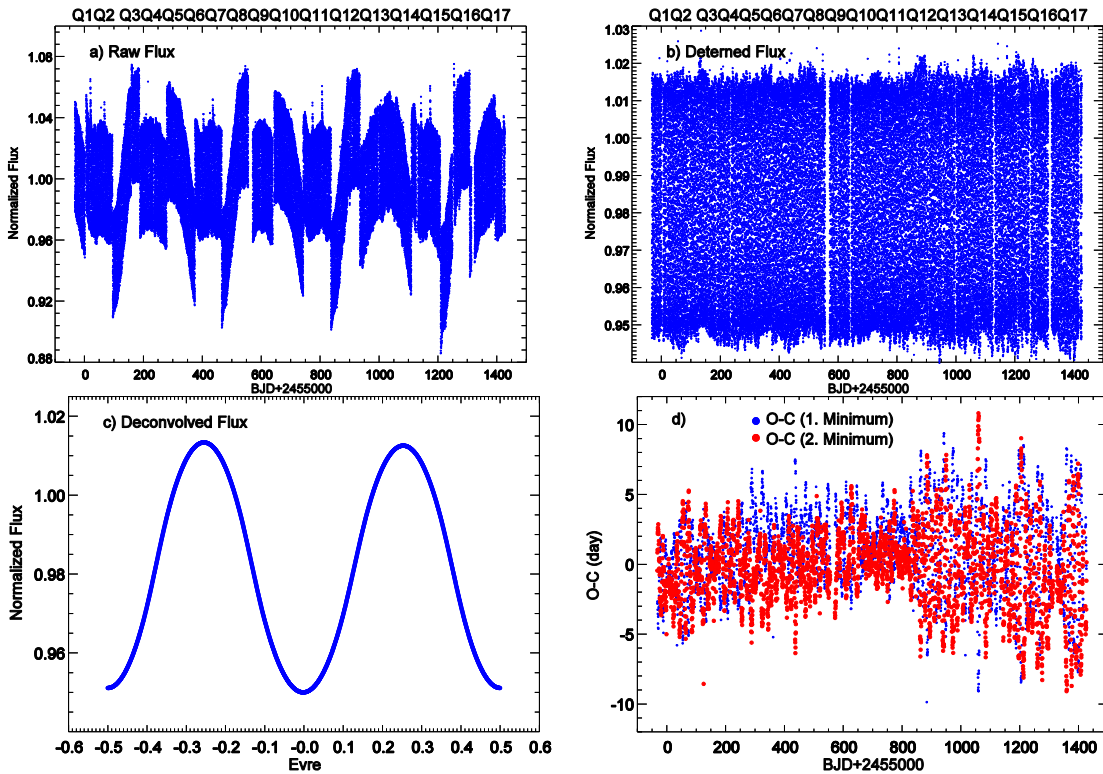
<sup>2</sup> <http://keplerebs.villanova.edu/>

<sup>3</sup> [https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing\\_binaries.html](https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing_binaries.html)

akı değerlerinin yanı sıra birinci (mavi) ve ikinci (kırmızı) minimumlarının O-C eğrilerinin zamana göre değişimleri verilmiştir.

**Tablo 1.** KIC3848042 sisteminin Kepler kataloğundan derlenen bazı parametreleri<sup>4</sup>.

Parametre	Değerler
Kepler ID	3848042
2Mass ID	J19231294+3857107
$\alpha$ (J2000) (sa dk sn)	19 23 12,941
$\delta$ (J2000) ( $^{\circ}$ ' ")	+38 57 10,73
Periyot (P) (gün)	0.4114527 $\pm$ 0.0000003
BJD <sub>0</sub>	2454964.758310 $\pm$ 0.023564
K <sub>p</sub> Kepler Parlaklığı ( <sup>m</sup> )	14,965
Gözlem Başlama Zamanı (JD)	2454964.51098
Gözlem Bitiş Zamanı (JD)	2456392.22690
Log (g) (cms <sup>-2</sup> )	4,746
[Fe/H] metal bolluğu (dex)	0,098
E(B-V) ( <sup>m</sup> )	0,143
Morfoloji	0,99



**Şekil 2.** KIC3848042 çift yıldız sisteminin Kepler veri arşivinden elde edilen a) zamana karşılık-ham akı değerleri, b) zamana karşılık-değişimlerden arındırılmış (detrended) akı değerleri, c) evreye karşılık çözümleme (deconvolved) akı değerleri d) zamana karşılık-O-C değişimi<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> [https://archive.stsci.edu/kepler/data\\_search/search.php?action=Search&ktc\\_kepler\\_id=3848042](https://archive.stsci.edu/kepler/data_search/search.php?action=Search&ktc_kepler_id=3848042)

Bu çalışma kapsamında çalışılan KIC3848042 çift yıldız sisteminin ışık eğrisi analizlerini yapmak ve yörünge ve fiziksel parametrelerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan Wilson–Devinney (WD) programı üzerine inşa edilmiş olan (Wilson ve Devinney, 1971; Wilson, 1990, 2008) PHOEBE (Physics of Eclipsing Binaries) grafiksel ara yüz yazılım paketi kullanılmıştır (Prsa ve Zwitter, 2005; Prsa, 2011; Prsa ve ark., 2011). KIC3848042 aşırı değen EW türü çift yıldız sistemi olduğu için astrofiziksel olarak kabul edilebilir uygun bir çözüm elde edilebilmek için Wilson-Devinney kodunun Model 3 (overcontact binary not in thermal contact) seçeneğini kullanılmıştır. PHOEBE’de elde edilen fotometrik parametreler (yörünge parametreleri) BM3 (Binary Maker 3.0) programında (Bradstreet ve Steelman, 2004) kullanılarak KIC3848042 çift yıldız sisteminin birinci (baş) ve ikinci (yoldaş) bileşenlerin değişik evrelerdeki üç boyutlu ve Roche lobu geometrileri elde edilmiş ve W UMA sistemin değen/aşırı değen olup olmadığına bakılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

