ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

W UMa TÜRÜ DEĞEN ÇİFT U PEGASİ'NİN IŞIK EĞRİSİ VE DÖNEM ANALİZİ

DOĞUŞ ÖZUYAR

ASTRONOMİ ve UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2007

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

W UMa TÜRÜ DEĞEN ÇİFT U PEGASİ'NİN IŞIK EĞRİSİ VE DÖNEM ANALİZİ

Doğuş ÖZUYAR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Selim O. SELAM

Bu tez çalışmasında, örten çift U Pegasi'nin Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 1989-2005 yılları arasında gerçekleştirilen fotometrik gözlemlerinden elde edilen 7 ışık eğrisi ve yine bu gözlemlerden üretilen 20 yeni mininum zamanının literatürdekilerle birleştirilmesiyle oluşturulan O-C eğrisi analiz edildi. O-C analizi sonucunda sistemin yörünge döneminin, seküler bir azalma ve buna eşlik eden belirgin bir çevrimsel değişime sahip olduğu belirlendi. $dP/dt = -7.82 \times 10^{-8}$ gün/yıl mertebesindeki seküler dönem azalması, sistemin büyük kütleli bileşeninden küçük kütleli bileşenine kütle aktarımı olarak; yaklaşık 76 yıl dönemli çevrimsel değişim ise sisteme çekimsel olarak bağlı, düşük kütleli ilave bir bileşenin yarattığı ışık-zaman etkisi olarak yorumlandı. O-C eğrisinin bu birleşik etkiden arındırılması sonucu kalan artıklarında yaklaşık 8 yıl dönemli ve düşük genlikli bir çevrimsel değişimin daha izlerine rastlandı. Bu değişimin, sistemin soğuk bileşenin Güneş benzeri çevrimli manyetik etkinliğinden kaynaklanabileceği olasılığı üzerinde duruldu ve ışık eğrisi analizi sonucu soğuk bileşenin yüzeyinde tespit edilen Güneş benzeri bir lekeye ilişkin parametrelerin zaman içerisindeki değişimleriyle korelasyon gösterdiğine dair deliller elde edildi. Sistemin farklı sezonlara ait ışık eğrilerinin maksimum seviyeleri arasında izlenen O'Connell etkisinin zaman içerisinde değişim gösterdiği tespit edildi. Bu nedenle ışık eğrisi analizinde öncelikle tüm yılların ışık eğrilerinden oluşma bileşik ışık eğrisinden en yüksek ışık seviyeli ana ışık eğrisi oluşturuldu ve bu eğri sistemin geometrisini (kütle oranı, yörünge eğimi, bileşen eş-potansiyelleri) tanımlamak için çözüldü. Daha sonra bu geometrik parametreler sabit tutularak her sezonun ışık eğrisi ayrı ayrı analiz edildi ve izlenen O'Connell etkisi, büyük kütleli yıldız üzerinde soğuk, Güneş benzeri bir leke kullanılarak modellendi. Her sezona ait ışık eğrisi çözümünden elde edilen leke parametrelerinin (enlem, boylam, açısal çap) zaman içerisinde 8.5 yıl dönemli çevrimsel bir değişime sahip olabileceği ve O-C analizinde tespit edilen ikincil çevrimli değişimle uyumlu olduğu gösterildi. Analizler sonucunda U Pegasi sisteminin marjinal değmeye ($f \sim \%7$) sahip, W-alt türü bir W UMa değen çifti olduğu tespit edildi.

2007, 117 sayfa

Anahtar Kelimeler : Yıldızlar, Değen çift yıldızlar, U Pegasi, Işık eğrisi analizi, Dönem analizi

ABSTRACT

Master Thesis

THE LIGHT CURVE AND PERIOD ANALYSIS OF W UMa TYPE CONTACT BINARY U PEGASI

Doğuş ÖZUYAR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Selim O. SELAM

In this thesis, the analysis of 7 seasonal light curves obtained from the photometric observations made at Ankara University Observatory between 1989-2005 and the analysis of the O-C diagram constructed with the all available minima times that including our 20 new timings were done. From the O-C analysis, it was found that the charater of orbital period variaton of the system has an obvious cyclic change superimposed on a secular variation. The secular character which has a rate of $dP/dt = -7.82 \times 10^{-8}$ days/year is interpreted as the consequence of the mass transfer which is directed from the more massive to the less massive component. The cyclic nature which has a cycle length of about 76 years is attributed to the light-time effect of a low-mass additional companion which is gravitationally bound to the system. A trace of an additional low amplitude cyclic variation with a period of about 8 years was also detected in the residuals from the above mentioned combined variation of the O-C diagram. This residual cycle was interpreted as the plausible effect of the magnetic activity cycles in the cooler component of the system and some clues about a possible correlation was observed between this result and the parameters of a cool spot on the more massive component obtained from the light curve analysis. It was seen that the amount of the light curve asymmetries between the level of the maxima (the so-called O'Connell effect) of the different seasonal light curves are changing in time. Therefore, initially a max-level undistorted light curve was constructed from the master light curve (i.e. including all observations of the seasonal light curves of the system) and solved to obtain the true geometry (mass-ratio, orbital inclination, equipotentials of the components) of the system. Later, all seasonal light curves were analysed individually by keeping these geometric parameters constant and the O'Connell effect asymmetries in the individual light curves were modelled with a Solar-type cool spot on the more massive component. It was shown that the derived spot parameters (latitude, longitude, angular diameter) for each light curve have a cyclic variation character in time with a cycle length of about 8.5 years. This phenomena is in agreement with the findings for the additional low amplitude cyclic variation in the O-C diagram. From the over-all analyses it was determined that U Pegasi is at the marginal contact ($f \sim 7\%$) stage and belongs to the W-subtype group of the W UMa type contact binaries.

2007, 117 pages

Key Words : Stars, Contact binary stars, U Pegasi, Light curve analysis, Period analysis

TEŞEKKÜR

Yardıma ihtiyacım olduğunda her zaman kapısını çalabildiğim ve meşgul bile olsa işlerini bırakıp zaman ayıran sevgili hocam Prof. Dr. İ. Ethem DERMAN, çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeme katkıda bulunan danışman hocam sayın Doç. Dr. Selim O. SELAM, yoğun ders programına rağmen manevi olarak her zaman yardımcı olmaya çalışan Yrd. Doç. Dr. Kutluay YÜCE ve çalışmalarım sırasında önemli katkılarda bulunan ve yönlendiren Araş. Gör. H. Volkan ŞENAVCI ve Araş. Gör. Mesut YILMAZ başta olmak üzere tüm hocalarıma, yüksek lisans odasında bulunduğum her an analizler sırasında yardımcı olan sevgili arkadaşım Zahide TERZİOĞLU ve diğer tüm arkadaşlarıma, eğitimim sırasında birçok fedakarlık göstererek beni maddi ve manevi olarak destekleyen AİLEME en derin duygularımla teşekkür ederim.

Doğuş ÖZUYAR
Ankara, Ekim 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 1
1.1 Çift Yıldız Nedir? 1
1.2 Çift Yıldızlar Neden Önemlidir? 1
1.3 Örten Çift Yıldızlar 2
1.4 Örten Çift Yıldızların Sınıflandırılması 3
2. ROCHE MODELİ ve BU MODELE GÖRE YILDIZLARIN SINIFLANDIRILMASI 4
2.1 Roche Modeli 4
2.2 Roche Modeline Göre Yıldızların Sınıflandırılması 8
2.2.1 Ayrık Çift Yıldızlar 8
2.2.2 Yarı Ayrık Çift Yıldızlar 9
2.2.3 Değen Çift Yıldızlar 9
3. YAKINLIK ETKİLERİNDEN KAYNAKLANAN BAZI OLGULAR 10
3.1 Çekim Kararması 10
3.2 Kenar Kararması 11
3.3 Basıklaşma ve Armutlaşma 13
3.4 Yansıma Etkisi 13
4. W UMa TÜRÜ YILDIZLAR 15
5. IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ 22
5.1 Wilson-Devinney (WD) Programı 23
5.2 Phoebe (Physics Of Eclipsing BinariEs) Programı 25
6. U PEGASİ ÇİFT YILDIZ SİSTEMİ 26
7. BULGULAR 62
7.1 U Peg'in Yeni Gözlemleri 62

7.2 U Peg'in Dönem Analizi.....64
7.3 U Peg'in Işık Eğrisi Analizi.....68
8. TARTIŞMA VE SONUÇ.....92
KAYNAKLAR 105
ÖZGEÇMİŞ 117

SİMGELER DİZİNİ

φ	Toplam gravitasyonel potansiyel
ω	Açısal hız
q	Kütle oranı (m_2 / m_1)
G	Evrensel çekim sabiti
$M_{1,2}$	Bileşenlerin kütlesi
g	Çekimsel ve merkezcil ivmeleri içeren etkin çekim ivmesi
x_λ	Kenar kararma katsayısı
$\Omega_{1,2}$	Eşpotansiyel yüzeyler
I_j	Yeğinlik
$T_{1,2}$ ($T_{h,c}$)	Bileşenlerin sıcaklıkları
$L_{1,2}$ ($L_{h,c}$)	Bileşenlerin kesirsel ışınım güçleri
$M_\odot$	Güneş kütlesi, 1.99×10^{33} gr
$R_\odot$	Güneş yarıçapı, 6.96×10^{5} km
α	Sağaçıklık
δ	Dikaçıklık
i	Yörünge eğim açısı
M_{bol}	Bolometrik parlaklık
a	Yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu
log g	Yüzey çekim ivmesi
$r_{c,h}$ ($r_{1,2}$)	Bileşenler arası uzaklık cinsinden kesirsel yarıçaplar
$a_{1,2,3,4}$	Kenar kararma katsayıları
$A_{1,2}$ ($A_{h,c}$)	Bileşenlerin bolometrik albedoları
$V\gamma$	Çift sistemin kütle merkezinin dikine hızı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Bileşenleri, ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan bir çift yıldız 1

Şekil 1.2 Örten bir çift yıldız sistemi ve ışık eğrisi 2

Şekil 1.3 Örten çift yıldızlarda fotometrik sınıflama 3

Şekil 2.1 Ortak bir kütle merkezine sahip m_1 ve m_2 kütleleri birbirlerinden a birim uzaklığı ile ayrılmıştır. m_1 kütlesinde merkezlenmiş koordinat sisteminde x- ekseni m_2 kütlesi boyunca uzanmıştır. y ekseni yörünge düzlemindedir ve x eksenine diktir. z ekseni ise yörünge düzlemine diktir. P(x,y,z) noktası M_1 den r_1, M_2 den r_2 kadar uzaklıktadır 4

Şekil 2.2 Bir çift sistem için eş potansiyel yüzeyleri 6

Şekil 2.3 Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki Φn normalize potansiyel değerinin ızgara yüzeyli gösterimi 7

Şekil 2.4 Her iki bileşeninde Roche lobunu doldurmadığı bir ayrık sistem 8

Şekil 2.5 Bileşenlerden birinin Roche lobunu doldurduğu yarı ayrık bir sistem 9

Şekil 2.6 Bileşenlerin ortak bir zarfla çevrildiği aşırı değen bir sistem 9

Şekil 3.1 Çekim kararmasının sıcaklıkla değişimi 10

Şekil 3.2 Kenar kararma etkisi 12

Şekil 3.3 Yıldızlarda dönme ve çekim etkisiyle biçim bozulması 13

Şekil 3.4 Albedonun 0 ile 1 arasında aldığı değerlere göre değişen ışık eğrileri. 14

Şekil 4.1 A-türü W UMa olan RZ Dra sisteminin radyal hız eğrisi 19

Şekil 4.2 W-türü W UMa olan U Peg sisteminin dikine hız eğrisi 20

Şekil 6.1 Schilt (1925) tarafından elde edilen ışık eğrisi. (verilen noktalar normal noktalardır) 26

Şekil 6.2 Recillas ve Woodward (1945) tarafından elde edilen ışık eğrisi. 27

Şekil 6.3 U Peg sisteminin Lafara (1951) tarafından elde edilen renk ve ışık eğrileri .. 28

Şekil 6.4 U Peg sisteminin Binnedijk (1958) tarafından yapılan gözlemlerinin normal noktaları ve renk eğrisi. Gözlemler B = mavi; Y = sarı; C = renk dir 29

Şekil 6.5 LaFara (1951) ve Binnendijk (1958)'ın yaptığı gözlemlerin normal noktaları arasındaki karşılaştırmayla ortaya çıkarılan U Peg sisteminin ışık eğrisindeki değişimi. 29
Şekil 6.6 U Peg sisteminin 1970 - 1972 yılları arasında Rigterink (1972) tarafından elde edilen ışık eğrileri 30
Şekil 6.7 Russo et al. (1982)'nin analizleri sonucunda yörünge düzleminde U Peg sisteminin geometrik konfigürasyonu 31
Şekil 6.8 U Peg'in ışık eğrisinin normal noktaları ve çizelge 6.1'deki çözümlere uyan teorik ışık eğrileri 33
Şekil 6.9 U Peg sisteminin uzun dönemli değişimi gösterilmektedir (Zhai et al., 1984) 34
Şekil 6.10 U Peg sisteminin yörünge döneminde izlenen kısa dönemli salınım gösterilmektedir. (Zhai et al., 1984)..... 34
Şekil 6.11 U Peg'in B ve V bantlarındaki ışık eğrileri (Zhai et al., 1984)..... 35
Şekil 6.12 U Peg'in geometrik konfigürasyonu (Zhai et al.,1984) 36
Şekil 6.13 Struve (1950) tarafından ölçülen radyal hızlar. (Zhai et al., 1984)..... 37
Şekil 6.14 Binnendijk (1960), LaFara (1952), Rigterink (1972), Zhai (1984) tarafından yapılan gözlemlerden alınan parlaklık değerleriyle, ortaya çıkan U Peg'in ışık eğrilerindeki düzensizlik 38
Şekil 6.15 U Peg'in gözlemsel ve sentetik ışık eğrileri. (Binnendijk, 1984)..... 39
Şekil 6.16 0.75 evresinde U Peg sisteminin geometrisi, ekvator yakınlarında bir leke alanı göstermektedir (Binnendijk, 1984)..... 40
Şekil 6.17 U Peg sisteminin Lu (1985) tarafından elde edilen radyal hız eğrileri..... 41
Şekil 6.18 U Peg'in B ve V ışık eğrileri. Noktalar gözlemleri, sürekli çizgiler ise tablo 6.5'teki eşzamanlı çözümlerden elde edilen teorik ışık eğrilerini temsil etmektedir (Zhai, 1988)..... 44
Şekil 6.19 U Peg'in radyal hız eğrileri. Sürekli çizgiler eşzamanlı çözümden elde edilen Roche modelinin eğrilerini; kesikli çizgiler ise nokta kaynak modelinden elde edilen eğrileri temsil etmektedir (Zhai, 1988)..... 44
Şekil 6.20 Farklı tarihlerde elde edilen ışık eğrilerinin analizi sonucunda modelden kalan O-C artıkları 45

Şekil 6.21 U Peg sisteminin 1958, 1961 ve 1970 ışık eğrilerine leke modeli de dikkate alınarak yapılan fitler (Zhai, 1988) 47
Şekil 6.22 U Peg'in lekeli bileşeninin şematik gösterimi (Zhai, 1988) 48
Şekil 6.23 U Peg'in O-C diagramındaki uzun dönemli değişim Borkovits and Hegedüs, 1996) 50
Şekil 6.24 U Peg için artıklar ve LITE çözümü (Borkovits and Hegedüs, 1996)..... 51
Şekil 6.25 U Peg'in gözlenen ve sentetik ışık eğrileri. Sistemin lekesiz konfigürasyonu için Binnendijk (1958)'ın ışık eğrisinin 0.25 evresi referans ışık seviyesi olarak kesikli çizgiyle gösterilmiştir (Djurasevic, 2001) 53
Şekil 6.26 sol : Büyük bileşende leke alanlarının olduğu Roche modeliyle elde edilen O-C artıkları. Sağ : U Peg için Roche modelinin görüntüsü (Djurasevic, 2001)..... 54
Şekil 6.27 U Peg'in B-V renk indisi ve fotoelektrik BV ışık eğrileri (Pribulla and Vanko, 2002)..... 55
Şekil 6.28 2000 ve 2001 yıllarında elde edilen B-V bantlarındaki ışık eğrilerine ayrı ayrı yapılan fitler (Pribulla and Vanko, 2002)..... 57
Şekil 6.29 Pribulla and Vanko (2002)' nun çalışmasında tüm minimum zamanları için elde edilmiş O-C diagramı 58
Şekil 6.30 Parabol fitinden kalan artıklara yapılan LITE fiti (Borkovits and Hegedüs, 2005) 60
Şekil 6.31 U Peg'in O-C diagramında izlenen daha kısa dönemli sinüsoidal değişim ve buna yapılan fit (Borkovits and Hegedüs, 2005)..... 61
Şekil 7.1.a U Peg için tüm minimum zamanları kullanılarak elde edilen O-C diagramı. **b.** Parabolik fitten kalan artıklar 76 yıllık çevrimsel bir değişim göstermektedir. **c.** Tüm fitten kalan son artıklar, 19,3 yıllık yarı dönemli bir çevrimsel yapıya ilişkin kanıtlar göstermektedir..... 65
Şekil 7.2 U Peg'in U, B ve V bandı ışık eğrileri, ve B-V renk eğrisi 70
Şekil 7.3 Mavi noktalar U, B ve V bantlarında elde edilen normal noktaları, kırmızı noktalar ise minimum leke etkisine sahip temel noktaları göstermektedir.. 71

Şekil 7.4 U,B ve V bandlarında 0.75 evresine normalize edilmiş temel ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.25 evresindeki geometrisi 74
Şekil 7.5 1989 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.25 evresindeki geometrisi..... 75
Şekil 7.6 1990 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.15 evresindeki geometrisi..... 76
Şekil 7.7 1991 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.38 evresindeki geometrisi..... 77
Şekil 7.8 1992 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.35 evresindeki geometrisi..... 78
Şekil 7.9 1993 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.36 evresindeki geometrisi..... 79
Şekil 7.10 2003 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.15 evresindeki geometrisi..... 80
Şekil 7.11 2004 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi..... 81
Şekil 7.12 U,B ve V bandlarında 0.25 evresine normalize edilmiş temel ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi 83
Şekil 7.13 1989 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.25 evresindeki geometrisi..... 85
Şekil 7.14 1990 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi..... 86
Şekil 7.15 1991 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi..... 87
Şekil 7.16 1992 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi..... 88
Şekil 7.17 1993 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi..... 89
Şekil 7.18 2003 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi..... 90

Şekil 7.19 2004 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi 91
Şekil 7.20 Leke bölgelerine ait enlem, boylam ve çap değerlerinin yıllara göre değişimi 95

ÇİZELGELER DİZİNİ

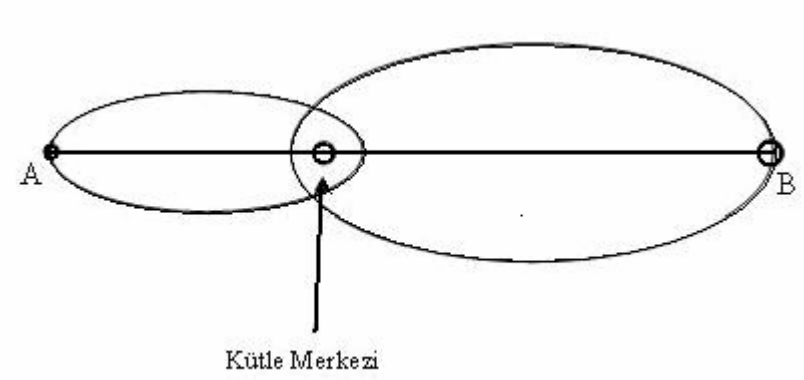
Çizelge 6.1 Russo et al. (1982)'nun Binnendijk (1960) tarafından verilen normal noktalarla ve Wilson-Devinney yöntemi ile yaptıkları analizler sonucunda elde ettikleri parametreler 32
Çizelge 6.2 U Peg sisteminin Zhai et al (1984) tarafından elde edilen fotometrik çözümü 36
Çizelge 6.3 U Peg sisteminin Zhai et al (1984) tarafından belirlenen mutlak parametreleri 37
Çizelge 6.4 Farklı araştırmacılar tarafından U Peg'in kütle oranının elde edilmiş değerleri 42
Çizelge 6.5 Roche modeli çözümü, nokta kaynak modeli çözümü, eşzamanlı çözüm ve fotometrik çözüm bir arada verilmiştir..... 43
Çizelge 6.6 U Peg'in leke parametreleri (Zhai 1988) 46
Çizelge 6.7 Borkovits and Hegedüs (1996)' ün LITE çözümüne ait sonuç parametreleri 51
Çizelge 6.8 Büyük bileşende leke alanlarının olduğu roche modeliyle çözümlenen ışık eğrilerinin analiz sonuçları (Djurasevic, 2001) 52
Çizelge 6.9 Sistemin ışık eğrisinde görülen O'Connell etkisi 56
Çizelge 6.10 Pribulla and Vanko (2002)' nun çalışmasına ait fotometrik elemanlar ve standart hataları σ, eğim açısı i, tam tutulma olması için gereken minimum eğim açısı i, kütle oranı q, yüzey potansiyeli Ω, ortalama kesirsel yarıçaplar r_1 - r_2, kutup sıcaklıkları T_1 - T_2 56
Çizelge 6.11 U Peg sisteminin mutlak parametreleri (Pribulla and Vanko, 2002) 59
Çizelge 6.12 U Peg 'in LITE çözümü (Borkovits and Hegedüs, 2005)..... 61
Çizelge 7.1 Gözlenen yıldızlara ait parametreler..... 62
Çizelge 7.2 U Peg'in Ankara Üniversitesi Gözlemevinde 1989-2005 yılları arasında elde edilen gözlemlerden üretilen minimum zamanları..... 63
Çizelge 7.3 Yıllara göre ışık seviyelerinin U, B ve V bantlarındaki değişimleri..... 64
Çizelge 7.4 U Peg sistemine bağlı olası üçüncü cismin yörüngesine ilişkin hesaplanmış büyüklükler ve hataları..... 67

Çizelge 7.5 İlk model (sıcak lekeli) için temel ışık eğrisinin çözümü sonucu ulaşılan değerler 73
Çizelge 7.6 İlk model (sıcak lekeli) için sistemin büyük kütleli bileşeninde yer alan soğuk leke bölgesine ilişkin yıllık değerler..... 73
Çizelge 7.7 İkinci model için temel ışık eğrisinin çözümü sonucu ulaşılan değerler 84
Çizelge 7.8 Leke bölgesine ilişkin yıllık değerler..... 84
Çizelge 7.9 2007 yılına kadar yayımlanmış tüm minimum zamanları 96

1 GİRİŞ

1.1 Çift Yıldız Nedir?

Çift yıldız, birbirlerine kütle çekim kuvvetiyle bağlı ve ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yapan, iki veya daha çok yıldızdan oluşmuş sistemlerdir. "Çift Yıldız" terimi ilk olarak 1802 yılında Sir William Herschel tarafından kullanılmıştır. Günümüzde çift yıldızlar, genellikle gözlenme şekillerine göre sınıflandırılmakta olup optik çift, görsel çift, tayfsal çift, örten çift ve astrometrik çift yıldızlar şeklinde adlandırılmaktadırlar.



Şekil 1.1 Bileşenleri, ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan bir çift yıldız

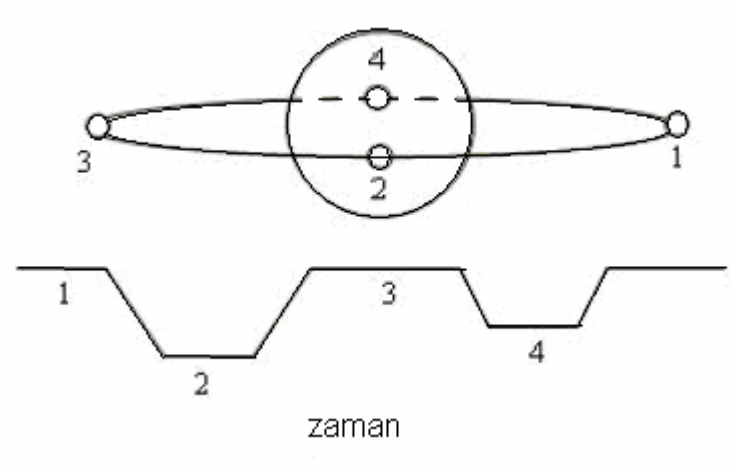
1.2 Çift Yıldızlar Neden Önemlidir?

Çift yıldızlar astrofizikte, tek yıldızlara kıyasla daha çok bilgi sunmaları bakımından daha büyük bir öneme sahiptirler. Örneğin herhangi bir gök cisminin kütlesinin doğrudan belirlenebilmesi, en az iki cisim arasında ölçülebilen bir kütlesel çekim kuvvetinin varlığını gerektirir. Kütle, yıldızların evriminin anlaşılabilmesi bakımından temel parametredir, dolayısıyla çift yıldızlar yardımıyla bileşen yıldızların kütleleri, bu sayede de evrim durumları hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Bununla birlikte bileşen yıldızların yarıçap, ışınım gücü gibi temel parametreleri de hesaplanabilmektedir. Çift yıldızlar yardımıyla belirlenen fiziksel parametreler ile tek

yıldızların fiziksel özellikleri de belirlenebilmektedir. Çift yıldızlar ayrıca yakın galaksilerin ve yıldız topluluklarının uzaklıklarının belirlenmesinde, X-ışın çifleri, kataklizmik değişenler, novalar, simbiyotik yıldızlar ve bazı tür süpernovalar gibi egzotik cisimlerin doğasının açıklanmasında da önemli rol oynamaktadırlar.

1.3 Örten Çift Yıldızlar

Bu tür sistemlerde yörünge düzleminin, gözlemciye uygun bir açı altında yönlenmiş olması halinde, bileşenlerin birbirini dönemli olarak örtmesi sonucu tutulmalar meydana gelir ve bir ışık değişimi gözlenir. Tutulmalardan kaynaklanan etkilerin izlendiği böylesi yakın çift yıldız sistemlerine " Örten Çift Yıldızlar " denir.

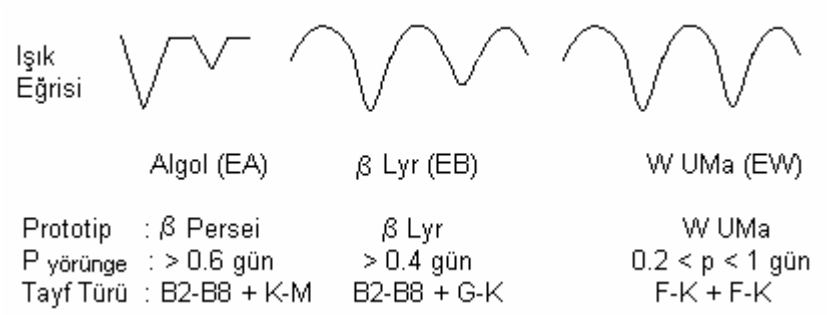


Şekil 1.2 Örten bir çift yıldız sistemi ve ışık eğrisi

Yörünge dönemi ile evrelendirilmiş ışık eğrilerinde farklı derinliğe sahip iki minimum profili izlenir. Daha derin olan minimum, daha sönük yıldızın parlak yıldızı örtmesiyle oluşur ve baş minimum yada birinci minimum olarak adlandırılır. Daha sığ olan minimuma ise yan minimum yada ikinci minimum denir ve yoldaş bileşenin örtülmesiyle meydana gelir.

1.4 Örten Çift Yıldızların Sınıflandırılması

Örten çift yıldız sistemleri, bileşen yıldızların birbirine olan uzaklığına bağlı olarak başka ışık değişimleri de gösterirler. Dolayısı ile bu tür sistemlerin zamana göre periyodik değişim gösteren ışık eğrilerinin biçiminden bir sınıflama yapabilmek mümkündür. Fotometrik sınıflama adı verilen bu sınıflama türüne göre örten çift yıldızlar üç ana gruba ayrılmaktadırlar. Eğer ışık eğrisinde minimumlar arasındaki kısım fazla değişim göstermeyen düz bir bölge içeriyorsa o zaman bir Algol (EA) sisteminden bahsediliyor demektir. Minimumlar arasındaki bölgenin eğrisel olması halinde, bileşenlerin biçimi küresellikten sapmış bir sistemle karşı karşıya kalınmış demektir. Bu durumda ardışık iki minimum derinliğinin birbirine yaklaşık olarak eşit olduğu sistemlere W UMa (EW), farklı olduğu sistemlere ise β Lyr (EB) türü sistemler denilmektedir.

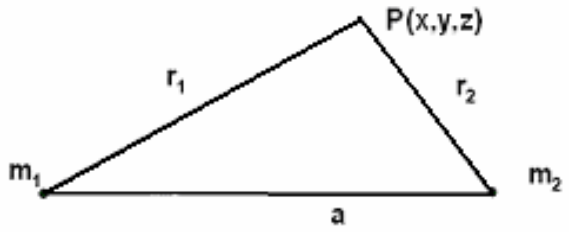


Şekil 1.3 Örten çift yıldızlarda fotometrik sınıflama

2 ROCHE MODELİ ve BU MODELE GÖRE YILDIZLARIN SINIFLANDIRILMASI

2.1 Roche Modeli

Eğer bütün çift yıldızlar ayrık sistemler olup evrimlerine de bu şekilde devam etselerdi, küresel yapıya sahip, minimum tedirginlik etkileri gösteren çift yıldızlar olarak kabul edilebilirlerdi. Bu durumda "Legendre Polinomları" bu sistemlerin geometrilerini ifade etmek için yeterli olacaktı. Ancak, Hertzsprung-Russell diyagramında sıfır yaş anakolu üzerinde bulunan, fiziksel olarak birbirlerine temas eden ve bunun sonucu olarak yüksek tedirginlik etkilerinden dolayı küresellikten önemli derecede sapmış, "değen çiftler" olarak adlandırılan sistemler mevcuttur. Bundan dolayı küresellikten sapmış ve çeşitli tedirginlik etkilerini modelleyebilen alternatif bir formülasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu formülasyon "Roche Modeli" dir. Roche Modeli dairesel yörüngelerde, kütle merkezi etrafında dolanan iki noktasal kütlenin oluşturduğu sistemin toplam çekimsel potansiyelini temel almıştır. Kendi çekim alanlarının etkisi altındaki üç cismin hareketine ait bir analitik çözüm üretmek olanaksızdır. Böyle bir çözüm için matematikçiler, ortak kütle merkezi etrafında dairesel yörüngelerde dolanan iki cisim ve bu iki cismin kütlesel çekim alanı içinde hareket eden bir üçüncü cisimden oluşan kısıtlı üç cisim probleminden yararlanmışlardır.



Şekil 2.1 Ortak bir kütle merkezine sahip m_1 ve m_2 kütleleri birbirlerinden a birim uzaklığı ile ayrılmıştır. m_1 kütlesinde merkezlenmiş koordinat sisteminde x- ekseni m_2 kütlesi boyunca uzanmıştır. y ekseni yörünge düzlemindedir ve x eksenine diktir. z ekseni ise yörünge düzlemine diktir. P(x,y,z) noktası M_1 den r_1, M_2 den r_2 kadar uzaklıktadır

Buna göre ortak bir kütle merkezi etrafında dairesel bir yörüngede dolanan m_1 ve m_2 kütleleri yakınında, kütlesi ihmal edilebilecek çok küçük bir parçacığın hareketi;

$$V^2 = \omega^2\left(x^2 + y^2\right) + \frac{2Gm_1}{r_1^2} + \frac{2Gm_2}{r_2^2} - 2C \qquad 2.1.1$$

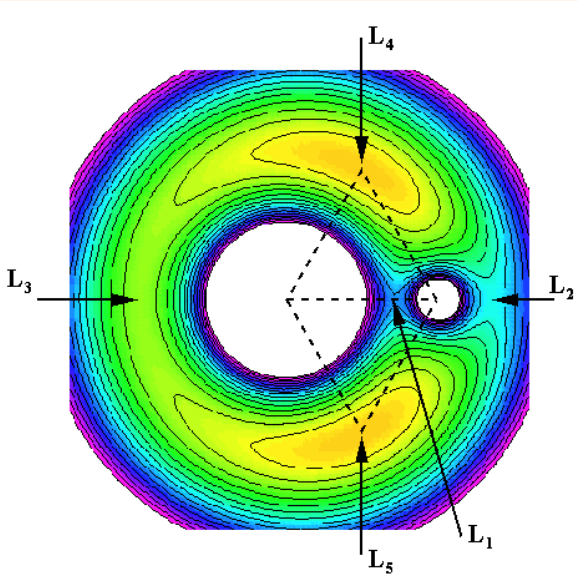
denklemi ile ifade edilir. Burada V, kütlesinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu kabul edilen parçacığın uzay hızı, C jacobi integral sabiti, r_1 ve r_2 bileşen yıldızların kütle merkezine olan uzaklıkları, ω ise kütlesi ihmal edilebilecek kadar küçük olan parçacığın açısal hızını ifade etmektedir. (xyz) koordinat sisteminin başlangıç noktası ise m_1 ve m_2 kütlelerinin ortak kütle merkezindedir ve xy düzlemi, yörünge düzlemidir. Bu koordinat sistemi z ekseni etrafında ω açısal hızı ile dönmektedir. Denklem 2.1.1'de V = 0 alınarak, her bir C değeri için xy düzleminde hızın sıfır olduğu yüzeyler elde edilir ki buna "sıfır hız yüzeyleri" denir. Bu yüzeyler;

$$C = \frac{\omega^2}{2}\left(x^2 + y^2\right) + \frac{Gm_1}{r_1} + \frac{Gm_2}{r_2} \qquad 2.1.2$$

formülü ile belirlenmektedir. Bu bağıntının sağ tarafındaki ilk terim dönme nedeniyle merkezkaç potansiyeli, son iki terim ise iki noktasal kütleden kaynaklanan (m_1 ve m_2) çekim potansiyelleridir. Denklem 2.1.2'de, r_1 ve r_2'nin çok büyük değerlerinde yani $\left(x^2 + y^2\right) \cong C$ iken, yarıçapı $\sqrt{C}$ olan asimptotik bir silindir verir. C'nin büyük değerlerinde m_1 ve m_2 kütleleri etrafında ayrı ayrı, küresel şişimler oluşturan yüzeyler elde edilir. C azaldıkça, iki kütleyi birleştiren merkez doğrultusu boyunca yüzeyler daha kararsız hale gelir, öte yandan bileşenlerin birbirlerine bakmayan yüzeyleri yaklaşık olarak küresel şekillerini korurlar. Sonunda iki noktasal küreyi saran bağımsız yüzeyler birbirlerine birinci Lagrange noktası olarak adlandırılan L_1 noktasında değerler. Bu noktaya " iç Lagrange noktası" da denilmektedir.

L_1 noktasında birbirine değen iki yüzey, çift sistemin bileşenlerinin "Roche Limitleri" olarak adlandırılır. Bu üç boyutlu sınır hacimleri "Roche Lobları" olarak ta isimlendirilir. Bu hacimlerin limit olmalarının sebebi, bir çift sistemdeki bileşenlerin

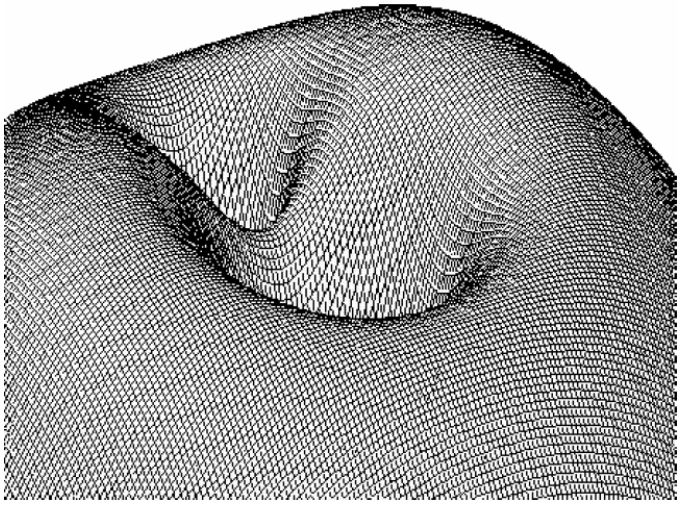
ulaşabilecekleri maksimum kapalı hacimleri tanımlamalarındandır. Her sınırlayıcı hacmin fiziksel boyutu ilk olarak, "a" bileşenler arası uzaklığa ve ikinci olarak ta "q" kütle oranına bağlıdır. Kütle oranı eşit olan bir çift sistemde her iki bileşene ait Roche lobları da aynı büyüklüğe sahip olacaktır. Kütle oranı düştükçe daha büyük kütleli yıldızın Roche lobu genişlemekte iken daha küçük kütleli yıldızınki daralmaktadır.



Şekil 2.2 Bir çift sistem için eş potansiyel yüzeyleri

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi sistemlerde iki bileşen boyun bölgesinde birbirlerine fiziksel olarak temas etmektedir. Sistem, Roche limitini çevreleyen bir ortak zarf ile çevrilidir. Bu bölgenin ötesinde ikinci bir eşpotansiyel yüzey mevcuttur. Bu yüzey tüm sistemi sarmakta ve ikinci Lagrange noktası olan L_2'de bir kesim noktası oluşturmaktadır. Bu nokta, maddenin sistemdeki kütle çekim alanından dışarı çıkabileceği dış Lagrange noktasıdır. m_1 ve m_2 kütlelerine göre L_2 noktasının karşı tarafında, L_2'den daha yüksek potansiyeldeki maddenin kaçış noktası olarak bilinen L_3 noktası bulunmaktadır. İki kütleden daha da uzakta potansiyel maksimumları olarak adlandırılan L_4 ve L_5 noktaları yer almaktadır.

