

## V2280 CYGNI SİSTEMİNİN KEPLER IŞIK EĞRİLERİ VE DÖNEM ANALİZİ

İbrahim ÖZAVCI<sup>1</sup>, Selim O. SELAM<sup>2</sup>, Özgür BAŞTÜRK<sup>3</sup>, Mesut YILMAZ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara  
(e-posta: [ozavci@gmail.com](mailto:ozavci@gmail.com))

<sup>2</sup> Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, 06837 Ahlatlıbel, Ankara  
(e-posta: [selim.selam@science.ankara.edu.tr](mailto:selim.selam@science.ankara.edu.tr))

<sup>3</sup> Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, 06837 Ahlatlıbel, Ankara  
(e-posta: [obasturk@ankara.edu.tr](mailto:obasturk@ankara.edu.tr))

<sup>4</sup> Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova, İzmir  
(e-posta: [m.yilmazzz@gmail.com](mailto:m.yilmazzz@gmail.com))

**Özet:** Asıl amacı gezegen geçiş yöntemi ile Güneş sistemimizin dışında Dünya benzeri ötegezegen(leri) keşfetmek olan KEPLER uzay teleskobu, aynı zamanda görüş alanının içinde kalan bölgede bir çok örten çift yıldızın ışık eğrisini de kaydetmektedir. Bu çalışmada, bu yıldızlardan biri olan W UMA türü örten değişen V2280 Cygni sisteminin, KEPLER ışık eğrileri kullanılarak sistemin temel  $q$ ,  $i$ ,  $f$  anahtar parametreleri belirlendi. Ayrıca literatürde mevcut minimum zamanları ve elde ettiğimiz 3200'ün üzerindeki minimum zaman yardımıyla sistemin ilk kez dönem analizi gerçekleştirildi.

### 1. Giriş

V2280 Cyg'nin (ROTSE1 J192143.82+480356.3 - GSC 03547-00216 - KIC 10727655) ışık değişimi ilk kez Blattler ve Diethelm (2000) tarafından, ROTSE1 verileri kullanılarak ortaya çıkarıldı ve sistemin W UMA türü degen bir çift sistem olduğu belirtildi. Prsa vd. (2011) tarafından yayınlanan 1. Kepler Örten Çift Yıldız Kataloğunda 1879 adet, Slawson vd. (2011) tarafından yayınlanan 2. Kepler Örten Çift Yıldız Kataloğunda ise 2165 adet sistemin KEPLER ışık eğrileri otomatik bir algoritma ile modellenerek bu sistemlerin  $q$ ,  $i$ ,  $f$  parametreleri için ilk yaklaşım değerleri belirlendi. Buna göre V2280 Cyg sisitemi için elde edilen değerler sırasıyla, Prsa vd. tarafından  $q = 0.993$ ,  $i = 64^\circ.8$ ,  $f = 0.109$  ve Slawson vd. tarafından  $q = 1.22$ ,  $i = 76^\circ.95$ ,  $f = 0.25$  dir. Ancak literatürde V2280 Cyg için kapsamlı bir ışık eğrisi analizi bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra birçok araştırmacı tarafından farklı dergilerde minimum zamanları yayınlansa da, literatürde bu sistem için yapılmış bir dönem analizi bulunmamaktadır.

### 2. Gözlemler

Bu çalışmada, yüksek fotometrik hassasiyete sahip (mikro-kadir mertebesinde) başlangıç ve bitiş zamanları (JD) 2454953 - 2455635 olmak üzere yaklaşık 2 yıllık dönemi kapsayan, 1600 çevrimden fazla KEPLER ışık eğrisi kullanıldı. Tüm kullanıcılara açık olan bu veriler elde edildikten sonra, gözlemsel verileri aletsel ve sistematik hatalardan arındırmak için IRAF<sup>1</sup>'in Python programlama dilinde yazılmış bir sürümü olan PyRAF<sup>2</sup> ve KEPLER verilerinin işlenmesi için geliştirilmiş PyKE<sup>3</sup> paketi kullanıldı.

