

VV Ursae Majoris Sistemine Bağlı Küçük Kütleli Üçüncü Bileşen

Mehmet Tanrıver¹★,

¹Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Kayseri

Özet

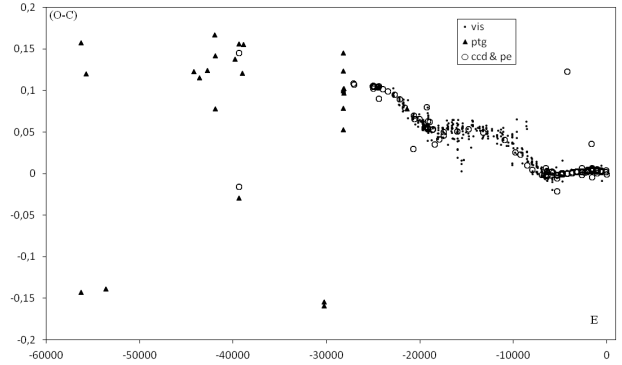
Bu çalışmada, geç tür tutulma gösteren VV UMa çift yıldızının periyot analizi yapılmıştır. Bu çalışma VV UMa sisteminin tutulma zamanının periyodik değişimi üzerine dayanmaktadır. Işık zaman etkisini analiz ederek sisteme bağlı 3. Cismin kütleli ve yörünge özelliklerini belirledik. VV UMa sisteminin tüm minimum zamanlarıyla oluşturulan O-C diagramı lineer değişim üzerine binmiş çevrimsel bir değişim göstermektedir. Bu değişim 3 maksimum ve 2 minimum içermektedir. tutulma zamanlarının değişimine neden olan ışık zaman etkisi, görülmeyen 3. bir cismin varlığına işaretler. 3. Cisimden kaynaklı ışık zaman etkisinden bulunan yeni periyot 23.22 ± 0.17 yıldır. Işık zaman etkisinden kaynaklı değişimin yarı-genliği 0.0139 gün ve 3.cismin yörünge dışmerkezliliği 0.35 dir. 3. Cismin kütlesi $0.787 \pm 0.02 M_{\odot}$ ve yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu 10.75 AB dir.

Anahtar Kelimeler: (stars:) binaries: eclipsing, İkili Yıldızlar

1 Giriş

VV UMa (BD+561395, HIP 47279), Algol türü (yarı-ayrık) kısa periyotlu (0.68738 gün) tutulma gösteren etkileşen bir çift sistemdir. VV UMa'nın BVR parlaklıkları $10^m.42$, $10^m.28$, $10^m.135$ kadirdir. JHK parlaklıkları $9^m.627$, $9^m.497$, $9^m.420$ kadirdir. VV UMa sisteminin değişkenliğini ilk kez Gitz (1936) literatüre sunmuştur. İlk minimum zamanları ve efemerisleri Kaho (1939) tarafından verilmiştir. Hill ve ark. (1975) sistemin baş yıldızını A2V tayf türünden sınıflandırmıştır. Struve (1950) ve Struve (1951)'un tayfsal çalışmasıyla sistemin baş yıldızının A0V tayf türünden ve kütle fonksiyonunda $f(m) = 0.015 M_{\odot}$ olduğunu belirtmiştir. Kütle oranını ve sistemin yarı-genliğini $q \approx 0.23$ ve $K_1 = 59 \text{ km s}^{-1}$ olarak önermiştir. Wilson (1965) sistemin ilk ışık eğrisi analizini yapmıştır. Broglia ve Conconi (1977) V ve B bandlarında sistemin analizini yapmışlardır ve bazı minimum zamanlarını sunmuşlardır. Yarı-ayrık VV UMa sisteminin parametrelerini $M_1 = 1.93 M_{\odot}$, $R_1 = 1.58 R_{\odot}$, $M_2 = 0.44 M_{\odot}$, $R_2 = 1.23 R_{\odot}$ ve $q = 0.23$ olarak elde etmişlerdir. Birinci ve ikinci bileşenlerinin tayf türlerini A0-2 ve G5-6 olarak vermişlerdir. Chaubey (1979) VV UMa sisteminin yörünge açısal momentumunu $\log H = -1.67$ olarak hesaplamıştır. Rafert (1990) 3.ışığı içeren sistemin ilk ışık eğrisi çözümünü yaptı. $T_{eff,1} \approx 9550 \text{ K}$ ve $T_{eff,2} \approx 5000 \text{ K}$ sıcaklıklarla $f(m) = 0.015 M_{\odot}$ kütle fonksiyonunu kullanarak $M_1 = 0.97 M_{\odot}$, $R_1 = 1.35 R_{\odot}$, $M_2 = 0.29 M_{\odot}$, $R_2 = 0.96 R_{\odot}$ ve $q = 0.298$ parametreleri buldu.

