

## W UMa Sisteminin Yörünge Dönemi Değişimleri

Selim O. SELAM

A.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan-ANKARA  
e-mail: selim@astro1.science.ankara.edu.tr

**ÖZET:** W UMa sistemi, geç tür degen çift yıldızların prototipi olarak bilinmektedir. Sistemin 1903-1999 yılları arasında elde edilmiş ve yayınlanmış tüm tutulma minimumu zamanları, sistemin yörünge dönemindeki değişim karakterlerini ortaya koymak amacı ile (O-C) analizinden geçirilmiştir. Sistemin (O-C) değişimi bir parabol ve iki sinüs eğrisinin bileşkesi olarak ifade edilebilmektedir. Değişik yöntemlerle geçerliliği test edilen (O-C) fitlerinin sonuçları, sistemin bileşenleri arasındaki kütle aktarımı, sistemden uzaya kütle kaybı, bileşenlerin manyetik aktivitesi ve sisteme bağlı ilave cisim varlığı açısından irdelenmiştir.

### 1. Giriş

1902 yılında ışık değişimi gösterdiği, Müller ve Kempf (1903) tarafından keşfedilen ve ADS 7494 görsel çiftinin parlak bileşeni olan W UMa (HD 83950, BD+56°1400, ADS 7494A) sistemi, geç tür degen çift yıldızların prototipi olarak bilinmektedir.

Keşfinden bu yana çok sayıda araştırmacıya konu olan W UMa sisteminin eski gözlemleri ve sonuçları Woodward (1942), Binnendijk (1966), Breinhorst (1971), yakın geçmiştekileri ise Linnell (1985, 1987, 1991a,b,c) tarafından özetlenmiştir. Sistemin 1964 yılında yapılan fotometrisi sırasında Kuhl (1964), U bandında 9 dakika süren ve parlaklık artışı 1.5 kadir olan bir flare gözlemiştir. Bu flare 0.703 yörünge evresine denk gelmektedir.

W UMa'nın literatürde çok sayıda fotometrik gözlemi bulunmaktadır. Bunlardan en kapsamlı ve yakın zamanda elde edileni Linnell'in (1985) UBVRİ fotometrisi ve ANS uydusu ile elde edilen UV fotometrisidir (Linnell 1991b). Linnell (1987, 1991a,b,c), bu gözlemlerden oluşan ışık eğrilerini, çeşitli model kabulleri altında analiz edilmiştir ve w-türü W UMa ışık eğrileri için önerilen kuramları test etmiştir. W UMa'nın ışık eğrisi analizinde karşılaşılan önemli problem, w-türü ışık eğrilerinin açıklanması için önerilen temel iki modelin de tam anlamı ile gözlemlerle uyuşmamasıdır. Linnell'e (1991a) göre sıcak ikinci bileşen (hot secondary) modeli, tüm dalgaboyu verilerini bir bütün olarak daha iyi temsil etmektedir. Buna karşılık büyük bileşen üzerinde soğuk leke ile yapılan modellemeler, belli dalgaboylarındaki w-türü ışık eğrileri ile daha iyi uyum göstermektedir (Linnell 1991c). Sistemin ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisi (ana maximum daha parlak) ise sistemin