<sup>1</sup> IRAF : <http://iraf.noao.edu/>

<sup>2</sup> PyRAF : [http://www.stsci.edu/institute/software\\_hardware/pyraf/](http://www.stsci.edu/institute/software_hardware/pyraf/)

<sup>3</sup> PyKE : <http://keplergo.arc.nasa.gov/PyKE.shtml>

### 3. Işık Eğrisi Analizi

V2280 Cyg'nin yörünge dönemi yaklaşık 8.5 saat olup, sadece düşük zaman çözünürlüğüne sahip (~30 dakikada bir nokta) "Long Cadence (LC)" türü verisi mevcuttur. Bu yüzden bir ışık eğrisi sadece 17 gözlem noktasından oluşmaktadır ki bu da sistemi modellemek için yeterli değildir. Bu sebeple yeteri kadar sık veri elde etmek amacıyla, önemli bir değişimin olmadığı kabulü altında, yaklaşık 2.5 günlük veriyi içeren (BJD 2454953.5382 - 2454956.1538) ard arda 7 ışık eğrisi birleştirilerek düzgün bir ışık eğrisi elde edildi. V2280 Cyg'nin ilk yaklaşım parametrelerini elde etmek amacıyla Rucinski'nin (1993) geliştirdiği *WUMA* kodunu temel alan nomogram tablolarından yararlanıldı. Nomogram tablolarını oluştururken Rucinski'nin temel düşüncesi, W UMa türü degen çiftlerin ışık değişiminde geometrik nedenlerin baskın olduğudur. Başka bir ifadeyle, Rucinski (1993) W UMa türü sistemlerin ışık eğrilerinin pratik olarak yalnızca  $q=m_2/m_1$  kütle oranı,  $i$  yörünge eğimi ve  $f$  değme derecesi olmak üzere üç anahtar parametre ile ifade edilebildiğini gösterdi. Rucinski, *WUMA* kodu yardımı ile, sistematik olarak ( $f, q, i$ ) parametre uzayını taramış ve karşılık gelen sentetik ışık eğrilerini üretmiştir. Rucinski ayrıca, değme oranı  $f$ 'in 0.0, 0.5 ve 1.0 değerleri için  $\Delta q = 0.05$  ve  $\Delta i = 2.5^\circ$  artımla  $0.05 \leq q \leq 1$  ve  $30^\circ \leq i \leq 90^\circ$  aralığında ürettiği sentetik ışık eğrilerine, 11 terimli Fourier kosinüs serisi fitleri uygulayarak, ilgili Fourier katsayılarını içeren nomogramları ve aynı parametre uzayına karşılık gelen teorik tutulma derinlikleri  $d_{\min I-t} = 1-l(0^\circ)$  ve  $d_{\min II-t} = 1-l(180^\circ)$  tablolarını da oluşturmuştur. Bu derinlik tabloları bir sistem için elde edilen çözümün doğruluğunu sınamak açısından çok önemlidir. Buna göre sistemin ışık eğrisine yapılan Fourier yaklaşımı (bkz. Denklem 1) sonucunda elde edilen  $a_2$  ve  $a_4$  katsayıları, nomogram tablolarında mevcut  $a_2 - a_4$  katsayıları ile mukayese edilerek gözlemsel sonuçlarının teorik değerlerle uyumlu olduğu  $a_2 - a_4$  çiftine karşılık gelen  $q, i, f$  değerleri belirlenir. Ardından uygun değerlere karşılık gelenlerin teorik tutulma derinliklerine bakılarak gözlemsel tutulma derinlikleri ile karşılaştırmaları yapılır. Farkın en küçük olduğu andaki teorik değerlere karşılık gelen anahtar parametreler ( $f, q, i$ ) sistem için aranan çözüm olmuş olur. Şekil 1'de V2280 Cyg'nin KEPLER ışık eğrisi ve bu eğriye yapılan 11 terimli Fourier kosinüs serisi fiti (üstte) ve bu fitten olan artıkları (altta) verildi. Sistemin 0.25 ve 0.75 evrelerindeki maksimum ışık seviyelerinin eşit olmayışının, bileşen veya bileşenlerdeki yüzey parlaklık dağılımı düzensizliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. V2280 Cyg sisteminin bu yöntem ile belirlenmiş ilk yaklaşım değerleri;  $q = 0.45, i = 87^\circ.5, f = 0.2$  dir. Ayrıca farklı  $q$  değerleri için WD-2003 programı kullanılarak yapılan  $q$  taraması sonucunda,  $q = 0.45$  değeri civarında  $\Sigma(O-C)^2$  artıkların en küçük değere ulaştığı görüldü. Bu değerler sistemin ileride elde edilecek dikine hız eğrileri ile eş zamanlı yapılacak çözümlerde başlangıç parametreleri görevini görecektir.