Şekil 2.3'de (x,y) düzleminde görülen ve iki noktasal kütleyi saran normalize potansiyel değeri ızgara-yüzeyler şeklinde gösterilmektedir. Şekilde bileşenlere ait potansiyel çukurları görülmektedir. L_1 noktası iki bileşen arasındaki geçitte bulunmaktadır. Her bileşen hacmini genişlettikçe kendisine ait yüzey potansiyel çukurunu doldurmaya başlar. Bir bileşenin yüzeyi Roche limitine ulaştığında, madde L_1 yarığından diğer bileşenin potansiyel çukuruna kolayca geçebilir.



Şekil 2.3 Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki Φn normalize potansiyel değerinin ızgara-yüzeyli gösterimi.

Şekilde yıldızların potansiyel çukurlarıyla birlikte iç Lagrange noktası L_1 ve L_4,L_5 potansiyel maksimumları görülmektedir

Diğer yönlerdeki potansiyel bariyerleri daha büyüktür ve bu nedenle madde için bu bariyerleri aşmak, birinci Lagrange noktasına nazaran daha fazla enerjiyi gerektirmektedir. L_1 noktasının üç boyutlu etkisini düşünecek olursak; L_1 noktası maddenin bir sistemdeki bir bileşenden diğerine en kolay şekilde geçiş yapabileceği bir geçiş noktası etkisi yaratmaktadır. Benzer bir tanım L_2 noktası için de yapılabilir ve maddenin çift sistemden, potansiyel bariyerinin en düşük bölgesine atımını sağlayan geçittir. Özet olarak bir çift sistemin şekli, yıldız için uygun eş potansiyel yüzeylerle tanımlanabilir. R/a kesirsel yarıçap değerinin yaklaşık olarak 0.1 veya daha küçük olduğu tamamen ayrık sistemlerde bileşenler küreseldir. Çünkü noktasal kütleye yakın

olan eşpotansiyel yüzeylerde küreseldir. R/a ≈ 0.2 -0.3 olan, birbirlerine daha yakın sistemlerde, yıldızlar küresellikten uzaklaşmışlar ve sonunda kendi Roche loblarını doldurmuşlardır.

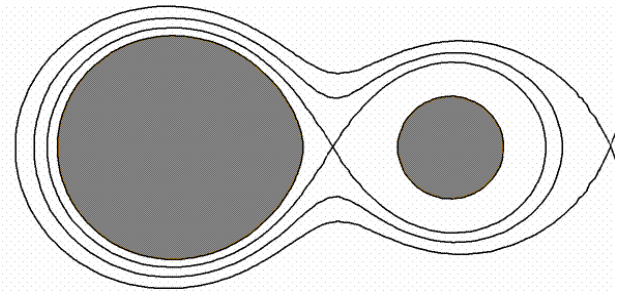
Roche modeli oluşturulurken; (a) çift yıldız sistemini oluşturan bileşen yıldızların nokta kaynak olarak kabul edilmesi (b) bileşen yıldızların çevresindeki maddenin hareketsiz olduğu, çekim alanı içerisinde göreli hareketin bulunmaması (c) çift yıldız yörüngesinin dairesel olması (d) bileşen yıldızların dönme eksenlerinin, yörünge düzlemine dik olması (e) bileşen yıldızların senkronize dönmesi (f) çekim gecikmesinin olmaması (g) ışınım basıncı, manyetik etkiler, viskozite gibi etkilerin olmaması gibi kabuller yapılmaktadır.

2.2 Roche Modeline Göre Yıldızların Sınıflandırılması

Kopal (1955), Roche modeline göre yakın çift yıldızları üç ana gruba ayırmıştır. Bu sınıflamada bileşen yıldızların Roche eşpotansiyellerini doldurmaları temel alınmıştır.

2.2.1 Ayrık Çift Yıldızlar

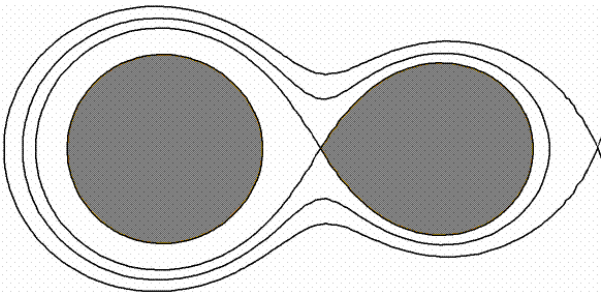
Bu tür sistemler, bileşenlerinin her ikiside Roche lobunu doldurmamış sistemlerden oluşmaktadır. Karşılıklı etkileşme hemen hemen yoktur.



Şekil 2.4 Her iki bileşeninde Roche lobunu doldurmadığı bir ayrık sistem

2.2.2 Yarı Ayrık Çift Yıldızlar

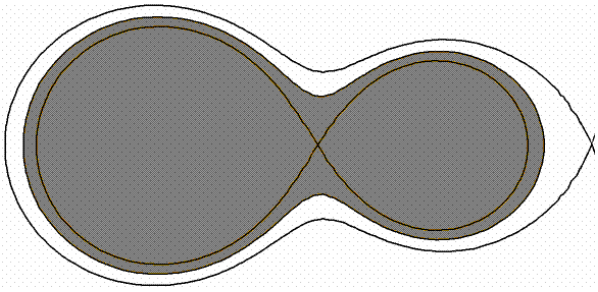
Bu tür sistemlerde bileşenlerden biri Roche lobunu doldurmuş, diğeri ise doldurmamış durumdadır. Bu sistemlerde karşılıklı etkileşme söz konusudur. Roche lobunu doldurmuş olan bileşen birinci Lagrange noktasından diğerine doğru madde aktarmaktadır. Aktarılan madde bileşen etrafında bir spiral disk oluşturacak şekilde hareket eder. Algol türü sistemler bu grubun prototipidir.



Şekil 2.5 Bileşenlerden birinin Roche lobunu doldurduğu yarı ayrık bir sistem

2.2.3 Değen Çift Yıldızlar

Her iki bileşeni de Roche lobunu doldurmuş sistemlerdir. Eğer yıldız maddesi Roche lobundan taşarak her iki bileşenin de etrafını sarmış ise bu sistem ortak bir zarfa sahip demektir. Böyle sistemlere ise "aşırı değen çift yıldızlar" adı verilmektedir. W UMa türü ışık eğrilerine sahip sistemler aşırı değen çiftlerin prototipidir.



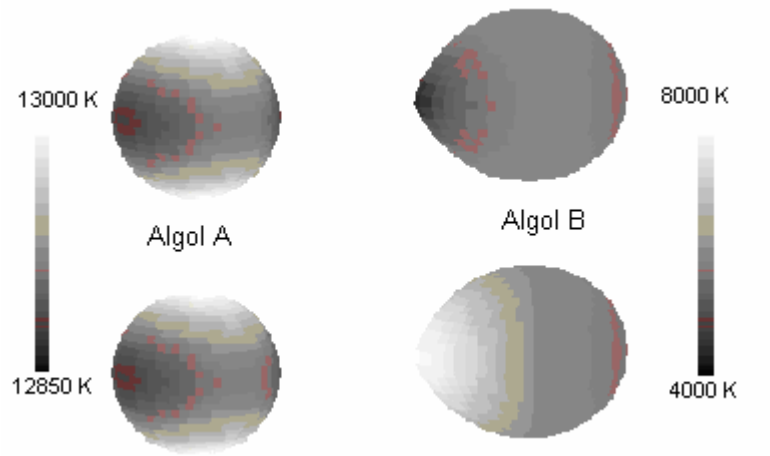
Şekil 2.6 Bileşenlerin ortak bir zarfla çevrildiği aşırı değen bir sistem

3 YAKINLIK ETKİLERİNDEN KAYNAKLANAN BAZI OLGULAR

Bir çift yıldızdaki bileşenlerin birbirleriyle etkileşmesi durumunda, tek yıldızlarda görülmeyen birçok etkinin ışık eğrilerine yansıdığı bilinmektedir. Bileşenlerin, yakınlıkları ve karşılıklı çekim etkileri sonucu biçimleri küresellikten sapmıştır. Armutlaşmış bir yıldızın, izdüşüm düzlemindeki kesit alanı, kendi ekseni etrafında dönmesi sonucu sürekli değişeceğinden ışığı sabit olmayacaktır. Bu ışık değişiminin oluşmasına sebep olan etkiler şunlardır;

3.1 Çekim Kararması

Çekimsel etkiler nedeniyle yıldız şeklinin küresellikten ayrılması durumunda, yıldız yüzeyinde farklı noktalar farklı yerel çekim gücüne sahip olacaktır. Yerel çekim gücünün farklı olması ise yıldız yüzeyinde farklı parlaklıkların ortaya çıkmasına neden olur. Yüzey parlaklığındaki bu değişim, yerel çekimsel kuvvetin farklılığından ortaya çıkması nedeniyle 'çekim kararması' olarak tanımlanmıştır. Dönen bir yıldızın şekli, yüzey çekim ivmesi ve yüzey parlaklık dağılımı, dönmeyen bir yıldızın sahip olduğundan oldukça farklıdır. Von Zeipel (1924), bir yıldızın yüzeyi boyunca akı dağılımının yerel çekim ivmesi ile orantılı olduğunu belirlemiştir. Buna göre şekli bozulmuş bir yıldızın kutup bölgeleri ekvator bölgelerine nazaran daha sıcaktır.



Şekil 3.1 Çekim kararmasının sıcaklıkla değişimi

Von Zeipel (1924) teoremine göre, yıldızın çekim ivmesinin yarıçapının karesi ile orantılı olması ve yıldızın küresellikten sapmış olması sonucu yüzey akısı, yüzeyin her noktasında aynı olmayacaktır. Bu sonuç için modern bir yaklaşım Kippenhahn and Weigert (1990) tarafından,

$$F = \frac{4ac}{3\kappa\rho} T^3 \frac{dt}{dU} g = -k(U)g \quad , \qquad g = -\nabla U$$

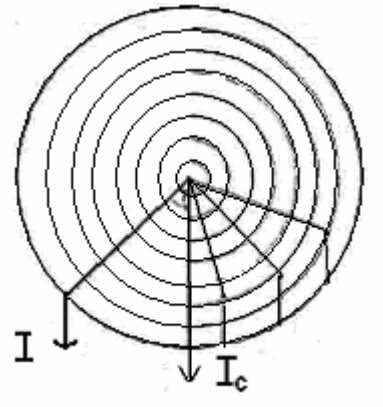
olarak verilmiştir. Burada F, ışımasal enerji akı vektörü ve g ise çekimsel ve merkezcil ivmeleri içeren etkin yüzey çekim ivmesidir. Verilen bir potansiyel için akıyı hesaplamak gerekirse, akı sadece g ile değişmektedir. Buna göre yerel bolometrik akı aşağıdaki gibidir;

$$F_l = F_P \left[\frac{g_l}{g_p} \right]^g , \qquad g = \begin{cases} 1.00 & \text{von Zeipel teoremine göre} \\ \approx 0.32 & \text{Lucy'nin teoremine göre} \end{cases}$$

Burada p indisi yıldızın kutbu anlamına gelmektedir. Lucy (1967) tarafından önerilen teoreme göre üssün 0.32 alınmasıyla T < 7200 K olan konvektif yıldızlara, Von Zeipel (1924) tarafından önerilen teoreme göre 1.00 alınmasıyla da T > 7200 K olan radyatif yıldızlara ilişkin bağıntı elde edilmektedir.

3.2 Kenar Kararması

Bu etkiyi ihmal etmek, yıldız diskinin üniform bir parlaklığa sahip olduğunu kabul etmek demektir. Yüzey parlaklığının merkezden kenarlara doğru değiştiğine dair birçok kanıt özellikle Güneş'te olmak üzere diğer yıldızlarda da açıkça görülmektedir.



Şekil 3.2 Kenar kararma etkisi

Kenar kararması, yeğinliğin yüzey normali ile yaptığı açıya bağlıdır (şekil 3.2). Yıldız atmosferlerinde sıcaklık, derinlikle artmaktadır ve merkezden alınan ışınım şiddeti ile kenarlardan alınan ışınım şiddeti arasındaki farktan dolayı kenar kararma etkisi meydana gelmektedir. I_c disk merkezinden alınan ışınım şiddeti olmak üzere herhangi bir noktadaki I ışınım şiddeti (lineer kenar kararma yasasına göre),

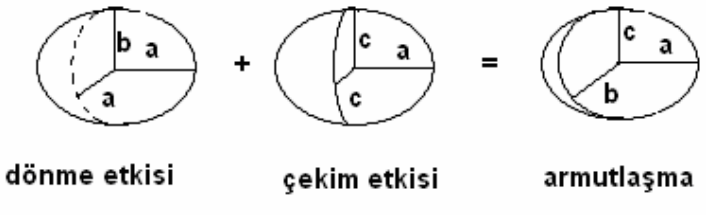
$$I = I_c(1 - x + x\cos\gamma)$$

ile ifade edilmektedir. Burada x kenar kararma katsayısıdır. Kenar kararması yok iken x = 0 dır ve bu durumda $I = I_c$ olur. Tam kararmada ise x = 1 dir. Güneş dışında diğer tüm yıldızlarda kenar kararmasının belirlenebilmesi için ya tutulma gösteren çift sistemlerin incelenmesine yada "ay örtmesi" gözlemine gerek vardır. Tutulma gösteren çift sistemlerde kenar kararmasının belirlenebilmesi için ışık eğrilerinin minimumlarının yeterince derin ve sistemde tam tutulma olması gerekmektedir. Kenar kararması, örten çift yıldızların ışık eğrilerinde, özellikle minimuma giriş ve çıkış yöresinde daha etkin olmaktadır. Bu etki, tutulmanın daha geç başlayıp daha erken bitmesine neden olmaktadır. Özellikle parçalı tutulma gösteren ışık eğrilerinde, minimum tabanlarının daha eğrisel olmasına neden olur. Sıcak yıldızlara gidildikçe bu etkiler zayıflamaktadır.

Kenar kararma katsayıları çeşitli araştırmacılar tarafından teorik olarak hesaplanmış ve çizelgeler halinde yayınlanmıştır. Bunların arasında en önemlileri; Al Naimiy (1978), Wade and Rucinski (1985) ve Van Hamme (1993)'ın yaptığı çalışmalardır.

3.3 Basıklaşma ve Armutlaşma

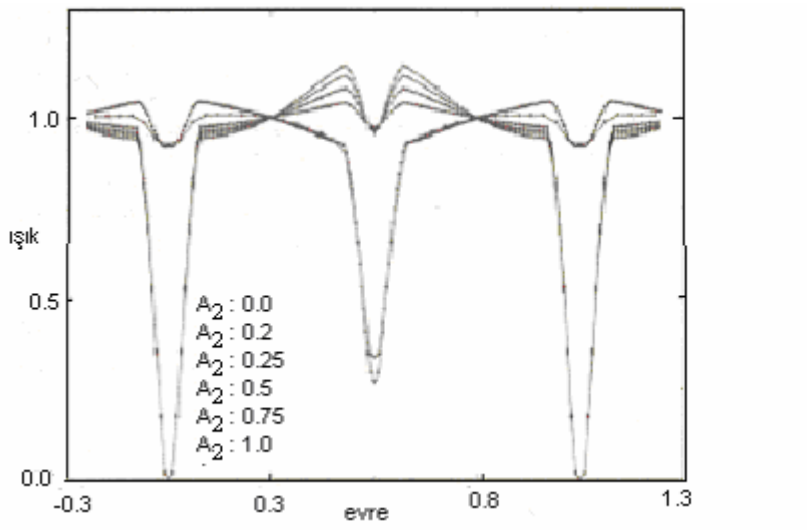
Bileşenler dönme sonucu küresel biçimden uzaklaşarak basıklaşırlar. Üzerinde yaşadığımız Dünya ve bize en yakın yıldız olan Güneş kendi eksenleri etrafında dönmelerinden dolayı basıklaşmıştır. Bu durumda yıldızların şekli dönel elipsoid olacağından, tutulma olmasa bile ışık eğrileri zamanla değişim gösterir. Küresellik ortadan kalktığından yarıçap artık tek değerle belirlenememektedir. Bileşen yıldızlar birbirine yakın ise, çekim nedeni ile birbirine bakan yarıçapları daha da uzun olacaktır, bu ise yıldızın armutlaşmasına neden olacaktır. Şekil 3.3'de bu iki olayın yıldız biçimini nasıl etkilediği gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Yıldızlarda dönme ve çekim etkisiyle biçim bozulması

3.4 Yansıma Etkisi

Bir çift sistemde bir bileşenin varlığı diğer bileşenin parlaklığının artmasına sebep olur. Bu olay bileşenlerin birbirlerine bakan yarıkürelerinde meydana gelmektedir. Bunun nedeni, bileşenlerden biri tarafından yayınlanan ışınımın küçük bir oranının diğer bileşen tarafından soğurularak kendi ışınımına ek olarak her yönde tekrar salmasıdır. Çok sıcak sistemlerde ışınımın önemli bir kesri serbest elektronlarca saçılmaktadır dolayısıyla böyle sistemlerde yansıma etkisi daha da önemli bir hale gelmektedir.



Şekil 3.4 Albedonun 0 ile 1 arasında aldığı değerlere göre değişen ışık eğrileri.

Sıcaklıklar $T_1 = 20000$ ve $T_2 = 3600$ K

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi yansıma etkisi ışık eğrisinde ikinci minimum civarında (ikinci minimumdan önce ve sonra) kendini göstermektedir. Yansıma etkisi bolometrik albedo parametresi ile modellenmektedir.

T_1 bir r_1 yüzey noktasındaki sıcaklık olsun. Klasik bir yaklaşımla yansımayı modelleyebilmek için;

$$T_1' = \sqrt[4]{R_t T_1} \quad , \quad R_t = 1 + A_t \frac{F_s}{F_t}$$

ifadeleri kullanılmaktadır. Burada F_S bolometrik ışınım akısı, F_T yansıma etkisini içermeyen ışınım akısı, A_t bolometrik albedo ve R yansıma katsayısıdır. Eğer bileşenin yüzeyi radyatif ise A = 1 kabul edilir, eğer bileşen yüzeyi konvektif ise ışığın yarısı yansıtılır, yarısı atmosferdeki kütle hareketinde kullanılır. Bu durumda dış konvektif katmana sahip yıldızlar için A = 0.5 değeri kullanılmaktadır.

4 W UMa TÜRÜ YILDIZLAR

Lucy (1968) tarafından yapılan ilk çalışmalardan bu yana yaklaşık 40 yıllık bir zaman geçmiş olmasına rağmen, W UMa türü yıldızlar hala tam olarak anlaşılamamıştır. Böyle sistemler, yapılarının ve evrimsel durumlarının anlaşılabilmesi amacıyla birçok makalede ele alınmıştır. W UMa yıldızları, ışık eğrilerinde izlenen neredeyse eşit derinlikli iki minimumla ve süreklilik gösteren ışık değişimleri ile karakterize edilmektedirler. Bu ayrım Lucy (1968)'nin ortak konvektif zarf (CCE) modeline dayanmaktadır. Modelde, bu sistemlerin ışık eğrilerinin hemen hemen eşit minimuma sahip oluşları tatmin edici bir biçimde açıklanmaktadır. Eşit minimum derinlikleri, bileşenlerin eşit yüzey sıcaklıklarına sahip olduklarının bir göstergesidir. Bunun nedeni, birinci bileşenden ikinci bileşene geniş ölçekli enerji transferidir. Bu enerji transferi, tüm sistem üzerindeki yüzey sıcaklığının kabaca eşitlenmesini sağlar. Lucy'nin bu modeli ısısal denge varsayımına dayanır ve Eggen (1967)'in W UMa yıldızları için gözlenen period-renk ilişkisini açıklamaktaki zorluklar sonucu ortaya çıkmıştır. "Değen Çiftler" olarak bilinen bu sistemlerin bileşenleri birbirine çok yakındır. Qian (2001a,b)'ın yaptığı çalışmalar, W UMa türü çift sistemlerdeki period değişiminin kütle oranına (q) ve birinci bileşenin kütlesine (M_1) bağlı olabildiğini göstermiştir. W UMa türü çift yıldızın period değişimi için kritik bir kütle oranı (q_{cr}) vardır. Düşük kütle oranına ($q < q_{cr}$) sahip sistemlerin periodları azalırken, ($q > q_{cr}$) olan sistemler genellikle artan period gösterirler ve buna ek olarak kritik kütle oranı, baş bileşenin kütlesi M_1 ile ilişkilidir. Bu gözlemsel bulgulardan, açısal momentum kaybının, W UMa türü yıldızların birbirlerine bu denli yakın olmalarını sağladığı çıkarılabilir. Bu yakınlığın doğal sonucu olarak, sistem içerisinde oluşan ileri derecede karşılıklı tedirginlik kuvvetleriyle, küresellikten önemli ölçüde sapmış bileşenler içermektedirler. Diğer bir ifadeyle bu yıldızların en küçük açısal momentum değerine sahip olan yıldızlar oldukları söylenebilir. Yörünge dönemleri oldukça kısadır ve 5 saat ile 18 saat arasında değişen değerlere sahiptirler.

Tayf türleri F0 ve daha geç türlerden olan değen çift yıldızların yaklaşık % 80'i W UMa'lardır. B-V renk ölçekleri +0.54 ile +0.59 ve bileşenlerin kütleleri 0.9 - 4.0 M_Θ arasındadır. W UMa'ların dönemleri ve renkleri arasında çok sıkı olmasa da bir bağıntı

vardır ki buna renk-dönem ilişkisi denir. Bu ilişkide uzun dönemli sistemlerin sıcak yani erken tayf türüne sahip olduğu, kısa dönemli sistemlerin ise soğuk, geç tayf türüne sahip oldukları görülmektedir. Bu sistemler için hesaplanan kütle oranı daima 1'den farklıdır. Bu durumda merkezinde hidrojen yakan anakol yıldızları için ortaya konan kütle-ışınım-yarıçap bağıntısı dikkate alındığında, iki bileşenin yüzey sıcaklıklarının farklı olması gerekmektedir. Bu koşul ışık eğrisinde iki minimum derinliğinin farklı olmasını ve bu tür çiftlerin EB türü grupta yer almasını gerektirir. Genel olarak yıldızların fotosferleri, eş potansiyelli yüzeyler olarak ele alınırlar. Bu eş potansiyelli yüzeylerde yoğunluk ve basınç sıfırdır. Değen çift yıldızların her iki bileşeni de kendi Roche loblarını doldurmuş yıldızlardır. W UMa yıldızları, yakınlık etkileri nedeniyle ışık eğrisi sürekli değişim gösteren ve hemen hemen aynı tayf türünden oluşan sistemlerdir. Roche modeline göre ise değen yıldızlar olarak tanımlanan sistemlerin bir grubunu oluştururlar. Neredeyse eşit derinlikli minimumlara sahip ışık eğrileri veren W UMa'ların bu aykırı durumu, ancak yukarıda bahsedilen "değme" olgusunun dikkate alınması ve bir "ortak zarf" ile sarılmış olmaları halinde açıklanabilmektedir. Konvektif yapıya sahip bu zarf boyunca, etkin bir ısı dağıtımının varolması sayesinde iki bileşen yaklaşık olarak aynı yüzey sıcaklığında görünmektedirler. Bu sürecin modellenmesi oldukça güçtür. Teorik araştırmalar, W UMa zarflarında izlenen "ısısal değme" yapısının zaman zaman bozulduğunu göstermektedir. Bu durumun gerçekte var olduğunun en önemli kanıtı, W UMa'larla yaklaşık aynı yörünge dönemine ve bileşen kütlelerine sahip EB türü sistemlerin gözlenmesidir.

Aslında W UMa bileşenlerinin, doğrudan tek anakol yıldızlarıyla karşılaştırılması yapılamaz. Çünkü her iki bileşeni de, biribirleri arasındaki ışınım aktarımından dolayı standart kütle-ışınım bağıntısına uymazlar. Göreli olarak kısa yörünge dönemleri, W UMa yıldızlarını fotometrik gözlemlerin en fazla tercih edilen hedefi durumuna getirmiştir. Literatürde mevcut gelişmiş ışık eğrisi sentez modelleriyle (Wilson-Devinney yöntemi vb), ışık eğrileri çözümlenebilmekte ve bileşenlere ait kesirsel geometrik parametrelerin yanı sıra, yörünge eğim açısı i, kütle oranı q ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları T_1, T_2 belirlenebilmektedir. Bileşenlerin yüksek yörünge hızlarına sahip olmaları nedeniyle tayfsal çizgileri oldukça genişlemiştir. Bu nedenle dikine hız hesaplamalarında "cross correlation" yönteminin yanı sıra "broadening function"

yaklaşımları daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. W UMa'ların çoğunda izlenen, sistemden kütle ve açısal momentum kaybıyla, ileride "Blue Stragglers" olarak adlandırılan yaşlı ve büyük kütleli anakol yıldızlarına veya hızlı dönen çift çekirdekli lekeli FK Com türü dev yıldızlara evrimleşecekleri düşünülmektedir.

Binnendijk (1970), W UMa yıldızlarının özelliklerini inceleyerek bu sistemleri W-türü ve A-türü olmak üzere iki alt gruba ayırmıştır. Bu sınıflama temelde, ışık eğrilerindeki derin minimumun bir geçiş (transit) veya bir örtme (occultation) sonucunda oluşmasına dayandırılmaktadır. Tutulma tanımlarına göre W-türü değen çift yıldızlarda küçük kütleli, küçük yarıçaplı yıldızın daha sıcak, A-türü değen çift yıldızlarda ise büyük kütleli ve büyük yarıçaplı yıldızın daha sıcak olması gerekmektedir. Bu iki grup değen çift yıldızların diğer bütün fiziksel özelliklerinin de farklı olduğu görülmektedir. Genel olarak W UMa türü sistemlerin gözlemsel verilerinden, alt sınıflar arasındaki basit farklılıklar şu şekilde ortaya çıkmaktadır :

A Türü	**W Türü**
- I minimum geçiş (transit)	- I minimum örtme (occultation)
- Kütle oranı daha küçük $q < 0.54$	- Kütle oranı $0.14 < q < 0.87$
- Esas bileşen daha büyük kütleli ve sıcak	- Esas bileşen daha küçük kütleli ve sıcak
- Erken tayf türünde	- Geç tayf türünde
- Bileşen kütleleri büyük	- Bileşen kütleleri küçük
- Ortalama dönem 0.5 gün	- Ortalama dönem 0.3 gün
- Ortalama sıcaklık daha fazla	- Ortalama sıcaklık daha az
- Yüksek ışınım gücü	- Düşük ışınım gücü
- Değme daha fazla	- Değme daha az
- Dönem değişimi var	- Dönem değişimi hemen hemen yok
- Ortak zarf kalın	- Ortak zarf ince
- Evrimde ileri safhada	- Henüz anakol bandında

W- türü değen çift yıldızların fotometrik ışık eğrilerinde görülen ;

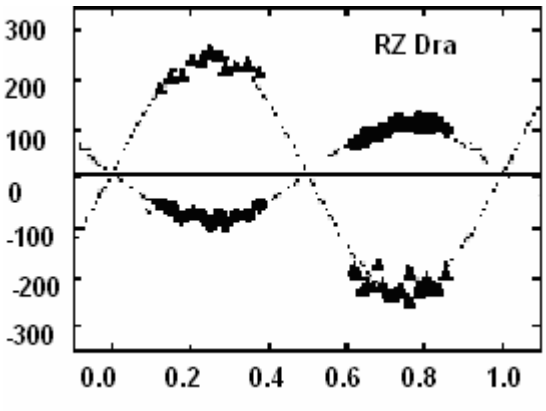
(i) minimumların asimetrik olması,
(ii) art arda iki maksimumun eşit seviyede olmaması,
(iii) minimum çıkışlarında düzensiz düşmeler olması,

gibi düzensizliklere, bileşenlerdeki manyetik bir aktivitenin neden olma ihtimali Eaton (1983) ve Mullan (1975) tarafından araştırılmış ve zamanla biriken veriler sonucu manyetik aktivite olgusunun belirgin bir etki yaratabileceği ortaya çıkarılmıştır.

W-türü değen çift yıldızların ışık eğrilerinde derin minimumun örtülme olması, modellerde birkaç ayrı yoldan sağlanmıştır. En çok kullanılan yol küçük kütleli ve küçük yarıçaplı bileşenin diğerine göre 300°K kadar daha sıcak alınmasıdır (Berthier, 1975 ve Rucinski, 1974). En çok kullanılan ikinci yol, bolometrik albedo ve çekim kararması sabitini büyük almaktır (Wilson and Devinney, 1973 ve Wilson and Biermann, 1976). Çekim kararması sabitinin büyük alınması, örtülme minimumunu daha derin yapmaktadır ve albedonun büyük alınmasıyla da ışık değişimi genliği dengelenmektedir. Diğer taraftan Anderson and Shu (1977), normal çekim kararması, kuvvetli yansıma ve düşük kenar kararmasıyla da derin örtülme minimumları elde etmişlerdir. W-türü yıldızların ışık eğrilerini elde etmenin bir başka yolu ise büyük kütleli yıldız üzerinde Güneş lekelerine benzer fakat daha büyük ölçekli lekelerin varlığını kabul etmektir. Bu yolla sadece örtülme minimumlarının daha derin olması değil aynı zamanda W-türü ışık eğrilerindeki tüm farklı gözlemsel özellikler (lekelerin konum, büyüklük, dağılım ve sıcaklık farklarını ayarlayarak) sağlanabilmektedir (Eaton 1983, Mullan 1975).

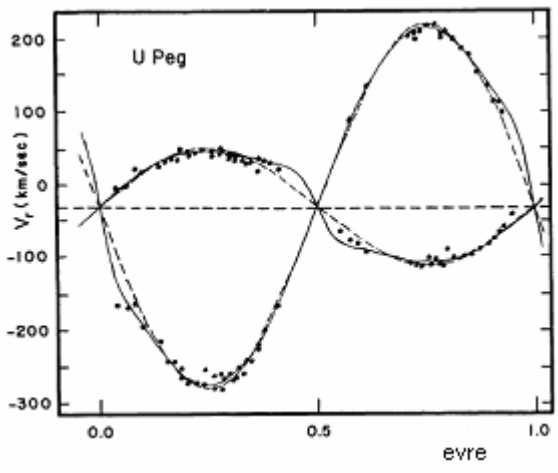
Birkaç farklı modelle optik bölgede W-türü ışık eğrilerine uyum sağlanmakta, ancak optik bölgede renkler, sıcaklığa fazla duyarlı olmadığı için optik gözlemlerle doğru modeli saptamak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle 1970'li yılların sonuna doğru değen çift yıldızların kırmızıöte (IR) ve moröte (UV) gözlemleri yapılmaya başlanmıştır. Kırmızı öteye gidildikçe minimum derinliklerinin $0^m.15 - 0^m.20$ azaldığı, ancak morötesine ($\lambda \approx 2600$ Å'a kadar) gidildikçe genliğin belirgin şekilde değişmediği görülmüştür. Linnell (1987) ve Eaton (1986), UBVRI bantlarında W-türünden bir

sisteme ilişkin tüm ışık eğrilerinin hepsini birden tek bir mekanizmayla modellemenin mümkün olmadığını göstermişlerdir. Buna karşın morötesi gözlemlerinden A8-A9 tayf türlerine kadar gözlenen bütün değen çift yıldızların kromosferik ve geçiş bölgesi salma çizgileri gösterdiği saptanmıştır (Eaton 1973). Bu yıldızlarda sıcak koronaların varlığı da x-ışın salmalarıyla kanıtlanmıştır. Soğuk yıldızlarda kromosfer, geçiş bölgesi ve koronaların varlığı, manyetik etkinliğin ve dolayısıyla fotosferlerinde Güneş lekesi benzeri soğuk lekeler bulunduğunun belirtisidir. Büyük olasılıkla iki türün farklı özelliklere sahip olması, atmosfer yapılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. İki türe ilişkin atmosfer yapılarının farkını anlayabilmek için Rucinski *et. al.* (1984), iki türün uç noktalarından SW Lac ile AW UMa'nın IUE ile UV tayflarını incelemişler ve bu yıldızlarda farklı kromosfer ve koronalar ile benzer geçiş bölgeleri bulmuşlardır. Yıldız tayflarından dikine hızlar elde edildiğinde, tek tek bileşenlerin hız değerlerinin evreye veya zamana göre işaretlenmesiyle, o sistemin dikine hız eğrilerinin elde edildiği bilinmektedir. W UMa yıldızları için kaliteli tayflar elde edebilmek genellikle zordur. Dolanma dönemleri gün kesrinde olduğu için alınan tayflarda poz süresinin kısa olması gerekir. Oysa bu sistemlerin oldukça büyük bir kısmı aynı zamanda sönük olduklarından büyük çaplı teleskoplara gereksinim olmaktadır. W UMa sistemlerinin dikine hız eğrileri, sinüs eğrisi biçimindedir. Böyle olması, her bir bileşenin yörüngesinin dairesel biçimde olduğunu göstermektedir. Çoğu sistemlerin her iki bileşeninin dikine hız eğrilerinin ayrı ayrı elde edilebilmesi ise, bileşen yıldızların ışıtmalarının birbirleri ile karşılaştırılabilecek durumda olduklarını göstermektedir.



Şekil 4.1 A-türü W UMa olan RZ Dra sisteminin radyal hız eğrisi

Şekil 4.1'de RZ Dra'nın dikine hız eğrisi görülmektedir. Genliği daha küçük olan eğri kütlece daha büyük bileşeni göstermektedir. Kuramsal incelemelerden, bileşenleri yaklaşık aynı tayf türünden olan sistemlerde, çizgi derinlikleri oranının yıldızların yeğinlikleri oranına eşit olduğu gösterilmiştir (Petrie 1939). W UMa yıldızlarında da bileşenler genellikle aynı tayf türünden olduklarından, birinci bileşen daha parlak olacaktır. Bu tür sistemler de (yani büyük kütleli bileşenin dikine hızı sıfır evresinde azalıyorsa) A-türü olarak sınıflandırılmaktadırlar. Bu sistemlerde, daha büyük, daha kütleli ve parlak olan birinci bileşen baş minimumda örtülmektedir ve bu bileşen aynı zamanda daha sıcaktır. Başka bir ifadeyle baş minimum transittir, yani küçük bileşen büyük bileşenin önünden geçmektedir.



Şekil 4.2 W-türü W UMa olan U Peg sisteminin dikine hız eğrisi

Şekil 4.2'de ise U Peg sisteminin dikine hız eğrisi görülmektedir. Birinci bileşenin dikine hız eğrisinin sıfır evresinde artmakta olduğu görülmektedir. Bu sistemlerde daha büyük ve parlak olan bileşen daha soğuktur. Başka bir ifadeyle baş minimum bir örtme sonucu oluşur. Bu ise W-türü W UMa'ların en önemli sistem özelliklerinde biridir. Her ne kadar son yıllarda Wilson (1979) tarafından bazı çift yıldızlarda bileşenlerin her ikisi de Roche loblarını doldurmalarına rağmen dönme-dolanma dönemlerinin farklı olduğu ileri sürüldüyse de, örten değişen yıldızların dönme ve dolanma dönemlerinin birbirine eşit olduğu genellikle kabul edilmektedir. W UMa yıldızlarının ortalama yarıçapları göz önüne alınarak ve eş zamanlı dönme olduğu varsayılarak kendi eksenleri etrafındaki

dönme hızları hesaplanabilir. Dönemlerinin küçük olması nedeniyle hesaplanan hızlar büyüktür. Ortalama değerler olarak, baş yıldızın ekvator yöresinde 150 km/sn ve yoldaşında 100 km/sn'lik hızlarla döndüğü kabul edilebilir. Bu büyük dönme hızları nedeniyle tutulmalar sırasında parçalı olarak örtülen yıldızın dönme etkisi, dikine hız eğrisinde yörünge eğrisinin üzerine binecek ve her iki tutulma sırasında da dikine hız eğrilerinde bozulmalar görülecektir.

5 IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

Yakın çift yıldız sistemlerinin ışık eğrileri çok basit bir şekilde, geometrik olarak tutulma ve yakınlık etkilerinden dolayı şekil bozulmasının ortak bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Gerçekte ışık eğrileri, daha birçok etkiyi de kapsadığından, daha karmaşık bir görünüm almaktadırlar. Işık eğrisine etki eden diğer etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilir ;

- Sistemin toplam ışınım gücüne etki eden üçüncü bir ışığın varlığı,
- Yörüngenin dairesel olmaması,
- Bileşenlerden birinin yada ikisinin de genişlemiş atmosfere sahip olması,
- Bileşenlerden birinin yada ikisinin de fiziksel değişen olması,
- Bileşenler arası kütle aktarımı ve sistemden kütle kaybı olması,
- Bileşenler etrafında disk, halka ve sistem etrafında gaz bulutunun varlığı,
- Bileşenlerin yüzeylerinde parlaklık dağılımının düzensiz olması,
- Manyetik alanın varlığı.

Bu etkilerin bir veya birkaçının varlığı halinde, sisteme ilişkin ışık eğrilerinin analizi, sistem elemanları için sağlıklı sonuç vermemektedir. Ancak bu ikincil etkilerin çok iyi modellenebildiği durumlarda, bileşenlerin sıcaklık, yarıçap, kütle oranı, yörünge eğikliği gibi yörünge elemanları doğru olarak elde edilebilmektedir. Tek başına fotometrik gözlemlerin çözümlenmesinden göreli değerler ($r_{1,2}$, $l_{1,2}$, q); dikine hız eğrileri de çözüme katıldığında ise salt değerler ($M_{1,2}$, $R_{1,2}$) bulunabilmektedir.

