

Örten Çift Yıldız V401 Lacertae'nın Işık Eğrisi ve Eksen Dönmesi Analizi

İbrahim BULUT¹, Osman DEMİRCAN¹

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi, Terzioğlu Yerleşkesi, 17100, Çanakkale
ibulut@comu.edu.tr, demircan@comu.edu.tr

Özet: V401 Lac'in yere dayalı U, B ve V bandlarında yapılan ilk gözlemleri Wilson-Devinney (1992) yöntemi ile analiz edilmiştir. Çözümlerden sistemin yörünge dış merkezliğinin $e=0.1760 \pm 0.0004$ olduğu belirlenmiştir. Sistemin literatürde bulunan minimum zamanları ve yeni gözlemlerden elde edilen minimum zamanları kullanılarak yapılan (O-C) analizi ile eksen dönmesi parametreleri hesaplanmıştır. Buna göre sistemin enberi noktasındaki ilerleme miktarının $\dot{\omega} = 0.0166 \pm 0.0089$ (derece/çevrim) olduğu, buna karşılık gelen eksen dönme döneminin de $U = 116 \pm 62$ yıl olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: yıldızlar: çiftler: örten – yıldızlar: V401 Lac – yıldızlar: eksen dönmesi

Abstract: The first ground-based UBV observations of V401 Lac were analyzed by using the Wilson-Devinney Method. An orbital eccentricity $e=0.1760 \pm 0.0004$ is obtained. The (O-C) diagram was analyzed using all reliable timings found in the literature and the values for the elements of the apsidal motion were computed. A rate of periastron advance was found as $\dot{\omega} = 0.0166 \pm 0.0089$ (deg/cycle), corresponding to an apsidal period $U = 116 \pm 62$ years.

Key words: stars: binaries: eclipsing – stars: individual: V401 Lac – stars: apsidal motion

1. Giriş

V401 Lac (HIP 109283=BD+48°3621, $\alpha_{2000} = 22^{\text{sa}} 08^{\text{dk}} 21^{\text{s}}.25$, $\delta_{2000} = +49^{\circ} 13' 15''.6$) HIPPARCOS uydusu tarafından keşfedilen eksantrik yörüngeli alkol türü bir örten çift yıldız sistemidir (ESA 1997). HIPPARCOS'un elde ettiği ışık eğrisinde ikinci minimum ortası 0.61 evresine karşılık gelmektedir. Sistemin maksimum parlaklığı V bandında 7.97 kadir, parlaklık değişimi H_p bandında 0.12 kadir, ortalama yörünge dönemi 1.9501 gün, tayf türü ise A0'dır (ESA 1997).

V401 Lac'in U, B ve V bandlarında yapılan yere dayalı ilk gözlemleri Bulut ve Demircan (2001) tarafından yayınlanmıştır. Aynı çalışmada sistemde eksen dönmesinin oldukça hızlı olduğu belirtilmiştir. Sistemin HIPPARCOS ışık eğrisi EBOP yörünge analiz programı kullanılarak Bulut ve Demircan (2002) tarafından analiz edilmiş, yörünge dış merkezliği 0.1817, enberi noktasının boylamı ise 26°.51 olarak bulunmuştur.

Sunulan bu çalışmada sistemin yere dayalı ilk fotometrik gözlemlerinin Wilson-Devinney yöntemiyle yapılan analizi ile eksen dönmesi analizi sunulmuştur.

2. Gözlemler

V401 Lac'in gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'da 40 cm çaplı Cassegrain teleskopu ve buna bağlı OPTEC SSP-5A fotometre başlığıyla Johnson U, B ve V bandlarında, 2000-2001 yaz sezonunda toplam 17 gecede gerçekleştirilmiştir. Gözlemlerde mukayese yıldızı olarak BD+48°3613 (HIP 109026; A2, $m_v=8^{\text{m}}.23$), denet yıldızı olarak da BD+44°4041 (HIP 109079; A0, $m_v=6^{\text{m}}.50$) kullanılmıştır. Gözlemler sonucu U, B ve V bandlarında sırasıyla 664, 672, 672 gözlem noktası elde edilmiştir.