KIC3848042 çift yıldız sisteminin temel yörünge parametrelerini belirlemek için yukarıda belirtildiği gibi PHOEBE programı (Prsa, 2011; Prsa ve Zwitter, 2005; Prsa ve ark., 2011) kullanılmıştır. Sistem tayfsal olarak hiç gözlemlenmediği göz önüne alındığında, ışık eğrisi analizlerini yapmak için ilk adım olarak, fotometrik kütle oranını ilk tahminlerini yapmak için  $q$  –taraması yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, PHOEBE’de sistemin yörünge parametrelerinin ilk tahminini belirlemek amacıyla fark kareleri toplamı yöntemi ( $\Sigma(O-C)^2$ ) kullanılarak ölçülen ile hesaplanan değerler arasındaki en düşük değere ulaşıncaya kadar  $q$ -taraması gerçekleştirilmiştir. PHOEBE programı kullanılarak sistem için elde edilen ışık eğrisi üzerine en uygun teorik fit uydurulmaya çalışılmıştır. Fit uydurma işlemi W-D programında üretilen fark kareleri toplamının değerleri en küçük oluncaya kadar analiz yapılmıştır. Tarama için alınan serbest ve sabit parametreler belirlenip, taramada her bir yörünge eğim açısına ( $i=28-30-32-34-36-38-40$ ) karşılık kütle oranı  $1.745 \leq q \leq 2.685$  ( $0.372 \leq 1/q \leq 0.572$ ) arasında 0.01 adım arttırarak  $q$  değerinin, gözlenen ve hesaplanan (sentetik/kuramsal) ışık eğrileri (yani,  $\Sigma(O-C)^2$ ) arasındaki artıklarda bir minimum elde edilene kadar tarama yapılmıştır. Buna göre en uygun yörünge eğim açısının  $i = 34^\circ.0$  olduğuna karar verilmiştir.

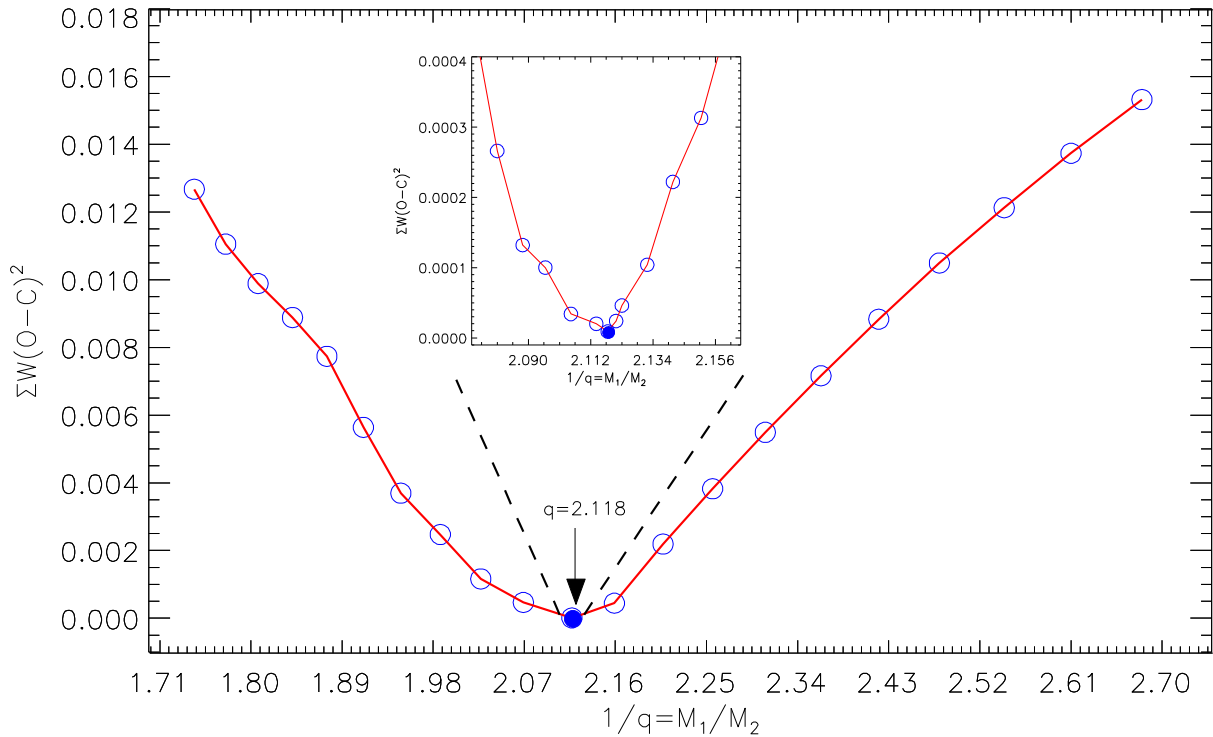
Bu işlem sırasında ağır kütleli ikinci bileşenin yüzey sıcaklığı ( $T_2$ ) ve düşük kütleli baş bileşenin ışınım gücü ( $L_1$ ) sabit tutulurken,  $q$  kütle oranı ( $M_2/M_1$ ),  $i$  yörünge eğim açısı, birinci bileşenin  $T_1$  ortalama sıcaklığı ve yoldaş bileşenin ışınım gücü ( $L_2$ ) serbest parametreler olarak alınmıştır. İkinci yıldızın etkin sıcaklığı, ( $T_{eff}$ )  $T_2 = 6398 K$  (Tablo 1) sabit tutulmuştur. Bileşen yıldızların sıcaklıklarının birbirlerine yakın olduğunu dikkate alarak çekim kararına katsayıları ( $g_1=g_2$ ) ve bolometrik

lbedo değerleri ( $A_1=A_2$ ) sırasıyla 0.50 (Rucinski, 1969) 0.32 (Lucy, 1967) ) olarak alınmıştır. Ayrıca, birinci ve ikinci bileşenlerinin boyutsuz yüzey potansiyelleri eşit alınmıştır ( $\Omega_1 = \Omega_2$ ). Yapılan  $q$