Yakın çift yıldızlara ait ışık eğrilerinin çözümüne ilişkin en basit durum, dairesel yörüngeli ve küresel yapıya sahip bileşenler olduğu varsayımı ile Russell (1912) tarafından ortaya konulmuştur. Gerçekte, doğada bu kadar basit ve ideal bir sistem hiç bir zaman yer almaz. Merril (1950), Russell (1912)'ın çalışmasını ve dinamik koşul bağıntısını temel alarak, çizelgeler yardımıyla çözüm yapan bir yöntem geliştirmiştir. Tutulmaların farklı türleri için, tutulma derinliklerine bağlı ayrı çizelgeler ile çözüme varılmaktadır. Bu yöntem geliştirilerek (Russell and Merrill 1952), bileşenlerin üç

eksenli elipsoid yapısı dikkate alınmış, böylece yıldızların yakınlık etkileri ile geometrik örtme, örtülme olayları modellenmiştir. Bu modele göre etkileşen çift yıldızların yakınlık etkileri yaklaşık olarak hesaplanarak, gözlenen ışık eğrilerinden atılabilmektedir. Ancak bu tür uygulamalar yakın çift yıldızlar için gerçek olmayan nicel sonuçlar vermektedir. Daha sonra geliştirilen yöntemlerde, bileşenler arası çekimsel ve ışımasal etkileşmeler daha doğru biçimde dikkate alınmasına karşın, problemin lineer olmaması sonucu arındırma işlemi sorun olmaya devam etmiştir.

Kopal (1959) yönteminde kenar kararmasının yanında çekimden ve dönemden ileri gelen çekim kararması etkileri göz önüne alınmıştır. Kopal, nümerik işlemleri kullanarak kilit noktalardaki zorlukları aşmayı başarmıştır. 1960'lı yılların sonunda, gelişmiş bilgisayarların kullanılmasıyla, Roche modeline dayalı sentetik ışık eğrisi yöntemleri geliştirilmiştir. Sentetik ışık eğrisi yöntemlerinde, yakın bir çift yıldız sistem modeli için pek çok parametre dikkate alınmıştır. Daha sonra bu model bazen deneme-yanılma, bazen de diferansiyel düzeltme yöntemi ile gözlenen ışık eğrisine çakıştırılmaya çalışılmıştır. Modelde; iyi bir fit sağlandığında, sentetik eğrinin parametreleri çift yıldız sisteminin parametreleri olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemlere; Wilson and Devinney (1971-1973), Lucy (1973), Rucinski (1973), Binnendijk (1977) yöntemleri örnek gösterilebilir. Bütün bu yöntemlerde çekimsel şekil bozulmaları, yansıma etkileri, kenar kararması ve çekim kararması göz önüne alınmaktadır. Wilson-Devinney yöntemi farklı dalga boylarındaki ışık eğrilerini, varsa dikine hız eğrilerini de aynı anda çözebilmesi açısından en yaygın kullanılanı olmuştur.

5.1 Wilson-Devinney (WD) Programı

Wilson-Devinney programının ana teorisi, organizasyonu ve matematiği gibi temel bilgiler, Wilson and Devinney (1971), Wilson (1979, 1990) ve Wilson and van Hamme (2003) gibi araştırmacıların çalışmalarında geniş bir şekilde verilmiştir. Wilson-Devinney (WD) analiz programı, gözlenmiş bir ışık eğrisinden sisteme ait fiziksel parametreleri hesaplayan bir programdır. Model ilk olarak Wilson ve Devinney (1971) tarafından yayımlanmıştır. WD, Roche geometrisi kabulu altında yıldızlara ait dönme, çekimsel bozulmalar, yansıma etkisi, kenar ve çekim kararma etkilerini

modelleyebilmektedir. Program Fortran dilinde yazılmış olup **LC** (Light Curve) ve **DC** (Differential Correction) olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. LC bölümü, ışık ve dikine hız eğrileri ile tayfsal çizgi profillerini verilen ilgili parametreler ışığında üretmektedir. DC bölümü ise en küçük kareler yöntemi ve iki düzineden fazla alt programcık ile girilen parametrelerin sistemin fiziğine uygun bir şekilde düzeltilmesinde kullanılmaktadır. DC programının en önemli özelliği, aynı anda birden çok bantta ışık eğrisi ve bir veya iki dikine hız eğrisini eşzamanlı olarak çözebilmesidir. Çoğu ışık eğrisi analiz programı bu özelliğe sahip olmadığından, aynı sistem için yapılan çözümlerde ortak olması gereken çift yıldız sistemine ait parametreler (q : kütle oranı, i : yörünge eğim açısı gibi) arasında farklılıklar ortaya çıkmaktadır. DC programının bu özelliği sayesinde sisteme ait olan ortak parametreler arasında ortaya çıkan uyuşmazlıklar ortadan kaldırılmıştır. Farklı renkteki ışık eğrilerinin ve dikine hız eğrilerinin eşzamanlı çözümü ile serbest bırakılabilecek sisteme ait parametre sayısı azaldığından daha hızlı ve doğru çözümler elde edebilmek mümkün olmaktadır.

- Program çıktığından bu yana zaman içerisinde kapsam, hız ve hataların giderilmesi bakımından gelişimini sürdürmektedir. Programın yapıldığı ilk zamanlarda yalnızca dairesel yörüngelerde dolanan ve eş dönmeye sahip çift sistemlerin modellenmesi için kullanılmaktaydı. 1979'daki sürümde program, ışık eğrileri ile birlikte dikine hız eğrilerini de eş zamanlı olarak çözebilecek hale getirilmiştir. Ayrıca düzeltilmiş Roche modeli yardımıyla eş zamanlı dönmeyen ve dışmerkezli yörüngelerde dolanan çift sistemlerin modellenmesi ile ışık eğrilerindeki leke etkisi ve üçüncü ışık katkısının da modellenmesi sağlanmıştır. Daha ileriki sürümlerle programın kullandığı model atmosfer, kenar kararma yasaları, yansıma etkisi, leke ve disk modellemesi, diferansiyel düzeltmede kullanılan yöntemler açısından büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu özelliklerinin dışında programın dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan bazıları ;

- Komut satırında çalışması ve bu nedenle veri giriş çıkışında zaman kaybına neden olması,

- Üçüncü ışık katkısını hesaplamada, ya tüm filtrelerde serbest bırakılarak veya sabit tutularak çözüme ulaşılması,
- Doğrudan gözlemsel ve teorik çıktı grafiğini vermemesi,
- Leke parametrelerinin serbest bırakılmasında programın yetersiz oluşu,

şeklinde sıralanabilir.

5.2 Phoebe (PHysics Of Eclipsing BinariEs) Programı

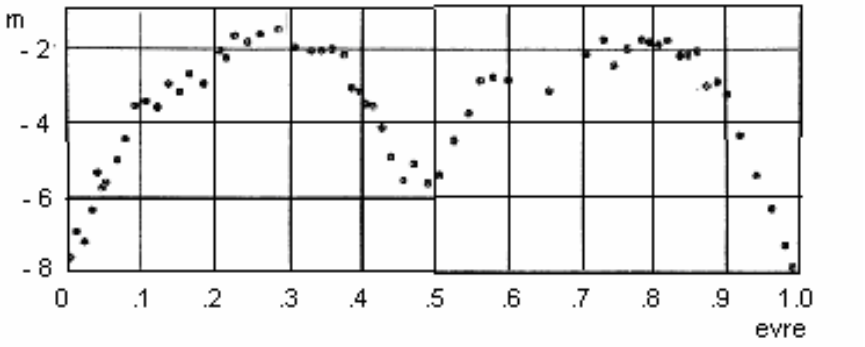
Phoebe analiz programı gözlenmiş ışık eğrileri yardımıyla, gözlenen sisteme ait fiziksel parametreleri hesaplayan bir programdır. Phoebe programı içinde gözlenmiş verilere ilişkin değerlerin ışık ve radyal hız eğrileri hemen çizdirilebilmektedir. Gözlenmiş ışık eğrilerine en uygun sentetik eğriler üretilerek, bu eğrilerden sisteme ait fiziksel parametreler elde edilmektedir. Phobe Unix işletim sistemi altında çalışan bir program olup Wilson-Devinney (WD) ışık eğrisi analiz programının bir arayüzüdür.

Phoebe arayüzü ise kullanım kolaylığı sağlayarak kullanıcıyı kodlarla çalışmaktan kurtarmakta ve zaman kazandırmaktadır. Phoebe, ışık eğrilerindeki leke etkisi, kenar kararması, çekim kararması, üçüncü ışık katkısı gibi parametreleri modelleyebilmekte ve Roche geometrisini esas almaktadır. Program ışık eğrileri ile dikine hız eğrilerini eş zamanlı olarak çözebilmektedir. Phoebe programı WD programının en son veriyonunu kullanmaktadır. En son sürümün tarihi Ekim-2004 sonudur (Wilson and Van Hamme 2004). Phoebe arayüzü Wilson tarafından da desteklenmekte olup Andrej Prsa (Prsa A. and Zwitter 2006) tarafından geliştirilmiştir. Programla ilgili ayrıntılı bilgiye http://www.fiz.uni-lj.si/phoebe/ adresinden ulaşılabilir.

6 U PEGASİ ÇİFT YILDIZ SİSTEMİ

Bu W türü sistem, bilinen W UMa türü çift sistemlerin en eskilerinden bir tanesidir. U Peg'in (BD $+15^{o}4914$, $\alpha_{1900} = 23^{s}\ 52^{d}.9$, $\delta_{1900} = +15^{o}\ 24'$, $m_v = 9^{m},5$) değişimi 113 yıl önce Chandler (1894) tarafından keşfedilmiştir. Sisteme ilişkin ilk çalışma yine Chandler (1896) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yıldız, ışık eğrisinde gösterdiği hızlı ve sürekli değişimlerle birlikte maksimum ve minimumların çok keskin olmasından dolayı Algol türü olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra döneminin $0^{g}.22$ olduğu anlaşılmış ve ışık eğrisinin diğer kısa dönemli yıldız sınıflarından biçim olarak farklı olduğu belirtilmiştir. Bu tarihten sonraki çalışma Yendell (1896) tarafından yapılmış ve yıldızın dönemi $0^{g}.69$ olarak düzeltilmiştir. Bununla birlikte ışık eğrisinde maksimum ve minimumlar arasında kalan bölgelerin, Chandler (1895)'in gözlemlerinde olduğu gibi ileri derecede anormallikler gösterdiği belirtilmiş ve bir sonuca ulaşabilmek için daha fazla gözleme ihtiyaç duyulduğu eklenmiştir. 20. yüzyıla girildikten sonra sisteme ilişkin ilk gözlemler Wendel (1909) tarafından yapılmış ve bu gözlemler kullanılarak, ilk yörünge elemanları Shapley (1915) tarafından;

$$JD(Hel) = 2415021.2367 + 0^{d}.37478400(5) \times E$$



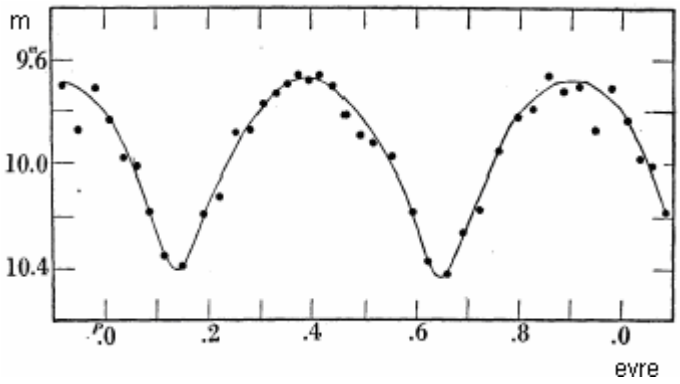
Şekil 6.1 Schilt (1925) tarafından elde edilen ışık eğrisi. (verilen noktalar normal noktalardır)

olarak elde edilmiştir. Daha sonra Schilt (1925), sistemi fotoğraf plakları yardımıyla gözlemiş ve sisteme ilişkin ilk ışık eğrisi yayımlanmıştır. Bu ışık eğrisi yardımıyla birinci minimumun $-0^{p}.0019 \pm 0^{p}.0045$ evresinde, ikinci minimumun ise $+0^{p}.4804$

$\pm 0^p.0040$ evresinde meydana geldiği bulunmuş ve sisteme ilişkin ışık elemanları ;

$JD(Hel) = 2423730.3398 + 0^d.374784005 \times E$

olarak düzeltilmiştir. Yine aynı yıl fotometrik çalışmaların yanı sıra, sistemin birkaç tayfsal gözlemi yapılmıştır. Adams, Joy and Sanford (1924) tarafından sistemin ilk çift çizgili tayfı elde edilmiştir. Sistemin radyal hız aralığı ise -60 km/sn ile +135 km/sn olarak verilerek tayf türü F3 olarak sınıflandırılmıştır. Ancak daha sonra Adams (1935) tarafından tayf türü G3 olarak düzeltilmiştir. Jordan (1929) tarafından yapılan çalışmada birinci minimum genliği $0^m.6$, ikinci minimum genliğinin ise $0^m.45$ olduğu görülmüştür. Recillas and Woodward (1945)' da sistemin fotoğrafik ışık ölçümünü gerçekleştirmiş ve ışık eğrisini elde etmişlerdir (bkz şekil 6.2).

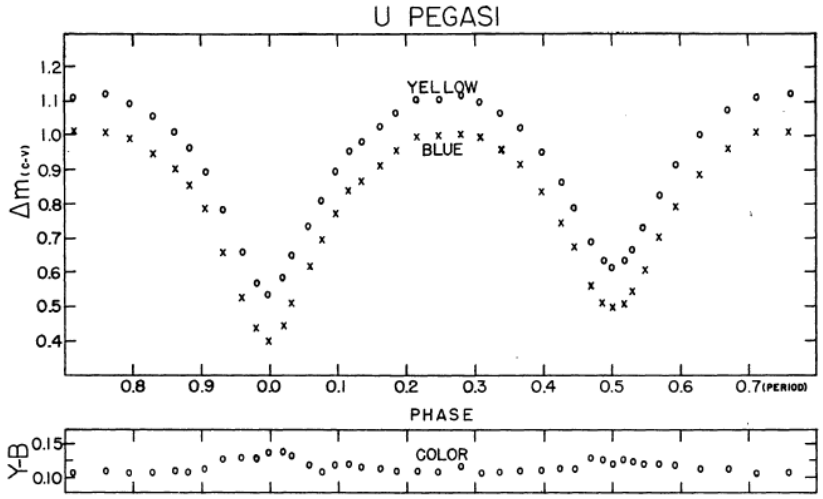


Şekil 6.2 Recillas ve Woodward (1945) tarafından elde edilen ışık eğrisi.

x ekseninde evre, y eksenin de ise fotoğrafik parlaklık verilmiştir

Elde edilen bu ışık eğrisinde birinci minimumun $0^p.15$, ikinci minimumun ise $0^p.65$ evresinde oluştuğu ve minimumlar arasında $0^m.03$ derinlik farkı olduğu dikkat çekmektedir. 20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde sisteme ilişkin çalışmalar hız kazanmıştır. Struve (1950) tarafından sistemin dört tane tayfı elde edilmiştir. Bunlardan 2 tanesi çift çizgilidir. Bu tayfların incelenmesiyle, tayfın mor bölgesine yakın olan çizgilerinin $0^p.65$ - $0^p.80$ evreleri arasında daha şiddetli olduğu görülmüştür. Bu özelliğe, tayfları incelenen diğer W UMa türü yıldızlarda da rastlanmıştır. Bunun sadece fiziksel bir etki olduğu ve simetrik olmayan bir zarfa ait gazın kalın bir kütlesinin bu

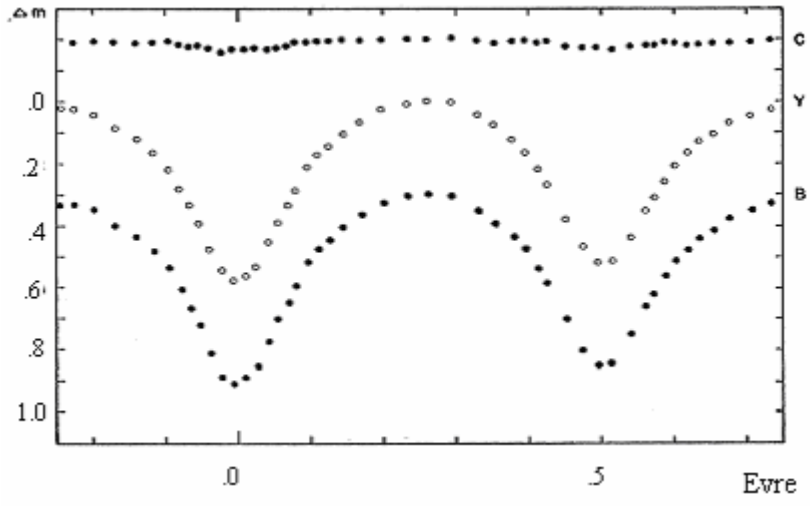
evrelerde bileşenlerin önüne geldiği düşünülmüştür. Bunun dışında 6 tane nokta kullanılarak elde edilen radyal hız eğrisinden K_1 = 165 km/sn, K_2 = 205 km/sn ve kütle oranı q = 1.24 olarak elde edilmiştir. Sistemin iki renkte ilk fotoelektrik ışık eğrisi ise Lafara (1951) tarafından alınmıştır (bkz şekil 6.3).



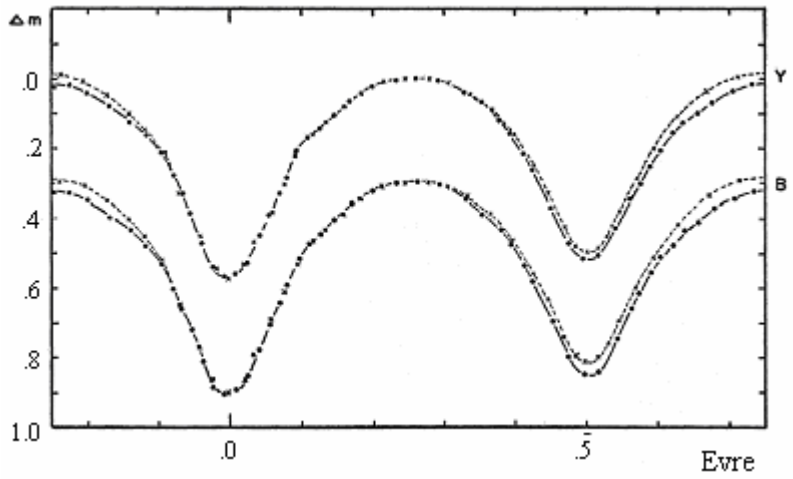
Şekil 6.3 U Peg sisteminin Lafara (1951) tarafından elde edilen renk ve ışık eğrileri

Işık eğrisinin, W UMa türü sistemleri inceleyen diğer gözlemcilerin bahsettiği gibi bozulmaya uğramadığı, oldukça düzgün devam ettiği görülmüştür. Her iki minimumda da renk kızıllaşmıştır. Bu kırmızılaşmanın nedeni, yüksek derecede şekil bozulmasına sahip yıldızlarda görülen karşılıklı ısıtma ve çekim kararması etkilerinin her iki yıldızın birbirlerine bakmayan yarı kürelerini, bakan yüzlerine göre daha kırmızı hale getirmesidir. 1951, 1952, 1953 yıllarının kış ayları boyunca Huruhata *et al.* (1952,1957) tarafından sistemin üç bant fotoelektrik ışıkölçüm gözlemleri yapılmıştır. Bu çalışmada, sistemin ışık eğrisinde düzensiz parlamalar görülmüştür. Bu düzensizliklerin en belirginleri moröte bölgede $0^m.3$ ve mavi bölgede $0^m.1$ kadir kadar parlayan "flare"lar olmuştur. Moröte bölgede ise minimumlarda geniş bir yayılma olduğuna dikkat çekilmiş ancak diğer gecelerde yapılan gözlemlerde bu tür bir özelliğe rastlanmamıştır.

U Peg sistemi araştırmacılar için 1957 yılından sonra daha çok önem kazanmıştır. Bunun nedeni ise Binnendijk (1960) tarafından sistemin ışık değişimini araştırmak için yapılan fotometrik bir çalışmadır. 1958 yılında sistem yedi gece gözlenmiş ve elde edilen eğrilerin birbirlerini aynen tekrarladığı görülmüştür (şekil 6.4). Ancak bu gözlemler Lafara (1951) tarafından yapılan fotoelektrik gözlemlerle (şekil 6.5) karşılaştırıldığında ışık eğrisinin oldukça belirgin farklılıklar gösterdiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.4 U Peg sisteminin Binnedijk (1958) tarafından yapılan gözlemlerinin normal noktaları ve renk eğrisi. Gözlemler B = mavi; Y = sarı; C = renk ölçeğidir

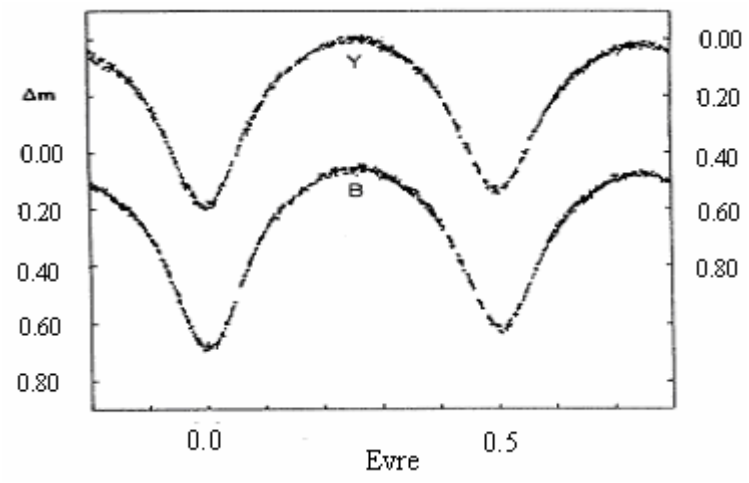


Şekil 6.5 LaFara (1951) ve Binnendijk (1958)'ın yaptığı gözlemlerin normal noktaları arasındaki karşılaştırmayla ortaya çıkarılan U Peg sisteminin ışık eğrisindeki değişimi.

Çarpılar LaFara (1951)'nın gözlemlerini temsil etmektedir

Şekil 6.5'te görüldüğü gibi 1950 ve 1958 yıllarında yapılan gözlemler karşılaştırıldığında birinci minimum ve onu takip eden maksimum mükemmel bir uyum göstermesine rağmen, ikinci minimum ve takibeden maksimum ($0^p.33$ ve $0^p.90$ evreleri arası) Lafara (1951)'nın yaptığı gözlemlerde yaklaşık $0^m.05$ kadir daha parlaktır. Bu durum, sistemdeki garip bir düzensizliğin olası varlığını işaret etmektedir. Bunlara ilaveten birinci minimumun bir örtülme olduğu bulunmuş, eğim açısı $i = 68^o$, bileşenlerin kesirsel yarıçapları $r_g = 0.48$, $r_s = 0.34$ ve ışınım güçleri ise $L_g = 0.67$, $L_s = 0.33$ olarak hesaplanmıştır.

Binnendijk (1960)'ın yaptığı çalışmadan 12 yıl sonra Rigterink (1972) tarafından sistemle ilgili yeni bir fotometrik çalışma yapılmıştır. Sistemin 1950-1958 yılları arasında gösterdiği düzensizlikten sonra 1972 yılına kadar ışık eğrisinde herhangi bir anormal durumla karşılaşılmamıştır (şekil 6.6). Ancak ışık eğrisinde tutulma dışında kalan kısımların Lafara (1951)'nın fotoelektrik gözlemlerinden biçimce farklı olduğu görülmüştür.



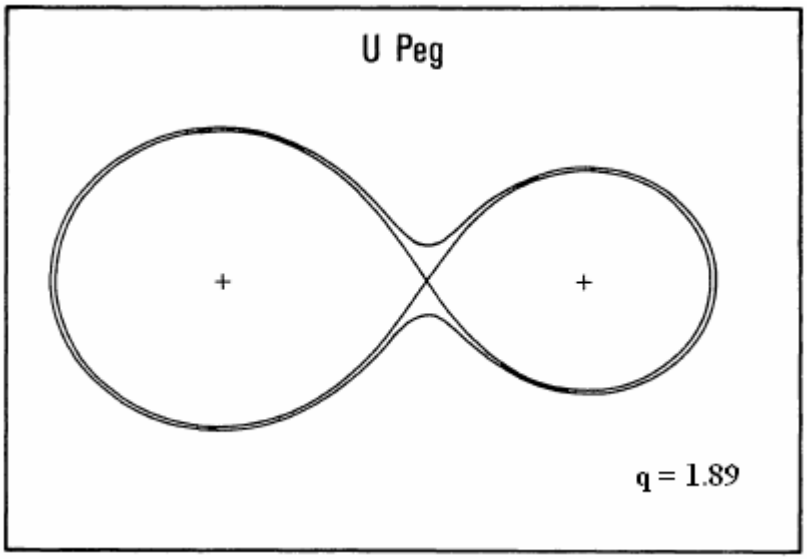
Şekil 6.6 U Peg sisteminin 1970 -1972 yılları arasında Rigterink (1972) tarafından elde edilen ışık eğrileri

Ayrıca Rigterink (1972) ve Binnendijk (1960)'ın elde ettikleri ışık eğrilerinde birinci maksimum ikinciye göre daha parlakken, Lafara (1951)'in gözlemlerinde ikinci maksimumun birinciye göre daha parlak olduğu ortaya çıkmıştır. Birinci minimumun

örtme veya örtülme olduğunu bulabilmek için her iki olasılık içinde çözümler üretilmiş ve yarıçapça büyük ve soğuk bileşenin, sıcak bileşeni örttüğü sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte yörünge eğim açısı i = $70^{o}.6$, bileşenlerin kesirsel yarıçapları $r_g = 0.45$, $r_s = 0.34$ ve ışınım güçleri $L_g = 0.597$, $L_s = 0.403$ olarak bulunurken, ışık elemanları da;

$$JD(Hel) = 2436511.66856 + 0^{d}.37478133 \times E$$

olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.7 Russo *et al.* (1982)'nin analizleri sonucunda yörünge düzleminde U Peg sisteminin geometrik konfigürasyonu

Russo *et al.* (1982) sistemin fotoelektrik ışık eğrilerinin çözümü için ilk kez Wilson and Devinney (1971)'in önerdiği modeli kullanmışlardır. Bu modelde, Roche geometrisine dayanan ışık eğrisi; i eğim açısı, $\Omega_{h.c}$ yüzey potansiyelleri, $L_{h.c}$ normalize edilmemiş monokramatik ışınım güçleri, $q = m_c / m_h$ kütle oranı, $x_{h.c}$ kenar kararma parametreleri, $g_{h.c}$ çekimsel parlama parametreleri, $A_{h.c}$ yansıtma parametrelerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Analizler sonucunda bileşenlerin birbirlerine değmekte olduğunu ortaya çıkarmışlardır (şekil 6.7).

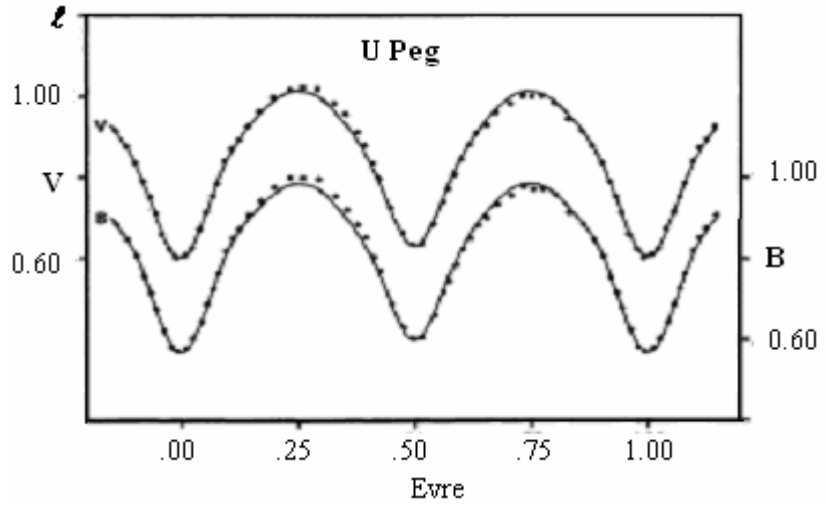
Çizelge 6.1 Russo *et al.* (1982)'nun Binnendijk (1960) tarafından verilen normal noktalarla ve Wilson-Devinney yöntemi ile yaptıkları analizler sonucunda elde ettikleri parametreler

PARAMETRELER	U PEG	
	B	F
i	$74^o.92 \pm 0.21$	$74^o.89 \pm 0.19$
q (= m_c / m_h)	1.833 ± 0.021	1.890 ± 0.022
$\Omega_h = \Omega_c$	4.918 ± 0.032	4.998 ± 0.030
T_h	6800 K	6800 K
T_c	6630 ± 20 K	6600 ± 20 K
$x_h = x_c$	0.76	0.60
$g_h = g_c$	0.32	0.32
$A_h = A_c$	0.50	0.50
$L_h / (L_h + L_c)$	0.396 ± 0.004	0.389 ± 0.004
$L_c / (L_h + L_c)$	0.603	0.610
r_h (pole)	0.312	0.312
r_h (side)	0.326	0.327
r_h (back)	0.367	0.343
r_c (pole)	0.415	0.417
r_c (side)	0.440	0.444
r_c (back)	0.472	0.476
f (= % overcont.)	16.2	16.4

Sisteme ilişkin mutlak parametreler ;

$$M_h / M_\Theta = f(m)(1+q)^2 / \sin^3 i$$
$$M_c = qM_h$$
$$R_h / R_\Theta = 4.207\left(M_h (1+q) p^2\right)^{1/3} r_h$$
$$R_c = r_c R_h / r_h$$
$$L_{h,c} = R^2{}_{h.c}\left(T_{h,c} / T_\Theta\right)^4$$

denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Güneş'in sıcaklık değeri, Allen (1973)'dan alınmıştır. Binnendijk (1960) tarafından verilen normal noktalar (şekil 6.8), Wilson-Devinney bilgisayar kodu kullanılarak çözülmüş ve çizelge 6.1'deki sonuçlar elde edilmiştir.



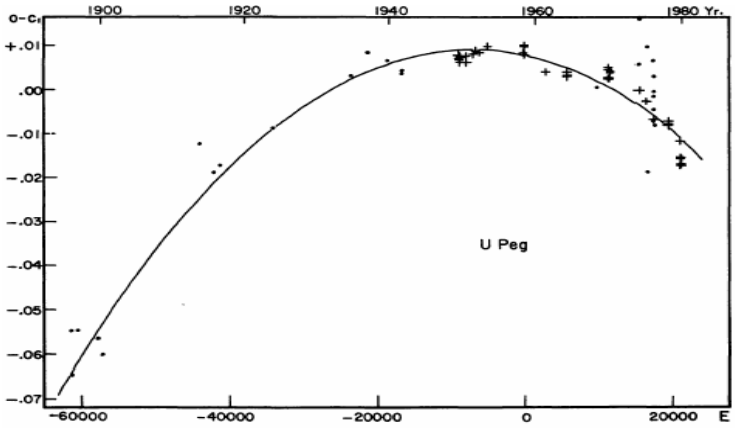
Şekil 6.8 U Peg'in ışık eğrisinin normal noktaları ve Çizelge 6.1'deki çözümlere uyan teorik ışık eğrileri

Sistemin mutlak parametreleri ise;

$$M_h / M_\Theta = 1.61 \pm .07 \qquad M_c / M_\Theta = 2.95 \pm .15$$
$$R_h / R_\Theta = 1.18 \pm .03 \qquad R_c / R_\Theta = 1.60 \pm .05$$
$$L_h / L_\Theta = 2.70 \pm .15 \qquad L_c / L_\Theta = 4.4 \pm .3$$

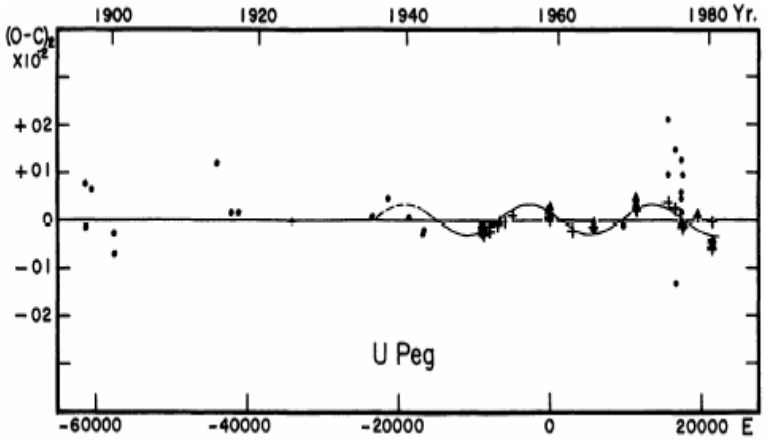
olarak Güneş biriminde elde edilmiştir. Ancak bu değerlerin oldukça çelişkili olduğu farkedilmiştir. Çünkü 2.95 $M_\odot$ kütlesine sahip bir yıldızın ışınım gücü 4.4 $L_\odot$ yerine 70 $L_\odot$ olmalıdır. Bu hatanın, ancak yeteri kadar tayfsal veriye sahip olunmasıyla düzeleceği belirtilmiştir.

1984 yılında Zhai *et al.* (1984) tarafından ilk kez sisteme ilişkin çok yönlü bir çalışma yapılmıştır. İlk olarak 1896 yılından 1980 yılına kadar elde edilen tüm minimum zamanlarına yeni hesaplanan minimum zamanları da ilave edilerek sistemin dönem analizi yapılmıştır. Sistemin yörünge döneminde, $\Delta P / P = 1.32 \times 10^{-10}$ veya 4.16×10^{-3} s / yıllık düzenli bir azalma ve genliği $0^d.00323$ gün olan 17 yıllık kısa dönemli sinüsoidal bir salınıma (şekil 6.10) sahip olduğu bulunmuştur. Dönemdeki salınıma görülemeyen bir üçüncü cismin neden olabileceği ve üçüncü cismin, 0.16 $M_\odot$ kütleli ve M6 tayf türünden bir anakol yıldızı olabileceği öngörülmüştür. Bununla birlikte uzun dönemli düzenli değişime (şekil 6.9) ise büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru olan yavaş bir kütle transferinin neden olduğu ileri sürülmüştür.



Şekil 6.9 U Peg sisteminin uzun dönemli değişimi gösterilmektedir.

Noktalar görsel ve fotoğrafik gözlemleri, çarpılar ise fotoelektrik gözlemleri temsil etmektedir (Zhai *et al.* 1984)



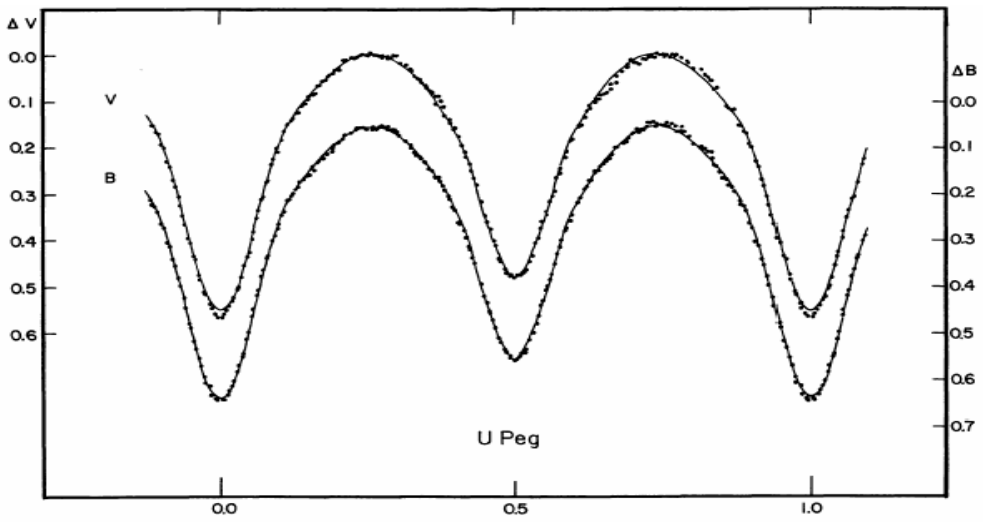
Şekil 6.10 U Peg sisteminin yörünge döneminde izlenen kısa dönemli salınım gösterilmektedir.

Noktalar görsel ve fotoğrafik gözlemleri, çarpılar ve üçgenler ise fotoelektrik gözlemlerin birinci ve ikinci minimumlarını temsil etmektedir (Zhai *et at* 1984)

Şekil 6.10'daki O-C diagramı, şekil 6.9'daki parabolik yaklaşımdan kalan artıkları göstermektedir ve üçüncü cisim varlığına kanıt olarak gösterilen çevrimsel yapı ;

$$(O-C)_2 = 0^d.323\times10^{-2}\sin(2\pi/P'E + 0.418\pi)$$

gibi bir sinüs fonksiyonuyla temsil edilmiştir. Bu fonksiyona göre üçüncü cismin dönemi yaklaşık olarak P' = 16330 gün veya 17 yıl olarak bulunmuştur. Dönem analiziyle birlikte sistemin fotometrik analizide yapılmıştır. Fotometrik analiz için 1978 yılında B ve V bantlarında elde edilen gözlemler kullanılmıştır. Işık eğrisinde birinci maksimum ve ikinci maksimum seviyelerinin aynı olduğu ve Binnendijk (1960)'ın birinci minimumdan sonraki çıkış kolunda belirttiği hörgüç yapısının daha zayıf olduğu görülmüştür.