Yeni gözlemlerde 3'ü birinci minimum olmak üzere, 5 yeni minimum zamanı belirlenmiştir. Ayrıca sistemin 2002 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Astrofizik Gözlemevi'nde 40 cm çaplı Cassegrain teleskopu ve buna bağlı OPTEC SSP-5A fotometre başlığıyla Johnson U, B ve V bandlarında yapılan gözlemleriyle de biri birinci minimum olmak üzere iki yeni minimum zamanı daha belirlenmiştir. Bu gözlemler ışık eğrisinin oluşturulmasında kullanılmamıştır. Minimum zamanları ve olası hataları Kwee ve van Woerden (1956) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de sistemin yeni minimum zamanları ile beraber literatürde yayınlanan minimum zamanları listelenmiştir. Tabloda verilen yeni minimum zamanları, her süzgeç için ayrı ayrı

Bildiri tam metni için: İbrahim BULUT
e-mektup: ibulut@comu.edu.tr

hesaplandıktan sonra bulunan ortalama değerlerdir. Bu minimum zamanları ile oluşturulan (O-C) diyagramında birinci minimumlara ait noktalara ikinci minimumlara ait noktaların diyagramda farklı bölgelere yerleştiği görülmüştür. Bu durum eksen dönmesi gösteren yıldızların tipik özelliğini göstermektedir.

Tablo 1. V401 Lac'in minimum zamanları

| Min.Zamanı HJD+2400000 | Hatası | E | Türü | Filtre | Kaynak |
|---------------------------|--------|--------|------|--------|--------|
| 48501.7900 | | 0 | I | Hp | 1 |
| 51717.5344 | 0.0004 | 1649 | I | UBV | 2 |
| 51719.4912 | 0.0010 | 1650 | I | UBV | 2 |
| 51724.4703 | 0.0004 | 1652.5 | II | UBV | 2 |
| 51842.3465 | 0.0002 | 1713 | I | | 3 |
| 52116.4317 | 0.0012 | 1853.5 | II | UBV | 2 |
| 52117.3071 | 0.0020 | 1854 | I | UBV | 2 |
| 52505.3835 | 0.0009 | 2053 | I | UBV | 4 |
| 52510.3445 | 0.0027 | 2055.5 | II | UBV | 4 |
| 52891.5075 | 0.0003 | 2251 | I | UBV | 5 |
| 52989.4022 | 0.0007 | 2254.5 | II | UBV | 5 |

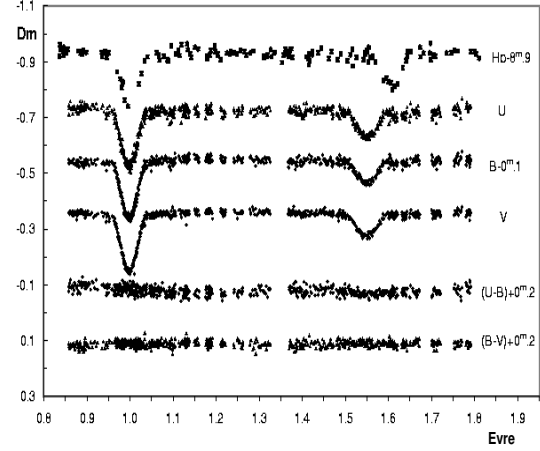
Kaynaklar: 1-ESA (1997); 2-Bu çalışma (TUG); 3-Hegedüs vd (2003); 4-Bu çalışma (ÇAAM); 5-Ak ve Filiz (2003)

Sistemin doğrusal ışık elemanlarını elde etmek amacı ile (O-C) diyagramında birinci minimumlara ait noktalara doğru fiti yapılmış ve sistemin yeni ışık elemanları

$$\text{MinI}=\text{HJD } 2448501.7906(1)+1.95012(2) \text{ E} \quad (1)$$

olarak bulunmuştur. Yeni ışık eğrileri oluşturulurken bu ışık elemanları kullanılmıştır. Şekil 1'de yeni ışık eğrileriyle beraber HIPPARCOS ışık eğrisi ve renk eğrileri birlikte verilmiştir.

Farklı zamanlarda gözlenen iki ışık eğrisinin, ikinci minimumlarında evre kayması olduğu açıkça görülmektedir. HIPPARCOS ışık eğrisinde ikinci minimum 0.610 evresine karşılık gelirken, yeni ışık eğrisinde 0.554 evresine karşılık gelmektedir. HIPPARCOS gözlemleri ile yeni gözlemler arasında geçen yaklaşık 10 yıllık sürede 0.056 evrelilik kayma sistemde oldukça hızlı eksen dönmesi olduğunu göstermektedir. Ayrıca birinci



Şekil 1. V401 Lac'in ışık ve renk eğrileri

ve ikinci minimumlardaki tutulma süreleri de sırasıyla 3.76 ve 4.28 saat olarak hesaplanmıştır.