---

<sup>5</sup> <http://keplerebs.villanova.edu/overview/?k=3848042>

taraması, sistemdeki birinci ve ikinci bileşen yıldızların Roche lobunu doldurduğu ve iç Lagrange noktasını doldurup dışarı taşıdığı varsayarak Mod 3 (yani overcontact binary not in thermal contact) kullanılmıştır.  $q$  taraması yapılırken her  $q$  değeri için, Gözlemsel ışık eğrisi ile model (teorik) ışık eğrisi arasında oluşturulan fark kare toplamının (yani,  $\Sigma(O-C)^2$ ) en küçük değere ulaşmaya kadar ve ışık eğrisi model en uygun bir çözüme yaklaşıncaya kadar yukarıda bahsedilen serbest bırakılan parametreler ( $i$ ,  $T_1$ ,  $\Omega_1$ ,  $L_1$ ) tekrarlanmıştır. Tarama süresince, bolometrik kenar kararırma katsayıları, kenar kararırma katsayılarının değerleri ve yansıma katsayıları için van Hamme (1993) tabloları kullanılmış ve PHOEBE programı bu değerleri otomatik olarak ayarlamıştır.  $q$  taramasında fark kareleri toplamı ( $\Sigma(O-C)^2$ ) ile  $q$  kütle oranı arasındaki ilişki Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3’de görüldüğü gibi en küçük fark kare toplamına ( $\Sigma(O-C)^2=0.000019$ ) en uygun  $q=2.12$  ( $1/q=0.47$ )’de (içi dolu kırmızı nokta) ulaşılmıştır.  $q$  oranına 2.12 civarında daha hassas bakmak için  $q$ ’nun 2.07 ile 2.16 aralığındaki hassas taraması yapılmış ve elde edilen grafik Şekil 3’ün içinde küçük şekil olarak verilmiştir.



**Şekil 3.** KIC3848042 örten çift yıldızı için ( $1.745 \leq q \leq 2.685$ ) arasında değişen  $q$ -taraması

Sonuç olarak,  $q$  taraması ile  $\Sigma(O-C)^2$  değerine bakarak KIC3848042 W UMa değen çift yıldız sisteminin gözlenen ve sentetik ışık arasında en uygun ışık eğrisi modeli elde edilmiştir. Modelleme sonucu elde edilen sentetik ışık eğrisinin en ideal parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de  $\Omega_{1,2}$  boyutsuz bileşen yıldızların eş potansiyel yüzeylerini,  $A_{1,2}$  bileşenlerin yüzey bolometrik albedolarını,  $g_{1,2}$  bileşenlerin çekim kararırma sabitlerini,  $f_{1,2}$  doldurma faktörünü,  $x_{1,2}$  ve  $y_{1,2}$  van Hamme (1993) tablosundan alınan lineer kenar kararırma katsayılarını,  $\Omega_{L1,L2}$  bileşenler arasında birbirini kesen iç (birinci) ve dış (ikinci) Lagrange noktalarını,  $r_{1,2}$  bileşenler arası uzaklıklar cinsinden kesirsel

yarıçaplarını ve  $\Sigma(O-C)^2$  ölçülen değerle ile kuramsal değerler arasındaki artık göstermektedir. Tablo 2’de verilen parametrelerdeki belirsizlikler, PHOEBE’deki Wilson-Devinney programının ürettiği biçimsel hata karşılık gelmektedir.

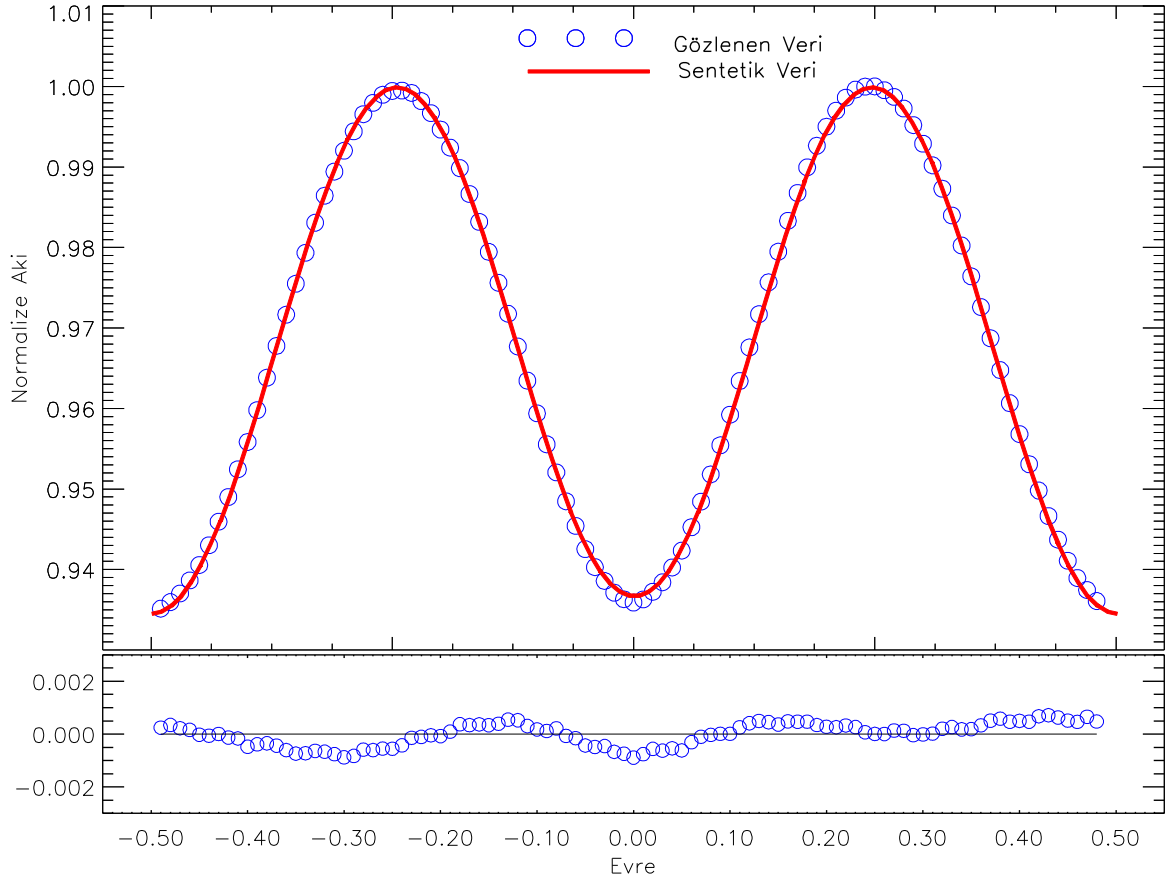
Gözlemlenen ve sentetik ışık eğrilerinin grafikleri de Şekil 4’de birlikte verilmiştir. Şekil 4’de verilen gözlemsel ışık eğrisi için Kepler kataloğundan Q1-Q17 arasındaki tüm quarterler alınmış ve tüm quarterler katlanarak ortalamaları alınmıştır. Şekil 4’de mavi daireler Kepler veri tabanından alınan gözlemsel ışık eğrisini, düz kırmızıçizgi ise PHOEBE programıyla (Prsa, 2011) modellenen en iyi sentetik ışık eğrisini temsil etmektedir. Gözlemsel ve sentetik ışık eğrileri arasındaki farkları gösteren artık değerleri eğrinin altında verilmiştir.