1929-1985 yılları arasındaki minimum zamanları Kučera ve Mikulášek (1986) tarafından sunulmuştur. Sistemin ilk periyot analizi Šimon (1996) tarafından yapılmıştır. Sinüsel çevrime sahip O-C diagramından değişimin periyodunu 8138gün (22.28yıl) ve 3.cismin minimum kütleli 0.4 M_{\odot} olarak bulmuştur. Strömghren *uvby*β filtrelerindeki sistemin ilk ışık eğrisi analizini Hilditch ve Hill (1975) ve Lázaro ve ark. (2001) tarafından yapılmıştır. Bileşenlerin etkin sıcaklıklarını $T_{eff,1} = 9000 - 9600 \text{ K}$ ve $T_{eff,2} = 5300 - 5600 \text{ K}$ olarak belirlemişlerdir ve sistemin kütle fonksiyonunu $f(m) = 5.1 \times 10^{-2} M_{\odot}$ olarak hesaplamışlardır. Arévalo ve ark. (2001) BVR filtrelerinde sistemin

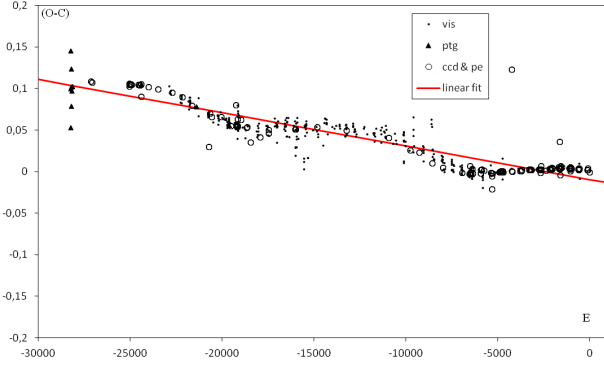


Şekil 1. VV UMa'nın tüm minimum zamanlarını gösteren O-C diagramı. Boş daireler; ccd ve fotoelektrik, dolu üçgenler; fotoğrafik ve küçük dolu daireler; vizüel minimum zamanlarını göstermektedir.

ışık eğrisi çözümünü sunmuştur. Lázaro ve ark. (2002) VV UMa çift yıldız sisteminin BVRJK filtrelerindeki ışık eğrisi analizini ve 8440-8870 Å bölgesinde sistemin tayfsal çalışmasını yapmışlardır ve bazı minimum zamanları sunmuşlardır. Birinci bileşenin tayf türünü A1.5-2V olduğunu bulmuşlardır. Birinci ve ikinci bileşenlerin etkin sıcaklıklarını $T_{eff,1} = 9250 \pm 150 \text{ K}$ ve $T_{eff,2} = 5600 \pm 100 \text{ K}$ olarak bulmuşlardır ve $q = 0.26 - 0.31$ kütle oranı ile birlikte sistemin kütle fonksiyonunu $f(m) = 2.8 - 3.1 \times 10^{-2} M_{\odot}$ olarak elde etmişlerdir. VV UMa sistemi tayf çözümlerinde olağan dışı olarak düşük kütleli bileşenin olduğunu gösteriyor. Kim ve ark. (2005) çift sistemin kısa periyotlu küçük genlikli bir değişim olduğunu gösterdi. Sistemin minimum zamanları bir çok araştırmacı tarafından verilmesine rağmen, 1959-1994 yılları arasında O-C eğrisindeki periyot analizi sadece Šimon (1996) tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada, literatürdeki tüm minimum zamanları dikkate alındı ve VV UMa sistemi için ışık zaman etkisi ile 3.cismin yörünge parametreleri çözüldü.

★ mtanriver1@gmail.com



Şekil 2. HJD2436600 den sonraki VV UMa'nın O-C diagramı. Lineer değişim üzerine binmiş sinüsel değişim göstermektedir. Düz çizgi lineer fiti göstermektedir. Semboller Şekil.1.deki gibidir.