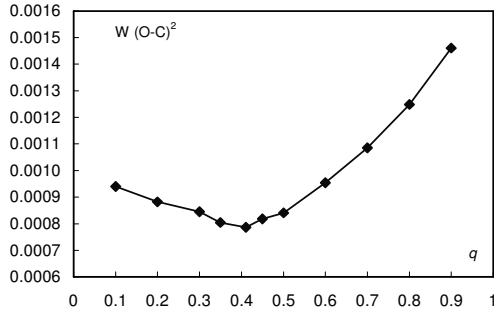
3. Işık Eğrisi Analizi

V401 Lac'in yeni ışık eğrisinin çözümünde Wilson-Devinney (WD) programının 1992 sürümü kullanılmıştır. Çözümler, WD'in ayrı sistemlerde kullandığı MODE 2 seçilerek yapılmıştır. Birinci bileşenin sıcaklığı (T_1) için HIPPARCOS kataloğunda verilen A0 tayf türüne karşılık 10800 K değeri Zombeck (1990)'den alınmıştır. Bolometrik kenar kararma katsayıları ($x_{1,2 \text{ bol}}$) ve lineer kenar kararma katsayıları ($x_{1,2}(U,B,V)$) Van Hamme (1993)'in tablolarından belirlenmiştir. Bolometrik albedo ($A_{1,2}$), ışınımı atmosfer varsayımıyla 1.0, çekim kararma üsleri ($g_{1,2}$) ise, ışınım dengesi varsayımıyla 1.0 olarak alınmıştır. Bileşenlerin açıl dönme hızlarının, açıl dolanma hızlarına oranı ($F_{1,2}$), yörüngenin enberi noktasında bileşenlerde eş-dönme olduğu varsayımıyla

$$F_{1,2} = \sqrt{\frac{1+e}{(1-e)^3}} \quad (2)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

Ayrıca gözlemler sırasında sisteme komşu 11.558 kadir parlaklığında bir cisim fark edilmiştir. Komşu cisim gözlemlerde sistemle birlikte diyagramın içine girdiğinden, sistemin ışığına katkıda bulunmuştur. Komşu yıldızın HIPPARCOS kataloğunda verilen parlaklıkları kullanıldığında, normalize edilmiş toplam ışınım gücüne katkısının, $L_3 = 0.0355(U)$, $0.0494(B)$, $0.0607(V)$ olduğu hesaplanmıştır. Çözümlerde toplam ışınım gücünden bunu arındırmak için bulunan değerler, üçüncü cismin



Şekil 2. V401 Lac'in q taraması

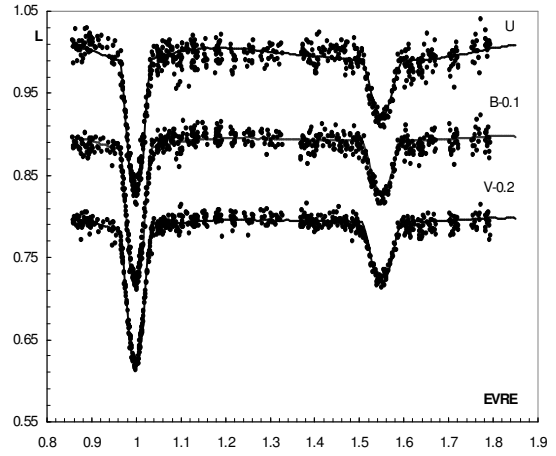
katkısı olarak girdi parametreleri arasına yazılarak sabitlenmiştir.

WD programı Roche geometrisi kullandığından (q) kütle oranına çok duyarlıdır. V401 Lac'in belirlenmiş bir kütle oranı olmadığından (q) taraması yapılarak fotometrik kütle oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için 0.01 evre aralıklarıyla ışık eğrilerinde normal noktalar oluşturulmuştur. Bu noktalar kullanılarak eşzamanlı U, B ve V bandlarında (q)'nun 0.1 ile 0.9 aralığında, 0.1 artımlarla seçilen değerleri sabit tutularak WD programı ile çözümler yapılmıştır. Her çözüm için elde edilen fark kareler toplamının $[\sum W(O-C)^2]$ ilgili (q) değerine karşı değişimi şekil 2'de gösterilmiştir. Şekildeki eğri tek minimumlu düzgün bir dağılım göstermekte ve $[\sum W(O-C)^2]$ değeri $q \approx 0.4$ yöresinde minimum yapmaktadır. Bu değer (q) için başlangıç değeri olarak alınmıştır.