KIC3848042 sisteminin üç boyutlu geometrik şekillerine ve Roche loblarınınını doldurup doldurmadığına bakmak için sentetik ışık eğri modelinin elde edilen parametreleri Binary Maker 3.0 (BM3) programında (Bradstreet ve Steelman, 2004) girdi parametresi olarak kullanılmış ve sistemin baş ve yoldaş bileşenlerin Şekil 5’de verildiği gibi farklı evrelerdeki (0.00, 0.25, 0.50 ve 0.75) geometrik şekilleri ve Roche geometrisi elde edilmiştir.

**Tablo 2.** PHOEBE kullanılarak KIC3848042’nin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Değerler	Parametre	Değerler
$i$ (°)	34,0±0.1	$y_1$ (bolo)	0,6962
$1/q$ ( $M_1/M_2$ )	2,12	$y_2$ (bolo)	0,6489
$T_1$ (K)	6440±6	$\Omega_{L1}$	2,8236±0.0013
$T_2$ (K)	6398±7	$\Omega_{L2}$	2,5395± 0.0010
$\Omega_1=\Omega_2$ .	2,80±0.01	$r_1$ (kenar)	0,4502± 0.0004
$A_1=A_2$ .	0,5	$r_1$ (kutup)	0,4229± 0.0004
$g_1=g_2$	0,32	$r_1$ (arka)	0,4794± 0.0006
$f_1=f_2$ (%)	8,3	$r_{1ort}$	0,4508± 0.0006
$L_1/(L_1+L_2)$	0,66	$r_2$ (kenar)	0,3127± 0.0002
$L_2/(L_1+L_2)$	0,34	$r_2$ (kutup)	0,2991± 0.0001
$x_1$ (bolo) .	0,1413	$r_2$ (arka)	0,3477± 0.0003
$x_2$ (bolo)	0,0717	$r_{2ort}$	0,3198± 0.0006
		$\Sigma(O-C)^2$	0,000019





**Şekil 4.** KIC3848042 örten çift yıldız sisteminin evreye göre gözlemsel ve sentetik ışık eğrileri (üst) ve gözlenen ve sentetik değerler arasındaki artık değerler (alt).

Radyal hız eğrisi çözümlerinin olmaması nedeniyle, incelenen sistemin aşağıda verilen bazı mutlak parametrelerini belirlemek için literatürden elde edilen ve yörünge dönemi ( $P$ ) ilişkisi kullanan bazı ampirik formüller kullanılmıştır.

Sistemi oluşturan baş ve yoldaş bileşen yıldızların kütleleri güneş kütlesi cinsinden ( $M_{\odot}=1.99 \times 10^{33} gr$ ) (Cox, 2002)