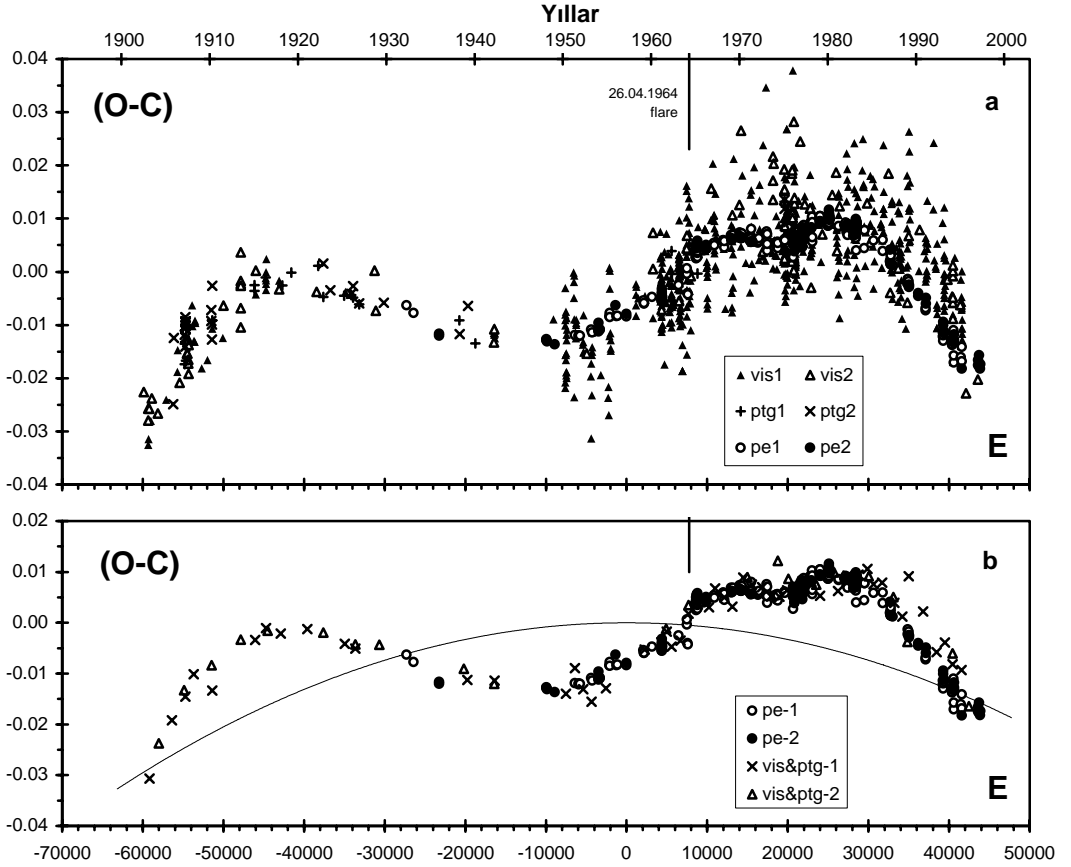
bileşenleri üzerinde yer alan karanlık lekelerle açıklanabilmiştir (Linnell 1991c).

Sistemin eski tayfsal gözlemleri ve sonuçları Batten vd.'de (1989) yer almaktadır. Sistemin son yayınlanmış tayfsal gözlemi ve dikine hız eğrisi analizi Rucinski vd.'ne (1993) aittir ve sistemin mutlak boyutları da hesaplanmıştır. Sistem, her iki bileşeni de F8V tayf türündendir.

Sistemin dönem değişimi gösterdiği Baldwin'den (1908) bu yana bilinmektedir. Dönem değişimi karakteri son olarak Morgan vd. (1997) tarafından çalışılmıştır. Bu araştırmacılar, çevrimli dönem değişiminin nedenini, bir dizi aktivite kökenli kütle aktarımı/kaybı olarak yorumlamışlardır. Bu çalışma dışında literatürde, dönem değişiminin detaylı olarak yorumlandığı bir tek çalışma daha vardır. Schmidt ve Schrick'e (1956) ait bu çalışmada sisteme bağlı  $0.25 M_{\odot}$  kütleli ve  $P=49.9$  yıl yörünge dönemi üçüncü bir bileşenin varlığı üzerinde durulmuştur.