2 Sistemin Yörünge Döneminin Değişimi

2.1 Işık zaman etkisi ile O-C analizi

VV UMa'nın minimum zamanları literatürde farklı kaynaklarca sunulan çalışmalardan elde edildi. Başlıca minimum zamanlarını BBSAG Bull., BAV Mitt., BRNO Contr., Orion, ve AAVSO dan aldık. VV UMa için geçerli minimum zamanları 1906 ile 2013 yılları arasında 106 yıllık bir zaman aralığını kapsamaktadır. Tüm minimum zamanları listesinde 320 vizüel, 28 fotoğrafik, 53 fotoelektrik, ve 114 CCD minimum zamanları mevcuttur. Tüm minimum zamanlarının fotometrik epokları (HJD_{min} = 2456016.6904 ve dönem = 0.6873801 gün) efemeris değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Doğrusal en küçük kareler fiti HJD2436600 sonrasında minimum zamanlarına uygulanmıştır ve sonuç efemerisi aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$HJD_{MinI} = 2456016.7061 (75) + 0.6873845 (4) x E \quad (1)$$

Bu efemeris tüm minimum zamanlarından O-C artıklarını hesaplamak için kullanıldı. Sistemin tüm minimum zamanlarını gösteren O-C diagramı Şekil.1 de verilmiştir. HJD2436600 dan önceki minimum zamanları genellikle büyük oranda çok saçılma gösterdiklerinden dolayı, ileriki analizlerde dışlanmıştır.

HJD2436600 dan sonraki minimum zamanlarını gösteren O-C diagramı Şekil.2 de gösterilmiştir. Bu diagram lineer değişim üzerine binmiş 3 maksimum ve 2 minimumlu sinüs benzeri bir değişim göstermektedir. Çevrimli sinüs benzeri O-C diagramındaki lineer değişimden sistematik farkları elde edildi. Yörüngenin çembere çok yakın olması nedeniyle eksen dönmesi dışlanmıştır. Ancak O-C diagramındaki periyodik modülasyonun sistemde görünmeyen 3.cismin varlığıyla ışık zaman etkisiyle üretildiği belirlenmiştir. Çevrimli değişimin analiziyle Irwin (1952) ve Irwin (1959) tarafından aşağıda sunulan eşitlik kullanılarak 3.cismin yörünge parametreleri elde edilmiştir.

$$(O - C) = O - \left[\begin{array}{c} T_0 + P_{orb} \times E + \frac{A}{\sqrt{1-e^2 \cos^2 \omega'}} \\ \left\{ \frac{(1-e^2) \sin(\nu' + \omega') + e' \sin \omega'}{1+e' \cos \nu'} \right\} \end{array} \right] \quad (2)$$

Burada e' , ω' , ve ν' 3.cismin yörüngesinin dışmerkezliliği, enbenin boylamı ve gerçek anomali açısidir. Işık zaman eğrisinin

Çizelge 1. VV UMa'nın O-C analizinden elde edilen ışık zaman yörüngesinin parametreleri

| Parametre | birim | değer | Standart hata |
|----------------------|-------------|--------------|---------------|
| T_0 | HJD | 2456016,7061 | 0,0075 |
| P_{orb} | day | 0,6873845 | 0,0000004 |
| $a'_{12} \sin i'$ | AU | 2,408977 | 0,05 |
| e' | | 0,35 | 0,03 |
| ω' | degree | 263 | 2,6 |
| T' | HJD | 56016,71 | 46,2 |
| P_{12} | year | 2322334 | 0,17 |
| A | day | 0,0139 | 0,0002 |
| $f(M)$ | M_{\odot} | 0,025921 | 0,0012 |
| M_3 (coplanar) | M_{\odot} | 0,7868 | 0,02 |
| M_3 (for $i'=30$) | M_{\odot} | 1,7897 | 0,02 |
| M_3 (for $i'=60$) | M_{\odot} | 0,9153 | 0,02 |
| M_3 (for $i'=90$) | M_{\odot} | 0,7757 | 0,02 |
| K_{RV} | km/sn | 3,2982 | 0,08 |

gözlenen yarı-genliği A (gün biriminde),

$$A = \frac{a'_{12} \sin i' \sqrt{1 - e^2 \cos^2 \omega'}}{173.15} \quad (3)$$

Burada a'_{12} , ortak kütle merkezine göre çift yıldızın göreli yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğudur ve i' , 3.cismin yörüngesinin eğimidir. 173.15, AB/gün biriminde ışık hızıdır. Eşitlik (2) deki teorik formül kullanılarak T_0 , P_{orb} , P_{12} , T' , $a'_{12} \sin i'$, e' , ω' parametrelerini belirledik.

Diferensiyel düzeltme metodu kullanılarak, ışık zaman yörüngesi ve 3.cismin parametreleri elde edildi. Her minimum zamanın için gözlemsel ağırlıklar kullanılmıştır. CCD ve fotoelektrik için $w = 10$, fotoğrafik veri için 5, vizüel gözlemler için 1 kullanılmıştır. Çözüm parametreleri ve standart hataları Çizelge.1 de verilmiştir. O-C diagramındaki sinüsel fit Şekil.3 de gösterilmiştir. Sinüsel yaklaşımdan minimum zamanlarının O-C farkları Şekil.4 de verilmiştir. Eşitlik (2) den artıkların karelerinin toplamı $\sum(O-C)^2 = 3.7227 \times 10^{-4}$ gün² dir.

