

U Oph Örten Çift Sisteminde Eksen Dönmesi ve Işık-Zaman Etkisi

Z. Bozkurt, Ö.L. Değirmenci

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü,
35100, Bornova, İzmir
zeynep.omerd@astronomy.sci.ege.edu.tr

Özet : U Oph örten çift sisteminin değişimi 1871 yılından beri bilinmektedir. 1940'lardan önce U Oph'un döneminin değişip değişmediği belirsiz kalmıştır. Fotoelektrik minimum zamanlarının gözlenmeye başlaması ile dönemde değişme olduğu ortaya çıkmıştır. Birçok yazar ışık-zaman yörüngesi için farklı değerler vermiştir. Kamper (1986)'ın yaptığı dönem çalışmasına kadar detaylı ve titiz bir dönem çalışması yapılmamıştır. U Oph örten çift sistemi için literatürde mevcut olan minimum zamanları ile 1999 yılında Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde gözlenen 2 yan ve 1 baş minimum kullanılarak O – C analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda 37.83 yıllık ışık-zaman etkisi ve 20.46 yıllık eksen dönmesi belirlenmiştir.

1. Giriş

B5 tayf türünden iki anakol yıldızını içeren U Oph örten çift sistemi görelî olarak kısa sayılabilecek bir yörünge dönemine (P: 1.677 gün) sahip olmasına rağmen ayrı bir sistemdir. U Oph örten çift sistemi boyutları ve kütlesi iyi belirlenen yıldızlar içinde yer almaktadır Andersen (1991). Bu güne kadar ışık ve hız eğrilerinde dikkati çeken bir anormalliğe rastlanmamıştır. U Oph aynı zamanda 13^m.0 parlaklığında, 20".7 uzaklıkta, geç G tayf türünden $\approx 0.8 M_{\odot}$ kütleli görsel bir bileşene sahiptir. U Oph'un Holmgren et al. (1991)'den alınan salt parametreleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. U Oph örten çift sisteminin salt parametreleri.

Element	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Kütle M_{\odot}	4.93±0.05	4.56±0.04
Yarıçap R_{\odot}	3.29±0.06	3.01±0.05
T_{eff} (°K)	16900±1500	16000±1500
$\log g$ (cgs)	4.10±0.01	4.14±0.02
M_{bol}	-2.52±0.39	-2.08±0.41
M_v	-0.86±0.44	-0.55±0.48
BC	-1.66±0.22	-1.52±0.24
Yaş (yıl)	4x10 ⁷	4x10 ⁷
vsini (kms ⁻¹)	125±5	115±5

U Oph sisteminin ilk ışık eğrisi, 1882 yılında Wendel ve Pickering tarafından yapılan gözlemler kullanılarak Bailly (1903) tarafından elde edilmiştir. İlk olarak Shapley tarafından çözülen bu ışık eğrisinde yan minimumun 0.496 evrede gerçekleştiği görülmüştür. Wendel (1913) tarafından 1906'dan 1912'ye kadar yapılan gözlemlerde ise yan minimum 0.497 evrede gerçekleşmektedir. Viola (1928), Bemporad tarafından 1918'den 1921'e kadar yapılan 244 fotometrik gözlemi kullanarak bir çalışma yapmıştır. Normal noktalarla oluşturulan ışık eğrisinde yan minimum 0.441 evrede gerçekleşmektedir. Magalashvili (1949) sarı ve mavi fotoelektrik ışık eğrisini elde etmiştir. Gözlemler 1944-1945 aralığını kapsamakta ve yan minimum 0.498 evrede gerçekleşmektedir. Huffer ve Kopal (1951) filitresiz olarak 1939-1941 ve 1947-1948 aralıklarında toplam 434 gözlem rapor etmişlerdir. Minimumlar içinde gözlemler homojen değildir ve minimumlarda 0^m.2'ye varan saçılmalar vardır. Bu çalışmada yan minimum yerine ilişkin bir bilgi verilmemiştir. Plavec, Pekny&Smetanova (1960) sistemin değişimi keşfedildiğinden beri mevcut minimum zamanlarını kullanarak kapsamlı bir dönem çalışması yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda dönem için P: 1^d.67734523 değerini elde etmişlerdir. Eaton&Ward (1973), 1970'ten itibaren birçok dalgaboyunda yaptıkları incelemelerde tüm yan minimumların 0.5012 evrede olduğunu göstermişlerdir. U Oph sisteminin tayfsal yörüngesi ise Plasket (1919), Abrami (1958), Pearce (1960) ve Popper&Carlos (1970) tarafından elde edilmiştir.