### 2. Veriler ve Dönem Değişim Karakteri

Bu çalışmada W UMa sisteminin gösterdiği ilginç dönem değişimi karakteri analiz edilmiş ve geçerli modellerin ışığı altında yorumlanmıştır. Bu amaçla sistemin 1903 yılından bu yana gözlenmiş tüm tutulma minimumu zamanları orijinal kaynaklarına ulaşarak yeniden derlenmiş ayrıca yakın zamanda, A.Ü. Gözlemevi'nde 4, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi-TUG'da ise 2 minimum gözleminden yeni veri üretilmiştir. TUG'da elde edilen W UMa gözlemleri, 40 cm'lik aynalı teleskoba ait "İlk Işık" gözlemidir (Keskin ve Aslan, 1998). Böylece sistemin son 96 yıllık zaman aralığına dağılmış toplam 1186 adet minimum zamanına ulaşılmıştır. Bunlardan 374'ü fotoelektrik, 51'i fotoğrafik, 761'i ise görsel gözlemlerin sonucudur.



Şekil-1

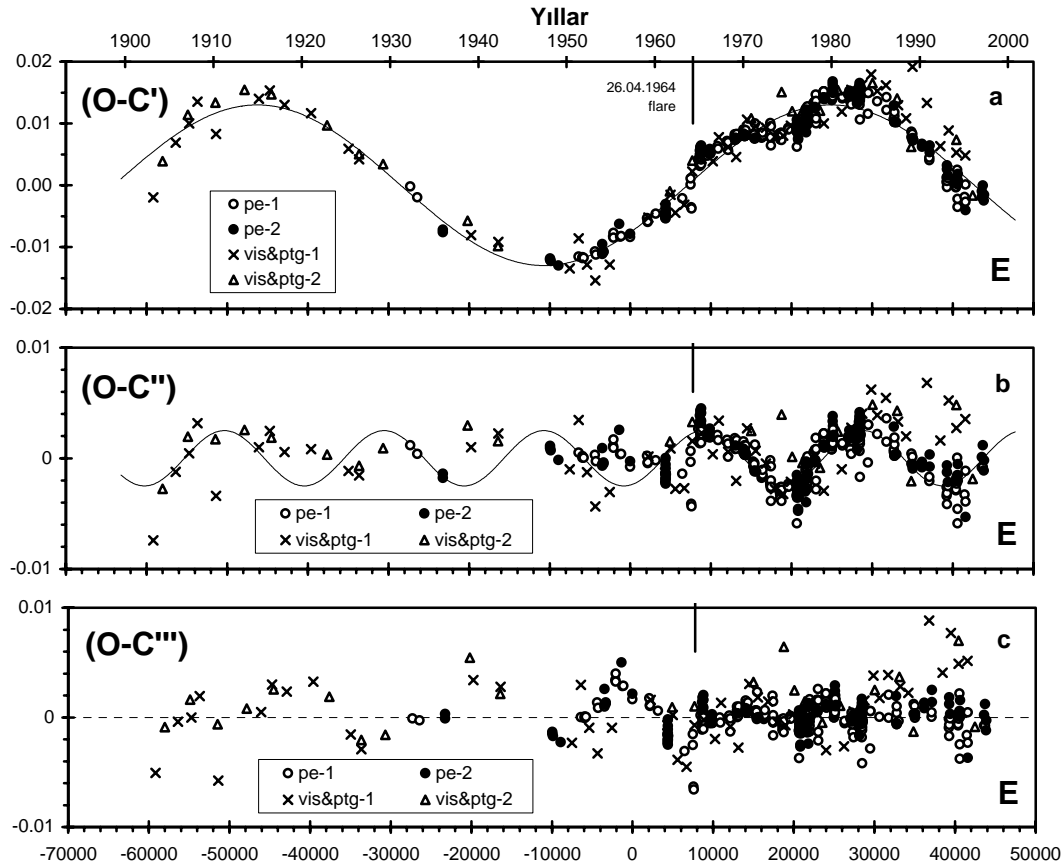
## 2.1. (O-C) Analizi

Bu çalışmada elde edilen yeni ışık elemanlarının doğrusal kısmı kullanılarak tüm minimum zamanları için oluşturulan (O-C) diyagramı Şekil-1a da görülmektedir. Kuhl'nin (1964) flare gözleminin tarihi bu diyagramda işaretlenmiştir. Görsel ve fotografik veriler, gösterdikleri aşırı saçılma nedeni ile birleştirilerek yıllık normal minimum zamanlarına dönüştürülmüştür. Bu yolla görsel ve fotografik normal minimum sayıları 53 adet 1. minimum ve 23 adet 2. minimum olmuştur. Şekil-1b de bu normal minimumlar ve fotoelektrik minimumlardan oluşturulmuş (O-C) diyagramı görülmektedir. Dönem analizi verisi olarak bu diyagrama ait minimum zamanları kullanılmıştır. Tekil verilerin ortalama hatası görsel/fotografik normaller için 0.005 gün, fotoelektrik veriler için 0.0005 gün yöresindedir.