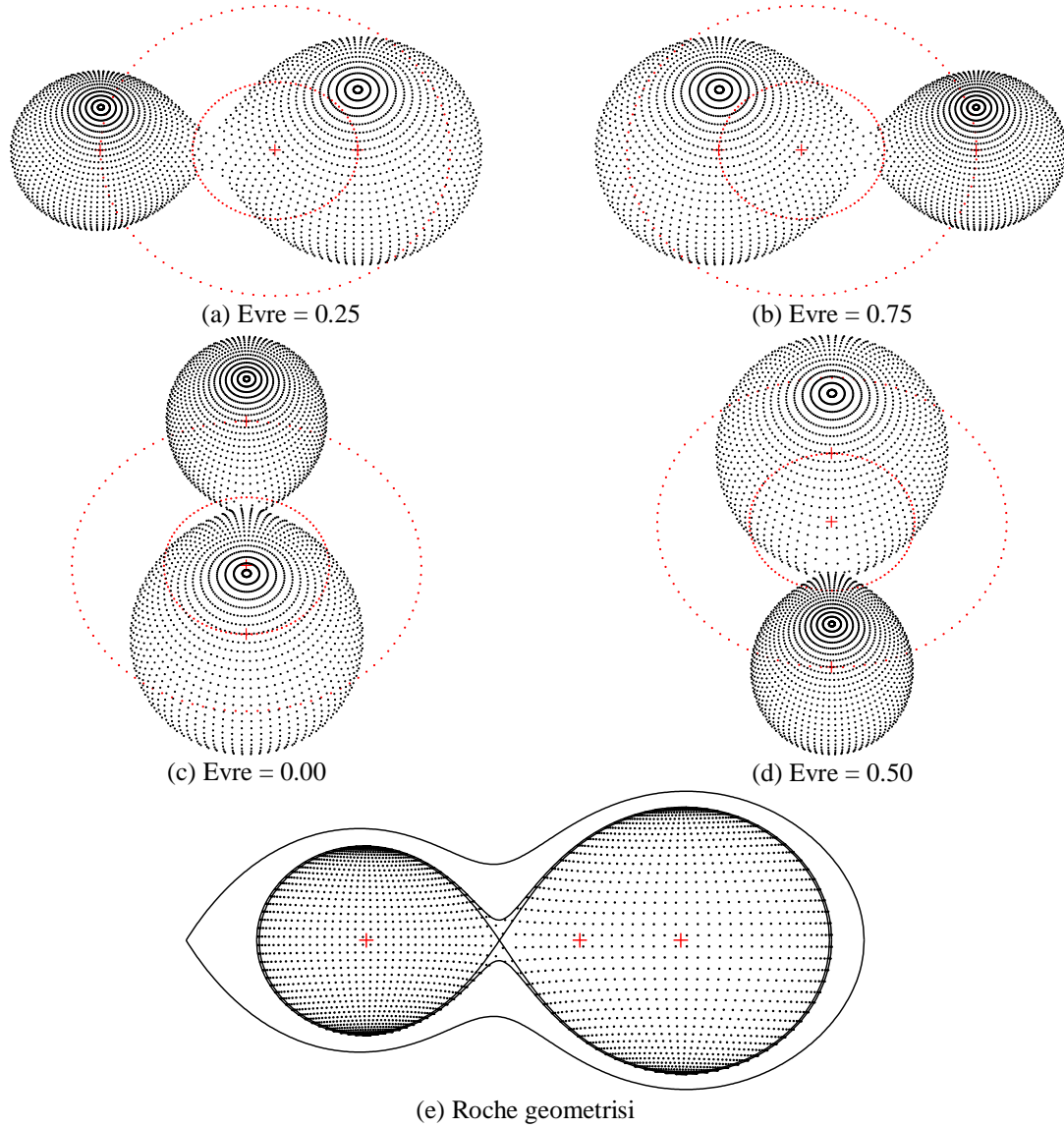
$$\begin{aligned} \log M_1 &= (0.755 \pm 0.059) \log P + (0.416 \pm 0.024) \\ \log M_2 &= (0.352 \pm 0.166) \log P - (0.262 \pm 0.0267) \end{aligned} \quad (1)$$

eşitliği (Gazeas ve Stepień 2008) kullanılarak sırasıyla  $M_1 = 0.769 \pm 0.238 M_{\odot}$ ,  $M_2 = 1.635 \pm 0.850 M_{\odot}$  olarak ve güneş kütlesi biriminde ( $M_{\odot}=1.99 \times 10^{33} gr$ ) (Cox, 2002) sistemin toplam kütlesi de ( $M_T=M_1+M_2$ )  $2.41 \pm 0.55 M_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır.

Güneş yarıçapı ( $R_{\odot} = 6.96 \times 10^5 km$ ) (Cox, 2002) cinsinden bileşenler arasındaki yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a$ );

$$M_T = 0.0134 \frac{a^3}{P^2} \quad (2)$$

eşitliğinden  $a=3.12\pm 0.35 R_\odot$  olarak hesaplanmıştır (Gazeas ve Stepien 2008; Dimitrov ve Kjurkchieva, 2015; Gürol ve ark., 2015).



**Şekil 5.** KIC3848042 çift yıldız sisteminin a) 0.25 b) 0.75, c) 0.0, d) 0.5 evrelerindeki üç boyutlu geometrik temsili görüntüleri ve e) Roche geometrisi.

Tablo 2’de verilen bileşenler için kenar, arka ve kutup yarıçaplarının ortalamaları olan ortalama kesirsel yarıçapları ( $r_{1,2ort}$ ) kullanarak bileşenlerinin yarıçapları

$$R_{1,2} = r_{1,2ort} a \quad (3)$$

Güneş yarıçapı ( $R_{\odot}$ ) cinsinden  $R_1 = 0.99 \pm 0.25 R_{\odot}$ ,  $R_2 = 1.41 \pm 0.35 R_{\odot}$  ( $R_1 < R_2$ ) olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Burada  $R_1$  ve  $R_2$  arasında  $R_2/R_1 = q^{0.46} = 1.41$  ilişkisi vardır.

Stefan Boltzmann yasası kullanılarak bileşenlerin toplam bolometrik ışıma güçleri ( $L_{1,2}$ ) güneş sıcaklığı ( $T_{\odot} = 5780K$ ) (Cox, 2002) ve güneş yarıçapı ( $R_{\odot}$ ) ifadeleri kullanılarak güneşin ışınım gücü cinsinden ( $L_{\odot}$  biriminde,  $3.83 \times 10^{33} \text{ erg/sn}$ ) (Cox, 2002)

$$\frac{L_{1,2}}{L_{\odot}} = \left( \frac{R_{1,2}}{R_{\odot}} \right)^2 \left( \frac{T_{1,2}}{T_{\odot}} \right)^4 \quad (4)$$

eşitliği ile  $L_1 = 1.53 \pm 0.22 L_{\odot}$ ,  $L_2 = 2.97 \pm 1.24 L_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır (Gürol ve ark., 2015).

UMa türü çift yıldız sisteminin toplam mutlak parlaklık ( $M_v$ ) yörünge dönemi cinsinden

$$M_{V,top} = -8.4 \log(P) + 0.31 \quad (5)$$

eşitliği kullanılarak  $M_{v,top} = 3^m.55 \pm 0.31$  olarak elde edilmiştir (Gazeas ve Stepień, 2008). Bileşenlerin mutlak parlaklık ( $M_v$ ) değerleri ise

$$M_{V(1,2)} = M_{V,top} - 2.5 \log \left( \frac{L_{1,2}}{L_1 + L_2} \right) \quad (6)$$

eşitliğinden Tablo 3'de verildiği gibi sırasıyla  $M_{V,1} = 4^m.71 \pm 0.43$  ve  $M_{V,2} = 3^m.99 \pm 0.36$  olarak elde edilmiştir.