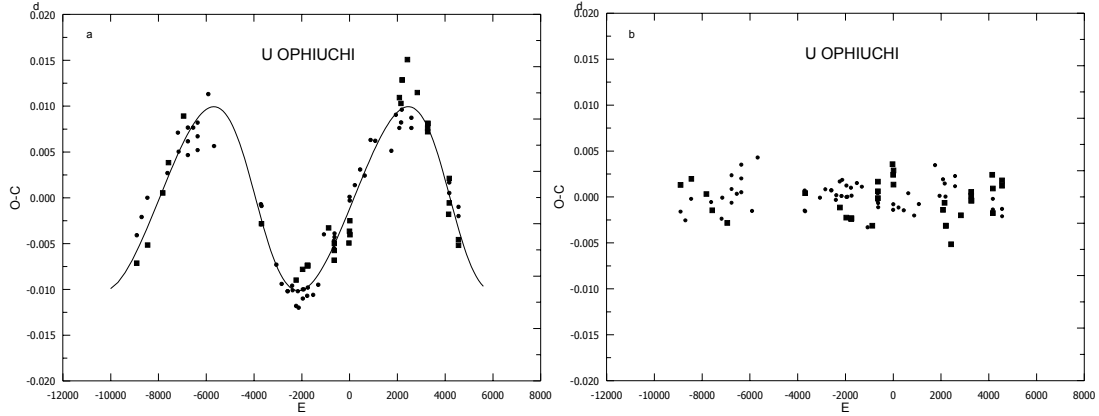
1940'lardan önce U Oph'un döneminin değişip değişmediği belirsiz kalmıştır. Fotoelektrik minimum zamanlarının gözlenmeye başlaması ile dönemde değişme olduğu ortaya çıkmıştır. Parenago (1949) P/P = 10000 (P' \approx 46 yıl) olarak verilen periyodik bir terim önermiş ve bunu üçlü

sistemdeki ışık-zaman etkisi olarak yorumlamıştır. Üçüncü cismin kütleini güneş kütleinden daha küçük bulmuş ve bunu üçüncü cismin ışığının belirlenememesinin sebebi olarak göstermiştir. Koch&Kogler (1977) tarafından sistemin fotometrik analizi yapılmıştır. Bu çalışmada sistemdeki üçüncü bir yıldızın varlığından söz edilmekte ve bu bileşene ilişkin parametreler verilmektedir. U Oph üçüncü bir cisme sahipse bunun orta A veya G tayf türünden anakol öncesi ya da anakol cismi olması gerektiği ileri sürülmektedir. Yazarlar, yan minimumların baş minimumlara göre gösterdiği saçılmaya dikkat çekmekte ve bu tür saçılmaların eksen dönmesinin belirtisi olabileceği, ancak belirgin bir dönemlilik olmadığı için bu ihtimalin gözardı edildiğini söylemektedirler. Frieboes-Conde&Herczeg (1973) 49.3 veya 55.25 dönemli iki olası ışık zaman etkisi önermişlerdir. Panchatsaram (1981) ise 27.55 yıl dönemli bir ışık-zaman etkisi belirlemiştir. Samus&Galkina (1984) da ışık-zaman etkisi üzerinde durmuşlardır. Belirsizlik devam etmiş ve farklı yazarlar, farklı ışık-zaman yörüngesi değerleri vermişlerdir.