(O-C) diyagramının genel yapısı gereği, sistemin döneminin uzun vadede bir azalma gösterdiği görülmektedir. Buna göre tüm verilere uygulanan ikinci derece en küçük kareler yaklaşımı Şekil-1b de sürekli çizgi ile gösterilmiştir ve yüzyılda 0.155 sn mertebesinde seküler bir dönem azalmasını gerektirmektedir.

İkinci derece yaklaşımdan olan (O-C') artıkları Şekil-2a da görülmektedir. Bu artıklarda 1.5 dönemini tamamlamış çevrimsel yapıyı değişim hemen görülebilmektedir. Bu değişime ardışık yaklaştırma yöntemleri ile uygulanan sinüsel yaklaşımlardan en iyi uyumu sağlayan fit Şekil-2a da sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Bu fit fonksiyonunun yarı-genliği 0.013 gün ve dönemi de 65 yıldır. Bu yaklaşımdan olan (O-C'') artıkları Şekil-2b de yer almaktadır. İlk bakışta bir ortalama etrafında düzensiz saçılmalar gibi görülen bu artıklarda, özellikle Kuhl'nin (1964) flare gözlediği tarihten sonra yarı-düzenli çevrimsel bir yapının varlığı hissedilmektedir. Bu çevrimsel yapıya en iyi uyum gösteren sinüsel yaklaşım Şekil-2b de sürekli çizgi ile görülmektedir. Yarı-genliği 0.0025 gün ve dönemi 18.1 yıldır. Şekil-2c de bu fitlerden kalan artıklar görülmektedir. Böylece (O-C) değişimini bir bütün olarak temsil eden parabol+2sinüs yaklaşımının gözlemsel verilerden olan artıklarının toplamı, tüm veri için  $\chi^2=0.00147$ , fotoelektrik veriler için  $\chi^2=0.00066$  olmaktadır. Buna göre sisteminin yeni ışık elemanları:

$$\begin{aligned} \text{Min I} = & \text{HJD } 2435918.4154 + 0^{\text{e}}.333637388 * E - 8.1 * 10^{-12} * E^2 \\ & + 0^{\text{e}}.0130 \sin[(2\pi(E+10700)/71158.841) - \pi/2] \\ & + 0^{\text{e}}.0025 \sin[(2\pi(E-19000)/19815.0) - \pi/2] \end{aligned}$$