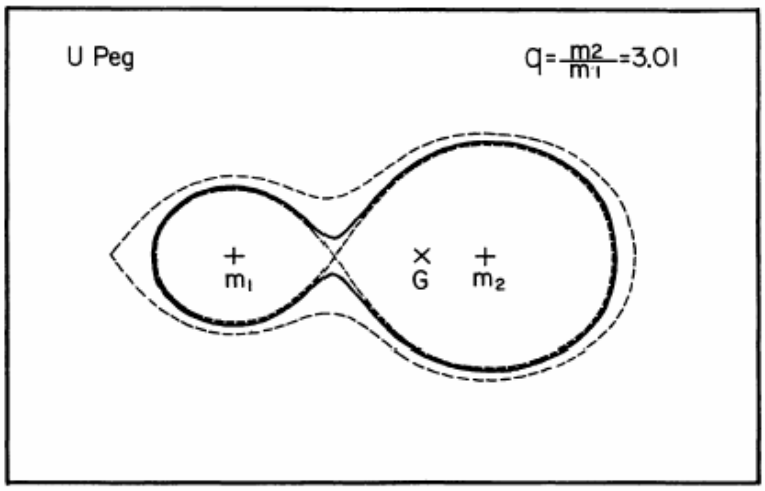
Şekil 6.11 U Peg'in B ve V bantlarındaki ışık eğrileri (Zhai *et al.* 1984)

Sentetik ışık eğrisi üretilirken q = 1.24 ile q = 3.5 arasında birçok kütle oranı için geniş bir tarama yapılmış ve en doğru sonuçların q = 2.5 ve q = 3 değerleri arasında elde edildiği görülmüştür. Daha sonra kütle oranı q = 3 olan bir başlangıç çözümü elde edilmiştir. Bu başlangıç parametreleri yardımıyla hesaplanan final parametreler çizelge 6.2 de verilmiştir.

Çizelge 6.2 U Peg sisteminin Zhai *et al.* (1984) tarafından elde edilen fotometrik çözümü

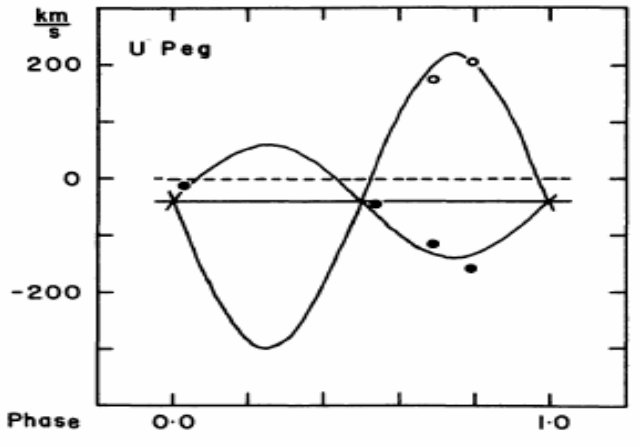
	V (5500 Å)	B (4500 Å)
$L_1 / (L_1+L_2)$	0.314 ± 0.001	0.324 ± 0.001
$X_1 = X_2$	0.62 ± 0.01	0.73 ± 0.01
$q = m_2 / m_1$	3.012 ± 0.002	
i	76º.1 ± 0º.1	
$A_1 = A_2$	0.50 ± 0.02	
$g_1 = g_2$	0.48 ± 0.02	
$\Omega_1 = \Omega_2$	6.574 ± 0.003	
$\Omega_{iç}$	6.632	
$\Omega_{dış}$	6.013	
Değme derecesi	% 9.4	
	Bileşen 1	**Bileşen 2**
r (pole)	0.2724 ± 0.0002	0.4515 ± 0.0002
r (side)	0.2839 ± 0.0002	0.4837 ± 0.0003
r (back)	0.3196 ± 0.0004	0.5112 ± 0.0003
T ºK	7000	6617 ± 7

Bu yeni elde edilen çözüm, U Peg sisteminin % 9.4 oranında değme konfigürasyonuna (şekil 6.12) sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 6.12 U Peg'in geometrik konfigürasyonu (Zhai *et al.* 1984)

Bu konfigürasyon, sistemin W türü bir W UMa'nın karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada Struve (1950) tarafından elde edilen radyal hız eğrileri de analiz edilmiştir (şekil 6.13).



Şekil 6.13 Struve (1950) tarafından ölçülen radyal hızlar.

Dolu noktalar büyük kütleli bileşeni, boş noktalar ise küçük kütleli bileşeni temsil etmektedir. Düz çizgi düzeltilmiş uzay hızını, kesikli çizgi daha önceden bulunmuş uzay hızını ve eğriler ise bileşenlerin radyal hızlarını göstermekedir (Zhai *et al.* 1984)

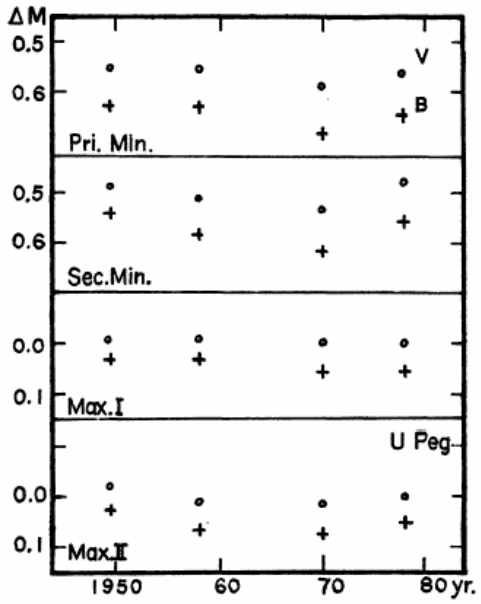
Uzay hızı, Struve (1950) tarafından, 1.24 kütle oranını veren 0 km/s (şekil 6.13 kesikli çizgi) seçilmiştir. Eğer fotometrik kütle oranı gerçekten 2.5 ile 3 arasındaysa, uzay hızının -40 km/s civarında olması gerekmektedir (şekil 6.13 düz çizgi). Radyal hız eğrisi kullanılarak sistemin uzay hızı = -40 km/s, bileşenlerin dikine hız genlikleri K_1 = 260 km/s, K_2 = 100 km/s ve kütle oranı q = 2.6 değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 6.3 U Peg sisteminin Zhai *et al*. (1984) tarafından belirlenen mutlak parametreleri

A (ayrıklık)	2.9 $R_\odot$
R_1	0.8 $R_\odot$
R_2	1.4 $R_\odot$
M_1	0.6 $M_\odot$
M_2	1.8 $M_\odot$
R_1 (anakol yıldızı)	0.74 $R_\odot$
R_2* (anakol yıldızı)	1.44 $R_\odot$

Çizelge 6.2'deki çözümlerle birlikte bu değerler kullanılarak sistemin elde edilen mutlak parametreleri çizelge 6.3'te verilmiştir.

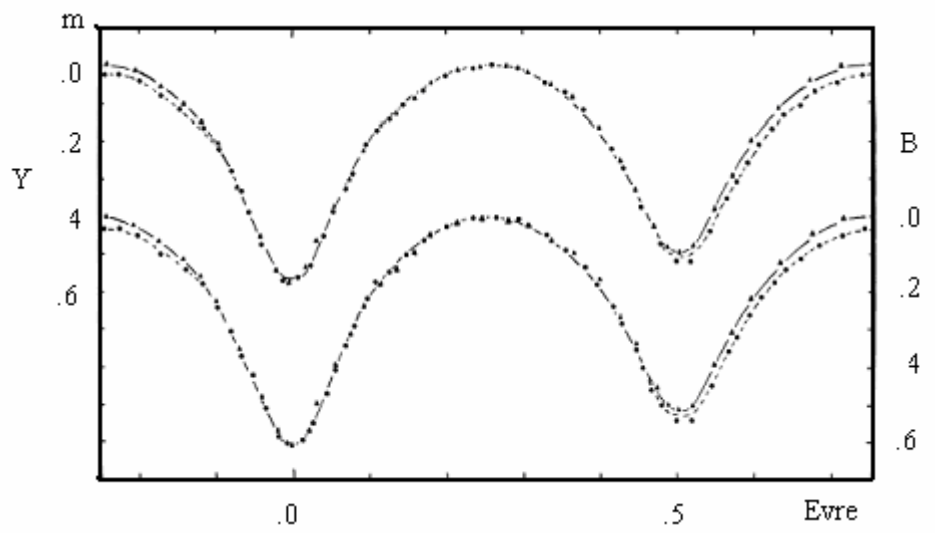
LaFara (1952)'nın ilk fotoelektrik gözleminden bu yana U Peg sisteminin ışık eğrisinin biçiminde gözle görülür değişimler izlenmiştir. Zhai *et al.* (1984), o güne kadar elde edilen tüm ışık eğrilerinin maksimum ve minimum parlaklık değerlerini alarak ışık eğrisindeki düzensizlikleri incelemişlerdir.



Şekil 6.14 Binnendijk (1960), LaFara (1952), Rigterink (1972), Zhai (1984) tarafından yapılan gözlemlerden alınan parlaklık değerleriyle, U Peg'in ışık eğrilerinde ortaya çıkan düzensizlik

Birinci maksimumun göreceli olarak kararlı olduğu, ikinci maksimumdaki değişimlerin daha düzensiz olduğu, en büyük değişimlerin özellikle ikinci minimumda meydana geldiği açıkça şekil 6.14'te görülmektedir. Değişimlerin kökeni bilinmemekle birlikte ortak zarfın yüzeyindeki aktivite kökenli olaylar veya sistem çevresindeki maddeden ortaya çıkmış olabileceği düşünülmüştür.

Aynı tarihte Binnedijk (1984) tarafından sistemin sentetik parametrelerini elde etmek için ayrı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma için LaFara (1952) tarafından elde edilen ışık eğrisi simetrik olduğundan dolayı referans ışık eğrisi olarak, Binnendijk (1960) tarafından yapılan gözlemler de asimetrik ışık eğrisi olarak alınmıştır (şekil 6.15). Binnendijk (1960) tarafından gözlenen ışık eğrileri, $0^p.48$ - $0^p.91$ evre aralığında LaFara (1952)'nın ışık eğrilerinden daha sönüktür. Bu durum yarım dönemden daha az sürdüğü için, düşük ışınımlı bir bölgenin ışık eğrilerinde farklılıklara neden olduğu düşünülmüştür.

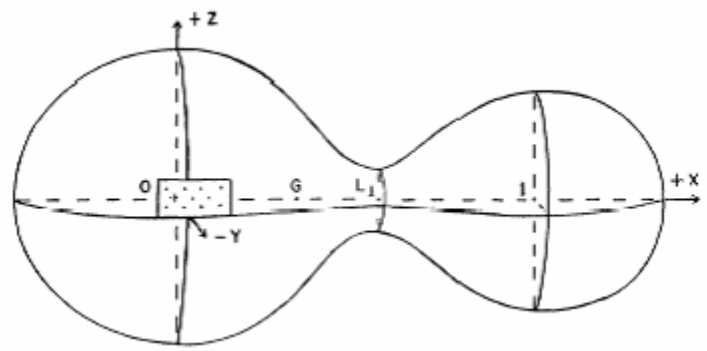


Şekil 6.15 U Peg'in gözlemsel ve sentetik ışık eğrileri.

Simetrik referans eğrisini ve asimetrik ışık eğrisini tanımlayan normal noktalar sırasıyla üçgenler ve noktalarla temsil edilmektedir (Binnendijk 1984)

Bu durumu açıklamak için Güneş ve bazı yıldızlar üzerinde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bir Güneş lekesi, Güneş'in yarım dönme periodu süresince yarıküresinin ön yüzünde görülebilir. Güneş lekelerinin boylamlarının elde edilmesi için zamanlama bir sorundur. Aktif kovuk radyometresi tarafından Güneş sabitindeki bilinmeyen dalgalanmalar ortaya çıkarılmıştır. Bu dalgalanmalar Güneş diski boyunca büyük leke bölgelerinin geçişiyle uyumludur. Güneş diskinin bütün akısı 10^{-4} ten daha hassas ve eşzamanlı olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm boylamla ilgili bilgi vermektedir fakat lekenin

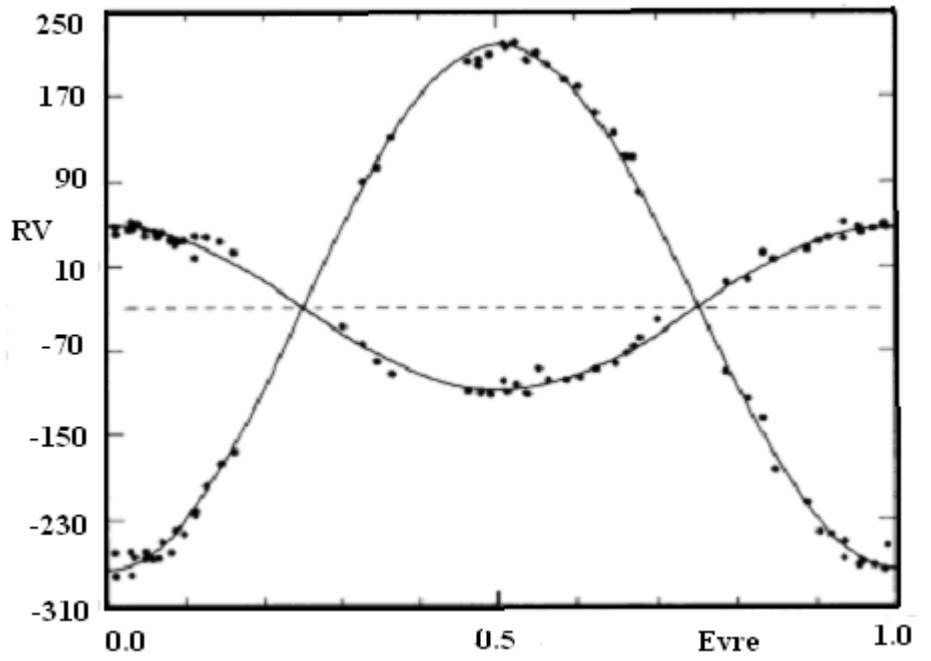
enlemiyle ilgili bilgi vermez. Wilson (1978)'ın öncülük ettiği bir çalışmada, Güneş benzeri soğuk bir yıldızın kromosferinden kaynaklanan CaII H ve K salma çizgileri gözlenmiştir. Güneş'in plaj bölgelerindekine çok benzeyen uzun dönemli aktiviteler bulunmuştur. Bazı değen çiftlerdeki kromosferik salma çizgileri, Dupree (1980) ve Eaton (1983) tarafından International Ultraviolet Explorer (IUE) uydusuyla yapılan gözlemler kullanılarak çalışılmıştır. Plaj bölgelerindeki bu aktivite, Güneşte meydana geldiği gibi yıldız lekeleriyle bağlantılı olmalıdır. Mullan (1975) tarafından yapılan teorik bir çalışmada, değen bir sistemde manyetik kuvvetlerin rol oynadığından bahsedilmektedir. A türü sistemlerde yıldız lekeleri beklenmemekle birlikte W türü sistemlerde büyük bileşen üzerinde belirgin leke bölgeleri beklenmektedir. Leke bölgeleri gerçekten genellikle büyük yıldızda bulunur ancak her zaman Mullan (1975)'ın beklediği gibi ilk Lagrange noktasının yakınında olmaz. Şekil 6.16 da U Peg'in büyük kütleli bileşeni üzerinde Binnendijk (1984) tarafından yerleştirilen olası bir leke bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 6.16 0.75 evresinde U Peg sisteminin geometrisi, ekvator yakınlarında bir leke alanı göster - mektedir (Binnendijk 1984).

U Peg sistemi parçalı tutulmalar göstermektedir. Bu, leke yapılarının enlem değerini tespit etmek için her ne kadar olumlu bir durumsa da, yıldız lekesinin ekvatora yakın olması, lekenin hangi enlemde olduğunu belirlemek açısından zorluk yaratmaktadır. Struve (1950)'dan sonra ilk kez Lu (1985) tarafından W türü W UMa olan U Peg sisteminin yüksek çözünürlüklü tayfı elde edilmiştir. Sistemin yörünge elemanları T_o = 2445956.983, V_o = -28.5 kms^{-1}, K_1 = 77.6 kms^{-1}, K_2 = 246.5 kms^{-1} olarak elde

edilmiştir. Bileşenlerin dairesel bir yörüngede hareket ettikleri ve radyal hız eğrilerinin yarı genliklerinden sistemin ilk tayfsal kütle oranının q = 3.18 olduğu bulunmuştur.



Şekil 6.17 U Peg sisteminin Lu (1985) tarafından elde edilen radyal hız eğrileri

Sistemin tayfsal sınıflamasının ve ışınım gücünün belirlenebilmesi için her iki bileşene ait tayftaki çizgilerin eşdeğer genişlikleri ve çizgilerin merkezi derinlikleri, Lu (1985) tarafından VLİNE programıyla (Hill *et al.* (1982b)) eşzamanlı olarak ölçülmüştür. Çizgilerin şiddetli bir şekilde üst üste binmiş ve bozulmuş olmasından dolayı ölçümlerin saçılması bir tayftan diğerine oldukça büyük olmasına rağmen alınan 15 tayfın hepsi kullanıldığında her bir eşdeğer genişliğin ve merkezi derinliğin ortalaması güvenilir olmuştur. Sistemin renk ölçeği Eggen (1967) tarafından 0.67 olarak bulunmuştur. Bu değer G0-G2 tayf türünden yıldızların renk ölçeğiyle yaklaşık olarak aynıdır. U Peg sistemiyle birlikte geç tür cüce yıldızların tayf çizgilerinin eşdeğer genişlikleri ölçüldüğünde, sistemin G2 tayf türünde olması gerektiğine karar verilmiştir. Ayrıca, Lu (1985) (FeI 4073 / SrII 4078), (SrII 4216 / FeI 4251), (FeII 4233 / FeI 4236) ve (ScII 4247 / FeI 4251) çizgi oranlarını kullanarak ilk kez ışınım sınıfına karar vermiş ve bileşenlerin anakol yıldızı (V) olması gerektiğini vurgulamıştır.

W UMa sistemlerinin % 20'sinden daha fazlasının fotometrik kütle oranı tayfsal kütle oranından oldukça farklıdır. W alt türü sistem olan U Peg, çizelge 6.4'te gösterildiği gibi tipik örneklerden biridir.

Çizelge 6.4 Farklı araştırmacılar tarafından U Peg'in kütle oranının elde edilmiş değerleri

p.c. light curve				
Observation	Analyzed by	Method	q_{ptm}	Ref.
LaFara (1949–50)	Binnendijk	Binnendijk	1.90	(1), (2)
Binnendijk (1958)	Russ *et al.*	W–D	1.85	(3), (4)
Zhai *et al.* (1978)	Zhai *et al.*	W–D	3.01	(5)
Lafta *et al.* (1984)	Lafta *et al.*	Kopal	1.57	(6)
Radial velocity curves				
Observed and analyzed by	Method		q_{sp}	Ref.
Struve *et al.* (1948)	Classical: $n = 4$		1.24	(7)
Lu (1984)	Image tube spectrograph. Cross-correlation tech.		3.18	(8)

Tabiki, kütle oranındaki belirsizlikler sistemin mutlak boyutlarında da büyük belirsizliklere neden olur. Çiftin evrimsel durumunu ve fiziksel doğasını anlayabilmek için esasında kütle oranını ve kütleleri bilmek önemlidir. Sistemin yapısına ilişkin daha iyi çözümler elde edebilmek için Lu (1985) tarafından alınan radyal hız değerleri, Zhai (1988) tarafından düzeltilerek Roche modeline ve Nokta kaynak modeline göre ayrı ayrı, ışık eğrisiyle birlikte eşzamanlı olarak çözülmüştür. Bu çözümlerde WD programı kullanılmıştır. Çözümlerde Roche modeli, yakınlık etkileri kadar tutulma etkilerini de otomatik olarak hesaba kattığı için, tayfsal kütle oranını, nokta kaynak modelinden farklı olarak $q_{sp} = 3.0325 \pm 0.0055$ vermiştir. Bu çalışmaya ilişkin sonuçlar çizelge 6.5'te görülmektedir.

Çizelge 6.5 Roche modeli çözümü, nokta kaynak modeli çözümü, eşzamanlı çözüm ve fotometrik çözüm bir arada verilmiştir

	Photometric sol.	Simultaneous sol.	Radial velocity sol.	
			Roche model	Point source
$a(R_\odot)$	–	2.5325 ± 0.0077	2.5328 ± 0.0073	2.4936 ± 0.0109
θ_0	− 0.0015 ± 0.0002	− 0.0015 ± 0.0001	− 0.0024 ± 0.0009	− 0.0032 ± 0.0011
V_r (km s^{-1})	–	− 29.85 ± 0.47	− 29.52 ± 0.45	− 29.97 ± 0.67
i	75°.408 ± 0.038	75°.964 ± 0.097	76°.000	76°.000
$g_1 = g_2$	0.305 ± 0.020	0.281 ± 0.018	0.32	
$A_1 = A_2$	0.483 ± 0.016	0.493 ± 0.030	0.50	
$x_1 = x_2\,(V)$	0.658 ± 0.017	0.654 ± 0.016	0.87 (4140 Å)	
$x_1 = x_2\,(B)$	0.775 ± 0.019	0.770 ± 0.012		
T_1 (K)	5800	5800	5800	
T_2 (K)	5522 ± 4	5515 ± 4	5519	
$\Omega_1 = \Omega_2$	6.2424 ± 0.0028	6.5218 ± 0.0025	6.5411	
$q = m_2/m_1$	2.8036 ± 0.0216	3.0186 ± 0.0053	3.0325 ± 0.0055	3.1338 ± 0.0421
$L_1/(L_1 + L_2)_V$	0.3316 ± 0.0007	0.3188 ± 0.0007		
$L_1/(L_1 + L_2)_B$	0.3423 ± 0.0009	0.3296 ± 0.0008		
r_1 (pole)	0.2822 ± 0.0025	0.2768 ± 0.0022		
r_1 (side)	0.2952 ± 0.0031	0.2895 ± 0.0026		
r_1 (back)	0.3343 ± 0.0057	0.3290 ± 0.0049		
r_2 (pole)	0.4499 ± 0.0004	0.4559 ± 0.0003		
r_2 (side)	0.4834 ± 0.0006	0.4909 ± 0.0004		
r_2 (back)	0.5124 ± 0.0009	0.5194 ± 0.0007		

Bu çözümler kullanılarak bileşenlerin kütle ve yarıçapları;

$A = 2.5325 \pm 0.0077\ R_\odot$

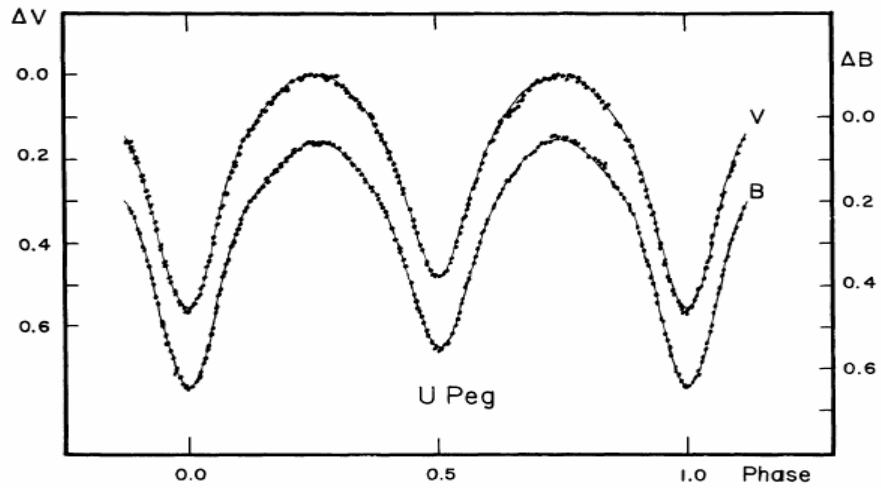
$M_1 = 0.387 \pm 0.004 M_\odot$,

$M_2 = 1.167 \pm 0.015\ M_\odot$,

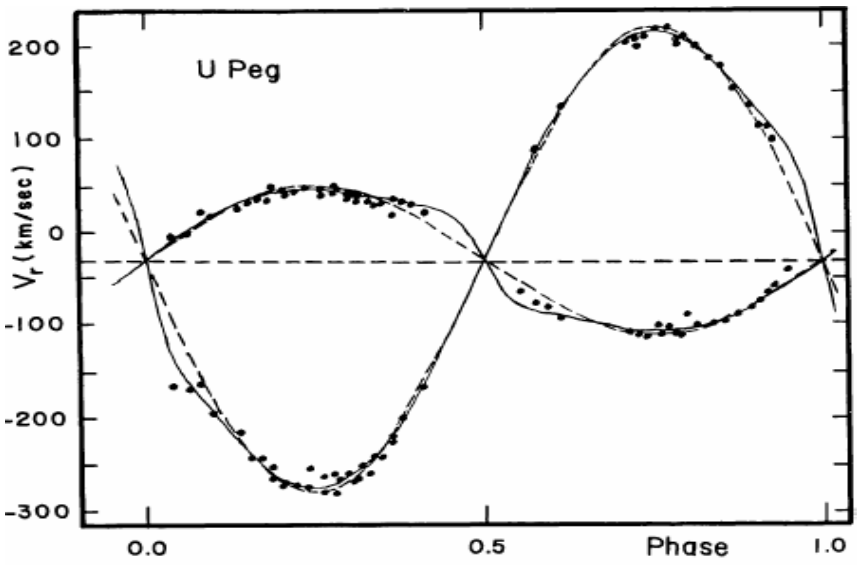
$R_1 = 0.754 \pm 0.007\ R_\odot$,

$R_2 = 1.236 \pm 0.004\ R_\odot$,

olarak bulunmuştur. Eşzamanlı ışık ve radyal hız eğrisi çözümleri için Wilson (1979) ve Van Hamme and Wilson (1984,1985)'ın bahsettiği gibi doğrudan fotometrik kütle oranı (q_{ptm}) ve tayfsal kütle oranının (q_{sp}) ağırlıklı ortalaması alınarak $\bar{q} = 3.0186 \pm 0.053$ şeklinde birleştirilmiştir. Zhai (1988)' in bu sonuçları bir bakıma, eşzamanlı çözümden daha çok birleştirilmiş bir çözümdür. Şekil 6.18 ve 6.19'da U Peg sisteminin birleştirilmiş çözümden hesaplanan ışık ve hız eğrilerinin karşılaştırmaları görülmektedir.



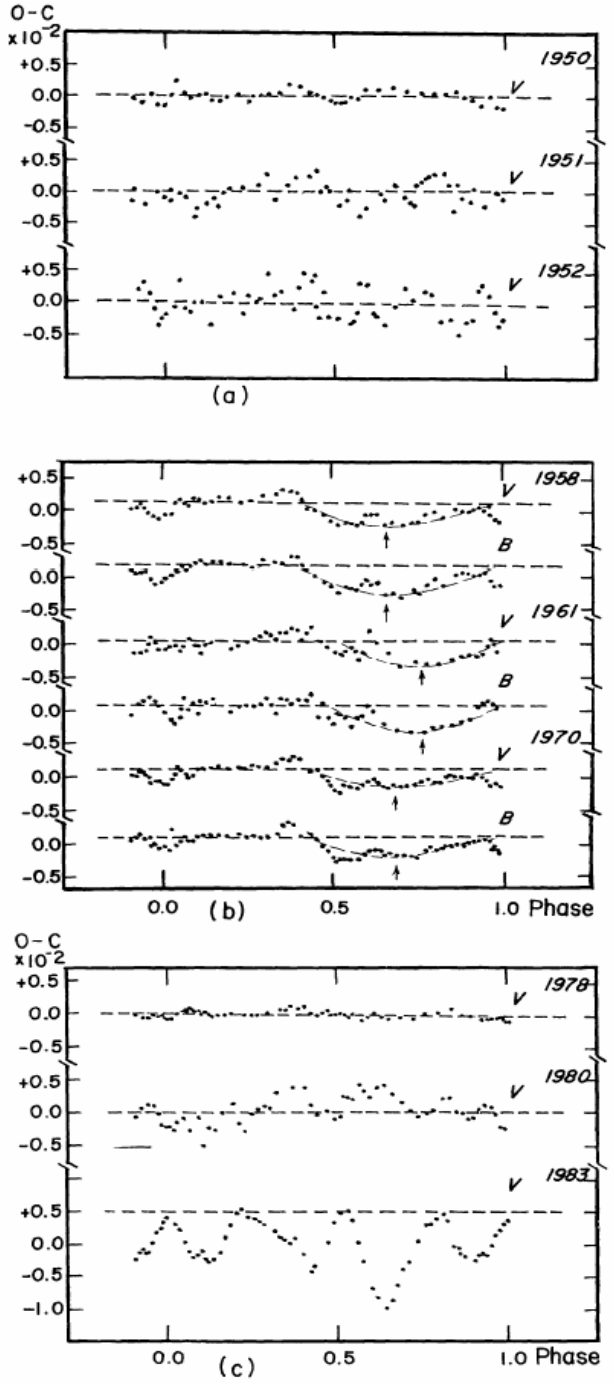
Şekil 6.18 U Peg'in B ve V ışık eğrileri. Noktalar gözlemleri, sürekli çizgiler ise çizelge 6.5' teki eşzamanlı çözümlerden elde edilen teorik ışık eğrilerini temsil etmektedir (Zhai , 1988)



Şekil 6.19 U Peg'in radyal hız eğrileri. Sürekli çizgiler eşzamanlı çözümden elde edilen Roche modelinin eğrilerini; kesikli çizgiler ise nokta kaynak modelinden elde edilen eğrileri temsil etmektedir (Zhai , 1988)

Sistemin ışık eğrisindeki düzensizlikleri araştırmak için Zhai (1988), 1950 ile 1984 yılları arasında elde ettiği tüm B-V ışık eğrilerini analiz etmiştir. Böyle kısa bir zaman aralığı için, kütle oranı (q) ve eğim açısının (i) ışık eğrisinde ölçülebilir değişimlere

sahip olmadıkları düşünülerek birleştirilmiş çözümle elde edilen i ve q değerleri sabit tutulmuş ve fotometrik çözümler sırasıyla tamamlanmıştır. Gözlenen ışık eğrilerine fit edilen teorik eğrilerden kalan (O-C) artıkları sistemdeki düzensizliklere ilişkin bilgiler vermiştir (şekil 6.20).



Şekil 6.20 Farklı tarihlerde elde edilen ışık eğrilerinin analizi sonucunda modelden kalan O-C artıkları

Zhai (1988) O-C diagramlarında bulunan 3 farklı duruma dikkat çekmiştir;

(a) 1950 ve 1978 ışık eğrileri, temelde açık karmaşıklıklar içermemekte ve bütünüyle normal Roche modeliyle açıklanabilmektedirler. 1951, 1952 ve 1980 ışık eğrileri de aynı durumdadır.

(b) Lafta and Grainger (1986)'in 1983' te elde ettikleri ışık eğrilerinin çok karmaşık yapılara sahip oldukları açıkça görülmektedir. Çözümde, ışık eğrisinin sadece iki minimum ve iki maksimumunun fit edilebilmesi ilginçtir ve eğri, 4 sistematik ve geniş çukurla teorik eğriden büyük oranda ayrılmaktadır. Leke modeliyle bile uğraşılmasına rağmen gözlemlere yapılan hiçbir fit tam uyum göstermemiştir.

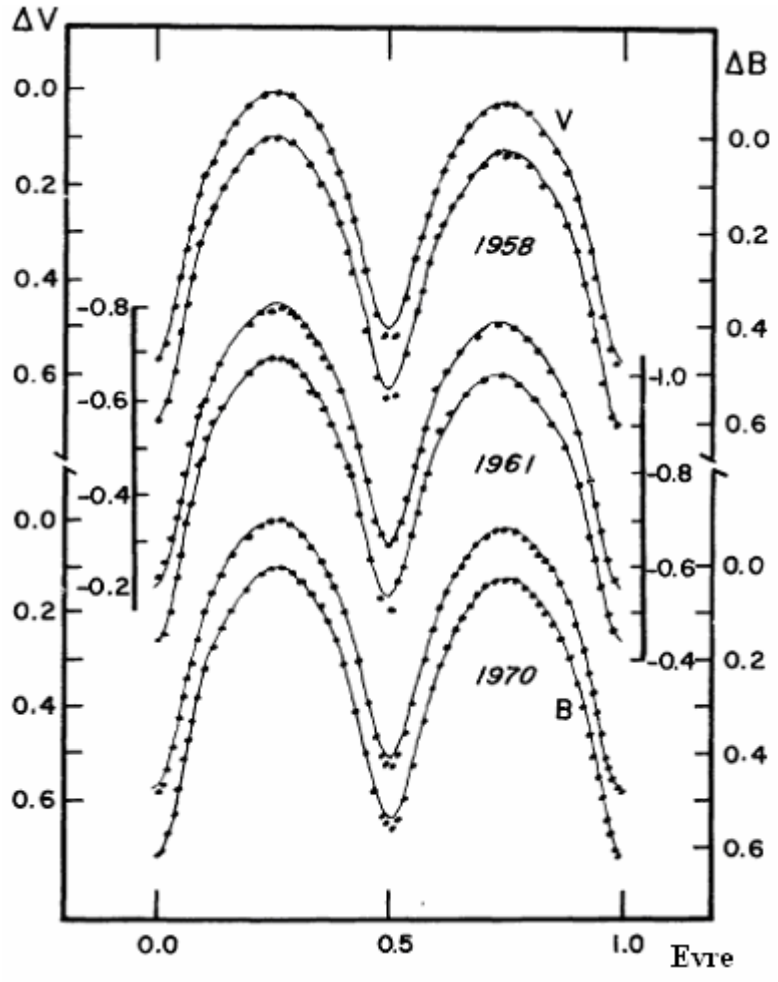
(c) 1958, 1961, 1970 ışık eğrisi analizine ilişkin O-C diagramları, 0.5 ve 1 evreleri arasında B ve V renklerinde aynı sapmaları göstermektedirler. B bandındaki genlik V bandındakinden biraz daha büyüktür. Bu, yıldız yüzeyinde karmaşık yapılardan sorumlu düşük sıcaklıklı bazı bölgelerin olduğu anlamına gelmektedir.

Daha sonra 1958, 1961, 1970 ışık eğrileri leke modeli kullanılarak tekrar analiz edilmiştir. Leke parametreleri (Latitude (boylam), Longitude (enlem), R_{sp} (leke yarıçapı), T_s (lekenin sıcaklık kesri)), ilk olarak her yıl için elde edilen sabit Roche

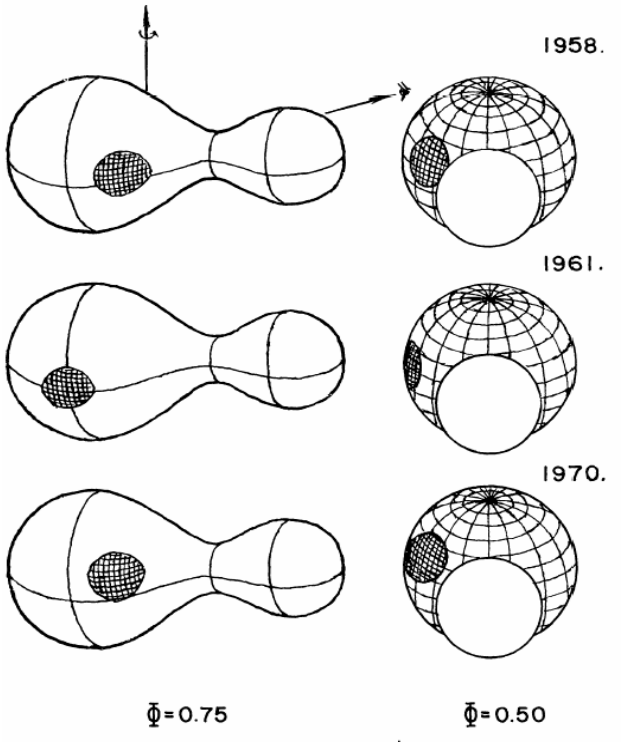
Çizelge 6.6 U Peg'in leke parametreleri (Zhai 1988)

DEĞERLER	**Kasım-Aralık 1958**	**Aralık 1961**	**Ağustos-Kasım 1971**
Enlem	80°.1 ± 5.2	96°.7 ± 0.1	74°.3 ± 2.1
Boylam	52°.4 ± 3.7	101°.8 ± 6.0	58°.5 ± 3.0
R_{leke}	18°.9 ± 0.6	20°.6 ± 1.4	21°.3 ± 0.8
$S_{leke} / S_{yarıküre}$	% 5.4	%6.4	6.8
$T_{fotosfer}$ (K)	5510 ± 6	5508 ± 9	5514 ± 6
T_{leke} (K)	5163 ± 14	5023 ± 23	5321 ± 28
ΔT (K)	347	485	193

modeli çözümlerine göre bulunmuş, yaklaşık parametreler elde edildikten sonra Roche modeli parametreleri tekrar elde edilmiştir. Bu işlem final parametrelerini elde etmek için birkaç kez daha uygulanmıştır. Her yıl için ayrı ayrı yapılan leke çözümleri hatalarıyla birlikte çizelge 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.21'de ise elde edilen leke parametrelerine göre karmaşık yapıdaki ışık eğrilerine yapılan fitler görülmektedir.