Başlangıç değerleri belirlendikten sonra tüm gözlem noktaları kullanılarak U, B ve V bandlarında eşzamanlı çözümler yapılmıştır. Çözümlerde serbest bırakılan parametreler; yörünge dış merkezliği (e), enberi noktasının boylamı (ω), yörünge eğimi (i), ikinci bileşenin sıcaklığı (T_2), bileşenlerin yüzey potansiyelleri ($\Omega_{1,2}$), kütle oranı (q) ve birinci bileşenin kesirsel ışınım gücü (L_1)'dir. Yapılan çözümlerden elde edilen sonuç değerler tablo 2'de, bu değerlerle oluşturulan kuramsal ışık eğrilerinin, gözlem noktalarıyla uyumu ise şekil 3'de görülmektedir.

4. Eksen Dönmesi Analizi

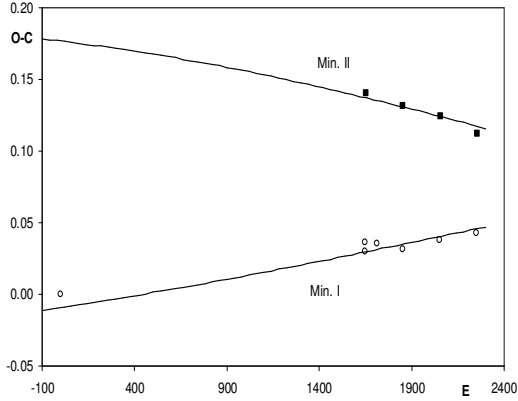
V401 Lac'in eksen dönmesi parametrelerinin bulunması için Lacy (1992)'nin önerdiği yöntem kullanılmıştır. Gözlenmiş minimum zamanlarından oluşturulan veri setine, doğrusal olmayan fit yapman bu yöntemin temel parametreleri; yörünge dış merkezliği (e), başlangıç minimum zamanı (T_0), enberi noktası boylamının başlangıç zamanındaki değeri (ω_0), enberi noktası boylamının değişim



Şekil 3. V401 Lac'in gözlemsel noktalarının kuramsal eğriyle uyumu

Tablo 2. V401 Lac için WD yöntemiyle bulunan ışık eğrisi çözüm sonuçları

| Parametre | Birinci Bileşen | İkinci Bileşen |
|-------------------------|------------------------|---------------------|
| E | 0.1760 \pm 0.0004 | |
| α° | 63.07 \pm 0.17 | |
| i° | 82.654 \pm 0.012 | |
| Q | 0.4106 \pm 0.0015 | |
| Ω | 5.426 \pm 0.012 | 6.3105 \pm 0.015 |
| $T(K)$ | 10800 | 8297 \pm 20 |
| $L(U) (LL_{Top})$ | 0.8985 \pm 0.0008 | 0.0660 |
| $L(B) (LL_{Top})$ | 0.8780 \pm 0.0009 | 0.0726 |
| $L(V) (LL_{Top})$ | 0.8547 \pm 0.0008 | 0.0846 |
| $L_3(U,B,V) (LL_{Top})$ | 0.0355, 0.0494, 0.0607 | |
| x_{bol} | 0.659 | 0.594 |
| $x(U,B,V)$ | 0.489, 0.538, 0.472 | 0.517, 0.610, 0.537 |
| F | 1.387 | 1.387 |
| $r(pole)$ | 0.1956 \pm 0.0005 | 0.0803 \pm 0.0002 |
| $r(point)$ | 0.1997 \pm 0.0005 | 0.0808 \pm 0.0002 |
| $r(side)$ | 0.1976 \pm 0.0005 | 0.0805 \pm 0.0002 |
| $r(back)$ | 0.1991 \pm 0.0005 | 0.0807 \pm 0.0002 |
| $\sum W(O-C)^2$ | 0.0199 | |