Güneşin mutlak bolometrik parlaklığı ( $M_{bol,\odot} = 4^m.74$ ) (Cox, 2002), güneş sıcaklığı ( $T_{\odot}$ ) ve güneş yarıçapı ( $R_{\odot}$ ) cinsinden bileşenlerin mutlak bolometrik parlaklıkları,

$$M_{bol,1,2} = M_{bol,\odot} - 5 \log \left( \frac{R_{1,2}}{R_{\odot}} \right) - 10 \log \left( \frac{T_{1,2}}{T_{\odot}} \right) \quad (7)$$

eşitliği kullanılarak  $M_{bol,1} = 4^m.31 \pm 0.68$  ve  $M_{bol,2} = 3^m.59 \pm 1.19$  olarak hesaplanmıştır (Wesselink, 1969; Gürol ve ark., 2015).

W UMa türü çift yıldız sistemlerinin ( $B-V$ )<sub>0</sub> öz rengi için

$$(B-V)_0 = 0.062 - 1.310 \log(P) \quad (8)$$

eşitliği verilmektedir (Wang, 1994; Gazeas ve Stepień, 2008). Buna göre, KIC3848042 sisteminin öz rengi  $0^m.567$  olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 8'den ( $B-V$ )<sub>0</sub> ve Tablo 1'den  $E(B-V)$  değerleri kullanılarak görünür renk indeksi ( $B-V$ ) değeri

$$(B-V) = (B-V)_0 + E(B-V)_0 \quad (9)$$

eşitliğinden  $0.71$  olarak elde edilmiştir.

Galaksimiz için kabul edilen kızıllaşma miktarına ( $A_v$ )

$$A_v = 3.1 \times E(B-V) \quad (10)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada E(B-V) renk artığıdır. KIC3848042 sistemi için Tablo 1’de verildiği gibi  $E(B-V) = 0^m.143$ ’dir.

Tablo 1’de verilen sistemin görünür parlaklık değeri ( $m_v = 14^m.965$ ) ve Eşitlik 6’dan elde edilen mutlak parlaklık değeri ( $M_v = 3^m.97$ ) kullanılarak sistemin uzaklığı (d)

$$m_v - M_v = +5 \log(d) - 5 + A_v \quad (9)$$

eşitliğinden  $d = 1.94 \pm 0.33$  kpc olarak bulunmuştur. Burada  $m_v - M_v$  uzaklık modülüdür. KIC3848042 sistemi için Gaia uydusundan ölçülen trigonometrik paralaks değeri  $p = 0.4161020297560 \pm 0.018900383$  mas (milliarsecond: mas) olarak verilmiştir. Bu değeri uzaklık birimine çevirdiğimizde ( $d = 1/\tan(p) \approx 1/p$ )  $d = 2.40$  kpc olarak elde edilir.

Sonuç olarak, yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak elde edilen mutlak parametreler Tablo 3’de özetlenmiştir.

**Tablo 3.** KIC3848042'nin ışık eğrisi çözümünden elde edilen mutlak parametre değerleri.

Parametre	Değerler	Parametre	Değerler
$a (R_\odot)$	$3,12 \pm 0.35$	$M_{V,top}^{(m)}$	$3,56 \pm 0.03$
$M_1 (M_\odot)$	$0,77 \pm 0.24$	$M_{V,1}^{(m)}$	$4,71 \pm 0.43$
$M_2 (M_\odot)$	$1,64 \pm 0.85$	$M_{V,2}^{(m)}$	$3,99 \pm 0.36$
$M_T (M_\odot)$	$2,41 \pm 0.55$	$M_{bol}^{(m)}$	$4,31 \pm 0.68$
$R_1 (R_\odot)$	$0,99 \pm 0.25$	$M_{bol,2}^{(m)}$	$3,59 \pm 1.19$
$R_2 (R_\odot)$	$1,41 \pm 0.35$	$(B-V)_0^{(m)}$	$0,57$
$L_1 (L_\odot)$	$1,53 \pm 0.22$	$(B-V)^{(m)}$	$0,71$
$L_2 (L_\odot)$	$2,97 \pm 1.24$	mesafe (kpc)	$1,94 \pm 0.33$

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Kepler uydusunun görüş alanında olan kısa yörünge dönemli KIC3848042 ( $\alpha_{2000} = 19^s 23^{dk} 12^{sn} 3941$ ,  $\delta_{2000} = +38^\circ 57' 10''.673$ ) W UMa örten çift yıldız sistemi incelenmiştir. Wilson-Devinney programını temel alan PHOEBE yazılımı kullanılarak değen çift yıldız sisteminin fotometrik ışık eğrisi modellenmiş ve temel yıldız parametreleri elde edilmiştir. Sistemin yörünge dönemi ( $P = 0.4114527$  gün) ve yıldızın etkin yüzey sıcaklık değeri ( $T_{eff} = 6398$  K) Kepler Kataloğundan alınmıştır. İlk önce yörünge dış merkezliğinin ( $e$ ) ve üçüncü ışık ( $L_3$ ) sıfır olduğunu varsayılarak detaylı q taraması yapılmıştır.

Analiz sonucu elde edilen fotometrik ışık eğrisi için kütle oranının ( $q = M_2/M_1$ ) 2.12 ( $1/q = 0.47$ ), yörünge eğiklik açısının ( $i$ )  $34.0 \pm 0.10$ , daha küçük kütle ve daha küçük sıcaklığa sahip birinci

bileşenin sıcaklığı ( $T_1$ ) 6440 K ve bileşenlerin boyutsuz yüzey potansiyelleri ( $\Omega_1=\Omega_2$ ) 2.80 olarak elde edilmiştir.