Şekil 6.21 U Peg sisteminin 1958, 1961 ve 1970 ışık eğrilerine leke modeli de dikkate alınarak yapılan fitler (Zhai 1988)



Şekil 6.22 U Peg'in lekeli bileşeninin şematik gösterimi (Zhai 1988)

Leke bölgesinin, 1958'den 1970'e kadar % 5.5 - % 6.8 oranında bir değişim gösterdiği, bununla beraber fotosfer ve leke arasındaki sıcaklık farkının (ΔT), 1961'den 1970'e kadar %60 azaldığı ve belki 1978'e doğru daha az aktif olacağı anlaşılmıştır. Şekil 6.20' de O-C diagramına bakıldığında, yıldızın 28 yıldan daha uzun dönemli bir leke çevrimine sahip olduğu açıkça görülmektedir. 1958'den 1970'e kadar birbirini izleyen leke aktiviteleri vardır ve sistem, 1950 ile 1978 civarında göreceli olarak sakindir. Tekrar 1984'te ışık eğrileri karmaşıklaşmıştır ve sistem muhtemelen yeni bir aktif çevrime girmiştir. Bunun dışında elde edilen mutlak parametrelerin logR - logM diagramında yerine konmasıyla, Lu (1985)'in bulgularını doğrulayıcı olarak bileşenlerin yaklaşık olarak ZAMS çizgisinde oldukları bulunmuştur. Ayrıca küçük kütleli bileşenin yarıçapının, diğer anakol yıldızları gibi yaklaşık olarak 0.55 $R_{\odot}$ yerine 0.75 $R_{\odot}$ olması, %19'luk değme derecesine sahip fiziksel bir değmenin yıldızı ZAMS yapısından sapmaya zorladığını göstermektedir. Lucy (1968)'nin ısısal rahatlama salınım teorisine (TRO) göre, kütle oranı $m_1 / m_2 = 0.33$ olan bir ZAMS sistemi dengede olmayacaktır.

Elde edilen eşzamanlı çözümlerinde U Peg sisteminin ortak zarfının büyük ihtimalle tamamen değme derecesindeki değişimlerle salınma gösterdiği vurgulanmıştır.

Daha sonra Borkovits and Hegedüs (1996) tarafından, minimum zamanları için oluşturulan O-C diagramları kullanılarak sistemde var olduğuna inanılan görülmeyen üçüncü bir bileşenin varlığına dair kanıtlar aranmıştır. Gözlenen minimum zamanlarından hesaplanan O-C değerlerinin, Julian tarihlerine (yada yıl veya çevrim sayısına) göre işaretlenmesinin, dönem değişiminin incelenmesi için alışılagelmiş bir yöntem olduğu bilinmektedir. O-C değerleri, doğrusal ışık elemanlarından olan sapmalardır ve bu sapmalardan elde edilen eğri, dönem değişiminin toplam etkisinin bir göstergesidir. Borkovits and Hegedüs (1996), varsayımsal ilave bileşenin yörünge parametrelerini, Kopal (1978)' ın aşağıdaki formülasyonunu O-C diagramına fit ederek bulmuşlardır.

$$A'_1 \sin i' = c\sqrt{a_1^2 + b_1^2},$$

$$e' = 2\sqrt{\frac{a_2^2 + b_2^2}{a_1^2 + b_1^2}},$$

$$\omega' = \arctan\frac{\left(b_1^2 - a_1^2\right)b_2 + 2a_1a_2b_1}{\left(a_1^2 - b_1^2\right)a_2 + 2a_1b_2b_1},$$

$$\tau' = t_0 - \frac{P'}{2\pi}\arctan\frac{a_1b_2 - b_1a_2}{a_1a_2 - b_1b_2},$$

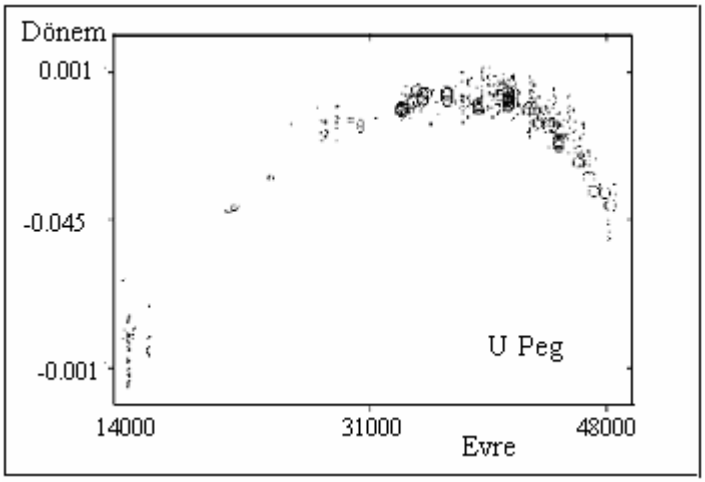
Burada $a_{1,2}$ - $b_{1,2}$ fourier katsayıları, A' üçlü sistemdeki örten çiftin mutlak yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğu, i', e', w', t', P' üçüncü cisim yörüngesinin temel elemanları, P yakın çiftin yıldızıl periodu ve c ise ışık hızı olarak alınmıştır. Yörünge parametrelerini elde etmenin diğer bir yolu ise;

$$f\left(m_3\right) = \frac{m_3^3 \sin^3 i'}{\left(m_{12} + m_3\right)^2} = \frac{4\pi^2 A'^3_1 \sin^3 i'}{GP'^2}$$

ilave bileşenin kütle fonksiyonunu elde etmekten geçmektedir. Burada m_{12} ve m_3 örten çiftin ve üçüncü cismin kütleleri, G çekim sabitidir. Bilinmeyen kütle m_3;

$$m_3^3 \sin^3 i' - m_3^2 f(m_3) - 2m_3 m_{12} f(m_3) - m_{12}^2 f(m_3) = 0$$

üçüncü dereceden denklemiyle elde edilebilir. W UMa türü olan bu sistemin O-C değişiminin şekil 6.23'te görüldüğü gibi tekdüze bir değişim gösterdiği görülmüştür.

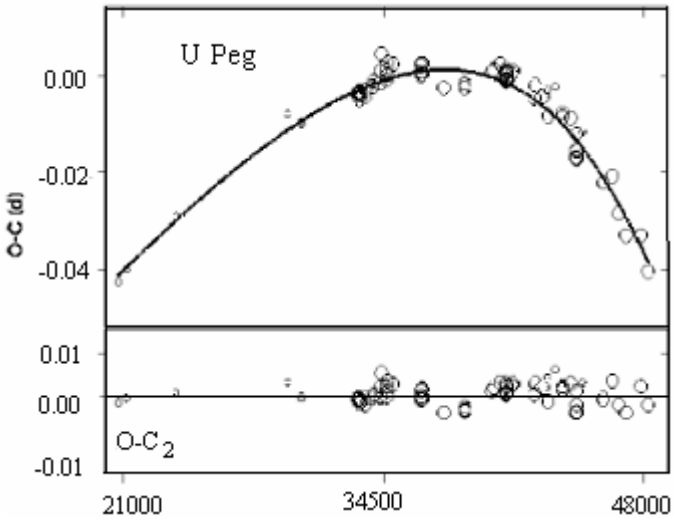


Şekil 6.23 U Peg'in O-C diagramındaki uzun dönemli değişim (Borkovits and Hegedüs , 1996)

Sistem açıkça parabolik bir değişim göstermektedir. Buna göre yeni ışık elemanları

$$MinI = 2436511.671 + 0.34748E - 2.67310^{-11} E^2$$

olarak belirlenmiştir. Elde edilen parabolün artan ve azalan kollarındaki asimetriden dolayı sisteme üçüncü bir cismin etki ettiği (LITE) düşünülmüş ve parabole yapılan fitten kalan artıklara (şekil 6.24) bakılma ihtiyacı duyulmuştur. Artıklara yapılan fitten elde edilen sonuçlar çizelge 6.7'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre üçüncü cismin bir beyaz cüce olabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.24 U Peg için artıklar ve LITE çözümü (Borkovits and Hegedüs 1996)

Çizelge 6.7 Borkovits and Hegedüs (1996)' ün LITE çözümüne ait sonuç parametreleri

P'_{orb}	49721	9169
e'	0.43	0.39
ω'	3.55	6.05
τ'	50631	41011
a' sini'	1189	291
f (m_3)	0.027	0.012
m_3 90°	0.59	0.54
60°	0.69	0.63
30°	1.39	1.20
σ_{Fr}	0.0021	0.0013
σ_{O-C}	0.0022	0.0021

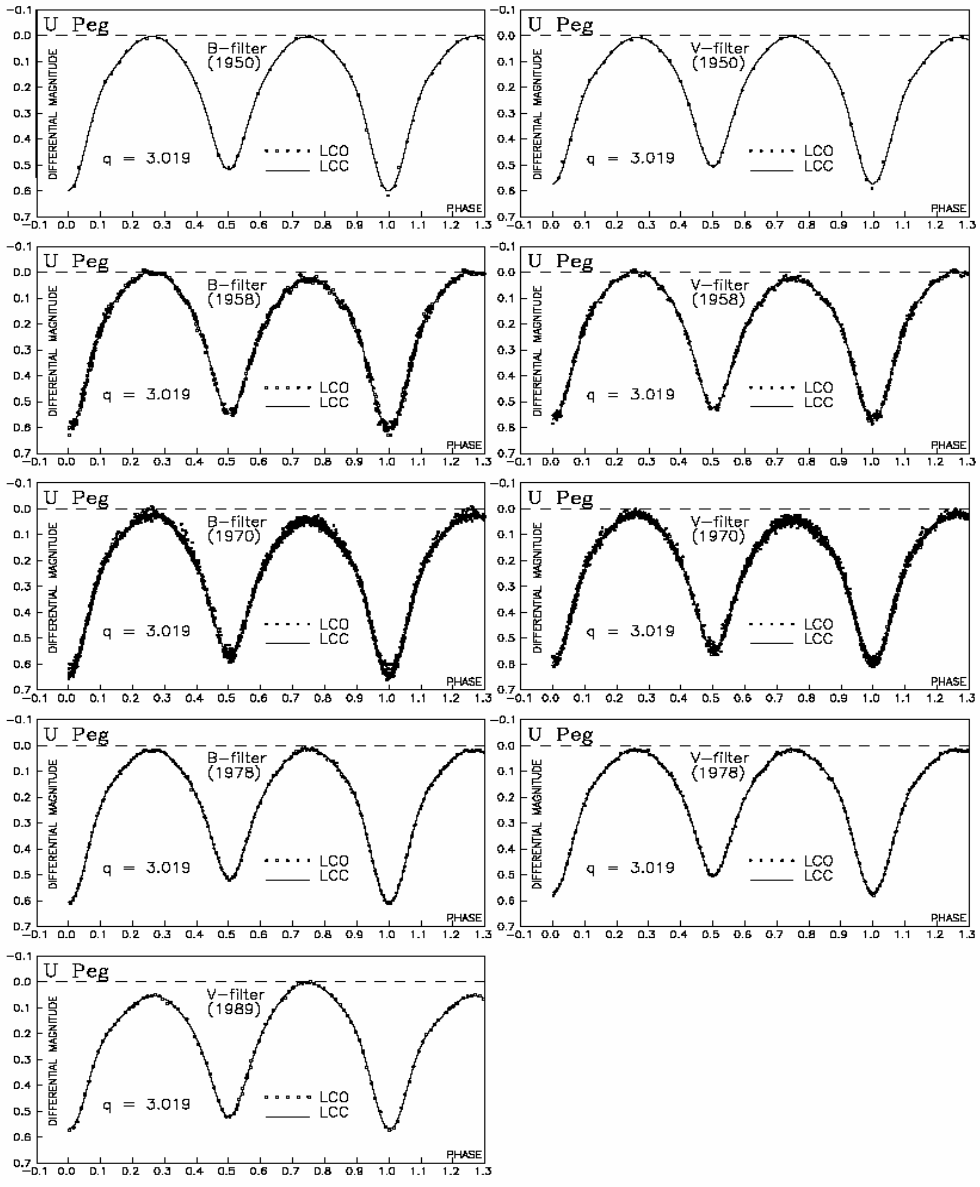
W UMa türü örten çift olan U Peg'in manyetik aktivitesi Djurasevic (2001) tarafından, sistemin 1950 ile 1989 yılları arasındaki fotoelektrik gözlemleri analiz edilerek incelenmiştir. Bu zaman aralığı boyunca ışık eğrilerinde önemli farklılıklar ve asimetriler olduğu görülmüştür. Işık eğrisi asimetrilerini ve değişimlerini açıklamak için, üzerinde leke bölgeleri bulunan bileşenlerin olduğu Roche modeli kullanılmıştır. Analiz, U Peg sisteminin %14.9 oranında değen bir konfigürasyona sahip olduğunu göstermiştir. Büyük kütleli bileşen üzerinde leke bölgeleri bulunan Roche modeliyle, analiz edilen tüm ışık eğrileri için iyi birer fit elde edilmiştir. Bu da incelenen zaman aralığı boyunca ışık eğrilerinin kompleks yapısının, büyük kütleli bileşendeki lekeli bölgelerin evrimi ve dönmesiyle açıklanabildiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlara

göre, yıldız yüzeyinin önemli bir kısmı leke alanlarıyla kaplanmıştır. Analiz edilen ışık eğrileri arasında en simetrik ışık eğrilerinin Binnendijk (1958) tarafından elde edilen ışık eğrisi olduğu görülmüş ve sistemin temel parametrelerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Bu ışık eğrisinin kullanılmasının sebebi, birinci minimumdan sonra gelen maksimumun diğer ışık eğrilerine göre daha parlak olmasıdır. Bu ise 0.25 evresinde, Binnendijk (1958)'ın ışık eğrilerinin parlaklık seviyesinin büyük olasılıkla leke etkilerinden bağımsız olduğunu göstermektedir. Sistemdeki yıldızlar manyetik aktivite gösteren dış konvektif zarflara sahip olduklar için, U Peg'in bileşenlerinin Güneşteki manyetik lekelere benzer soğuk lekelere sahip oldukları varsayılarak lekeli çözümle işe başlanmıştır.

Çizelge 6.8 Büyük bileşende leke alanlarının olduğu roche modeliyle çözümlenen ışık eğrilerinin analiz sonuçları (Djurasevic 2001)

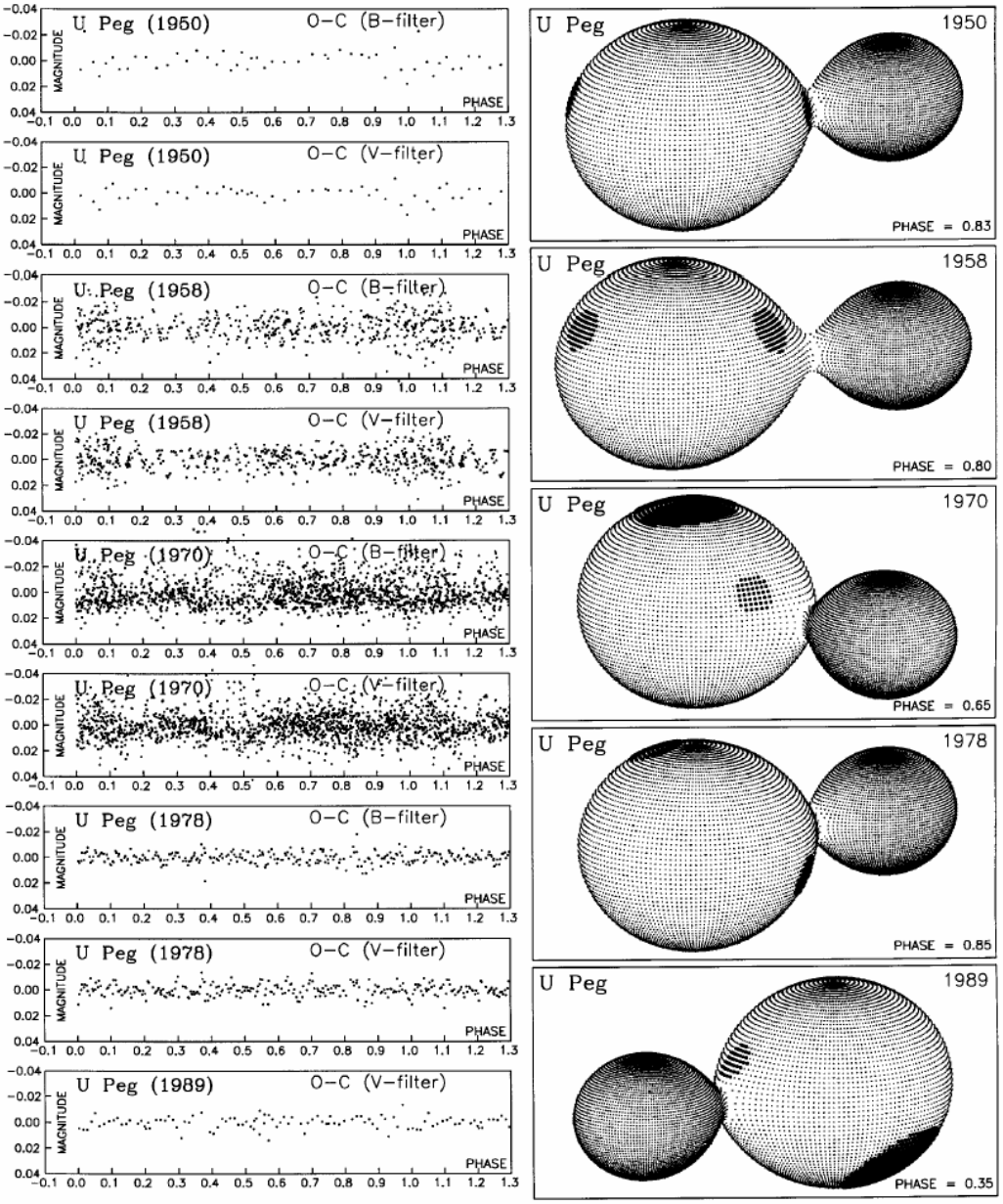
Quantity	1958	1950	1970	1978	1989
n	438_B 447_V	40_B 40_V	1417_B 1421_V	217_B 215_V	82_V
$\Sigma(\mathrm{O-C})^2$	0.0431_B 0.0288_V	0.0021_B 0.0017_V	0.1928_B 0.1685_V	0.0043_B 0.0017_V	0.0019_V
σ	0.0099_B 0.0080_V	0.0074_B 0.0067_V	0.0117_B 0.0109_V	0.0045_B 0.0067_V	0.0048_V
$A_{\mathrm{S}}^1 = T_{\mathrm{S}}^1/T_{\mathrm{c}}$	0.84 ± 0.01	0.68 ± 0.05	0.776 ± 0.005	0.75 ± 0.05	0.73 ± 0.03
θ_{S}^1	11.2 ± 0.2	11.0 ± 1.2	29.9 ± 0.2	11.2 ± 0.6	30.8 ± 0.4
λ_{S}^1	350.2 ± 2.4	25.5 ± 5.1	323.8 ± 3.7	227.4 ± 2.9	69.6 ± 1.5
φ_{S}^1	24.5 ± 7.4	15.2 ± 9.2	83.6 ± 0.3	-14.2 ± 4.6	-47.7 ± 0.6
$A_{\mathrm{S}}^2 = T_{\mathrm{S}}^2/T_{\mathrm{c}}$	0.73 ± 0.06	0.76 ± 0.07	0.76 ± 0.06	0.65 ± 0.08	0.73 ± 0.04
θ_{S}^2	12.6 ± 0.5	7.9 ± 0.8	9.3 ± 1.0	15.2 ± 0.7	9.0 ± 0.4
λ_{S}^2	220.5 ± 2.2	202.4 ± 6.4	203.8 ± 3.1	44.5 ± 2.3	183.2 ± 2.3
φ_{S}^2	23.6 ± 5.6	6.0 ± 7.0	16.0 ± 2.1	67.0 ± 1.6	18.2 ± 1.7
T_{c}	5600 ± 8				
F_{h}	1.024 ± 0.001				
i	76.1 ± 0.1				
u_{h}	0.74_B 0.66_V				
u_{c}	0.75_B 0.67_V				
$\Omega_{\mathrm{h,c}}$	6.5489				
Ω_{in}	6.6409				
Ω_{out}	6.0217				
$f_{\mathrm{over}}[\%]$	14.87				
R_{h}	0.275				
R_{c}	0.454				
$L_{\mathrm{h}}/(L_{\mathrm{h}} + L_{\mathrm{c}})$	0.325_B 0.310_V	0.323_B 0.310_V	0.335_B 0.320_V	0.327_B 0.313_V	0.322_V
$a_{\mathrm{orb}}[R_\odot]$	2.5325				
$\mathcal{M}_{\mathrm{h}}[M_\odot]$	0.39				
$\mathcal{M}_{\mathrm{c}}[M_\odot]$	1.17				
$\mathcal{R}_{\mathrm{h}}[R_\odot]$	0.75				
$\mathcal{R}_{\mathrm{c}}[R_\odot]$	1.23				
$\log\ g_{\mathrm{h}}$	4.27				
$\log\ g_{\mathrm{c}}$	4.32				
M_{bol}^{h}	5.39				
M_{bol}^{c}	4.46				

Sistemin temel parametrelerinde hiç değişiklik yapmadan sadece leke parametrelerini değiştirerek, analiz edilen tüm ışık eğrileri için en iyi fitler elde edilmiştir. Sonuçlar, incelenen zaman aralığı boyunca ışık eğrilerindeki karmaşık yapıların, leke bölgelerinin parametrelerindeki değişimle açıklanabildiğini göstermiştir. Işık eğrisi analizinden elde edilen parametreler çizelge 6.8'de listelenmiştir. Her bir ışık eğrisi için çözüm, şekil 6.25'de gösterilmiştir.



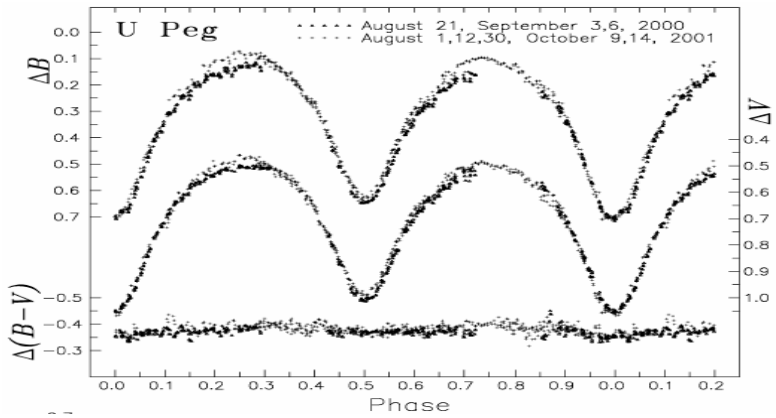
Şekil 6.25 U Peg'in gözlenen ve sentetik ışık eğrileri. Sistemin lekesiz konfigürasyonu için Binnendijk (1958)'ın ışık eğrisinin 0.25 evresi referans ışık seviyesi olarak kesikli çizgiyle gösterilmiştir (Djurasevic 2001)

Sistemin lekesiz konfigürasyonu için, referans ışık eğrisi olarak alınan eğrinin 0.25 evresindeki ışık seviyesi kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Gözlemlere yapılan fitlerden kalan (O-C) artıkları şekil 6.26'da sol kısımda gösterilmiştir. Bu panelin sağ tarafında, ışık eğrilerinin analiziyle hesaplanan parametrelerle elde edilen U Peg sisteminin Roche modelinin görünüşü gösterilmiştir. Bu görüntülerin her birinde büyük bileşen üzerindeki lekeli bölge de görülebilmektedir.



Şekil 6.26 sol : Büyük bileşende leke alanlarının olduğu roche modeliyle elde edilen O-C artıkları.
Sağ : U Peg için Roche modelinin görüntüsü (Djurasevic 2001)

Tüm bu çözümler, U Peg sisteminin bileşenleri arasında iyi bir ısısal değme sağlayan küçük bir sıcaklık farkına ve %14.9 oranında değme derecesine sahip bir sistem olduğunu ve kütle oranının 3.019 olarak hesaplanması, ortak zarfın bağlantı boğazı vasıtasıyla bileşenler arasında önemli bir enerji transferinin olduğunu göstermiştir. Leke alanının boyutunun, sistem aktivitesinin bir göstergesi olarak kullanılabileceği düşünülmüştür. 1950 yılında elde edilen simetrik ışık eğrilerinin analizi, çok küçük bir ışık eğrisi asimetrisi üreten küçük leke alanlarının (yıldız ekvatoruna oldukça yakın) varlığını göstermiştir. Bu, sistemin bu süre boyunca büyük ihtimalle minimum leke aktivitesine sahip olduğunu göstermektedir. Daha sonra, sistemin aktivitesi artmaktadır ve 1958 ışık eğrilerinin analiziyle, yıldızın aynı yarıküresinde olan ve önemli bir kısmını kaplayan büyük leke alanları elde edilmiştir. Bu büyük lekelerin varlığı ışık eğrilerinde göze çarpan bir asimetri yaratmışlardır. 1970 yılındaki leke konumları, ışık eğrisinde asimetri ve maksimumdaki ışık seviyesinde bir değişim üretmektedirler. En büyük leke, kutup bölgesinde yüksek bir boylamda konumlanmıştır ve küçüğü ise yıldız ekvatoruna yakındır. Sistem aktivitesinin, bu yıldan sonra azalmakta olduğu görülmüştür.1978 yılındaki leke konumları, ışık eğrilerinin simetrik biçimini neredeyse hiç etkilememiştir. Ancak, maksimumdaki ışık seviyesini değiştirmişlerdir. 1989 yılı boyunca yapılan gözlemler, sistemde tekrar büyük aktivite olduğunu ve artan aktiviteyle uyumlu olarak yüksek boylamlarda büyük leke bölgelerinin olduğunu göstermiştir. Aynı dönemde Pribulla and Vanko (2002) tarafından sistemin hem dönem analizi hem de fotometrik analizi yapılmıştır.



Şekil 6.27 U Peg'in B-V renk indisi ve fotoelektrik BV ışık eğrileri (Pribulla and Vanko 2002)

Fotometrik çalışmada 2000 ve 2001 yıllarında elde edilen ışık eğrileri kullanılmıştır. Nispeten kısa yörünge periodu ve geç tayf türü yüzünden bu sistemin yüzeyinde leke aktivitesi ve muhtemelen flare aktivitesi gösterdiği düşünülmüştür. Bu etkiler ışık eğrisi asimetrileri ve değişimlerinden açıkça görülmektedir. Tamamlanan ışık eğrileri şekil 6.27'de gösterilmiştir. Işık eğrilerindeki bu anormallik, eğrilere yapılan fitlerle saptanmıştır. O'Connell etkisi olarak bilinen maksimum seviyeleri arasındaki fark bu çalışma için (Δ_{mag} = mag $_{0,75}$ - mag $_{0,25}$) çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Sistemin ışık eğrisinde görülen O'Connell etkisi

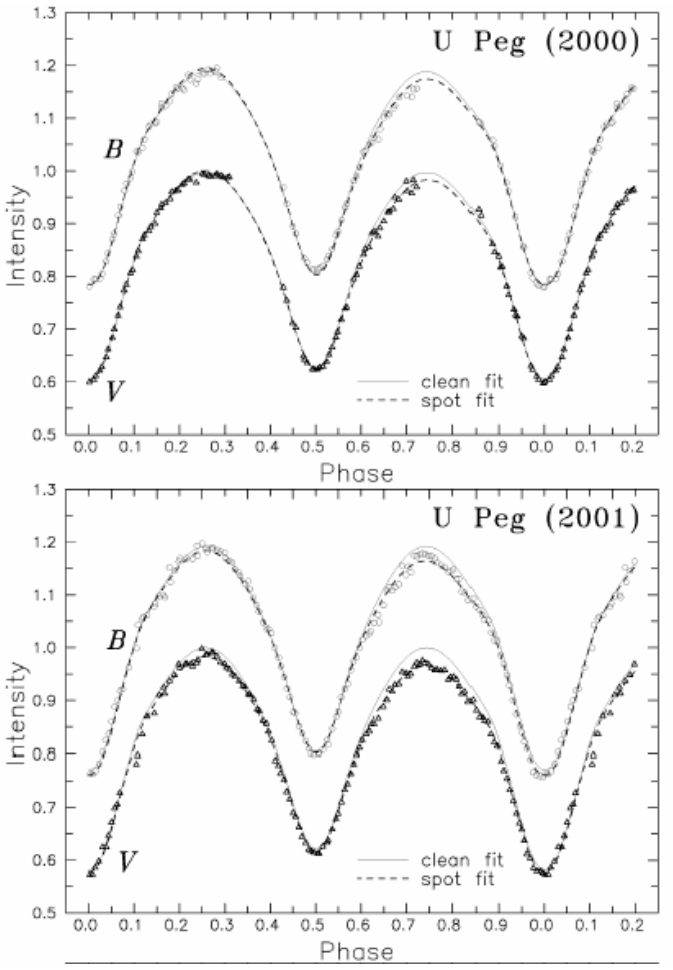
		Phase				
System	Filter	0.00	0.25	0.50	0.75	Δmag
U Peg (2000)	*B*	0.698(10)	0.120(9)	0.638(4)	0.155(8):	0.025
	V	1.050(10)	0.504(4)	1.008(7)	0.523(12):	0.019
U Peg (2001)	*B*	0.700(14)	0.079(10)	0.617(10)	0.095(13)	0.016
	V	1.060(14)	0.472(10)	0.983(9)	0.492(7)	0.020

Sistemin fotometrik elemanlarını elde etmek için WD kodu kullanılmıştır. Sonuç olarak bulunan fotometrik elemanlarla birlikte, standart hatalar ve tam örtme için gereken minimum eğim çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10 Pribulla and Vanko (2002)' nun çalışmasına ait fotometrik elemanlar ve standart hataları σ, eğim açısı i, tam tutulma olması için gereken minimum eğim açısı i, kütle oranı q, yüzey potansiyeli Ω, ortalama kesirsel yarıçaplar r_1 - r_2, kutup sıcaklıkları T_1 - T_2

Parametreler	**Işık Eğrisi (1)**	**Işık Eğrisi (2)**
i°	77.51	77.54
i° (min)	79.82	79.84
q	0.331	0.331
Ω	2.5031	2.4837
Fill out	0.150	0.244
r_1	0.4864	0.4918
r_2	0.2956	0.3017
T_1	5860	5860
T_2	5785	5841
$L^U_1 / (L^U_1 + L^U_2)$	-	-
$L^V_1 / (L^V_1 + L^V_2)$	0.7015	0.0587
$L^B_1 / (L^B_1 + L^B_2)$	0.6962	0.6833
$\Sigma w (O-C)_2$	0.0431	0.0587

Her iki ışık eğrisi için, büyük kütleli bileşen üzerinde karanlık lekeler oluşturularak fitler geliştirilmeye çalışılmıştır. Tutulmalar dışında ışık eğrisini, ekvatordaki lekelerin etkilediği görülmüştür.



Şekil 6.28 2000 ve 2001 yıllarında elde edilen B-V bantlarındaki ışık eğrilerine ayrı ayrı yapılan fitler (Pribulla and Vanko, 2002)

Gözlenen ışık eğrileri, bir lekeyle tatmin edici bir şekilde açıklanabilmiştir.

2000 yılı ışık eğrisi için elde edilen leke parametreleri;

sıcaklık faktorü $k = T_{spot} / T_1 = 0.882(9)$,

boylamı $l_{spot} = 258^{o}.1 \pm 2^{o}.3$ ve

yarıçapı $R_{spot} = 13^{o} \pm 4^{o}$.

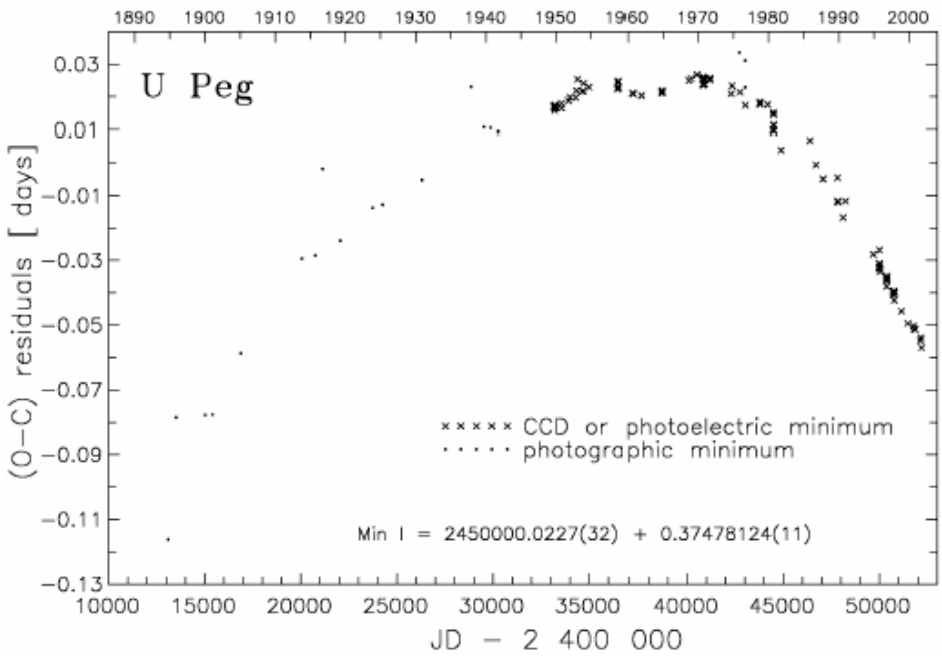
2001 yılı ışık eğrisi için elde edilen leke parametreleri;

sıcaklık faktorü $k = 0.881(7)$,

boylamı $l_{spot} = 281^{o}.6 \pm 1^{o}.9$ ve

yarıçapı $R_{spot} = 13^{o} \pm 3^{o}$.

olarak hesaplanmıştır. Enlem bilgileri elde edilememiş olmasına rağmen lekenin, yörünge hareketi yönünde yılda 23^{o} ilerlediği tespit edilmiştir. 2000-2001 yıllarında alınan ışık eğrilerine, analizler sonucu elde edilen parametreler kullanılarak yapılan fitler şekil 6.28'de verilmiştir. Fotometrik analizden sonra sistemin dönem analizine geçilmiştir. 1894 yılından 2001 yılına kadar tüm minimum zamanları toplanmış ve O-C diagramı çizilmiştir.



Şekil 6.29 Pribulla and Vanko (2002)' nun çalışmasında tüm minimum zamanları için elde edilmiş O-C diagramı

Elde edilen diagrama dayanarak sistemin yörünge döneminin 1894-2001 zaman aralığı boyunca azaldığı görülmüştür. Toplam dönem azalmasının, 1894 yılından beri $\Delta P / P = -2.05 \pm 0.16\ 10^{-5}$ olduğu hesaplanmış ve bu azalmanın nedeni büyük kütleli bileşenden küçük kütleliye doğru olan korunumlu kütle transferiyle açıklanmıştır. Transfer edilen toplam kütle miktarı ise;

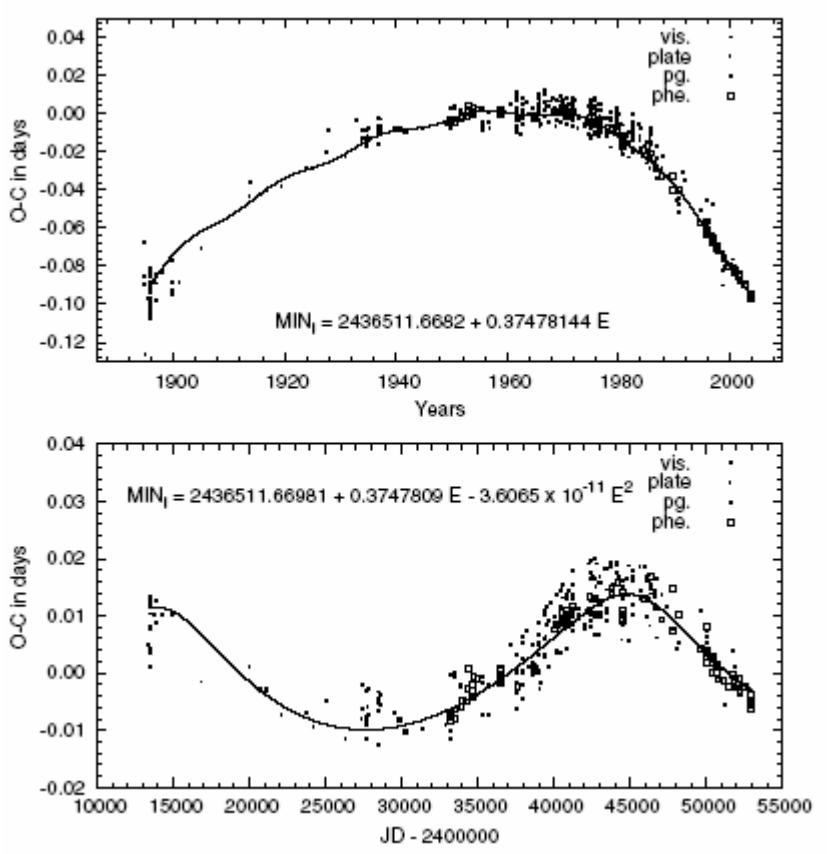
$$\Delta m = \frac{mq}{3\left(1-q^2\right)}\frac{\Delta P}{P} = 3.9 \pm 0.310^{-6} M_{\Theta}$$

olarak bulunmuştur. O-C artıklarının (şekil 6.29) genel eğilimi, 4. dereceden bir polinomla temsil edilebilmektedir. Bu uzun dönemli period değişimi, Borkovits and Hegedüs (1996) tarafından 3.cismin neden olduğu ışık-zaman etkisinin bir parçası olarak açıklanmıştır. 4. derece polinomla yapılan fitten kalan artanlar, düşük genliğe sahip kısa dönemli değişimler göstermektedir. Artıklara uygulanan Fourier analiziyle, P_{var} = 18,1 ± 3,9 yıllık bir period değişimi hesaplanmıştır. Zhai *et al*.(1984)'ün tespit ettiği ve 1950-1980 yılları arasında açıkça görülen bu dönemlilik, Applegate (1992) kuramı veya leke bölgelerinin çevrimsel değişimiyle açıklanmıştır. Son olarak sistem için hesaplanan mutlak parametreler çizelge 6.11'de verilmiştir.