$$l(\theta) = \sum_{i=0}^{10} a_i \cos(2\pi i \theta) \dots\dots\dots(1)$$

### 3. Dönem Analizi

V2280 Cyg sisteminin literatürde yayınlanmış herhangi bir dönem analizi çalışması bulunmamaktadır. İlk ışık değişimi anlaşıldığından günümüze kadar 30 adet minimum zamanı elde edildi, ancak görsel minimumlar (5 adet) büyük saçılma gösterdiğinden bu çalışmaya dahil edilmedi. Ayrıca elde edilen minimumlardan birkaçı, gerek az sayıda gözlem noktasından hesaplandığı, gerekse kırmızı-öte filtre ile elde edildiği gerekçeleriyle düşük olarak ağırlıklandırıldı (Şekil 2'de artı işaretliler).

Bu çalışma kapsamında geliştirilen, Kwee & van Woerden (1956) metoduna dayalı minimum zamanı hesaplama kodu ile V2280 Cyg'nin KEPLER ışık eğrilerinden 3200'ün

üzerinde minimum zamanı elde edildi. Ancak verilerin zaman çözünürlüğü düşük olduğundan, minimum kanatlarını oluşturan veri sayısı da az olmaktadır. Bu durum, minimum zamanlarının hassasiyetini düşürerek, (O-C) değerlerinin belli bir ortalama etrafında saçılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle elde edilen bu minimum zamanları ortalama beşer günlük veri setleri halinde 98 tane *normal minimum zamana* dönüştürüldü. Bu çalışmada elde edilen yeni ışık elemanları;  $\text{Min I} = \text{BJD } 2454953.9112 + 0^{\text{e}}.35336464 * E$  dir. Elde edilen minimumlara ek olarak literatürden toplanan diğer minimum zamanlar ile oluşturulan (O-C) diyagramında (Şekil 2), yarı genliği  $\sim 0.0045$  gün, dönemi ise  $\sim 3$  yıl olan çevrimsel bir yapı görülmektedir. Bu çevrimsel yapının, V2280 Cyg çift sistemine fiziksel olarak bağlı olası bir üçüncü cisimden kaynaklanan ışık-zaman etkisinden veya manyetik aktivite çevriminden ileri gelen bir dönem değişimi olduğu düşünülmektedir. Ancak sisteme ilişkin mutlak parametreler büyük oranda belirsiz olduğundan, manyetik aktiviteye ait parametreler hesaplanamadı. Ayrıca dönem değişiminde gözlenen dönemli yapı, değişimin kaynağının ışık zaman etkisi olması ihtimalini kuvvetlendirmektedir. Bu nedenle çalışmada sisteme fiziksel olarak bağlı bir 3.cismin yarattığı ışık-zaman etkisi kabulü altında analiz gerçekleştirildi. Şekil 2’de Irwin’in (1952) dışmerkezlikli yörüngeler için verdiği ifade kullanılarak, (O-C) diyagramındaki çevrimsel değişimi en iyi temsil eden 3.cisim için elde edilen sinüs fiti ve artıkları verildi. Bu fitten elde edilen parametreler Tablo 1’de listelendi. Sistemin şu ana kadar elde edilmiş herhangi bir dikine hız eğrisi bulunmadığından sisteme ilişkin mutlak parametreler hesap edilemedi. Bu nedenle bileşenlere ilişkin kütle değerleri bilinmediğinden üçüncü cismin kütlesi ( $m_3$ ) hesaplanamadı. Yine de Rucinski’nin (1993) metodu ile elde ettiğimiz ilk yaklaşım parametrelerinden  $q = 0.45$  ve  $i = 87^{\circ}.5$  kabulü altında,  $m_1 = 0.5 M_{\odot}$ ’den  $3 M_{\odot}$  değerine kadar  $0.1 M_{\odot}$  artımla sisteme ilişkin  $m_3$  değerleri hesap edildi. Bu değerlere yapılan doğrusal fit ile  $m_3 = 0.2292 * m_1 + 0.2983$  bağıntısı elde edildi (Şekil 3).