Detaylı ve titiz bir dönem çalışması Kamper (1986) tarafından yapılmıştır. Diferansiyel düzeltme yöntemi ile 38.7 ± 0.2 yıl dönemli ışık-zaman etkisi ile 20.7 yıl dönemli eksen dönmesi belirlenmiştir. Kamper, çift sistemin yörünge basıklığı için $e: 0.0031 \pm 0.0003$, iç yapı sabiti k_2 için 0.0059 ve üçüncü cismin kütle aralığı olarak da $0.8 M_{\odot} \leq m_3 \leq 1.1 M_{\odot}$ değerini vermektedir. Üçüncü bileşenin anakola doğru büzülme aşamasında erken G ve orta F tayf türü arasında olması gerektiğini ileri sürmüştür. Sistemin fotometrik ve polarimetrik gözlemleri Eritsian ve ark. (1998) tarafından yapılmıştır. Dönem değişimi ile ilgili en son çalışma Wolf ve ark. (2002) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ışık-zaman etkisi yörüngesi için 37.6 ± 0.2 yıl ve eksen dönmesi için ise $U = 20.1 \pm 0.1$ yıllık dönem verilmiştir.

2. U Oph Örtün Çift Sisteminin O-C Analizi

U Oph örtün çift sistemi için literatürde mevcut olan minimum zamanları ile 1999 yılında Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde gözlenen 2 yan ve 1 baş minimum zamanı kullanılarak O – C analizi yapılmıştır. Başlangıç olarak sistemde yalnızca ışık-zaman etkisi olduğu varsayımı ile çözüm yapılmıştır. Bu çözüm sonucunda elde edilen O – C grafiği Şekil 1a'da verilmektedir.

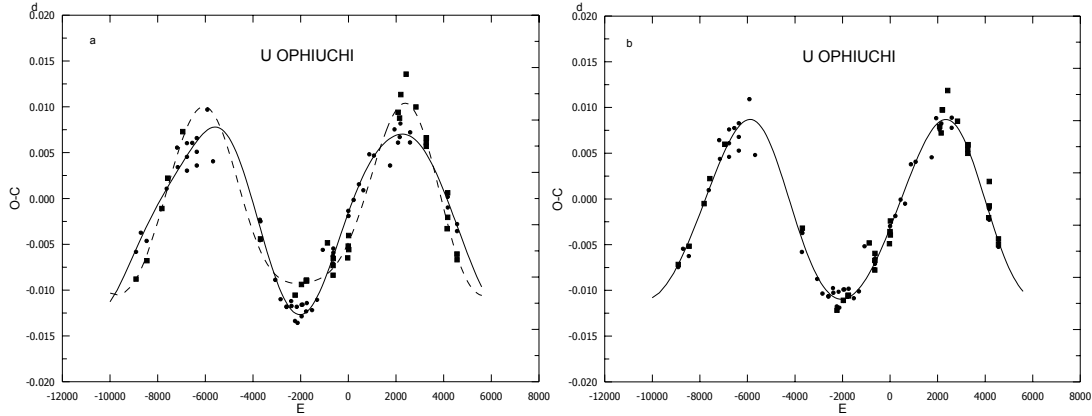


Şekil 1. a) Yalnızca ışık-zaman etkisi varsayımı ile yapılan çözüm sonucu elde edilen O-C eğrisi.