Çizelge 6.11 U Peg sisteminin mutlak parametreleri (Pribulla and Vanko, 2002)

Parametreler	**U Peg**
$A / A_{\odot}$	2.516
$R_1 / R_{\odot}$	1.224
$R_2 / R_{\odot}$	0.744
$m_1 / M_{\odot}$	1.149
$m_2 / M_{\odot}$	0.379
$\rho_1 / \rho_{\odot}$	0.626
$\rho_2 / \rho_{\odot}$	0.920
Log g_1	4.32
Log g_2	4.27
M_V	3.94
$M^{cal}{}_V$	3.91
d (pc)	132

U Pegasi sistemiyle ilgili son çalışma Borkovits and Hegedüs (2005) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, HJD 2413094 (1894) ile HJD 2452950 (2003) arasında elde edilen minimum zamanları kullanılarak sistemin dönem analizi yapılmıştır. Veriler şekil 6.30'da gösterilmiştir.



Şekil 6.30 Parabol fitinden kalan artıklara yapılan LITE fiti (Borkovits and Hegedüs, 2005)

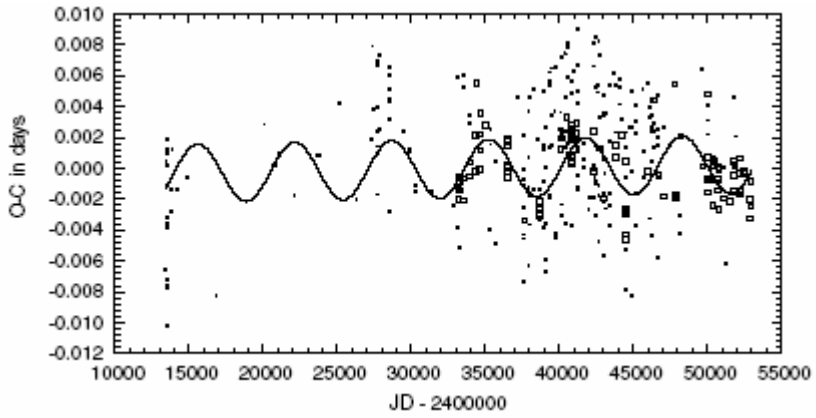
Verilere, eşzamanlı olarak ikinci dereceden bir polinom ve iki tane sinüs fit edilmiştir. En iyi yapılan fitten P_1 = 31.059 gün ve P_2 = 6544 gün olmak üzere iki dönem elde edilmiştir. İlk dönemin, üçüncü bir bileşene ait yörünge dönemi olduğu düşünülmüş ve bu cisim için yörünge parametreleri elde edilerek çizelge 6.12'de verilmiştir. İkinci dönemlilik için ise durum oldukça şüpheli bulunmuştur. Çünkü bunun gerçek bir dönem değişimi olmadığı düşünülmüştür. Şekil 6.31'de açıkça görüldüğü gibi değişimin toplam genliği sadece $A = 0^g.003$ gündür ve fotoelektrik minimum saçılmasından daha

küçüktür. Bu durum W UMa türü çiftlerde, lekenin ışık eğrisinin biçiminde yarattığı bozucu etkiler (Kalimeris 2002) olarak yorumlanmıştır.

Çizelge 6.12 U Peg 'in LITE çözümü (Borkovits and Hegedüs, 2005)

$MIN_I = 2\,436\,511.6698(5) + 0.3747809(5)E - 3.61(10) \times 10^{-11} E^2$		
P'	(day)	31 059
e'		0.38(5)
ω'	(°)	112(9)
τ'	(HJD)	2 445 935(569)
$a_{12} \sin i'$	AU	1.96(13)
$f(m_3)$	$M_\odot$	0.00105(20)
K_{12}	$km\,s^{-1}$	0.74
$m_3(M_\odot)$	$i' = 90°$	0.14
	$i' = 60°$	0.17
	$i' = 30°$	0.30

Borkovits and Hegedüs (2005) 1960-1980 yılları arasındaki fotoelektrik verilerin sayıca az ve bazı bölgelerde ciddi boşlukların bulunması gerekçesi ile bu değişim hakkında yorum yapmanın erken olduğunu belirtmişlerdir. Yinede benzer dönemliliğin, incelenen diğer yıldızlarda da ortaya çıkmasından dolayı bu olgunun gerçek olabilme ihtimalinin olduğunu düşünülmüştür.



Şekil 6.31 U Peg'in O-C diagramında izlenen daha kısa dönemli sinüsoidal değişim ve buna yapılan fit (Borkovits and Hegedüs, 2005)

7 BULGULAR

7.1 U Peg'in Yeni Gözlemleri

U Peg'in yeni gözlemleri; Ankara Üniversitesi Gözlemevinde (AÜG) 30cm çaplı Maksutov - Cassegrain teleskobu ve buna bağlı Optec SSP-5A fotometresi ile U, B ve V filtrelerinde 2002-2005 yılları arasında gerçekleştirildi. Bu gözlemlere 1989-1993 yılları arasında AÜG'de EMI 9798QB fotokatlandırıcısı kullanılarak gözlenmiş fakat yayımlanmamış gözlemler de ilave edilerek toplam 33 gecelik veri seti elde edildi. 2004 yılı haricindeki gözlemlerde, mukayese (C_1) ve denet (C_2) yıldızı olarak sırasıyla BD +15 4916 ve BD +14 5077; 2004 yılındaki gözlemlerde ise sırasıyla BD +13 5174 ve BD +14 5067 kullanıldı. Gözlemler süresince mukayese ve denet yıldızlarında herhangi bir ışık değişimi tespit edilmedi. Yıldızlara ait parametreler çizelge 7.1'de verildi.

Çizelge 7.1 Gözlenen yıldızlara ait parametreler

Yıldız			**α_{2000}**	**δ_{2000}**	**sp**	**B**	**V**
BD+15° 4916	-	HIP 118229	23 58 52.5	+15 50 13.1	K0	9,94	9,00
BD+14° 5077	HD 224371	HIP 118087	23 57 14.4	+15 36 35.7	K0	8,83	7,45
BD+13° 5174	-	-	23 49 54.7	+14 37 33.0	K0	11,40	10,80
BD+14° 5067	-	-	23 52 38.0	+15 08 14.8	K2	11,20	9,65

Bilgiler: SIMBAD veri tabanı

Gözlemler sonucunda U, B ve V filtrelerinde sırasıyla toplam 1557, 1979, 1979 gözlem noktası elde edildi. Her gece için hesaplanan atmosferik sönümleme katsayıları kullanılarak, gözlemler atmosferik sönümleme etkisinden arındırıldı. Kwee and van Woerden (1956) metoduyla 10 tane ikinci, 10 tane de birinci minimum zamanı elde edildi. Bu 20 yeni minimum zamanı, tek gecede farklı bandlarda yapılan gözlemlerden hesaplanan minimum zamanlarının ağırlıklı ortalaması olup hataları ile birlikte çizelge 7.2'de verildi. Bazı gözlemler, yüksek derecedeki saçılma etkisi nedeniyle minimum zamanı hesabında kullanılmadı. Bu gözlemlerden elde edilen minimum zamanları ve

daha önce sisteme ilişkin elde edilmiş minimum zamanları kullanılarak sistemin eski lineer ışık elemanları;

Min I (HJD) = 2433255.5630 ± 0.374776891E.....7.1.1

aşağıdaki şekliyle düzeltildi :

Min I (HJD) = 2433182.8644 (1) ± 0.374781679 (4)E.....7.1.2

Çizelge 7.2 U Peg'in Ankara Üniversitesi Gözlemevinde 1989-2005 yılları arasında elde edilen gözlemlerden üretilen minimum zamanları

Tarih	HJD	Hata	Minimum Türü	Metod
19.10.1989	47819,3468	0,002	2	pe
21.10.1989	47821,4087	0,002	1	pe
13.10.1990	48178,3840	0,000	2	pe
14.10.1990	48179,3216	0,001	1	pe
16.10.1990	48181,3809	0,001	2	pe
14.09.1991	48514,3710	0,001	1	pe
15.09.1991	48515,4959	0,003	1	pe
22.09.1992	48888,3997	0,000	1	pe
26.09.1992	48892,3358	0,000	2	pe
29.10.1992	48925,3163	0,001	2	pe
14.09.1993	49245,3766	0,001	2	pe
15.09.1993	49245,5636	0,001	1	pe
16.09.1993	49247,4379	0,000	1	pe
14.08.2003	52865,5358	0,001	1	pe
20.08.2003	52872,4698	0,000	2	pe
15.10.2003	52928,3109	0,000	2	pe
07.09.2004	53256,4278	0,001	1	pe
30.10.2004	53309,2687	0,001	1	pe
30.10.2004	53309,4598	0,002	2	pe
11.09.2005	53625,3946	0,001	2	pe

Elde edilen düzeltilmiş ışık elemanları kullanılarak sistemin ışık ve renk eğrilerinin fotometrik evreleri hesaplandı. Işık seviyeleri, maksimum ve minimum civarındaki verilerin ortalamasının alınmasıyla elde edildi ($\Delta\phi = \pm 0.02$) ve farkları çizelge 7.3'de verildi.

Çizelge 7.3 Yıllara göre ışık seviyelerinin U, B ve V bantlarındaki değişimleri

U	1989	1990	1991	1992	1993	2003	2004
Max 0.25	0,024	-	-	0,021	0,020	0,032	0,037
Max 0.75	0,026	-	-	0,031	0,048	0,044	0,073
Min 0.00	0,652	-	-	0,672	0,678	0,704	0,708
Min 0.50	0,547	-	-	0,561	0,549	0,569	0,590
△max	-0,002	-	-	-0,010	-0,028	-0,012	-0,036
△min	0,105	-	-	0,112	0,129	0,135	0,118
Dmin 0.00	0,628	-	-	0,652	0,659	0,672	0,671
Dmin 0.50	0,523	-	-	0,540	0,530	0,536	0,553

B	1989	1990	1991	1992	1993	2003	2004
Max 0.25	0,010	0,010	0,005	-0,003	0,023	0,015	0,038
Max 0.75	0,003	0,035	0,015	0,009	0,019	0,022	0,056
Min 0.00	0,594	0,628	0,598	0,609	0,602	0,615	0,636
Min 0.50	0,513	0,531	0,533	0,522	0,525	0,523	0,531
△max	0,007	-0,025	-0,009	-0,012	0,004	-0,007	-0,019
△min	0,082	0,097	0,065	0,087	0,078	0,093	0,106
Dmin 0.00	0,592	0,618	0,593	0,611	0,583	0,601	0,599
Dmin 0.50	0,510	0,522	0,528	0,524	0,506	0,508	0,493

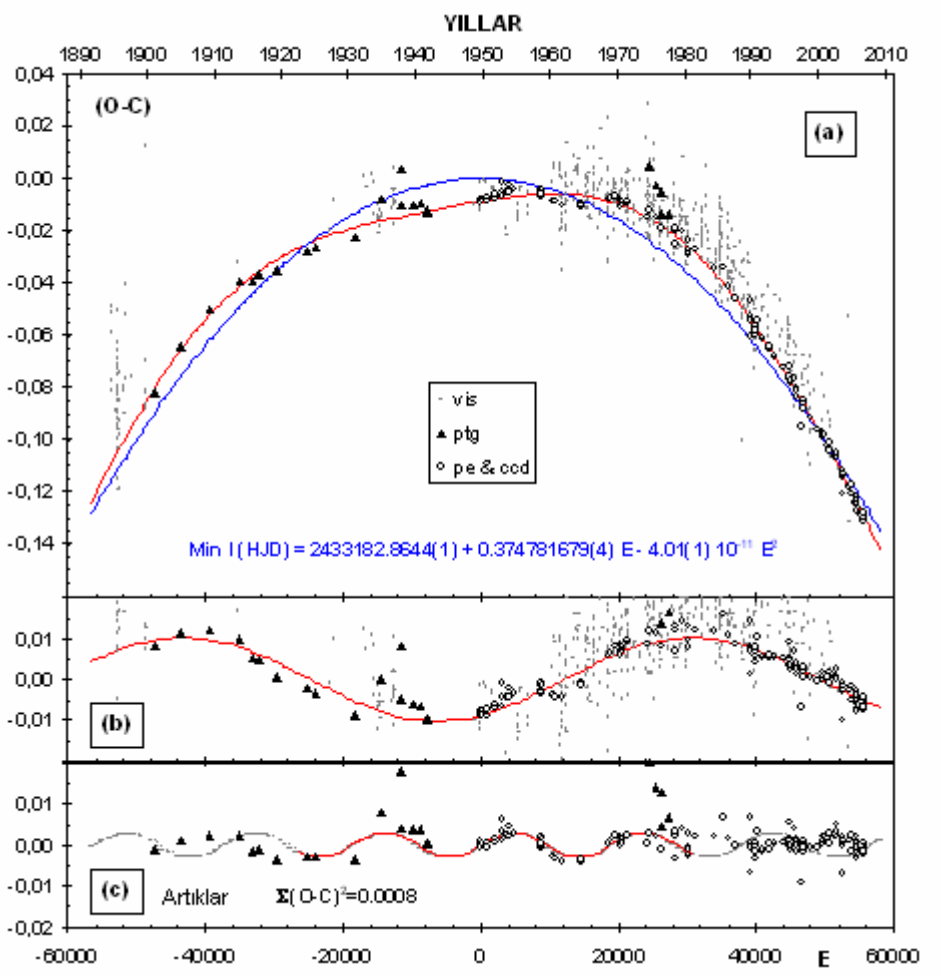
V	1989	1990	1991	1992	1993	2003	2004
Max 0.25	-0,047	-0,033	-0,039	-0,048	-0,043	-0,040	-0,008
Max 0.75	-0,044	-0,033	-0,023	-0,026	-0,030	-0,018	0,000
Min 0.00	0,485	0,519	0,535	0,516	0,529	0,536	0,566
Min 0.50	0,428	0,437	0,464	0,460	0,455	0,466	0,494
△max	-0,003	0,000	-0,016	-0,022	-0,014	-0,022	-0,008
△min	0,058	0,082	0,071	0,057	0,074	0,070	0,072
Dmin 0.00	0,532	0,552	0,574	0,565	0,572	0,576	0,574
Dmin 0.50	0,475	0,470	0,503	0,508	0,499	0,506	0,501

U, B ve V bantlarında maksimumlar arasındaki farkın yıllara göre değişiyor olması O'Connell etkisi olarak adlandırılan etkinin varolduğunu göstermektedir. Bu tür ışık eğrisi asimetrileri, geç tür değen çiftlerdeki bileşen yıldızların homojen olmayan yüzey parlaklık dağılımlarına (soğuk veya sıcak yıldız lekeleri) bağlanmaktadır.

7.2 U Peg'in Dönem Analizi

U Peg'in yörünge dönemiyle ilgili çalışma son olarak Borkovits and Hegedüs (2005) tarafından yapılmıştır. O-C diagramında elde edilen parabolün (şekil 6.30) büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru olan kütle aktarımından kaynaklandığı

belirtilmiştir. Parabolden kalan artıkların ise, üçüncü bir cismin neden olduğu sinüsoidal bir yapı gösterdiği görülmüştür.



Şekil 7.1.a. U Peg için tüm minimum zamanları kullanılarak elde edilen O-C diagramı, **b .** Parabolik fitten kalan artıklar 76 yıllık çevrimsel bir değişim göstermektedir, **c .** Tüm fitten kalan son artıklar, 19.3 yıllık yarı dönemli bir çevrimsel yapıya ilişkin kanıtlar göstermektedir

Kırmızı eğri parabolik + çevrimsel yapıyı, mavi eğri ise ikinci dereceden bir polinomla yapılan fiti temsil etmektedir.

Bu çalışmada, U Peg için AÜG'de elde edilen minimum zamanları dahil 617 görsel, 22 fotoğrafik, 160 fotoelektrik ve ccd olmak üzere toplam 799 tane minimum zamanı toplandı ve çizelge 7.9'da verildi. 1894 yılından 2007 yılına kadar 113 yıllık bir zaman aralığını kapsayan bu minimum zamanları denklem 7.1.2'de verilen yeni ışık elemanları

kullanılarak şekil 7.1.a'da O-C diagramında çizdirildi. Görsel (visual) veriler, aşırı saçılmış olmaları nedeniyle O-C analizi süresince hesaplamalara katılmadı. Yıldızın keşfinden bu yana olan zaman aralığında fotoğrafik, fotoelektrik ve CCD verileri bulunduğundan dolayı görsel verilerin çıkarılması, herhangi bir kayba neden olmadı.

O-C analizi sonucunda sistemin yörünge döneminin düzgün olarak azaldığı, parabolik değişimin karakterinden görülmektedir. Bununla birlikte, O-C diagramında ek bir yapının daha olduğu ve parabolik yapının üzerine binmiş düzgün bir çevrimsel özellik gösterdiği anlaşıldı (şekil 7.1.b). Bu yapı; O-C verilerine, parabolik ve parabolik + sinüsel yaklaşımlar yapılarak incelendi. Bu yaklaşımlar için artıkların en küçük kareler toplamları ($\sum$ (O-C)^2) sırasıyla 0.00664 gün^2 ve 0.0008 gün^2 mertebesinde bulundu. Artık karelerinin toplam değerinin, çevrimsel değişimi de dikkate aldığımız zaman önemli ölçüde azaldığını görmekteyiz. Bu nedenle O-C eğrisinde parabolik değişimin yanı sıra çevrimsel bir değişimin de dikkate alınması gerektiğini rahatlıkla söyleyebiliriz.

AÜG'de elde edilen minimum zamanlarının ilave edilmesiyle bu çevrimsel yapının iki maksimum ve bir minimuma sahip olduğu görüldü (şekil 7.1.b). Sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü bir cismin var olduğu varsayımı ile Irwin (1952)'in ışık zaman etkisi için vermiş olduğu aşağıdaki bağıntı kullanılarak ışık zaman etkisine bağlı çözümler elde edildi.

$$(O-C) = O-\left[T_o + P_{orb}\times E + \frac{dP}{2dE}\times E^2 + \frac{A}{\sqrt{1-e'^2\cos^2\omega'}}\frac{1-e'^2}{1+e'\cos\nu'}\sin(\nu'+\omega') + e'\sin\omega'\right\}\Bigg] \quad .7.1.3$$

Burada A; O-C eğrisinde ışık zaman etkisinin oluşturduğu sinüsün gün biriminde yarı genliği olup,

$$A = \frac{a'_{12}\sin i'\sqrt{1-e'^2\cos^2\omega'}}{2.590\times10^{10}} \quad \text{.....7.1.4}$$

bağıntısı ile verilir. a'_{12} , e', w', i' parametreleri; yakın çiftin üçüncü cisimle oluşturduğu ortak kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin sırasıyla yarı büyük eksen uzunluğu, dışmerkezliği, eğimi ve enberi noktasının boylamıdır. υ' gerçel anomali, 2.590×10^{10} ise ışık hızının km / gün biriminde değeridir. E, $P_{yör}$, T_0, dP/dE ise yakın çift sistem için sırasıyla çevrim sayısı, yörünge dönemi, başlangıç minimum zamanı ve dönem değişim miktarıdır. $P_{12,}$ T' ise üçüncü cisim yörüngesi için enberi noktasından geçiş zamanı ve yörünge dönemidir. Sekiz tane serbest parametreyi (a'_{12} , e', w', i', E, $P_{yör}$, T_0, dP/dE) hesaplamak için gözlemsel O-C farklarını en iyi temsil edebilecek kuramsal değerler Ak ve ark. (2004) tarafından geliştirilen OC2LTE30 programıyla hesaplandı. Bu şekilde üçüncü cismin yörüngesine ilişkin belirlenen parametreler ve standart hataları çizelge 7.4'de listelendi.

Çizelge 7.4 U Peg sistemine bağlı olası üçüncü cismin yörüngesine ilişkin hesaplanmış büyüklükler ve hataları

Parametre	**Değer**	**Hata**
P_{12} (yıl)	75.95	0.11
asin*i* (AB)	1.779	0.031
e	0.010	0.021
w (^{o})	1.00	1.28
$f(m_3)$ $M_\odot$	0.00098	0.00005
A (gün)	0.01098	0.00007
T_{beri} (HJD)	37762.00	23.60
$\sum$(O-C)^2 (gün^2)	52.89 x 10^{-4}	

Bu parametrelerin hataları ters-problem çözme yöntemine dayalı doğrusal olmayan en küçük kareler yaklaşımı ile elde edildi. Bu yöntem her bir gözlem noktasının hatasını ve fit edilmiş parametrelerin birbirleriyle muhtemel korelasyonlarını dikkate almamaktadır. Bundan dolayı parametreler için verilen standart hata değerleri olması gerekenden daha küçük olabilir ve çizelge 7.4'de verilen standart hatalara ilişkin değerler en düşük limitler olarak dikkate alınmalıdır. Bu parametreler, şekil 7.1.b'de kesiksiz eğriyle gösterilen kuramsal O-C eğrisini elde etmek için kullanıldılar. Denklem 7.1.3'den kalan artıkların en küçük karelerinin toplamı $\sum (O-C)^2 = 0.0008$ gün^2 olarak bulundu ve tüm kuramsal

yaklaşımdan (parabol + sinüs eğrisi) kalan artıklar ise şekil 7.1.c'de görülmektedir. Bu artıklarda da çevrimsel bir yapı dikkat çekmektedir. U Peg için bu bölümde tespit edilen dönem değişim karakteri ve O-C analizi bulgularına ilişkin yorum ve sonuçlara 8. bölümde yer verilmiştir.

7.3 U Peg'in Işık Eğrisi Analizi

Sistemin ışık eğrisine ilişkin son ayrıntılı çalışma Pribulla and Vanko (2002) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada 2000 ve 2001 yıllarında elde edilen ışık eğrileri WD bilgisayar kodu kullanılarak çözülmüş ve eğrilerdeki asimetriye uygun fitler yapabilmek için;

sıcaklık faktorü $k = T_{spot} / T_1 = 0.882(9)$,
boylamı $l_{spot} = 258^o.1 \pm 2^o.3$ ve
yarıçapı $R_{spot} = 13^o \pm 4^o$.

ve

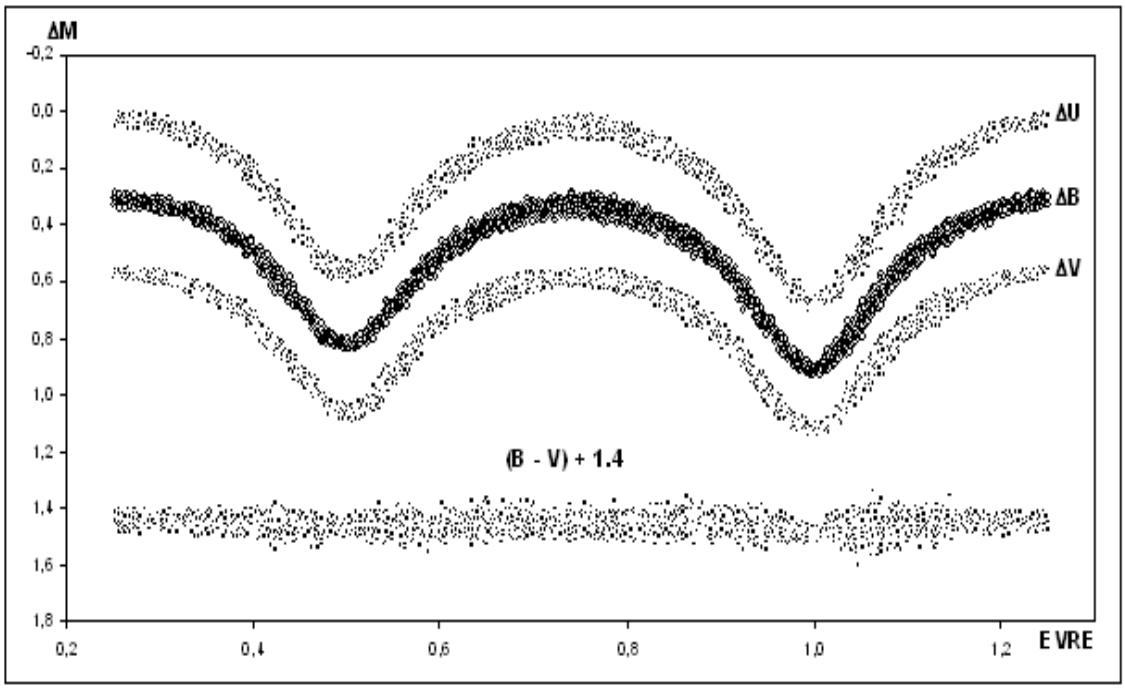
sıcaklık faktorü $k = 0.881(7)$,
boylamı $l_{spot} = 281^o.6 \pm 1^o.9$ ve
yarıçapı $R_{spot} = 13^o \pm 3^o$.

olan 2 leke kullanmışlardır.

Bu çalışmada ise sistemin fiziksel ve yörünge parametrelerinin elde edilmesi amacıyla, AÜG'de gözlenen fotometrik ışık eğrileri ve Lu (1985) tarafından elde edilip Zhai (1988) tarafından düzeltilen radyal hız eğrisi, (şekil 4.2) PHOEBE 29c programı kullanılarak eşzamanlı olarak analiz edildi. Analiz süresince tüm fotometrik gözlem noktaları ve radyal hız verileri dikkate alındı. Modelin bazı parametreleri, sistemin fiziksel yapısını anlayabilmek için teorik değerlere sabitlendi. [Bolometrik albedolar $A_1 = A_2 = 0.5$ (Rucinski (1969)), çekim kararma katsayıları $g_1 = g_2 = 0.32$ (Lucy (1967))]. Elde ettiğimiz kütle oranı ($q = 3.18$) ve kütle merkezi hızının ($V_\gamma = -28.20$ km sn^{-1}),

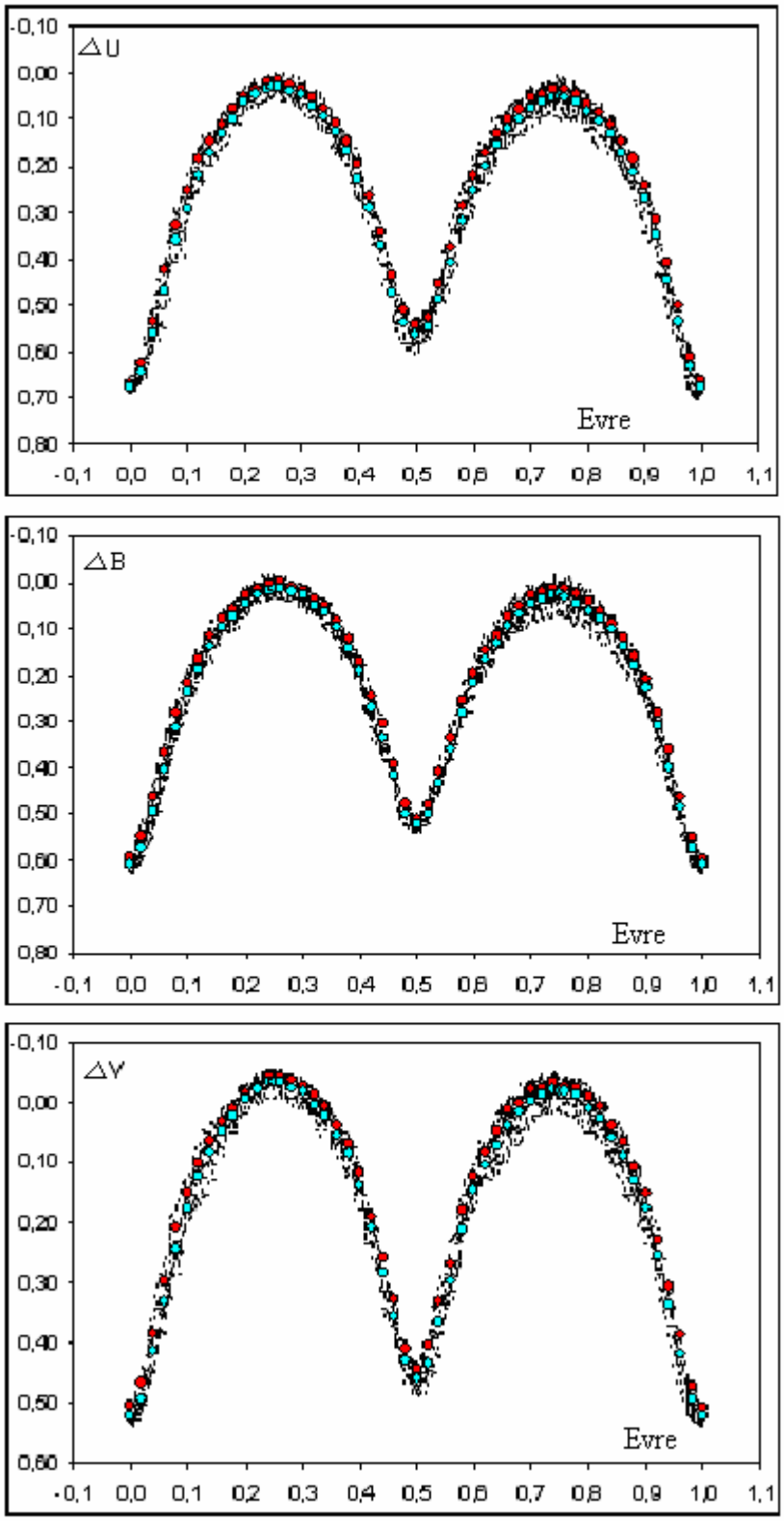
Zhai (1988) tarafından yapılan eşzamanlı çözümdeki değerlerle uyuştuğu görüldü. Sistem W türü W UMa olduğundan analiz programında girdi verileri tanımlanırken birinci yıldız olarak kütlece daha küçük ve daha sıcak bileşen alındı. Birinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_1), Gray and Corbally (1994) tarafından cüce yıldızlar için yapılan etkin sıcaklık kalibrasyonundan 5850 K olarak kabul edildi. Sisteme ilişkin sıcaklıklara bağlı olarak lineer olmayan kenar kararma katsayıları van Hamme (1993)'nin tablolarından alındı. Model atmosfer olarak ise WD-2003 programında kullanılan Kurucz (1993) yıldız atmosfer modeli kullanıldı. Yörünge eğim açısı (i), her iki bileşenin yüzey potansiyelleri ($\Omega_{1,2}$), ikinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_2), birinci bileşenin tek renkli ışınım gücü (L_1) serbest parametreler olarak seçildi ve başlangıç değerleri olarak Djurasevic (2001)'in verdiği değerler kullanıldı. Daha önceki çalışmalardan sistemin tamamen değen bir yapıya sahip olduğu bilindiği için PHOEBE programında, WD kodunun MODE - 3'e karşılık gelen "Overcontact binary not in thermal contact" seçeneği kullanıldı.

Analize başlamadan önce 7 yıla ait (1989-1993; 2003-2004) ışık eğrileri, sistemin geometrisini ve temel fiziksel parametrelerini elde edebilmek amacıyla birleştirildi (şekil 7.2). Her bir banda ait verilerin 0.02 evre aralıklarıyla normal noktaları elde edildi. 7 yıllık ışık eğrileri arasında leke hareketlerini incelemek amacıyla referans eğri olarak kullanılabilecek lekesiz bir eğri olmadığı için farklı bir yöntem izlendi. Bu aşamada birleştirilmiş eğrilerde normal noktalar üzerinde kalan noktaların tekrar bir ortalaması alınarak minimum leke etkisine sahip temel bir ışık eğrisi elde edildi (şekil 7.3). U, B ve V bandlarında elde edilmiş olan bu ışık eğrilerinde maksimumlar arasındaki fark U-bandında 0.015, B-bandında 0.012 ve V-bandında 0.011 kadirdir. Sistemin ışık eğrisindeki O'Connell etkisi ilk kez Binnendijk (1960) tarafından keşfedilmiş ve gözlenen ışık eğrilerinin maksimumlarındaki asimetriye (O'Connell etkisi), bileşen yıldızların yüzey parlaklık dağılımlarındaki düzensizliklerin neden olduğu düşünülmüştür. Sistemin ikinci bileşeninin üzerinde leke olması gerektiği yine ilk kez Binnendijk (1984) tarafından belirtilmiştir. Asimetri, ışık eğrisi analiziyle en olası geometrik çözümün bulunmasından sonra bir veya her iki bileşen üzerine sıcak ve / veya soğuk lekelerin konulmasıyla çözülmeye çalışılmıştır.



Şekil 7.2 U Peg'in U, B ve V bandı ışık eğrileri, ve B-V renk eğrisi

Şekil 7.2'den de anlaşılabileceği gibi sisteme ait B-V renk ölçeğinde birinci minimum civarında küçük ölçekli bir kızarma etkisi görülmektedir. Bu da birinci minimum esnasında soğuk bileşenin sıcak bileşenin büyük bir kesrini örtmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun dışında sisteme ait B-V renk ölçeğinde kayda değer bir değişim görülmemesi bileşenleri saran ortak zarf boyunca ısının düzgün olarak dağıtıldığının bir göstergesidir. Daha önce çizelge 7.3'te 0.25, 0.75, 0.00 ve 0. 50 evrelerindeki, ışık seviyeleri, maksimumlar ve minimumlar arasındaki fark ile birinci ve ikinci minimum derinlikleri olmak üzere U Peg çift yıldızına ilişkin ışık eğrisi karakteristikleri verilmişti.



Şekil 7.3 Mavi noktalar U, B ve V bantlarında elde edilen normal noktaları, kırmızı noktalar ise minimum leke etkisine sahip temel noktaları göstermektedir

Buna göre maksimumlar arasındaki belirgin fark sistemdeki O'Connell etkisinin bir göstergesidir. Minimum derinlikleri arasındaki küçük fark ise her iki bileşenide aynı sıcaklıkta gösteren, W UMa türü sistemlerin tipik bir özelliği olan ortak zarfın etkisidir.