Sistemin yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a$ )  $3.12\pm 0.35 R_\odot$  olarak hesaplanan baş ve yoldaş bileşenin kütleleri  $M_1 = 0.77\pm 0.24 M_\odot$ ,  $M_2 = 1.64\pm 0.85 M_\odot$ , ( $M_1 > M_2$ ), yarıçap değerleri  $R_1 = 0.99\pm 0.25 R_\odot$ ,  $R_2 = 1.41\pm 0.35 R_\odot$  ( $R_1 > R_2$ ), ışınma güçleri  $L_1 = 1.53\pm 0.22 L_\odot$ ,  $L_2 = 2.97\pm 1.24 L_\odot$  ( $L_1 > L_2$ ), mutlak parlaklıkları  $M_{V,1}=4^m.71\pm 0.43$  ve  $M_{V,2}=3^m.99\pm 0.36$  ( $M_{V,top} = 3^m.55\pm 0.31$ ) ve mutlak bolometrik parlaklıkları  $M_{bol,1}=4^m.31\pm 0.68$  ve  $M_{bol,2}=3^m.59\pm 1.19$  olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi A-alt türleri A–F tayf türlerine, W-alt türleri ise G–K tayf türlerine sahiptir. Benzer şekilde, W-alt türü çiftler genellikle A-alt türlerine göre daha kısa yörünge dönemlerine ( $0.22 < P < 0.4$  gün) sahip olduklarından, KIC3848042 sisteminin de  $P = 0.4114527$  gün yörünge dönemi ile yaklaşık olarak W-alt türünün en üst sınırında bulunmaktadır. KIC3848042 sisteminin kütle oranı  $q = 2.12$  olarak elde edildiğinden sistemin bir W-alt türü sistem ( $q > 0.3$ ) olduğu bulunmuştur (Maceroni 1985; Csizmadia ve Klagyivik, 2004; Wadhwa, 2005; Skelton ve Smith, 2009).

KIC3848042 sisteminin geometrik taşma derecesi ( $f$ ) yaklaşık % 8.3 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ise W-alt türü çift yıldızların alt sınırından biraz daha düşüktür. Farklı evreler ( $\phi = 0.0, 0.25, 0.5, 0.75$ ) çizilen üç boyutlu geometrik şekillerinden ve Roche geometrisinden sisteminin her iki bileşenin de Roche lobunu doldurup iç Lagrange noktasının dışarı taşıdığı görülmüştür.

Sonuç olarak, sistemin küçük kütleli ( $M_1 = 0,77\pm 0.24 M_\odot$ ) bileşeninin sıcaklığının yüksek olması ( $T_1= 6440$  K), kütle oranının  $q = 2,12$  olması, ve taşma derecesinin yaklaşık %8.3 olması durumları göz önüne alındığında, çalışılan KIC3848042 sisteminin W-alt türü değen örten bir anakol yıldızı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, sistemin renk indeksi, bileşenlerin ışınma güçleri ve sıcaklıkları da göz önüne alındığında sistemin yaklaşık F7V tayf türünden (Cox, 2002; Eker ve ark. 2020) bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu sonucun normal olduğunu görülmektedir.

## **Teşekkür**

Bu çalışmada, NASA tarafından finanse edilen ve Villanova Üniversitesi tarafından hazırlanmış olan Kepler Örten Çift Yıldız Kataloğundan (<http://keplerebs.villanova.edu/>) elde edilen veriler kullanılmıştır.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## Kaynakça

- Abdul-Masih M., Prsa A., Conroy K., Bloemen S., Boyajian T., Doyle LR., Johnston C., Kostov V., Latham DW., Matijevic G., Shporer A., Southworth J. Kepler eclipsing binary stars. VIII. identification of false positive eclipsing binaries and re-extraction of new light curves. *The Astronomical Journal*, 2016; 151(4): 1-10.
- Bradstreet DH., Steelman DP. Binary maker 3. Light Curve Synthesis Program User Manual, Contact Software, 725 Stanbridge St., Norristown, PA, 2004; 19401-5505.
- Binnendijk L. The orbital elements of W Ursae Majoris systems. *Vistas in Astronomy*, 1970; 12: 217-256.
- Caldwell DA., Kolodziejczak JJ., Van Cleve JE., Jenkins JM., Gazis PR., Argabright VS., Bachtell EE., Dunham EW., Geary JC., Gilliland RL., Chandrasekaran H., Li J., Tenenbaum P., Wu H., Borucki WJ., Bryson ST., Dotson JL., Haas MR., Koch DG. Instrument performance in Kepler's first months. *The Astrophysical Journal Letters*, 2010; 713(2): L92-L96
- Csizmadia SZ., Klagyivik P. On the properties of contact binary stars. *Astronomy and Astrophysics* 2004; 426(3): 1001-1005.
- Cox AN. Allen's astrophysical quantities, fourth edition. Theoretical Division, Los Alamos National Laboratory MS B288, P.O. Box 1663, Los Alamos, NM 87545, USA, 2002.
- Dimitrov DP., Kjurkchieva DP. Ultrashort-period main-sequence eclipsing systems: new observations and light-curve solutions of six NSVS binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2015; 448(3): 2890-2899.
- Eker Z., Soyduğan F., Bilir S., Bakış V., Aliçavuş F., Özer S., Aslan G., Alpsoy M., Köse Y. Empirical bolometric correction coefficients for nearby main-sequence stars in the Gaia era. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2020; 496: 3887-3905.
- Gazeas KD., Niarchos PG. Masses and angular momenta of contact binary stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters* 2006; 370(1): L29-L32.
- Gazeas K., Stepień K. Angular momentum and mass evolution of contact binaries, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2008; 390: 1577-1586.
- Gürol B., Bradstreet DH., Okan A. Absolute and geometric parameters of the WUMa type contact binary V546 And, *New Astronomy*, 2015; 36:100-109.
- Hilditch RW., King D. J., McFarlane TM. The evolutionary state of contact and near-contact binary stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1988; 231(2): 341-352.
- Hilditch RW. The evolution of binary stars into contact states. *Space Science Reviews* 1989; 50: 289-297.
- Joshi YC., Jagirdar R., Joshi S. Photometric studies of two W UMa type variables in the field of distant open cluster NGC 6866, *Research in Astronomy and Astrophysics* 2016; 16(4): 63.
- Koch DG., Borucki WJ., Basri G., Batalha NM., Brown TM., Caldwell D., Jørgen CD., Cochran WD., DeVore E., Dunham EW., Gautier TN., Geary JC., Gilliland RL., Gould A., Jenkins J., Kondo