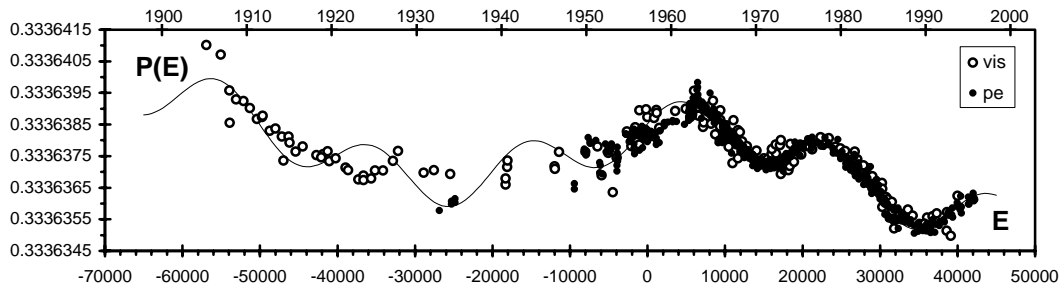
Şekil-2

## 2.2. Dönem-Zaman P(E) Diyagramı

(O-C) değişim karakterinin sürekli fonksiyonlarla ifade edilebilmesi halinde, bu fonksiyonun zamana göre (E'ye veya T'ye göre)  $P(E)=d(O-C)/dE$  türevi bize teorik dönem değişim fonksiyonunu verecektir. Ayrıca tüm minimum zamanları kullanılarak bağımsız bir yoldan dönem değişim karakteri, ardışık zaman aralıklarındaki anlık dönem değerlerinin hesaplanması ile direkt olarak elde edilebilir ve teorik dönem değişim fonksiyonu ile karşılaştırılarak (O-C) fitlerinin geçerliliği denetlenebilir. Anlık dönem değerlerinin hesabı için  $P(E_i+(n/2)) = [O(E_{i+n}) - O(E_i)] / n$  ifadesi kullanılmaktadır. Burada  $O$  ve  $E_i$  değerleri,  $i$  inci

minimuma ait zaman ve epok değeridir. Bu formülde  $E_{i+n}=E_i+n$  ve  $n$  ise pozitif bir tamsayıdır. Burada  $(E_{i+n} - E_i)$  zaman aralığını belirleyici ölçüt  $n$  tamsayıdır ve çok büyük seçilmesi halinde aşırı düzeltmeye (over-smoothing); çok küçük seçilmesi halinde ise duyarlılığı düşük minimum zamanlarındaki hataların hesaplara yansımaya neden olabilir (bkz. Drechsel vd. 1982).

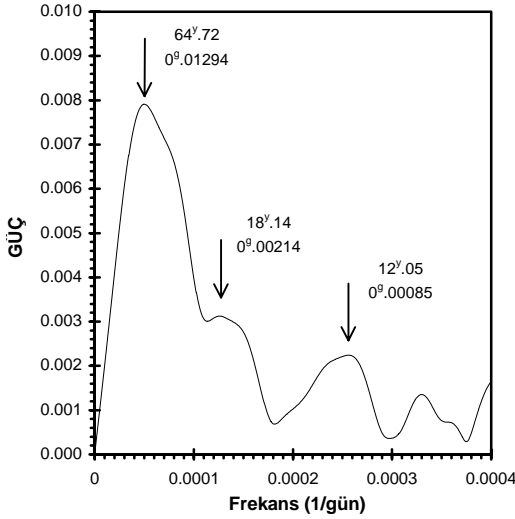
Yukarıda anlatılan yöntemlerle elde edilen P(E) diyagramı Şekil-3 de yer almaktadır. Sürekli çizgi ile ifade edilen (O-C) fonksiyonun türevi ile anlık dönem değerlerinin uyumları (O-C) analizi ile elde edilen teorik yaklaşımların yerinde olduğuna işaretir.



Şekil-3

### 2.3. Fourier Analizi

Sperl (1998) tarafından geliştirilen ve her türlü zaman serisi içinde beklenen dönemlilikleri fourier dönüşüm teknikleri ile araştıran *PERIOD98* (V1.0.9) programı, W UMa'nın (O-C) analizi ile tespit edilen çevrimsel yapıların varlığının denetlenmesi amacı ile kullanılmıştır. Parabolik yaklaşımdan olan (O-C') artıkları girdi verisi olarak kullanılmıştır. 1 yıla karşılık gelen frekans değerindeki pencere fonksiyonu kullanılarak, gözlemsel veride görülen sezonluk boşluklardan kaynaklanabilecek "aliasing" etkisi elimine edilmiştir. [0 - 0.0004] frekans aralığı  $1.4 \cdot 10^{-9}$  adım ile taranmıştır. Fourier dönüşümü sonucu elde edilen güç spektrumu Şekil-4 de görülmektedir.