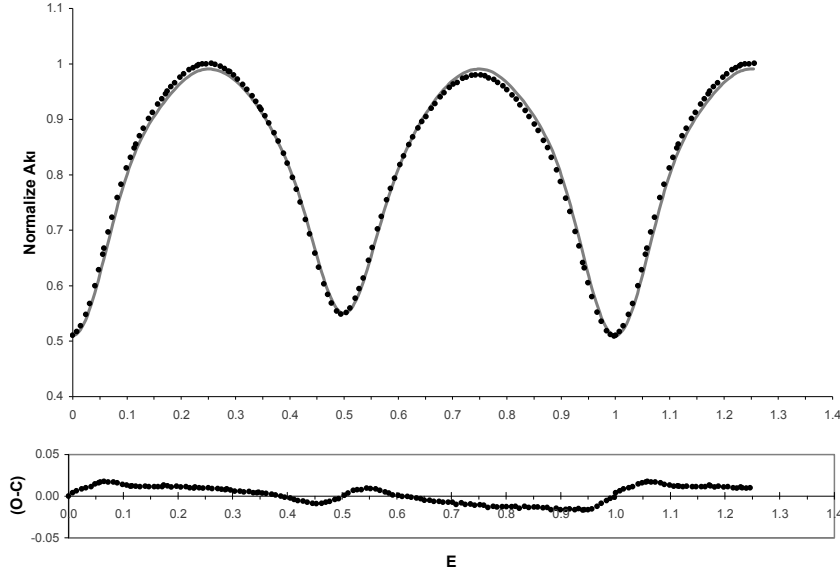
#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, KEPLER uzay teleskobunun yan ürünlerinden biri olan örten çift yıldızların ışık eğrileri kullanılarak, hem basit ve de etkili bir yöntemi (Rucinski 1993) otomatize ederek W UMa’lar için anahtar parametreler olan  $q$ ,  $i$ ,  $f$  değerlerini elde edebilen, hem de verilen ışık eğrisinde peş peşe minimum zamanları hesap edebilen bir bilgisayar yazılımı geliştirildi. Çalışmada, V2280 Cyg çift yıldız sistemi için söz konusu yaklaşımın bir uygulaması gerçekleştirildi. Sonuç olarak literatürde bu sistem için ilk kez yapılan ışık eğrisi analizi ile anahtar parametreleri ve dönem analizi yapılarak sistemin dönem değişim doğası ortaya çıkarıldı. İleride elde edilebilecek dikine hız gözlemleri sayesinde sisteme ilişkin daha ayrıntılı çözümler elde edilebilmesi mümkün olacaktır.