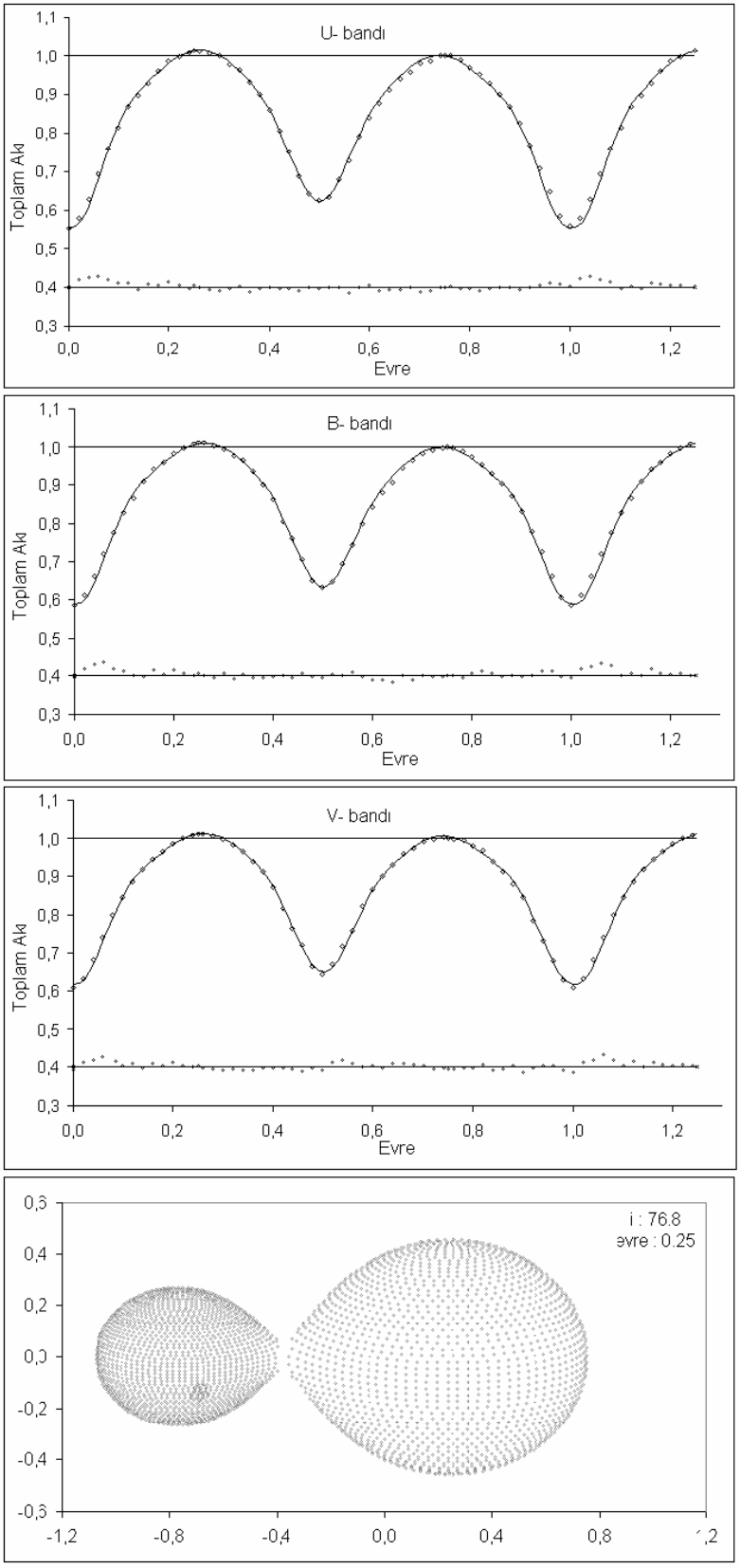
Bu bilgiler ışığında, sistemin gözlemsel ışık eğrilerinin tüm özelliklerini ortaya koyabilmek için çok sayıda farklı çözüm denemeleri gerçekleştirildi. İlk olarak elde edilen temel eğri 0.75 evresine normalize edildi ve analize sokularak iterasyonlar sonucu en küçük artık kareler toplamını veren paramereler elde edildi. Işık eğrilerinde izlenen asimetrileri temsil edebilmek için ise lekeli model kullanıldı. Sistemin geç tayf türünden bileşenlere sahip olduğu göz önüne bulundurularak, Güneş benzeri soğuk leke bölgeleri kabulü altında çözüm yapıldı. Çözümlerde her iki bileşende de leke olabilecek durumlar denendi ve iki farklı model üzerinde duruldu. İlk modelde, temel eğri için elde edilen parametreler sabit tutularak ve sistemde bir kütle aktarımı (Şekil 7.1.a) olmasından dolayı küçük kütleli bileşen üzerine sıcak leke konularak temel eğri üzerindeki asimetrilere uygun bir fit yapıldı. Şekil 7.4'de temel eğri için yapılan fit ve 0.25 evresinde elde edilen geometrik modeli verilmiştir. Analiz sonucu soğuk bileşen ile sıcak bileşen arasındaki sıcaklık farkının 252 K olduğu görüldü. Bu düşük sıcaklık farkı W UMa türü sistemlerdeki ortak zarfın varlığını açıkça ortaya koymaktadır. Yıllık ışık eğrilerindeki asimetrileri incelemek amacıyla her yıla ait veriler her üç bantta temel ışık eğrisi için elde edilen 0.75 evresindeki parlaklık değerlerine normalize edildi. Temel ışık eğrisinin 0.75 evresine normalize edilmesinin amacı, ışık eğrilerine sıcak lekeden başka lekelerin etki edip etmediğini görmekti ve bu işlem sonucunda büyük kütleli bileşen üzerine soğuk bir leke bölgesinin konulması gerektiği anlaşıldı. Her bir yıla ait ışık eğrileri ve farkları ile geometrik modelleri ise şekil 7.5 - 7.11'de, analiz sonuçları çizelge 7.5'de ve leke bölgesine ilişkin parametreler ise çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.5 İlk model (sıcak lekeli) için temel ışık eğrisinin çözümü sonucu ulaşılan değerler

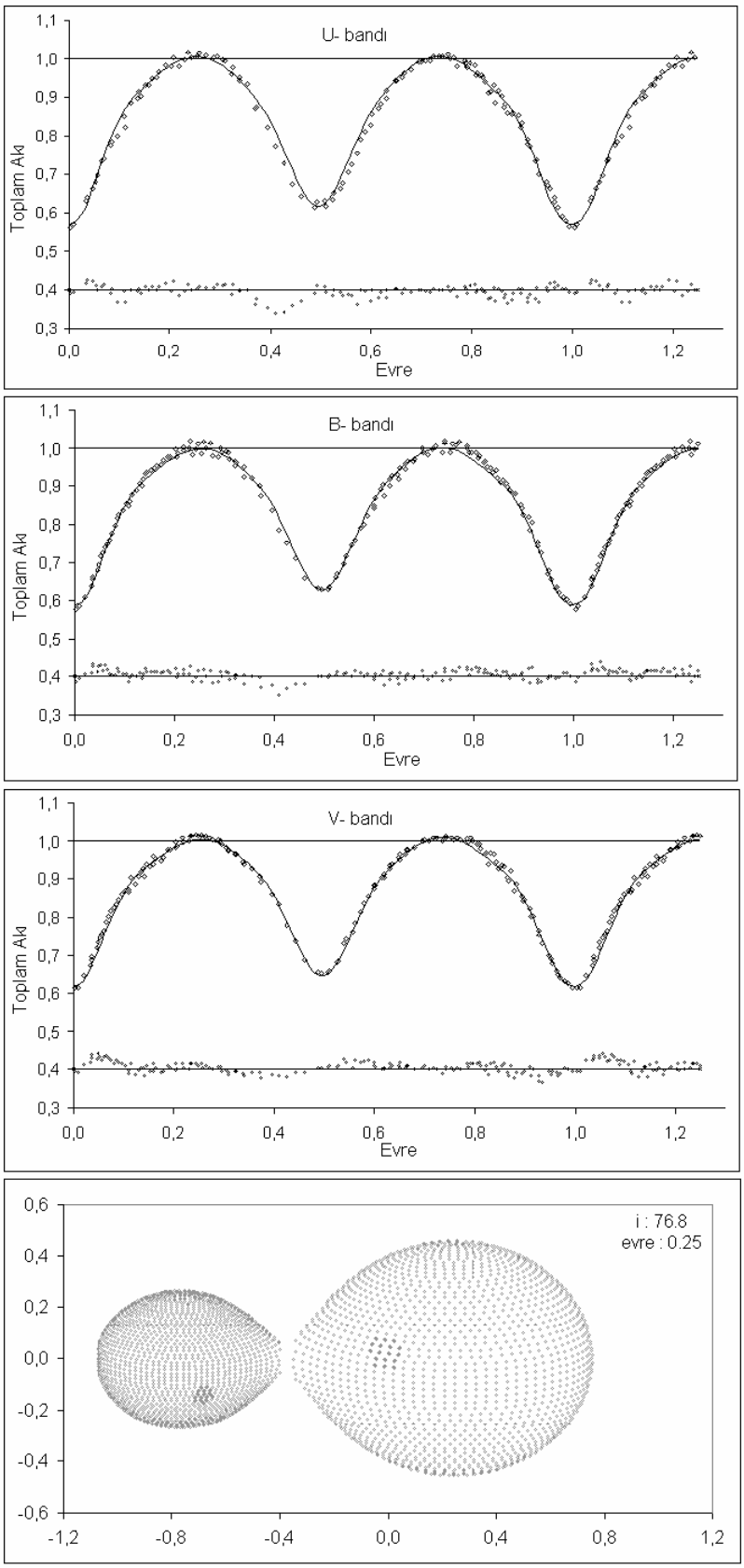
Parametre	Değerler
i (°)	79.645 ± 1.020
q	3.182 ± 0.039
T_h	5850
T_c	5598 ± 45
Ω_h	6.8113 ± 0.0232
Ωc	6.8113 ± 0.0232
A_h	0.393
A_c	0.686
g_h	0.396
g_c	0.207
$\lambda_{c,1}$(°)	5.00
$\phi_{c,1}$ (°)	1.88
$\theta_{c,1}$ (°)	0.15
$TF_{c,1}$	1.22
f (%)	7
a [$R_\odot$]	2.470 ± 0.009
M_h [$M_\odot$]	0.34
M_c [$M_\odot$]	1.10
M^h_{bol}	5.47
M^c_{bol}	4.52
$log\ g_h$	4.27
$log\ g_c$	4.32
R_h [$R_\odot$]	0.71
R_c [$R_\odot$]	1.20
(L_h+L_c)	B 0.943 ± 0.014 V 0,955 ± 0.009 U 0,936 ± 0.017
x_1	0.833
x_2	0.842
y_1	0.156
y_2	0.113
$\Sigma(O-C)^2$	0,003

Çizelge 7.6 İlk model (sıcak lekeli) için sistemin büyük kütleli bileşeninde yer alan soğuk leke bölgesine ilişkin yıllık değerler

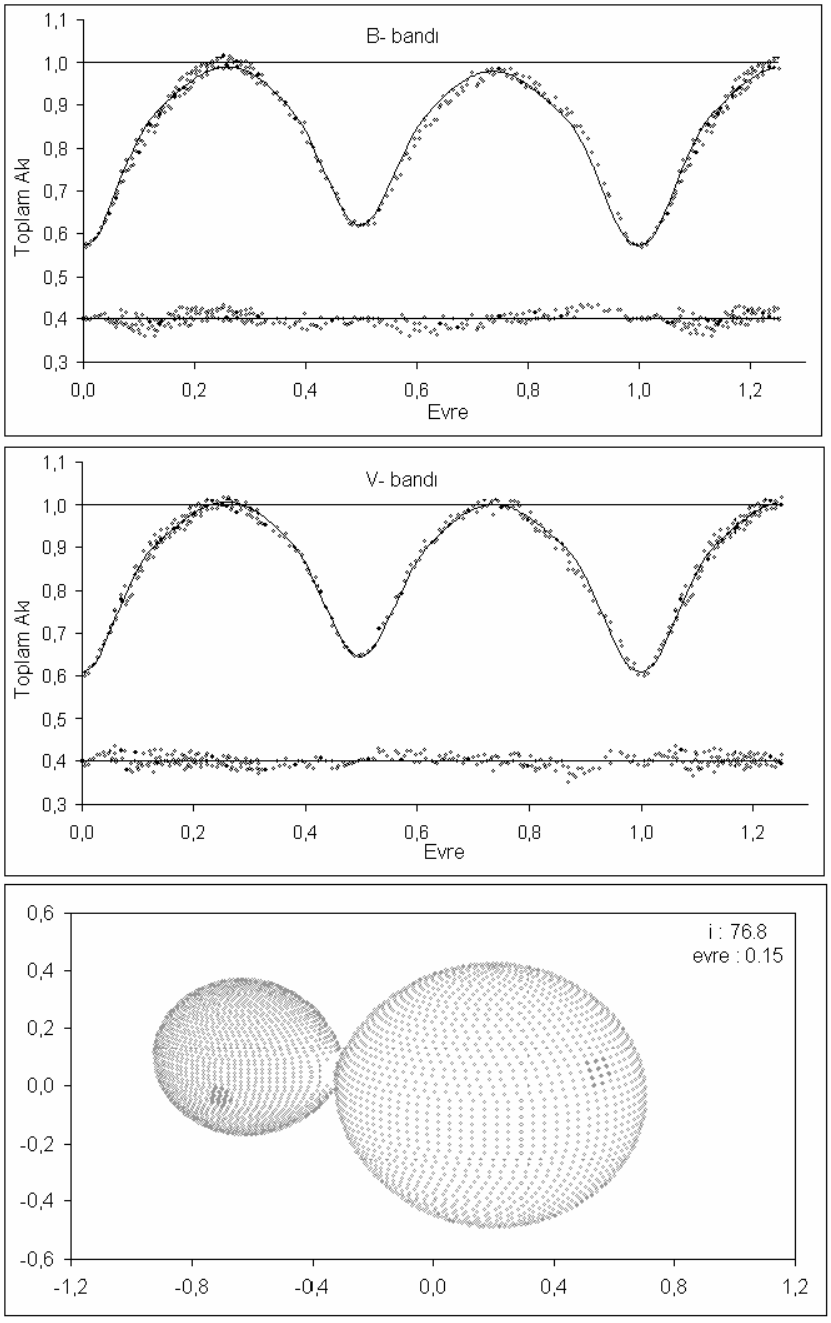
Yıllar/Parametreler	1989	1990	1991	1992	1993	2003	2004
Enlem	1,33	1,25	1,19	1,23	1,30	1,45	1,50
Boylam	1,00	3,00	6,15	5,50	5,95	2,55	5,38
Açısal Çap	0,15	0,12	0,15	0,12	0,11	0,11	0,13
Sıcaklık (Tleke/Tfot.)	0,80	0,88	0,90	0,95	0,85	0.88	0,90



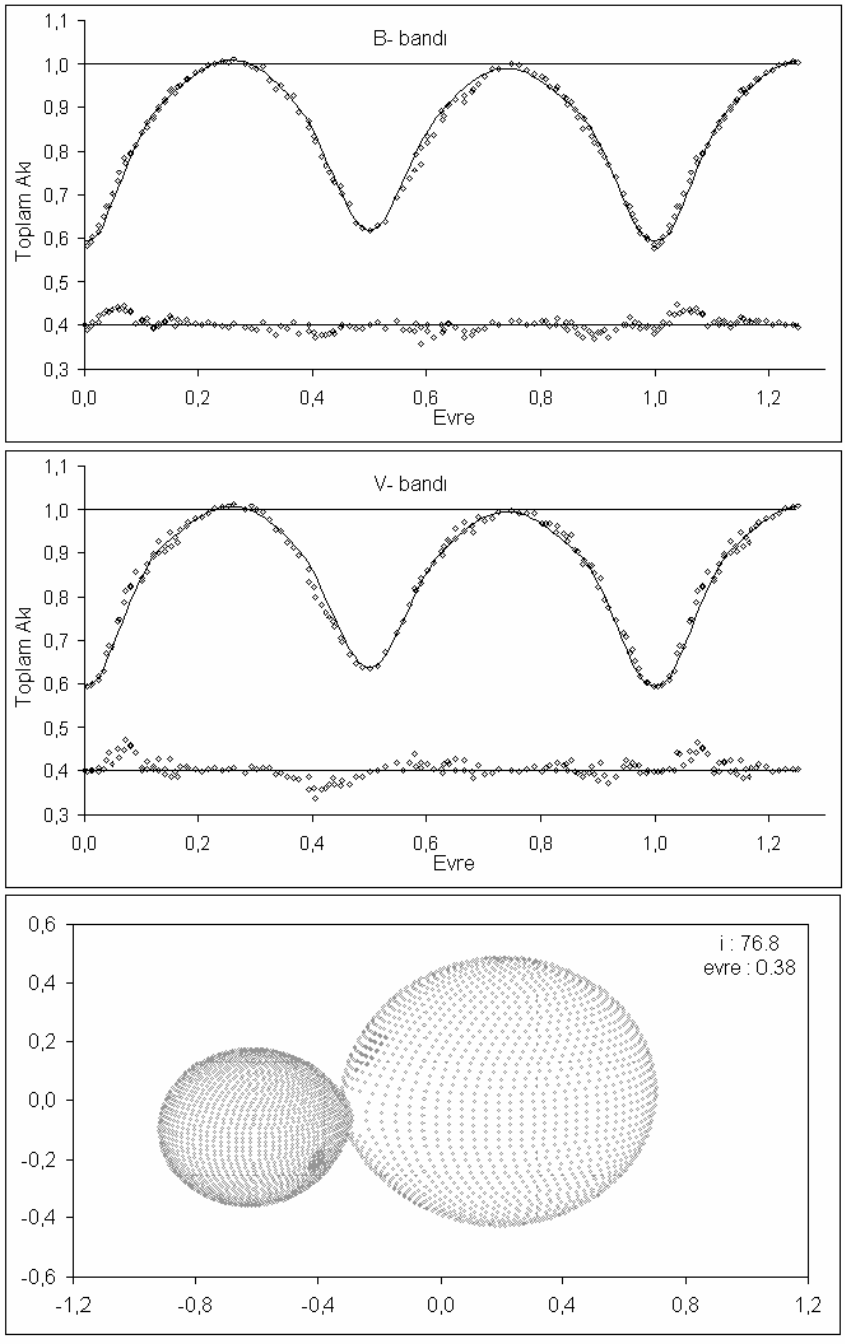
Şekil 7.4 U,B ve V bandlarında 0.75 evresine normalize edilmiş temel ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.25 evresindeki geometrisi



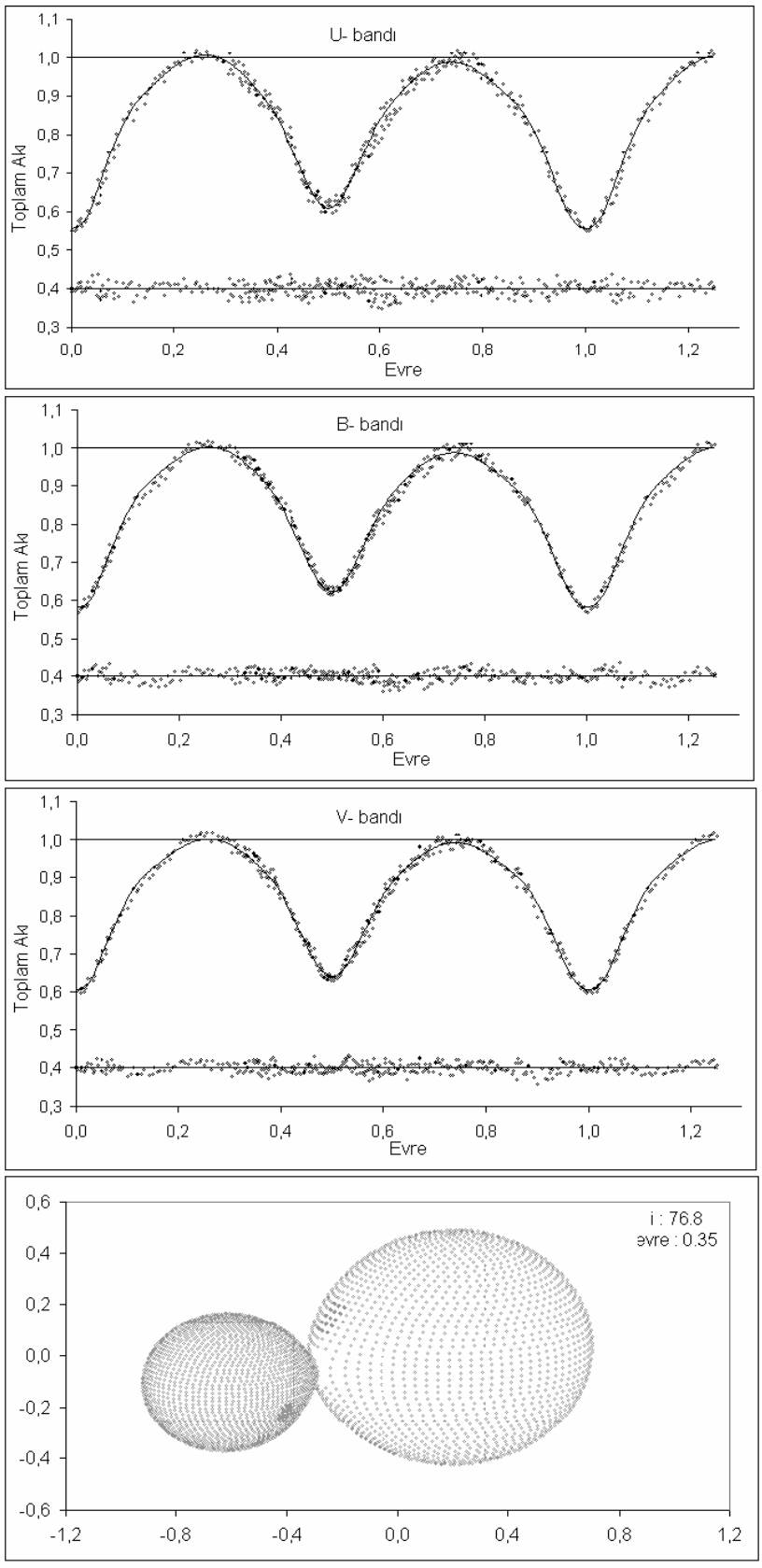
Şekil 7.5 1989 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.25 evresindeki geometrisi



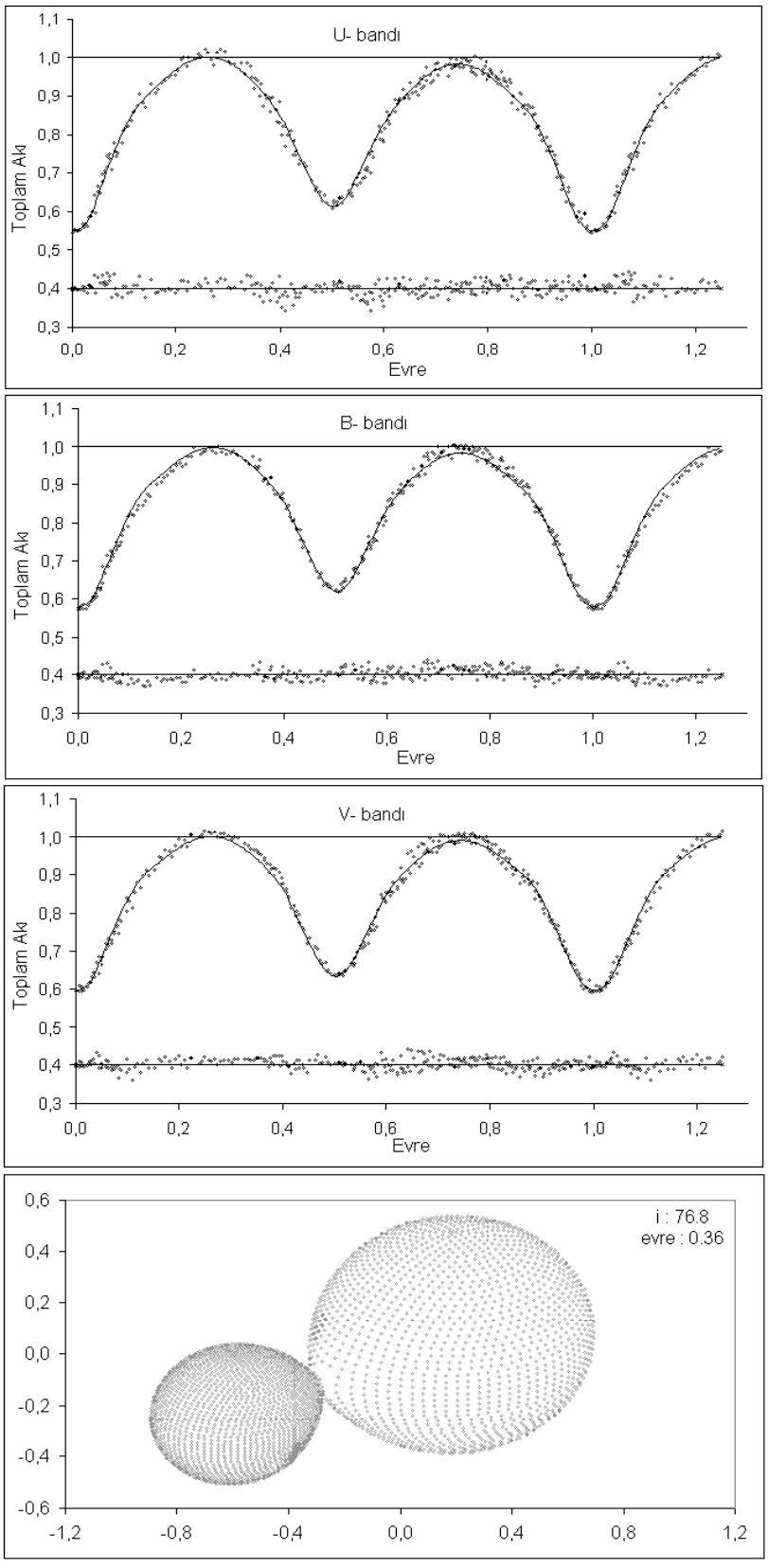
Şekil 7.6 1990 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.15 evresindeki geometrisi



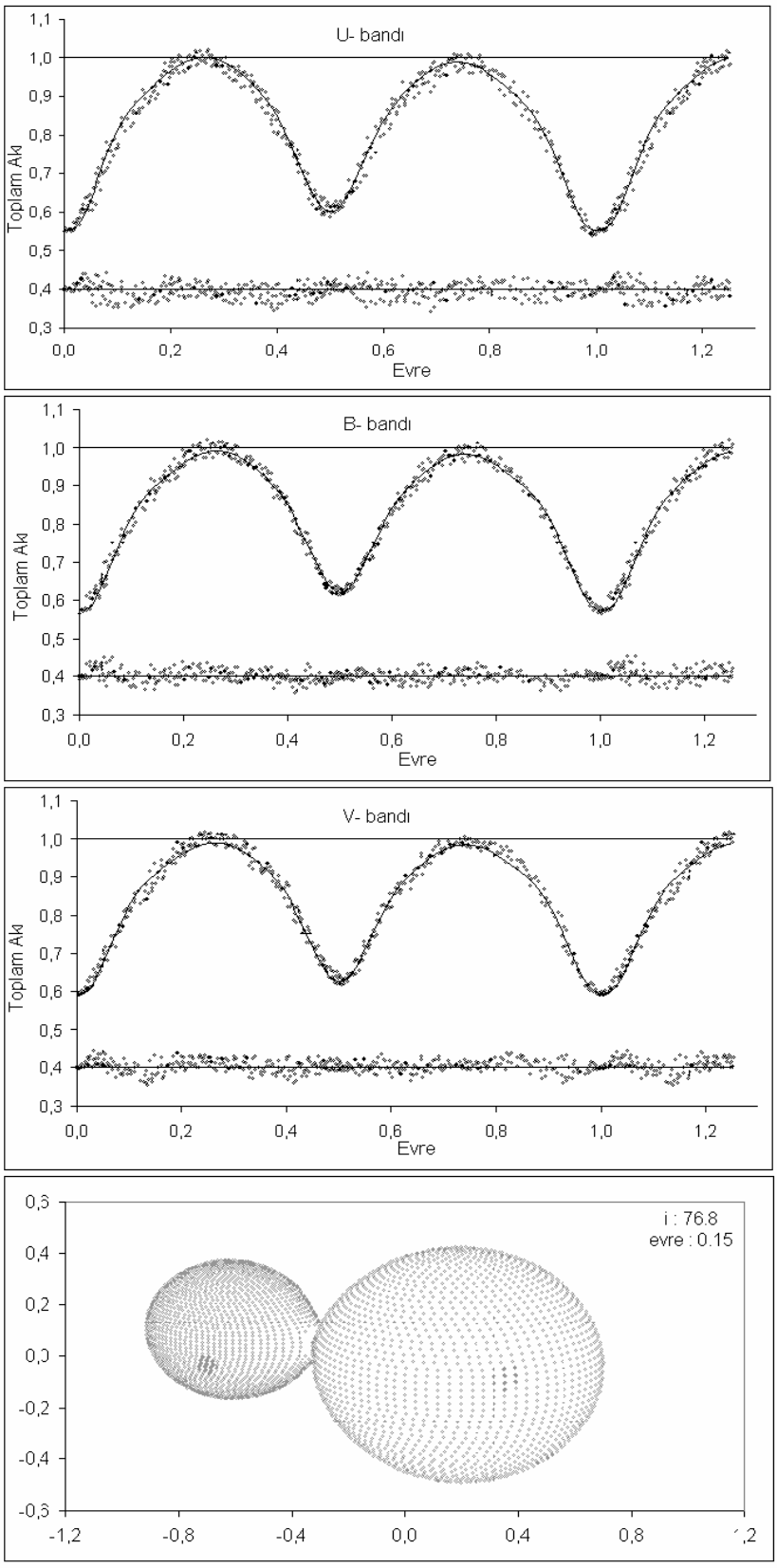
Şekil 7.7 1991 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.38 evresindeki geometrisi



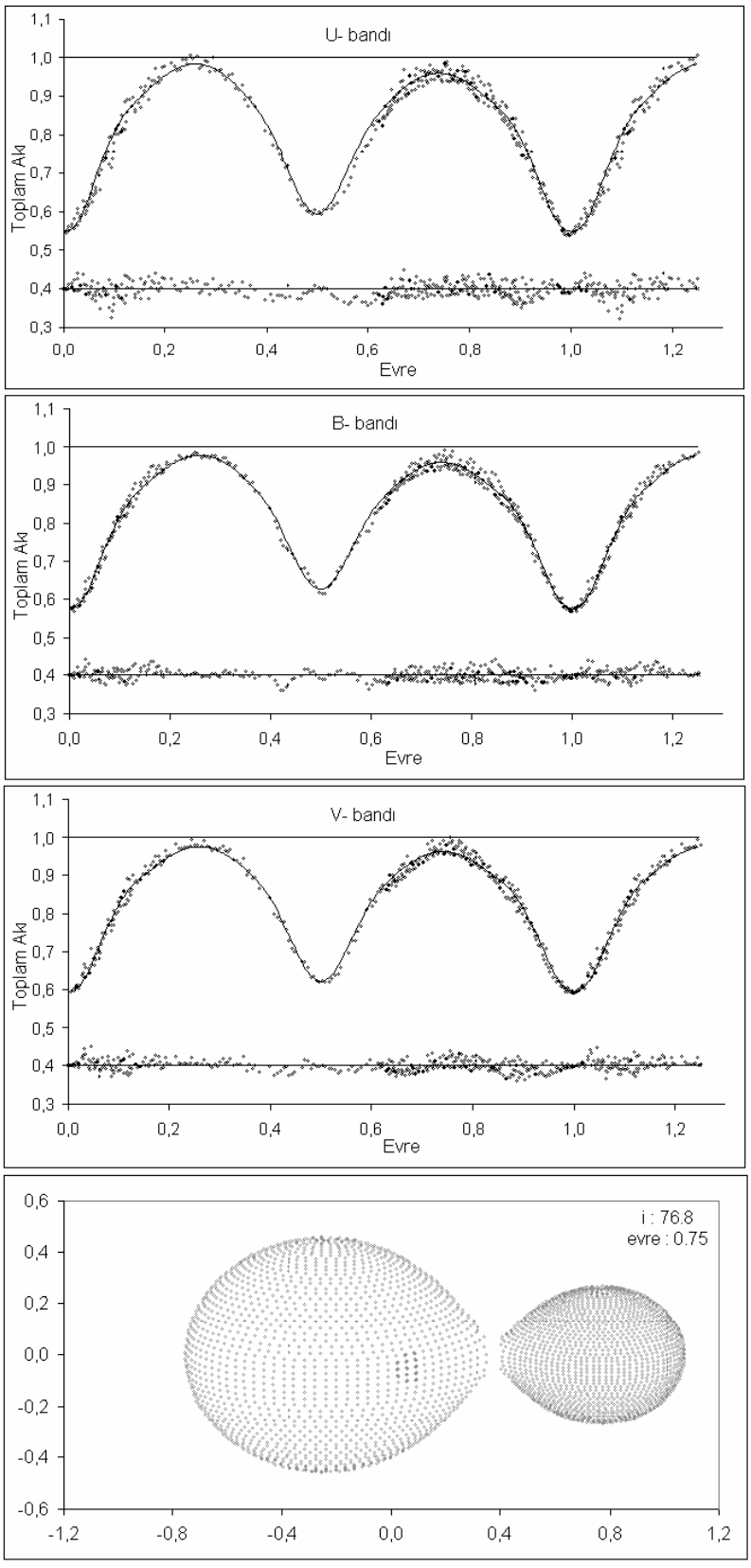
Şekil 7.8 1992 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.35 evresindeki geometrisi



Şekil 7.9 1993 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.36 evresindeki geometrisi



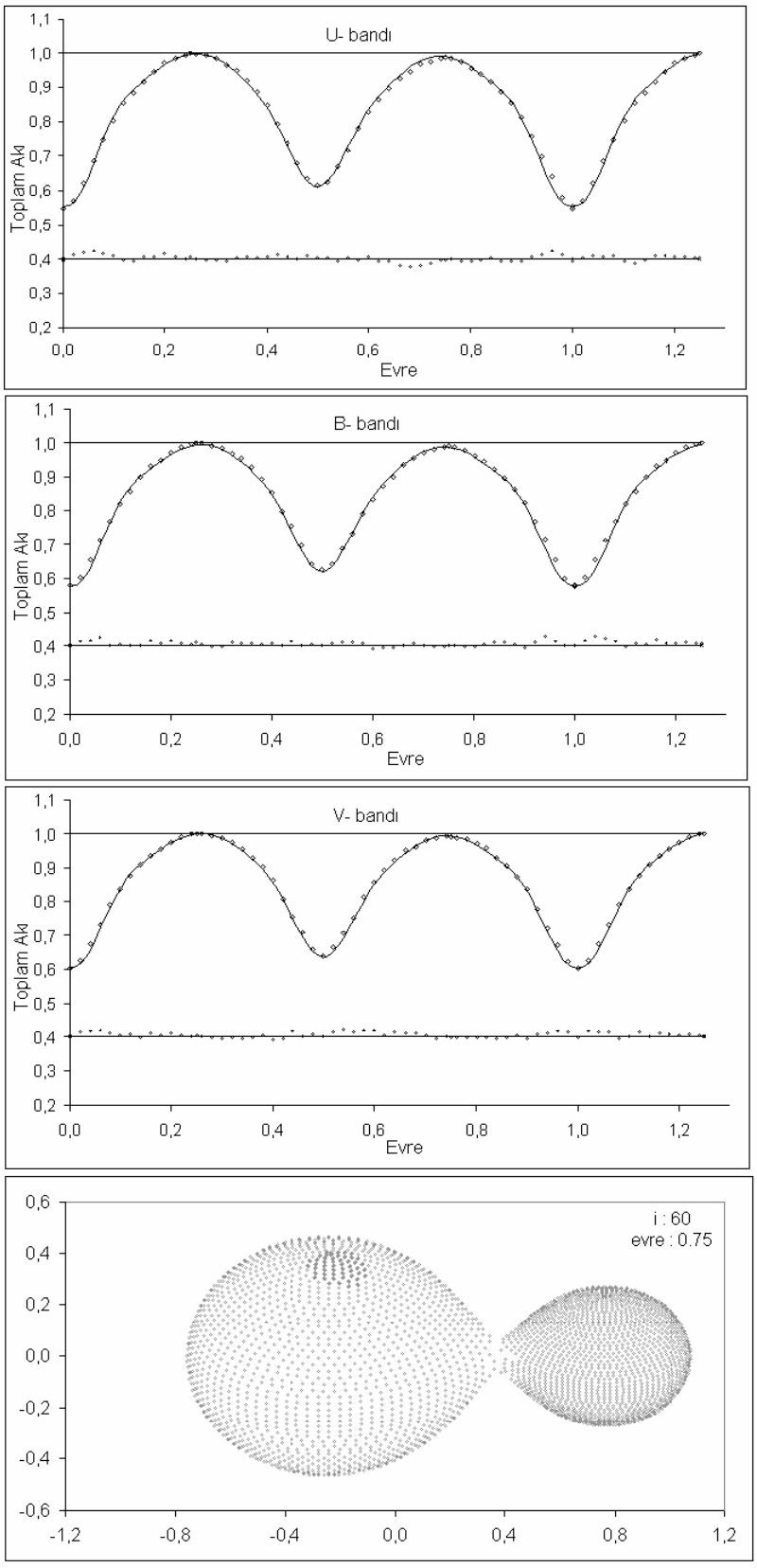
Şekil 7.10 2003 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.15 evresindeki geometrisi



Şekil 7.11 2004 yılına ait ışık eğrilerinin ilk model (sıcak lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi

İkinci modelde (soğuk lekeli) ise analizlere, yine ilk modelde (sıcak lekeli) kullanılan minimum leke etkisine sahip temel ışık eğrisi kullanılarak başlandı. Bu eğri ilk modeldekinin aksine 0.25 evresine normalize edildi ve analize sokularak iterasyonlar sonucu en küçük artık kareler toplamını veren paramereler elde edildi. Bu parametreler çizelge 7.7'de verildi. Işık eğrilerinde izlenen asimetrileri temsil edebilmek için büyük kütleli bileşen üzerinde, 0.75 evresinde baskın olacak şekilde ve geniş bir evre aralığında görülebilen bir kutup lekesine ihtiyaç olduğu görüldü. Şekil 7.12'de temel ışık eğrisi için yapılan fit ve 0.75 evresinde elde edilen geometrik model verilmiştir. Analiz sonucu soğuk bileşen ile sıcak bileşen arasındaki sıcaklık farkının 252 K olduğu hesaplandı. Yıllık ışık eğrilerindeki asimetrileri incelemek amacıyla her yıla ait veriler her üç bantta temel ışık eğrisi için elde edilen 0.25 evresindeki parlaklık seviyesine normalize edildi. Temel ışık eğrisinin 0.25 evresine normalize edilmesinin amacı, konulan kutup lekesinin tüm ışık eğrilerine ne şekilde etki ettiğini görmekti ve bu işlem sonucunda kutup lekesinin yıllık ışık eğrilerinde 0.01 ile 0.03 kadir kadar bir parlaklık azalmasına neden olduğu anlaşıldı. Her bir yıla ait ışık eğrileri ve farkları ile geometrik modelleri şekil 7.13 - 7.19'da, leke bölgesine ilişkin parametreler ise çizelge 7.8'de verilmiştir.

Işık eğrisi analizi sonucu elde edilen bulgular ve bileşenlerin yüzey parlaklık dağılımında bozucu etkiler yaratan lekelere ilişkin yorum ve tartışma 8. bölümde verilmiştir.