Şekil-4

Analiz sonucu elde edilen 64.72 yıl dönem ve 0.01294 gün genlikli 1.çevrim ile 18.14 yıl dönem ve 0.00214 gün genlikli 2. çevrim, (O-C) analizi ile bulunan ve P(E) diyagramı ile test edilen değerlerle tam olarak uyusmaktadır. *PERIOD98* programının önerdiği ve ~12 yıl döneme sahip 3. bir çevrim daha bulunmaktadır. Bu dönemli yapı dikkatli bakılması halinde Şekil-2c de yer alan (O-C''') artıklarının fotoelektrik verilerinde görülebilmektedir. Ancak verilerin duyarlılığı dikkate alınarak, artıkların dağılım aralığı göz önünde bulundurulursa bu çevrimin olası olmadığı söylenebilir.

### 3. Yorum ve Tartışma

Yakın çift yıldızlarda dönem değişimlerinin olası nedenleri ve modelleri açısından bakıldığında, bugün için geçerliliğini koruyan ve daha fazla gözlemsel destek bulan dört temel mekanizma vardır: (i) kütle aktarımı ve kaybı (ii)

eksen dönmesi (iii) ilave cisim varlığı (iv) çevrimli manyetik aktivite. Birinci mekanizma kendini (O-C) diyagramlarında, sürekli (seküler) bir değişim olarak göstermekte ve genelde 2. dereceden polinomlarla ifade edilmektedir. Polinom derecesinin 2 olması, kareli terimin katsayısının işaretine bağlı olarak dönemin düzgün ve sürekli artması veya azalması anlamına gelmektedir. Bu katsayı  $\Delta P/P$  dönem değişim miktarının bir ölçüsüdür ve belli denklemlerde yerine konarak sistemdeki kütle aktarımı/kaybı miktarı tahmin edilebilir. Bu irdeleme yapılırken sistemin evrimsel durumu, kütle kaybeden bileşenin hangisi olduğu ve kütle aktarımının yönü dikkate alınmalıdır. Geri kalan üç mekanizma da (O-C) diyagramlarında çevrimsel yapıyı değişimler oluşturmakta ve sinüs benzeri eğriler ile temsil edilebilmektedir. Eksen dönmesi olayı gözlemsel belirteçleri açısından bir ayrıcalığa sahiptir. Buna göre (O-C) diyagramlarında birinci ve ikinci minimumların göstermiş olduğu çevrim yapıları tam olarak zıt fazdadır ve hemen ayırtedilmesini sağlar. W UMa'nın (O-C) eğrisinde bu özellik gözlenmemektedir. Buna göre eksen dönmesi, W UMa sistemi için geçerli bir dönem değişimi mekanizması olamaz. İlave cisim varlığı ve geç tayf türünden yıldızlarda çevrimli manyetik alan mekanizmaları, (O-C) eğrilerinde aynı karaktere sahip dönemli değişimler gerektirmektedir. Bu iki mekanizmanın birbirinden ayrılması ancak bazı kriterler ışığında yapılabilmektedir ve çok kesin olmamaktadır. Ancak ilave cisim varlığı ile ortaya çıkan çevrimsel yapıyı değişimlerin hem genlik hem de dönem açısından daha düzenli olması beklenebilir. Çünkü çevrimli manyetik aktivite olgusunun, özellikle genlik açısından fazla düzenli olmadığı, bir çevrimden diğerine değişimler gösterdiği ve ilave cisim olgusuna göre daha düşük genlikli değişimler yarattığı gözlemlerden bilinmektedir. Diğer yandan, ilave cisimden kaynaklanan (O-C) eğrilerinde düzenli bir asimetri (eksantrik yörünge nedeni ile) olabilirken, manyetik çevrimlerden kaynaklanan (O-C) eğrilerinde düzenli asimetri beklenmemektedir. Ayrıca manyetik aktivite çevrim dönemlerinin istatistiksel olarak 5-25 yıl aralığına dağıldığı Maceroni et al. (1990) ve Bianchini (1990) tarafından belirtilmiştir. Buna göre geç tayf türünden bileşen içeren ve (O-C) diyagramlarında çevrimsel yapıyı değişimler gösteren sistemler için küçük genlikli ve kısa dönemli değişimlerin açıklamasında manyetik aktivite çevrimi daha olası görülmektedir. Manyetik aktivite çevriminin, sistemin bileşenlerinden en az biri üzerindeki karanlık leke sayısının ve alanlarının çevrimli olarak artıp azalması ile açıklandığı göz önünde