Şekil 4. V401 Lac'ın (O-C) değişimi ve bu değişimi belirleyen fit

oranı ($\dot{\omega}$), anomalistik dönem (P_a)'dir. Çözümler sonunda bu parametrelerle birlikte yıldızıl dönem (P_s) ve eksen dönmesi dönemi (U) de hesaplanmaktadır. Çözümlerde tablo 1'de verilen minimum zamanları kullanılmış, (e) dışındaki tüm parametreler serbest bırakılmıştır. Gözlem verilerinin azlığı nedeniyle (e) için fotometrik çözümlerden bulunan 0.176 değeri sabit alınmıştır. Yörüngenin eğimi (i) için de fotometrik çözümlerden elde edilen $82^\circ.15$ değeri kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar tablo 3'de, çözümlerin (O-C) eğrisiyle uyumu ise şekil 4'de görülmektedir. Buna göre sistemin eksen dönmesi dönemi 116 ± 62 yıl olarak bulunmuştur.

5. Sonuç ve Tartışma

V401 Lac'ın fotometrik gözlemlerinin analizlerinden, yörüngesinin oldukça eliptik olduğu ($e=0.176$) anlaşılmaktadır. Enberi noktasının boylamı için HIPPARCOS ışık eğrisi çözümlerinden $\omega=26^\circ.51$ değeri elde edilmişken (Bulut ve Demircan 2002), yeni ışık eğrisi çözümlerinden $\omega=63^\circ.07$ değeri bulunmuştur. Her iki gözlem arasında yaklaşık 10 yıllık zaman farkı olduğundan, enberi noktasının boylamındaki yıllık değişimin yaklaşık $3^\circ.66$ olduğu, bu değişime karşılık gelen eksen dönmesi döneminin de yaklaşık 98 yıl olduğu bulunabilir. Bu değer eksen dönmesi analiziyle bulunan 116 ± 62 yıl değerini desteklemektedir.

WD programının LC parçası MOD 6'da çalıştırılarak birinci bileşenin kritik Roche potansiyeli $\Omega_{1(kritik)} = 3.2989$, ikinci bileşenin kritik Roche potansiyeli $\Omega_{2(kritik)} = 3.2242$ olarak hesaplanmıştır. Her iki bileşeninde potansiyelleri, kritik potansiyellerinden büyük olduğundan bileşenlerin Roche şişimlerini doldurmadığı ve

Tablo 3. V401 Lac'ın eksen dönmesi parametreleri

| Parametre | Değerler |
|------------------------------------|---------------------------|
| T_o (HJD) | 2444777.4756 ± 0.0028 |
| P_a (gün) | 1.950185 ± 0.000039 |
| P_s (gün) | 1.950095 ± 0.000062 |
| e | 0.176 |
| $\dot{\omega}$ ($^\circ$ /çevrim) | 0.0166 ± 0.0089 |
| ω_o ($^\circ$) | 33.6 ± 16.7 |
| i ($^\circ$) | 82.15 |
| U (yıl) | 116 ± 62 |

sistemin ayrık olduğu sonucuna varılmaktadır. Doldurma oranı f birinci ve ikinci bileşen için sırasıyla %36 ve %5 olarak hesaplanmıştır. Sistemin ileriki yıllarda yapılacak sürekli ve düzenli minimum zamanı gözlemleri eksen dönmesi döneminin daha duyarlı belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca sistemin tayfsal gözlemlerinin yapılarak mutlak parametrelerinin bulunması da, sistemin iç yapı sabitinin ve yaşının belirlenmesini sağlayacaktır.

6. Kaynaklar

- Ak, H. ve Filiz, N. 2003, IBVS no: 5462
 Bulut, İ. ve Demircan, O. 2002, in New Directions for Close Binary Studies: "The Royal Road to the Stars", ed. O. Demircan ve E. Budding, Publications of Çanakkale Onsekiz Mart University Astrophysics Research Center, v.3, 300
 Bulut, İ. ve Demircan, O. 2001, IBVS no: 7159
 ESA, 1997. The HIPPARCOS & Tycho Catalogues, SP-1220
 Hegedüs, T., Borkovits, T., Biro, I. B. vd., 2003, IBVS no: 5372
 Kwee, K., K., ve van Woerden, H. 1958, Bull. Astron. Inst. Netherlands. 14, 131
 Lacy, C.H.S. 1992, AJ. 104, 2213
 Van Hamme, W. 1993, AJ. 106, 2096
 Wilson, R. E. 1992, Documentation of eclipsing binary computer model. University of Florida, 19 p., Gainesville- Florida
 Zombeck, M.V. 1990, Handbook of Space Astronomy and Astrophys. Cambridge University Press.