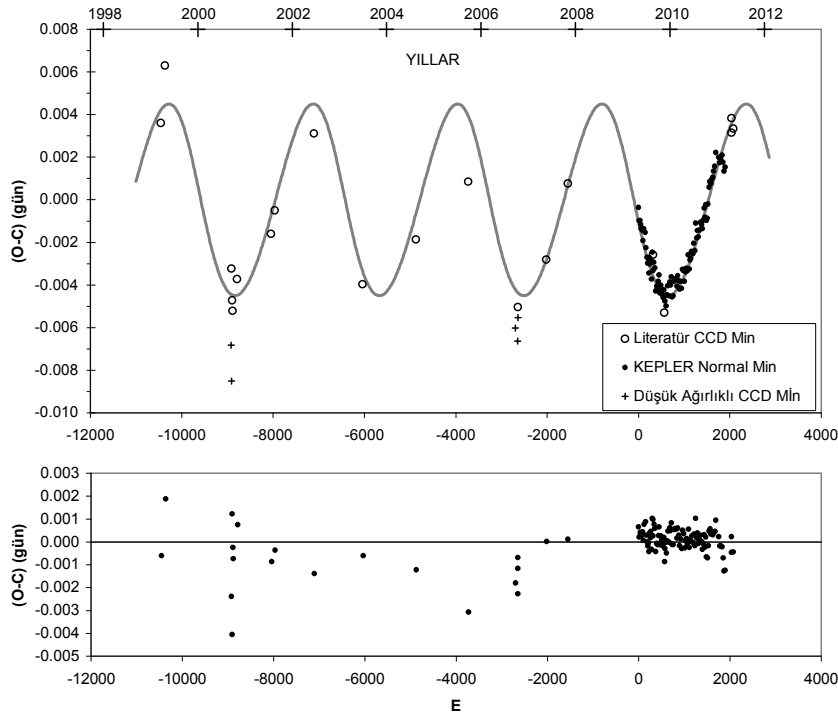
Yazarlardan Mesut Yılmaz kendisini 2218-Yurt İçi Doktora Sonrası Burs Programı ile desteklemekte olan TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB)'na teşekkürlerini sunar.

#### 5. Kaynaklar

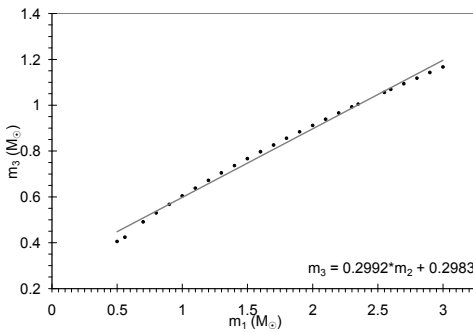
- Blättler, E., Diethelm, R., 2000. IBVS No.4996  
Irwin, J.B., 1952, ApJ, 116, 211  
Kwee, K.K. & van Woerden, H., 1956, Bull. Astron. Inst. Neth. 12, 327.  
Prsa, A., Batalha, N., Slawson, R. W., Doyle, L. R., Welsh, W. F., vd. 2011, AJ, 141, 83  
Rucinski, S.M., 1993, PASP, 105, 1433  
Slawson, R. W., Prsa, A., Welsh, W. F., Orosz, J. A., Rucker, M., vd. 2011, AJ, 142, 160



Şekil 1: V2280 Cyg'nin ışık eğrisine yapılan 11 terimli Fourier kosinüs serisi fiti ve atıkları



Şekil 2: V2280 Cyg'nin (O-C) eğrisi üzerine yapılan teorik fit ve artıkları



Şekil 3: V2280 Cyg'nin  $m_1$ - $m_3$  diyagramı

Tablo 1: V2280 Cyg için elde edilen 3. cisim parametreleri.

<b>A (gün)</b>	0.0045
<b>e</b>	0.14
<b>w (°)</b>	158
<b>P (yıl)</b>	3.06
<b>f(m<sub>3</sub>) (M<sub>☉</sub>)</b>	0.0519
<b>a<sub>12</sub>Sini (AB)</b>	0.7858