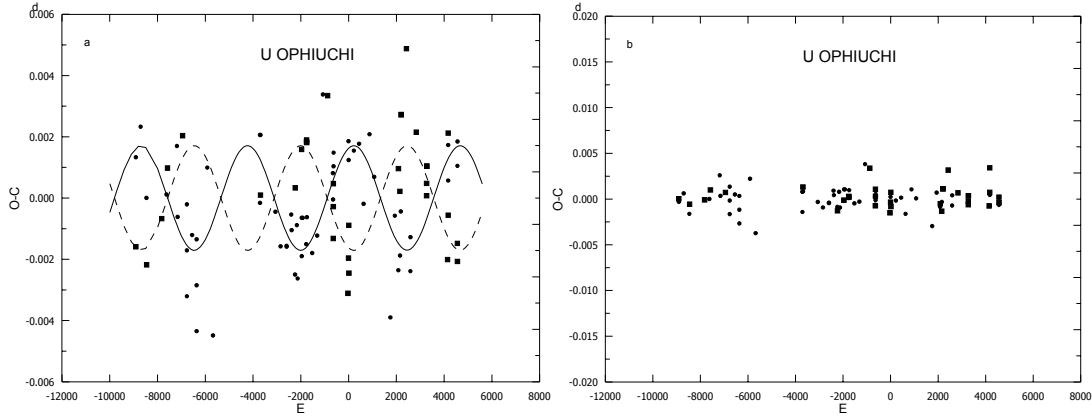
b) Gözlemsel noktalarla kuramsal eğri arasındaki farklar. Şekilde içi dolu daireler baş, kareler yan minimuma karşılık gelmektedir.

Grafikteki gözlemsel noktalarla kuramsal eğri arasındaki farklara bakıldığında (Şekil 1b) baş ve yan minimumlar için zıt yönlü bir dağılım görülmektedir. Bu zıt yönlü dağılım sebebi ile ışık-zaman ve eksen dönmesi etkilerinin birlikte olduğu çözüm yapıldı.

Çözüm sonucu elde edilen O – C eğrisi Şekil 2a'da görülmektedir. Bu çözümdeki ışık-zaman ve eksen dönmesi etkilerinden kaynaklanan katkılar sırasıyla Şekil 2b ve Şekil 3a'da verilmektedir. Teorik eğri ve gözlemsel noktalar arasındaki fark ise Şekil 3b'de verilmektedir ve şekilden de görüleceği gibi baş ve yan minimumlar aynı yönlü ve sıfır civarında dağılmaktadır. Yapılan analiz sonucu elde edilen üçüncü cisim ve eksen dönmesi parametreleri Çizelge 2'de verilmektedir.



Şekil 2. a) Işık-zaman ve eksen dönmesi etkilerinin birlikte olduğu çözüm.
b) Şekil 2a'daki ışık- zaman katkısı.



Şekil 3. a) Şekil 2a'daki eksen dönmesi katkısı.
b) Şekil 2a'daki gözlemsel noktalarla kuramsal eğri arasındaki farklar.

Çizelge 2. U Oph örten çift sisteminin eksen dönmesi ve üçüncü cisim parametreleri.

Eksen Dönmesi		Üçüncü Cisim	
T_0 (HJD)	24	P_3 (yıl)	37.83 ± 0.11
P_s (gün)	$1.67734583 \pm 0.00000002$	A_3 (gün)	0.0098 ± 0.0001
P_a (gün)	1.677722358	e_3	0.154 ± 0.008
E	0.0032 ± 0.0002	ω_3 ($^\circ$)	132 ± 7
$\dot{\omega}$ ($^\circ$ /çevrim)	0.08079 ± 0.00133	T_3 (HJD)	$24\ 35906 \pm 30$
ω_n ($^\circ$)	162 ± 5	$a_{12} \sin i_3$	1.713 ± 0.022
U (yıl)	20.46 ± 0.34	σ	$0^9.00122$