bulundurulursa, sistemin toplam ışığının aynı çevrim süresi ile değişimler göstermesi gerekmektedir. Bu durum sistemin uzun süreli yapılmış sistematik gözlemleri mevcut ise kontrol edilebilir ve önemli bir kanıt olabilir. İlave cisim varlığına elde edilebilecek en önemli gözlemsel kanıt, koşulların uygun olması halinde ilave cisme ilişkin tayfsal çizgilerin, çift sistem tayfında görülebilmelidir. Bunun yanısıra özel girişim teknikleri (speckle interferometri) kullanılarak elde edilen yüksek ayırma güçlü astrometrik gözlemlerle, ilave cismin beklenen konumlarda görülebilmeye en önemli kanıtlardan biri olacaktır. Günümüzde bu türden gözlemlerin kapasitesi  $\Delta\alpha=0''.04$  açısal ayrılıkları ve  $\Delta m=1.5-2.0$  kadar parlaklık farklarını algılayabilecek ölçüdedir (McAlister et al. 1987).

Bu bilgilerin ışığı altında W UMa'nın (O-C) diyagramında görülen parabolik yapının sistemden kütle kaybını işaret ettiği söylenebilmektedir. Bilindiği gibi kütle aktarımının yönü düşük kütleli bileşenden, diğerine olmalıdır ve bu aktarımın korunumlu olması durumunda sistemin döneminin düzgün olarak artması beklenir. Ancak (O-C) diyagramından da görüldüğü gibi parabolik yapı dönem azalmasını işaret etmektedir. Bu durum, kütle aktarımının korunumlu olmadığı ve sistemden kaybedilen kütle daha baskın olduğu şeklinde yorumlanabilir ve yüzyılda 0.155 sn'lik bir dönem azalmasını gerektirir. Parabolik değişimden olan artıkların iki çevrimsel yapı ile ifade edilebildiğini 2. bölümde görmüştük. Yukarıda açıklanan kriterlere göre; 65 yıl dönemli çevrimsel yapının ilave cisim etkisinden, 18.1 yıl dönemli çevrimsel değişimin ise büyük kütleli bileşenin çevrimsel manyetik alanından kaynaklandığı söylenebilir. Üçüncü cisim parametrelerinin hesabında Irwin'in (1959); manyetik aktivite çevrimi parametrelerinin hesabında ise Applegate'in (1992) formülasyonu kullanılmıştır. Bu hesaplamalar sırasında kullanılan W UMa'nın mutlak boyutları Rucinski vd. (1993) den alınmıştır. Üçüncü cismin yörüngesinin çift sistemin yörüngesi ile çakışık ve dairesel olduğu varsayılarak kütlesi  $M_3=0.21M_{\odot}$  olarak bulunmuştur. W UMa çiftinin kütle merkezine uzaklığı  $a_3=19.96AB$  ve gösterdiği max. açısal ayrıklık  $\alpha_3=0''.402$  dir. Anakol yıldızı olduğu varsayılarak, Demircan ve Kahraman'ın (1991) deneysel kütle parlaklık kalibrasyonu kullanılırsa bolometrik mutlak parlaklığı  $11^m.3$  olarak bulunmaktadır ve W UMa çiftinden  $7^m$  daha sönüktür. Buna göre üçüncü bileşenin, bilinen gözlem teknikleri ile belirlenebilmesi zor gözükmektedir. Çift sisteme göre oldukça sönük olmasına rağmen gösterdiği büyük açısal ayrıklık nedeni ile belki interferometrik tekniklerle varlığı