- Y., Latham DW., Lissauer JJ., Marcy G., Monet D., Sasselov D., Boss A., Brownlee D., Caldwell J., Dupree AK., Howell SB., Kjeldsen H., Meibom S., Morrison D., Owen T., Reitsema H., Tarter J., Bryson ST., Dotson JL., Gazis P. ; Haas MR., Kolodziejczak J., Rowe JF., Van Cleve JE., Allen C., Chandrasekaran H., Clarke BD., Li J., Quintana EV., Tenenbaum P., Twicken JD., Wu H. Kepler mission design, realized photometric performance, and early science. *The Astrophysical Journal Letters* 2010; 713(2): L79-L86.
- Kolenberg K., Szabo R., Kurtz DW., Gilliland RL., Christensen-Dalsgaard J., Kjeldsen H., Brown TM., Benko JM., Chadid M., Derekas A., Di Criscienzo M., Guggenberger E., Kinemuchi K., Kunder A., Kollath Z., Kopacki G., Moskalik P., Nemeč JM., Nusp J., Silvotti R., Suran MD., Borucki WJ., Koch D., Jenkins JM. First Kepler results on Rr Lyrae stars. *The Astrophysical Journal Letters*, 2010; 713: L198–L203.
- Lucy LB. The structure of contact binaries. *Astrophysical Journal*, 1968; 151: 1123-1135.
- Lucy LB, Wilson RE. Observational tests of theories of contact binaries. *Astrophysical Journal*, Part 1 1979; 231: 502-513.
- Maceroni C., Milano L., Russo G. General properties of W Ursae Majoris systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1985, 217: 843-866.
- Matijević G., Prsa A., Orosz JA., Welsh WF., Bloemen S., Barclay T., Kepler eclipsing binary stars. III. classification of kepler eclipsing binary light curves with locally linear embedding, *Astronomical Journal*, 2012; 143(5):123, 1-6.
- Prsa A., Batalha N., Slawson RW., Doyle LR., Welsh WF., Orosz JA., Seager S., Rucker M., Mjaseth K., Engle SG., Conroy K., Jenkins J., Caldwell D., Koch D., Borucki W. Kepler eclipsing binary stars. I. catalog and principal characterization of 1879 eclipsing binaries in the first data release. *The Astronomical Journal*, 2011; 141(3): 1-16.
- Prsa A., Zwitter T. A computational guide to physics of eclipsing binaries. I. demonstrations and perspectives. *The Astrophysical Journal* 2005; 628(1): 426-438.
- Prsa A. PHOEBE scientific reference PHOEBE version 0.30, Villanova University College of Arts and Sciences, Dept. of Astronomy And Astrophysics, 2011.
- Prsa A., Batalha N., Slawson RW., Doyle LR., Welsh WF., Orosz JA., Seager S., Rucker M., Mjaseth K., Engle SG., Conroy K., Jenkins J., Caldwell D., Koch D., Borucki W. Kepler eclipsing binary stars. I. catalog and principal characterization of 1879 eclipsing binaries in the first data release. *The Astronomical Journal* 2011; 141(3): 1-16.
- Rucinski SM. Contact binaries, instrumentation and research programmes for small telescopes, *Proceedings of the 118th. Symposium of the International Astronomical Union (IAUS)*, held in rch, New Zealand, December 2-6, 1985. Editors, J.B. Hearnshaw, P.L. Cottrell; Publishers, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland. Sold and distributed in the U.S.A. and Canada by Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, QB88 . I583, 1986. 159-172.

- Skelton PL., Smith DP. Modelling of W UMa-type variable stars. *South African Journal of Science* 2009; 105: 120-126.
- Slawson RW., Prša A., Welsh WF., Orosz JA., Rucker M., Batalha N., Doyle LR., Engle SG., Conroy K., Coughlin J., Gregg TA., Fetherolf T., Short DR., Windmiller G., Fabrycky DC., Howell SB., Jenkins JM., Uddin K., Mullally F., Seader SE., Thompson SE., Sanderfer DT., Borucki W., Koch D. Kepler eclipsing binary stars. II. 2165 eclipsing binaries in the second data release, *The Astronomical Journal*, 2011; 142: 160(14 sayfa).
- Thompson SE., Fraquelli D., van Cleve JE., Caldwell DA. Kepler: A search for terrestrial planets. Kepler archive manual, KDMC-10008-006, Space Telescope Science Institute, 3700 San Martin Drive, Baltimore, MD 21218, 2016.
- Van Cleve JE., Caldwell DA., Haas MR., Howell SB. Kepler: A search for terrestrial planets, Kepler Instrument Handbook, KSCI-19033-002, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA 94035-1000, 2016.
- Van Hamme W. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves, *Astronomical Journal*, 1993; 106(5): 2096-2117.
- Wadhwa SS. Photometric analysis of southern contact binary stars, part 1: GZ Pup, AV Pup and II Aps. *Astrophys. Space Sci.*, 2005; 300: 289-296.
- Wang JM. The thermal relaxation oscillation states of contact binaries, *Astrophysical Journal*, 1994; 434: 277-282.
- Wesselink AJ. Surface brightnesses in the U, B, V system with applications of  $M_V$  and dimensions of stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1969; 144 (3):297–311.
- Wilson RE., Devinney EJ. Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni. *Astrophysical Journal* 1971; 166: 605-619.
- Wilson RE. Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves. *Astrophysical Journal* 1979; 234: 1054-1066.
- Wilson RE. Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect. *Astrophysical Journal*, 1990; 356, 613-662.
- Wilson RE., Eclipsing binary solutions in physical units and direct distance estimation, *The Astrophysical Journal* 2008; 672(1): 575-589.
- Yıldız M., Doğan T. On the origin of W UMa type contact binaries -a new method for computation of initial masses. *Monthly Notices of the Royal Astronomical*, 2013; 430: 2029-2038