3. İç Yapı Sabiti

Çizelge 2'de verilen eksen dönme parametrelerini kullanarak ve bileşenlerin yaklaşık olarak aynı iç yapı koşullarına sahip oldukları varsayımını yaparak,

$$\bar{k}_2 = \frac{1}{c_1 + c_2} \frac{P_a}{U} = \frac{c_1 k_1^{(2)} + c_2 k_2^{(2)}}{c_1 + c_2} \quad (1)$$

ifadesinden gözlemsel iç yapı sabiti için $\log \bar{k}_2(obs) = -2.1819$ değeri elde edilir. (7) denklemdeki c_1 ve c_2 yörünge dışmerkezliği, kesirsel yarıçap, bileşenlerin kütleleri ve bileşenlerin dönme hızlarının yörünge hızına oranına bağlı olarak şu şekilde verilir:

$$c_i = \left(\frac{a_i}{a}\right)^5 \left\{ 15 \frac{m_{3-i}}{m_i} f_2(e) + \left(\frac{w_i}{w_k}\right)^2 \left(1 + \frac{m_{3-i}}{m_i}\right) g_2(e) \right\} \quad (i=1,2) \quad (2)$$

Sistemin fiziksel parametreleri Holmgren ve ark.(1991) çalışmasından alınmıştır. Teorik iç yapı sabitini hesaplayabilmek için Claret&Gimenez(1989) tarafından oluşturulan tablolardan yararlanıldı. Tablolardan bileşenlerin kütleleri ve çekim ivmelerine karşılık gelen k_2 değerleri okunarak teorik içyapı sabiti için $\log \bar{k}_2(teo) = -2.1872$ değeri bulundu. Bu iç yapı sabiti değerleri Wolf et al.(2002) tarafından hesaplanan $\log \bar{k}_2(obs) = -2.183$ ve $\log \bar{k}_2(teo) = -2.188$ değerlerine oldukça yakındır.

U Oph sistemindeki relativistik eksen dönmesi,

$$\left(\frac{\Delta\omega}{2\pi}\right)_{rel} = \frac{3G(m_1 + m_2)}{ac^2(1 - e^2)} \quad (3)$$

ifadesi ile $\dot{\omega}_{rel} = 0.001724$ °/çevrim olarak hesaplandı. Wolf ve ark.(2002) tarafından $\dot{\omega}_{rel} = 0.00173$ °/çevrim vermişlerdir.

4. Üçüncü Cismin Kütlesi

Üçüncü cismin kütlesi için bir alt sınır belirlemek üzere kütle fonksiyonu için verilen,

$$(\sin^3 i_3) m_3^3 - f(m_3) m_3^2 - 2m_{12} f(m_3) m_3 - m_{12} f(m_3) = 0 \quad (4)$$

denkleminde $i_3=90^\circ$ alınarak $f(m_3) = 0.100351$ ve $m_3 \geq 0.715 m_\odot$ bulunmuştur. Üçüncü cismin kütlesini $0.715 m_\odot$ kabul edersek,

$$m_{12} a_{12} \sin i_3 = m_3 a_3 \sin i_3 \quad (5)$$

ifadesinden, $\sin i_3 = 1$ varsayımı ile $a_3 = 22.736$ AB ve buradan görel yörüngenin yarı büyük eksen uzunluğu,

$$a = a_{12} + a_3 \quad (6)$$

den $a = 24.449$ AB bulunur. Bu durumda çift ile üçüncü bileşen arasındaki açısal görünür uzaklık enberi ve enötede sırasıyla,

$$\rho_{eb} = \frac{a(1 - e_3) \sqrt{1 - \sin^2 \omega_3}}{d} \quad (7)$$

$$\rho_{e\ddot{o}} = \frac{a(1 + e_3) \sqrt{1 - \sin^2 \omega_3}}{d}$$

denklemlerinden $\rho_{eb} = 0''.080$, $\rho_{e\ddot{o}} = 0''.108$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler çift ile üçüncü bileşen arasındaki görünür açısal ayrılıklar için sırasıyla alt ve üst limitlerdir. Sistemni uzaklığı Guide'dan $d = 172.41$ pc olarak alınmıştır.