3 Üçüncü cismin kütlesi ve radyal hız yarı-genliği

3. cismin yörüngesinin çözüm parametreleri aşağıdaki gibi üçlü sistemin kütle fonksiyonunu belirlemek kullanıldı:

$$f(M) = \frac{(M_3 \sin i')^3}{(M_1 + M_2 + M_3)^2} = \frac{(a'_{12} \sin i')^3}{P_{12}^2} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{P_{12}^2} \left[\frac{173.15A}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \omega'}} \right]^3$$

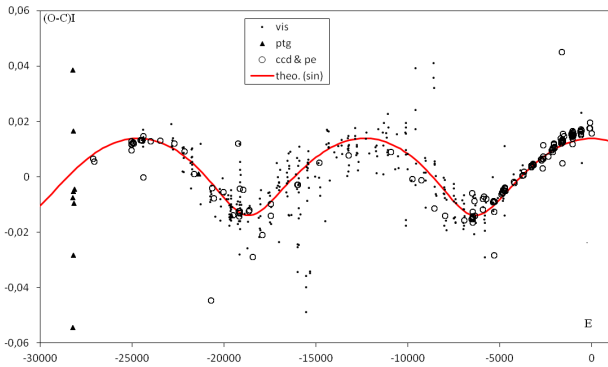
Burada P_{12} yıl biriminde 3.cismin yörünge periyodudur, ve M_1 , M_2 ve M_3 üçlü sistemin bileşenlerinin kütleleridir. a'_{12} , P_{12} , i' ve $M_{1,2,3}$; AB, yıl, derece ve güneş kütlesi birimindedir. Yukarıdaki eşitliğe göre, $f(m) = 0.02591 \pm 0.0012 M_{\odot}$ ve $a'_{12} \sin i' = 2.408977 \pm 0.05$ AB olarak belirledik.

Yörünge düzlemlerinin çakışık ($i' = 80^\circ.98$) olduğunu kabul ederek, üçüncü bileşenin kütlesi elde edildi. Lázaro ve ark. (2001) tarafından elde edilen tutulma gösteren ikili sistemin $M_1 = 2.624 M_{\odot}$ ve $M_2 = 0.844 M_{\odot}$ kütlelerini kullandık. Üçüncü cismin yörünge parametreleri, kütle fonksiyonları ve kütleleri Çizelge.1 de verilmiştir.

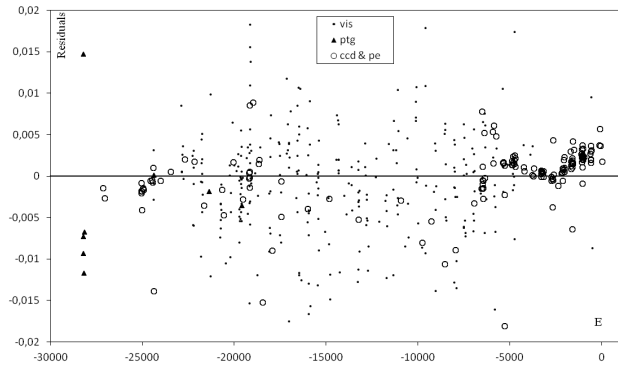
Tutulma gösteren çiftin sistematik radyal hız değişiminin yarı-genliği K_{RV} aşağıdaki gibi Mayer (1990) tarafından

Çizelge 2. VV UMa'nın 3.cisim yörünge parametreleri ve önceki çalışıma ile karşılaştırması

| Parametre | birim | Şimon (1996) | Bu çalışma |
|-----------|-------------|--------------|------------|
| P_{O-C} | year | 22,28 | 23,22334 |
| A | day | 0,01226 | 0,0139 |
| e' | | 0,2 | 0,35 |
| ω' | degree | 219,8 | 263 |
| $f(M)$ | M_{\odot} | 0,0199744 | 0,025921 |
| M_3 | M_{\odot} | 0,4 | 0,7868 |
| K_{RV} | km/sn | 2,93 | 3,2982 |



Şekil 3. HJD2436600 den sonraki minimum zamanlarına uygulanan lineer fitten olan farklar. Düz eğri; çevrimsel sinüsel değişimi göstermektedir. Semboller Şekil.1.deki gibidir.