denetlenilebilir. Sistemin büyük bileşenin gösterdiği manyetik aktivite çevrimi olarak yorumlanan ikinci dönemli değişim, Applegate (1992) formülasyonuna göre aktivite çevrimi başına  $\Delta P=0.068$  sn genlikli bir dönem değişimini öngörmekte ve bu bileşenin yüzey manyetik alanının 7900 Gauss yöresinde olmasını gerektirmektedir. Model hesapları gereği, aktif bileşenin ışınım gücünün bir çevrim boyunca  $\Delta L(cgs)=1.69*10^{31}$  kadar değişim göstermesi gerekmektedir. Bu değer bileşen parlaklığında  $0^m.0024$  lik bir değişime karşılık gelmektedir. Bu koşullar altında manyetik aktivite çevriminin izlerini geçmiş fotometrik gözlemlerde aramak bir sonuç vermeyecektir. Ancak sistematik olarak yapılacak uzun dönemli ve duyarlı gözlemlerle bu olguya kanıtlar bulunabilir.

**Teşekkür:** UT40 teleskobunda "ilk ışık" gözlemi amacı ile elde edilen W UMa gözlemlerinin bu çalışmada kullanılmasına izin verdiği için TÜBİTAK-Ulusal Gözlemevi'ne teşekkür ederim.

#### Kaynaklar

- Applegate J.H., 1992, *ApJ*, **358**, 621.  
 Baldwin J.M., 1908, *MNRAS*, **69**, 78.  
 Batten A.H., Fletcher J.M., MacCharly D.G., 1989, *PDAO*, **17**, 1.  
 Bianchini A., 1990, *AJ*, **99**, 1941.  
 Binnendijk L., 1966, *AJ*, **71**, 340.  
 Breinhorst R.A., 1971, *Ap&SS*, **10**, 411.  
 Demircan O., Kahraman G., 1991, *Ap&SS*, **181**, 313.  
 Drechsel H., Rahe J., Wargau W., Wolf B., 1982, *A&Ap*, **110**, 246.  
 Irwin J.B., 1959, *AJ*, **64**, 148.  
 Keskin V., Aslan Z., 1998, *IAU-IBVS*, no:4625  
 Kuhl L.V., 1964, *PASP*, **76**, 430.  
 Linnell A.P., 1985, *ApJS*, **57**, 611.  
 Linnell A.P., 1987, *ApJ*, **316**, 389.  
 Linnell A.P., 1991a, *ApJ*, **374**, 307.  
 Linnell A.P., 1991b, *ApJ*, **379**, 338.  
 Linnell A.P., 1991c, *ApJ*, **383**, 330.  
 Maceroni C., Bianchini A., Rodono M., van't Veer F., Vio R., 1990, *A&Ap*, **237**, 395.  
 McAlister H.A., Hartkopf W.I., Hutter D.J., Shara M.M., Franz O.G., 1987, *AJ*, **93**, 183.  
 Morgan N., Sauer M., Guinan E., 1997, *IAU-IBVS*, no: 4517.  
 Müller G., Kempf P., 1903, *ApJ*, **17**, 201.  
 Rucinski S.M., Lu W.-X., Shi J., 1993, *AJ*, **106**, 1174.  
 Schmidt H., Schrick K.W., 1956, *ZfA*, **41**, 1  
 Sperl M., 1998, *Manual for Period98 V1.0.9*, Univ. of Vienna.  
 Woodward E.C., 1942, *HC*, no:446, 1.