Çiftin ortak kütle merkezine dikine hız değişiminin yarı genliği K,

$$K = \frac{2\pi a_{12} \sin i_3}{P_3 \sqrt{1 - e_3^2}} \quad (8)$$

ifadesinden $K = 1.37$ km/s olarak hesaplanmıştır. Buradan toplam genlik için $2K = 2.74$ km/s değeri bulunmuştur.

5. Sonuç

U Oph örten çift sisteminin literatürde mevcut olan ve E.Ü. Gözlemevi'nde elde edilen minimum zamları kullanılarak dönem analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda eksen dönme açısal hızı için $\dot{\omega}_{obs} = 0.08079 \pm 133^\circ/\text{çevrim}$ değeri elde edilmiştir. Bu hıza karşılık elde edilen eksen dönme dönemi ise $U = 20.46 \pm 34$ yıl'dır. U Oph, bu dönemle en kısa eksen dönme dönemine sahip yıldızlardan birisidir.

U Oph örtlen çift sisteminde ayrıca 37.83 yıl dönemli ve minimum kütlesi $0.715M_{\odot}$ olan üçüncü bir cisim belirlenmiştir. Bu minimum kütle kullanılarak üçlü sistemin görelî yarı-büyük eksen uzunluğu için $a = 24.45$ AB elde edilmiştir. Yakın çift ve üçüncü bileşen arasındaki görünür açısal uzaklıklar için enberi ve enöte'de sırasıyla $0''.080$ ve $0''.108$ değerleri hesaplanmıştır. Çiftin ortak kütle merkezinin dikine hız değişiminin yarı genliği $K = 1.37$ km/s olarak belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma E.Ü. Arştırma Fonu tarafından 98/Fen/52 no'lu proje olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Abrami, A.**, 1958, Trieste Contr. No.283, 3
Andersen, J., 1991, The Astron.Astrophys. Rev., 3:91-156
Bailey, S.I., 1903, Ann. Harvard Coll.Obs., 46, 212
Claret, A., Gimenez, A., 1989, A&AS, 81, 1
Eaton, J.A., and Ward, D.H., 1973, Ap.J., 185, 921
Eritsian, M.A., Docobo, J.A., Melikian, N.D., and Tamazian, V.S., 1998, Astron.Astrophys. 329, 1075-1079
Friebos-Conde, H., and Herczeg, T., 1973, Astron.Astrophys.Suppl.Ser., 12, 1
Holmgren, D.E., Hill, G., Fisher, W., 1991, Astron.Astrophys., 248, 129-138
Huffer, C.M., and Kopal, Z., 1951, Ap.J., 114, 297
Kamper, B.C., 1986, A&SS, 120,167-189
Koch, R.H., and Koegler, C.A., 1977, Astron.J., 214, 423
Magalashvili, N.L., 1949, Abastumani Bull., 10, 1
Panchatsaram, T., 1981, Bull.Astron.Soc.India, 9, 139
Parenago, P.P., 1949, Peremennye Zvezdy 7, 102
Pearce, J.A., 1960, AJ, 65, 55
Plavec, M., Pekny, Z., and Smetanova, M., 1960, Bull.Astr.Inst.Czechoslovakia, 11, 180
Plaskett, J.S., 1919, Publ.Dom.Astrophys.Obs., 1, 138
Popper, D.M., Carlos, R., 1970, Publ.Astron.Soc.Pacific, 82, 762
Samus, N.N., and Galkina, M.P., 1984, Astron.Tsirk., No.1340
Shapley, H., 1915a, Contr.Princeton Univ.Obs., 3, 84
Viola, G., 1928, Contr.Astr.Oss.Capodimiente, Napoli, No.50
Wendell, O.C., 1913, Ann.Harvard Coll.Obs., 69, 77
Wolf, M., Harmanec, P., Diethelm, R., Hornoch, K., and Eenens, P., 2002, 383, 533-539