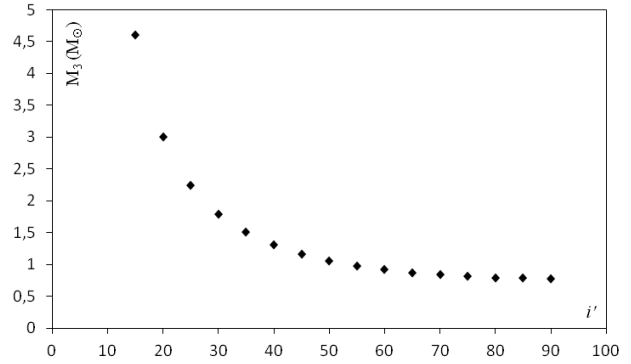


Şekil 4. Işık zaman analizi ile sinüsel fitten olan farklar. Semboller Şekil.1.deki gibidir.

sağlanmıştır:

$$K_{RV} = \frac{29.785 a'_{12} \sin i'}{P_{12} \sqrt{1 - e^2}} \quad (5)$$

Burada K_{RV} , P_{12} ve a'_{12} ; km s^{-1} , yıl ve AB birimindedir. Çakışık yörüngeler ($i' = 80^{\circ}.98$) dikkate alınarak, ışık zaman etkisiyle sistemin hızının yarı-genliği yaklaşık olarak 3.2982 km s^{-1} olarak hesaplanmıştır, Şimon (1996) tarafından verilen değerden çok az büyüktür. Bu değer Çizelge.2 de verilmiştir. Üçlü sistemin farklı yörünge açıları için 3.cisim kütlesi hesaplanmıştır. Bu değişim Şekil.5 de sunulmuştur. 3. cisim kütlesi çift sistemde 2. bileşenin kütlesi ile karşılaştırılabilecek düzeydedir. Bu nedenle tayfsal gözlemler kullanılarak keşfedilebilir.



Şekil 5. Farklı yörünge eğimlerine göre VV UMa'nın görünmeyen 3.bileşenin kütle değişimi.

4 Tartışma ve Sonuçlar

Üçüncü cismin varlığı farklı gözlemsel tekniklerle belirlenmelidir. 3.cisim kütlesi 2.bileşenin kütlesi ile karşılaştırılabilir, tayfsal olarak belirlemek için yeterince büyüktür.

Kesinlikle en son sonucumuzu doğrulayacak interferometre, astrometri veya tayfsal gözlemler kullanılarak kırmızı öte dalgaboylarında VV UMa üçlü sisteminde 3.cisim varlığı için doğrudan deliller sunması arzu edilmektedir. VV UMa üçlü sistem için Tanriver (2015)'in çalışmasında diğer sonuçlar verilmiştir.

Kaynaklar

- Arévalo, M.J., Lázaro, C., Domínguez, R.M., Martínez-Pais, I.G.: *IBVS* **5160** (2001) 1
 Broglia, P., Conconi, P.: *AASS* **27** (1977) 285
 Chaubey, U.S.: *ApSS* **64** (1979) 177
 Hill, G., Hilditch, R.W., Younger, F., Fisher, W.A.: *MNRAS* **79** (1975) 131
 Hilditch, R.W., Hill, G.: *MNRAS* **79** (1975) 101
 Irwin, J.B.: *ApJ* **116** (1952) 211
 Irwin, J.B.: *AJ* **64** (1959) 149
 Kaho, S.: *Tokyo Astron. Obs. Rep.* **6** (1939) 97
 Kim, S.-L., Lee, J.W., Lee, C.-U., Kang, Y.B., Koo, J.-R., Mkrichian, D.E.: *IBVS* **5598** (2005) 1
 Kučera, P., Mikulášek, Z.: *Contrib. Obs. Plan. Brno* **28** (1986) 47
 Lázaro, C., Arévalo, M.J., Claret, A., Rodríguez, E., Olivares, I.: *MNRAS* **325** (2) (2001) 617
 Lázaro, C., Arévalo, M.J., Martínez-Pais, I.G., Domínguez, R.M.: *AJ* **123** (5) (2002) 2733
 Mayer, P.: *BAICz* **41** (1990) 231
 Rafert, J.B.: *AJ* **100** (4) (1990) 1253
 Simon, V.: *AA* **311** (1996) 915
 Struve, O.: *ApJ* **112** (1950) 184
 Struve, O.: *AJ* **55** (1951) 183
 Tanriver, M.: *NewAst* **36** (2015) 56
 Wilson, R.E.: *ApJ* **70** (1965) 368

Erişim:

034-1735: **UAK-2015 Program** --- **UAK Bildiri** --- **Turkish J.A&A.**