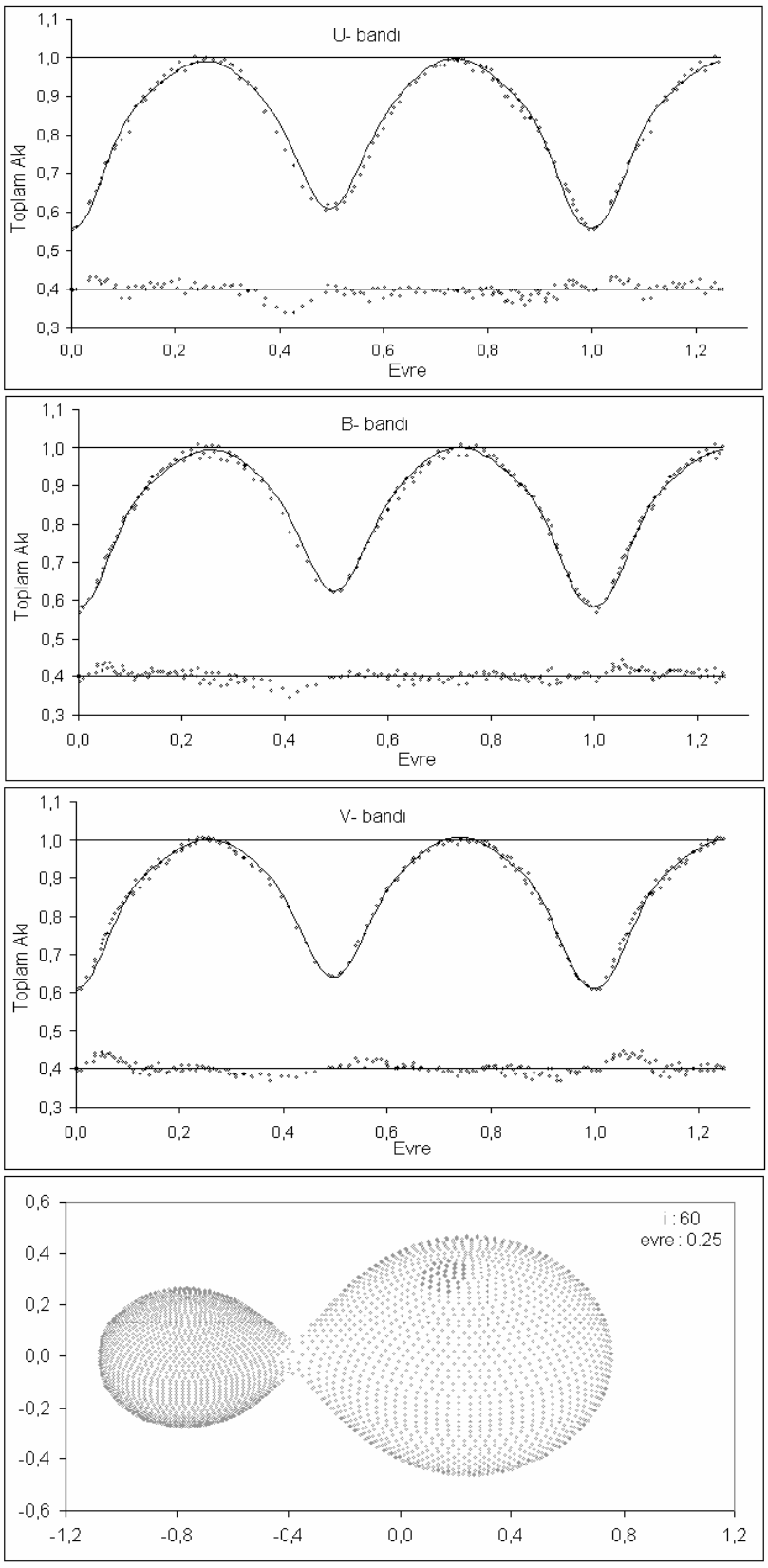
Şekil 7.12 U,B ve V bandlarında 0.25 evresine normalize edilmiş temel ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi

Çizelge 7.7 İkinci model (soğuk lekeli) için temel ışık eğrisinin çözümü sonucu ulaşılan değerler

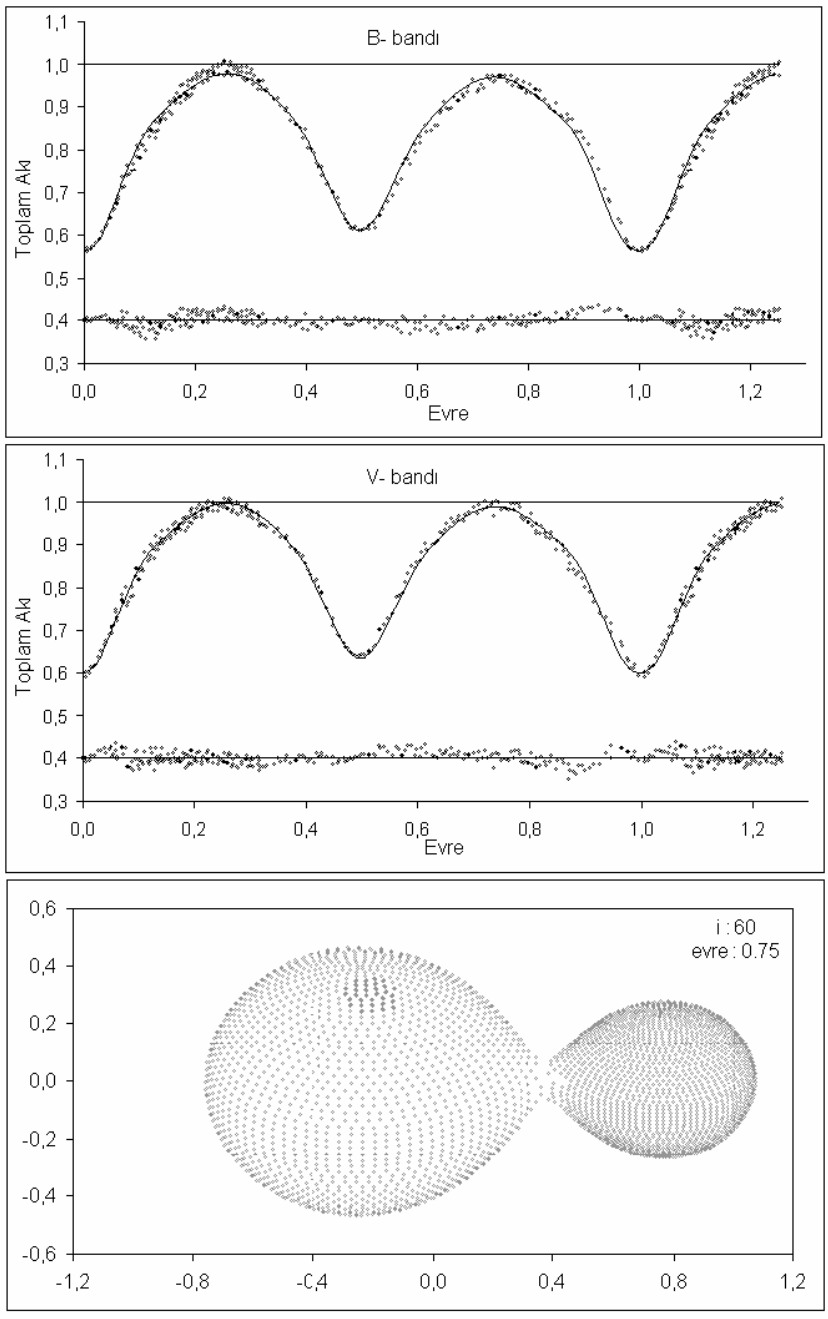
Parametre	Değerler
i (°)	77.39 ± 1.08
q	3.183 ± 0.04
T_h	5850
T_c	5598 ± 39
Ω_h	6.7934 ± 0.0227
Ωc	6.7934 ± 0.027
A_h	0.500
A_c	0.677
g_h	0.320
g_c	0.234
$\lambda_{c,1}$(°)	5.12
$\phi_{c,1}$ (°)	0.20
$\theta_{c,1}$ (°)	0.25
$TF_{c,1}$	0.80
f (%)	7
a [$R_\odot$]	2.46
M_h [$M_\odot$]	0.344
M_c [$M_\odot$]	1.093
M^h_{bol}	5.46
M^c_{bol}	4.52
$\log g_h$	4.26
$\log g_c$	4.31
R_h [$R_\odot$]	0.72
R_c [$R_\odot$]	1.21
(L_h+L_c)	B 0.942 ± 0.008 V 0.954 ± 0.014 U 0.933 ± 0.012
x_1	0.833
x_2	0.842
y_1	0.156
y_2	0.113
$\Sigma(O-C)^2$	0.0048

Çizelge 7.8 İkinci model (soğuk lekeli) için sistemin büyük kütleli bileşeninde yer alan soğuk leke bölgesine ilişkin yıllık değerler

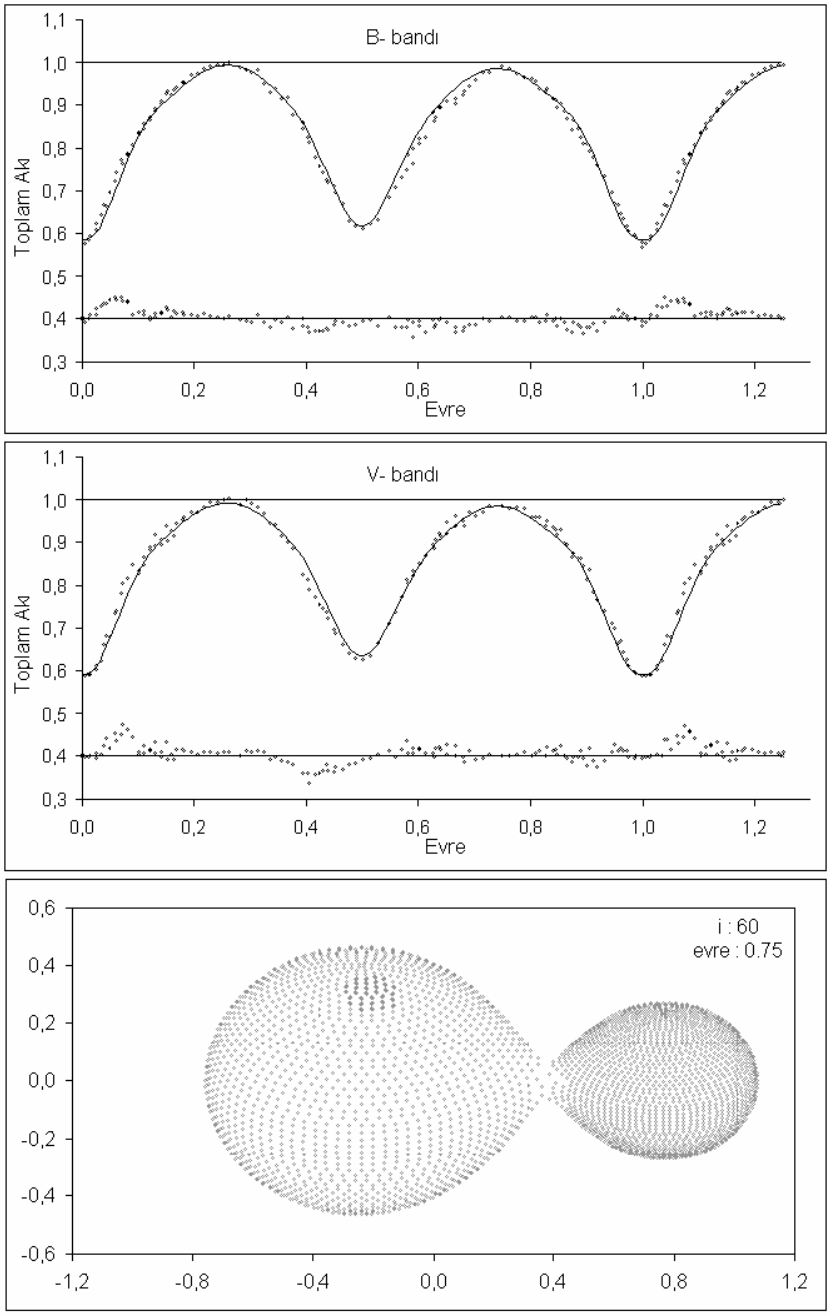
Yıllar/Parametreler	1989	1990	1991	1992	1993	2003	2004
Enlem	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.45
Boylam	1.00	4.92	4.92	5.25	5.25	5.25	5.12
Açısal Çap	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.30
Sıcaklık (Tleke/Tfot.)	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80



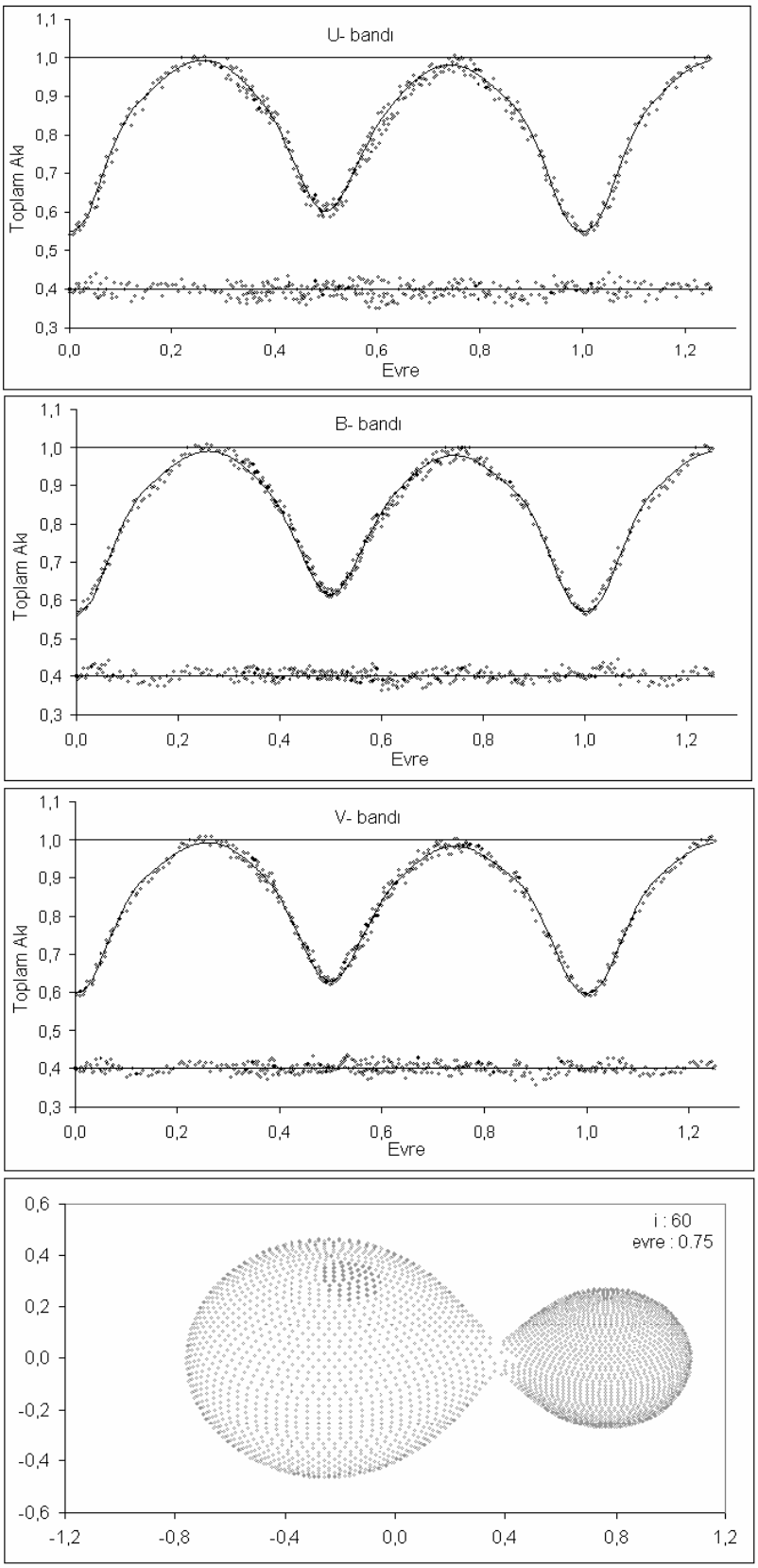
Şekil 7.13 1989 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.25 evresindeki geometrisi



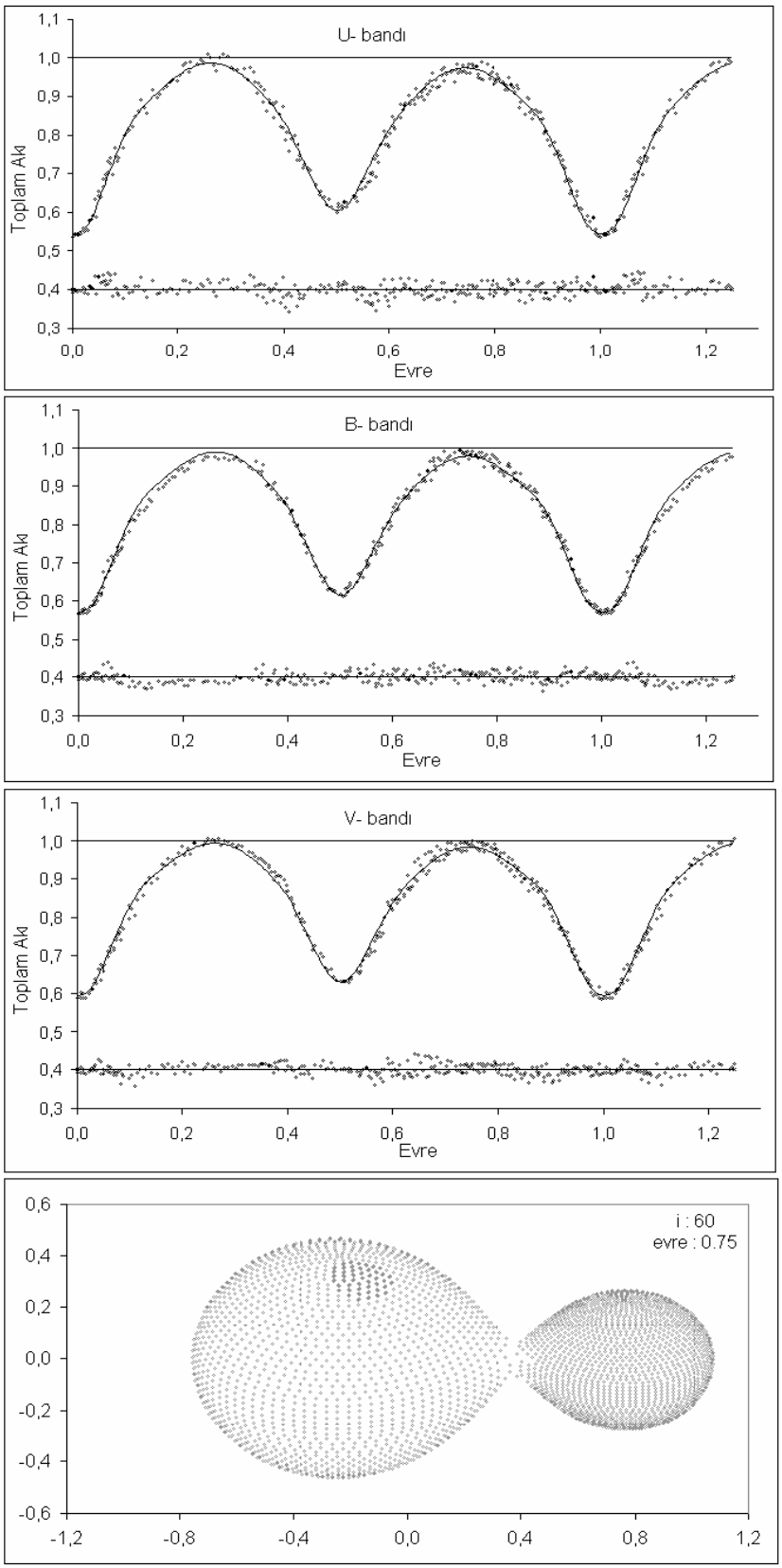
Şekil 7.14 1990 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi



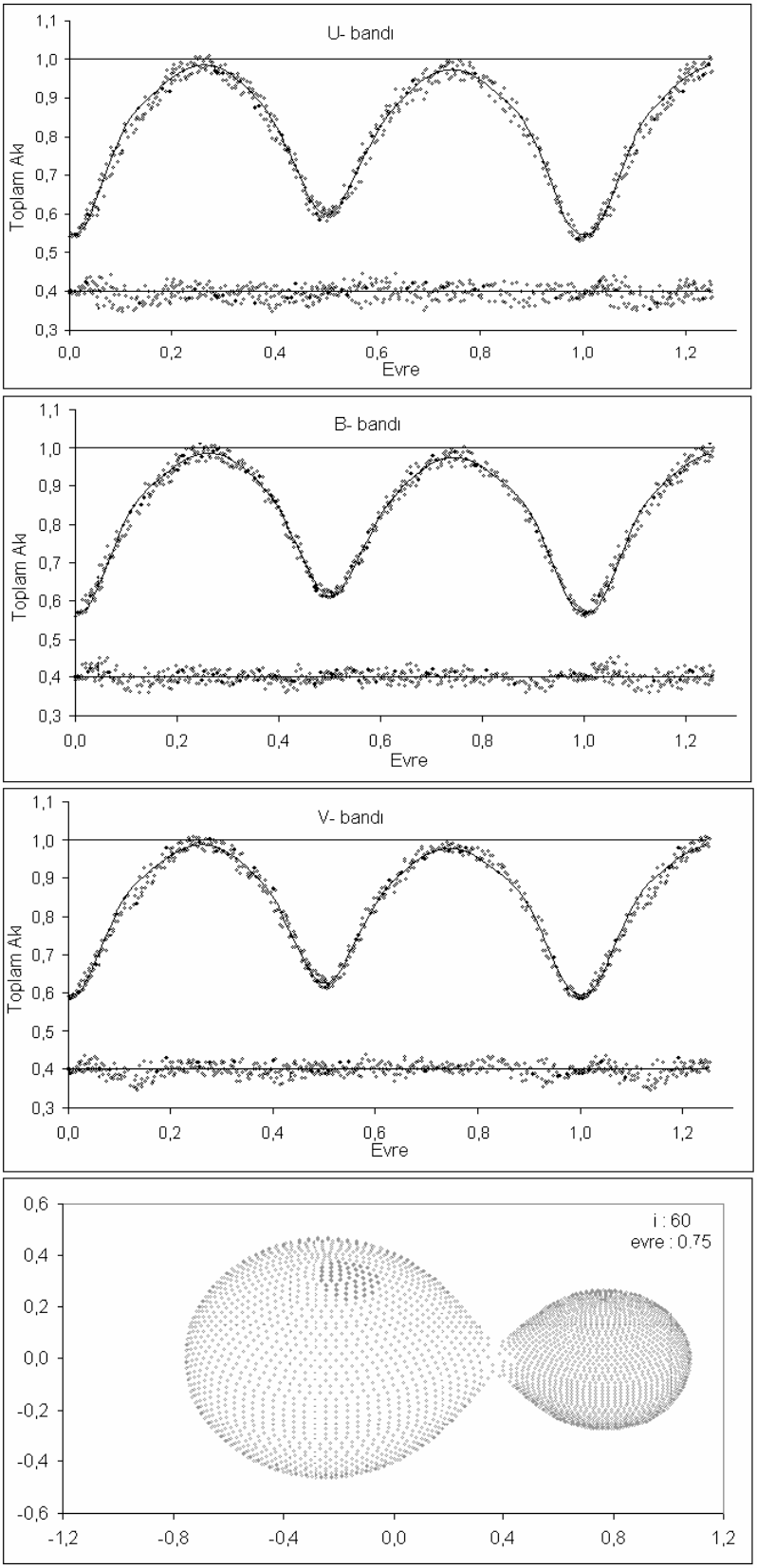
Şekil 7.15 1991 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi



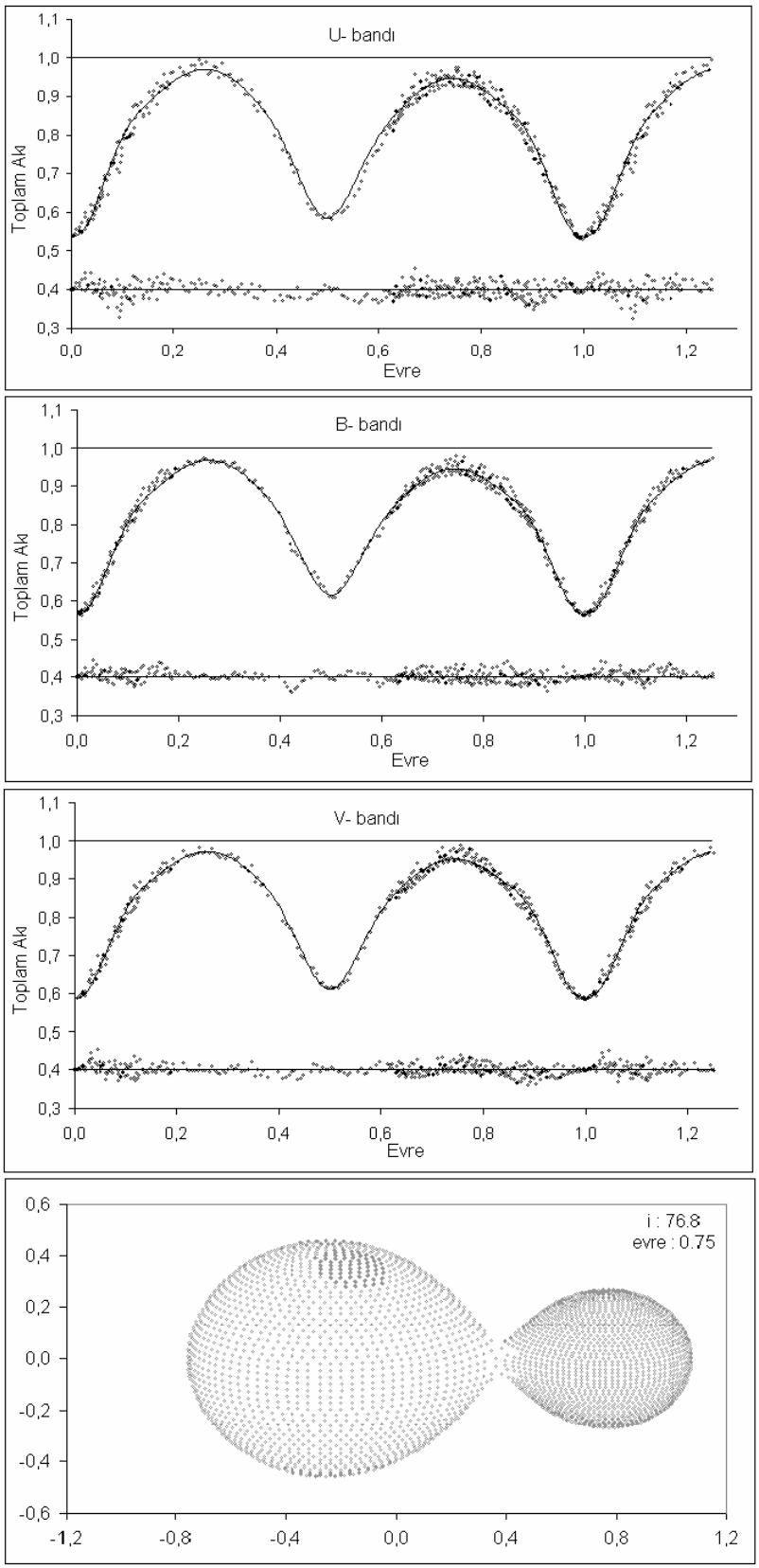
Şekil 7.16 1992 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi



Şekil 7.17 1993 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi



Şekil 7.18 2003 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi



Şekil 7.19 2004 yılına ait ışık eğrilerinin ikinci model (soğuk lekeli) için elde edilen çözümleri ve 0.75 evresindeki geometrisi

8 TARTIŞMA VE SONUÇ

U Peg'in AÜG'de elde edilen ışık eğrileri, Lu (1985) tarafından elde edilen radyal hız eğrisiyle eş zamanlı olarak analiz edildi. Işık eğrilerinin analizi boyunca Wilson-Devinney (WD-2004) bilgisayar kodlarıyla çalışan PHOEBE programı kullanıldı. Analizler, büyük kütleli bileşenin, yüzeyindeki leke bölgeleri nedeniyle küçük kütleli bileşenden 252 K daha soğuk olduğunu gösterdi. Işık eğrisi analizinin sonuçları, U Peg yıldız sisteminin oldukça evrimleşmiş (fill-out f = % 7) bir W-türü W UMa olduğunu ve birinci minimumda düşük kütleli, daha küçük ve daha parlak bileşeninin örtüldüğünü gösterdi. U Peg sisteminin mutlak parametreleri ışık eğrisi ve radyal hız eğrisi analiz sonuçlarının birleştirilmesiyle hesaplandı. Bununla birlikte sistemin uzaklığı 139.28 ± 23.13 pc olarak belirlendi. U Peg için yapılan O-C analizi sonucunda sistemin yörünge döneminin tekdüze (seküler) azalan bir karakterin yanısıra, çevrimsel bir değişim karakterine de sahip olduğu görüldü. Analiz süresince ışık elemanlarındaki kareli terimle temsil edilen seküler karakter yörünge dönemindeki azalmaya karşılık gelmektedir ve $dP/dt = -7.82 \times 10^{-8}$ gün/yıl mertebesinde bir dönem azalmasını işaret etmektedir. Bu durum sistemde bir kütle aktarımı veya kaybı olduğunu göstermektedir. Bu dönem azalışının korunumlu bir kütle aktarımından kaynaklandığı varsayıldığında, büyük kütleli bileşenden düşük kütleli bileşene doğru $dM/dt = -3.93 \times 10^{-8}$ $M_{\odot}$/yıl mertebesinde bir kütle aktarımının gerçekleştiği hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak kütle oranındaki değişim miktarı Yang and Liu (2003) tarafından verilen formülasyonla hesaplanabilir. U Peg için kütle aktarımı kaynaklı kütle oranındaki değişim miktarı $dq/dt = 4.55 \times 10^{-8}$ yıl^{-1} olarak hesaplanmıştır.

O-C diyagramında izlenen çevrimsel değişimin üçüncü bir cisimden kaynaklandığı varsayımı altında üçüncü cismin yörünge dönemi 75.95 ± 0.11 yıl olarak bulunmuştur. Üçüncü cismin, çiftin kütle merkezine olan uzaklığı ise 1.779 ± 0.031 AB'dir. Bu değerler sonucunda varsayımsal üçüncü cisim için kütle fonksiyonu $f(m_3) = 0.00096 \pm 0.00005$ $M_{\odot}$ olarak hesaplanmaktadır. Üçüncü cismin yörüngesinin örten çiftin yörüngesiyle aynı düzlemde ($i = i' = 77^{o}.51$) olduğu kabul edildiğinde ise üçüncü cismin kütlesi 0.138 ± 0.003 $M_{\odot}$ olarak elde edilmektedir. Kepler'in üçüncü yasasına göre

üçüncü cismin yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu 23.02 ± 0.02 AB'dir. Sistemin uzaklığı d = 139.3 parsek (ESA, 1997) olarak alındığında, örten çiftin üçüncü cisimden olan en büyük açısal ayrıklığı 0".158 ± 0".032 olarak belirlenmektedir. Üçüncü cismin bolometrik ışınım gücü ise 0.0019 ± 0.0001 $L_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır ve üçlü sistemin toplam ışığının ancak % 0.1'ini oluşturmaktadır. Demircan ve Kahraman (1991) tarafından anakol yıldızları için verilen kütle-ışınım gücü bağıntısından yararlanılarak üçüncü cismin mutlak bolometrik parlaklığı ise $M_{bol} = 11^{m}.23 \pm 0.04$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre eğer gerçekten böyle bir ilave cisim mevcutsa, birçok gözlemsel teknik için algılama sınırları dışındadır ve M tayf türünden bir cüce yıldız olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte sistemin dönem analizine ilişkin Borkovits and Hegedüs (2005) tarafından yapılan bir önceki çalışmada (şekil 6.30) literatürdeki tüm verilerin kullanılmamasından dolayı varsayımsal üçüncü cismin yörünge dış merkezliği yaklaşık olarak 0.4 bulunmuştur. Ancak bizim çalışmamızda bugüne kadar yayımlanmış tüm minimum zamanları kullanılmış ve 2005 yılından sonraki verilerde ilave edildiğinden dolayı (şekil 7.1.b) varsayımsal üçüncü cisim yörüngesine ilişkin dış merkezlik 0.01 olarak elde edilmiştir. Bu da üçüncü cismin neredeyse dairesel bir yörünge çizdiğini göstermektedir. Ayrıca hesaplanan yörünge dönemi önceki çalışmalardan 10 yıl daha kısadır.

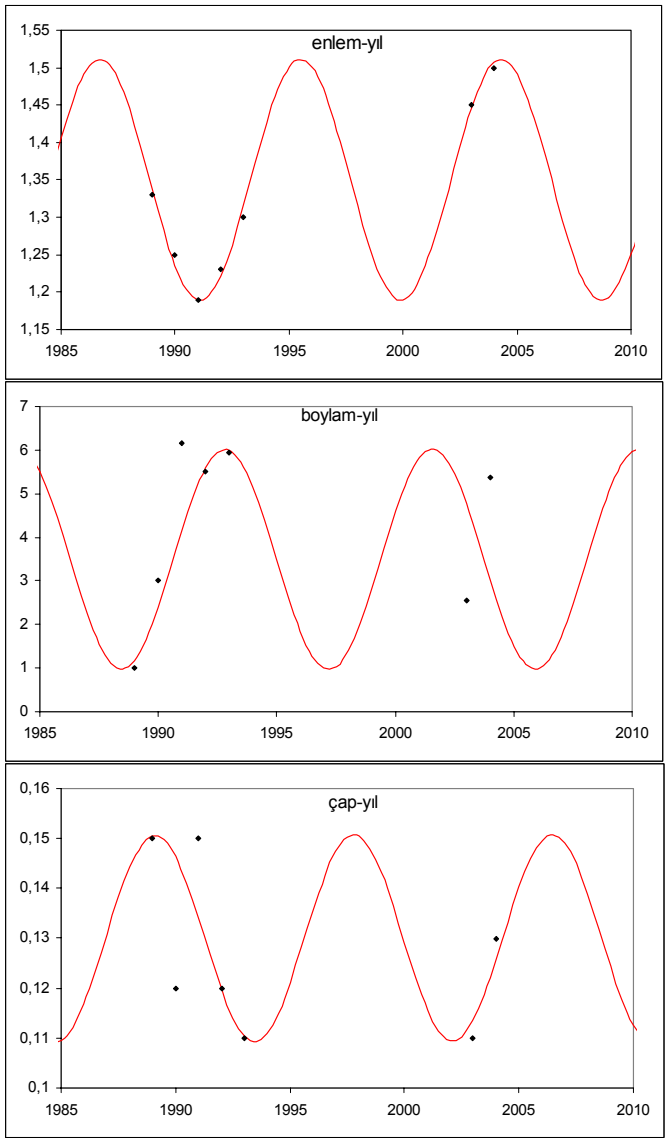
Özellikle W-alt türleri olmak üzere W UMa türü değen çiftlerin manyetik olarak oldukça aktif oldukları bilinmektedir ki bu aktivitelere, yıldız lekeleri, kromosferik salmalar, koronal x-ışın salmaları örnek olarak gösterilebilir. Genellikle bu aktivitelerde daha büyük kütleli soğuk bileşen daha baskındır. Applegate (1992), yakın bir çift sistemdeki bileşenin aktivite seviyesindeki herhangi bir çevrimsel değişikliğin, sistemin yörünge döneminde de çevrimsel değişimlere neden olduğunu göstermiştir. Manyetik aktivite kökenli dönem değişimi olgusu, yakın çift sistemlerde var olan dönme-dolanma kilitlenmesi olgusuna dayandırılmaktadır. Başka bir değişle bir çift yıldızın bileşenlerinin manyetik aktiviteleri nedeniyle eksenleri etrafındaki dönme düzeninde oluşan değişimler dönme-dolanma kilitlenmesi nedeniyle yörünge dönemine yansıyacaktır. Bu nedenle U Peg'in O-C diyagramında gözlenen değişimdeki kütle aktarımı ve olası bir üçüncü cisimden arta kalan çevrimsel değişime (şekil 7.1.c) alternatif bir yaklaşım olarak

manyetik aktivite etkisi düşünülmüştür. Böyle bir çevrimsel yapının varlığından, Zhai et. al. (1984) da bahsetmiştir. Applegate (1992)'in kuramsal yaklaşımı kullanılarak aktivitenin; çevrim süresi yaklaşık olarak $P_{çev} = 16.5$ yıl, çevrimsel dönem değişiminin genliği $\Delta P = 0.101$ s çevrim^{-1}, yörünge döneminde gözlenen çevrimsel etkiyi oluşturacak açısal momentum transfer miktarı $\Delta J = -4.50 \times 10^{46}$ g cm^2 s^{-1}, açısal momentum transferi için gerekli olan enerji $\Delta E = 3.00 \times 10^{40}$ erg, ışınım gücü değişimi $\Delta L = 1.81 \times 10^{32}$ erg s^{-1}, birinci bileşenin parlaklık değişimi $\Delta m = 0^m.023$ ve son olarak baş bileşenin yüzeyindeki manyetik alan B = 10.8 kG olarak hesaplandı.

Manyetik aktiviteye ilişkin O-C diyagramındaki düşük genlikli ve kısa dönemli çevrimsel yapıyı (şekil 7.1.c) daha ayrıntılı incelendiğinde; kırmızı sinüs eğrisiyle çizilmiş 1925 – 1975 yılları arasında kalan verilerin 19.3 ± 0.2 yıllık bir dönemlilik gösterdiği hesaplanmıştır. Bu yapının, oldukça yüksek kalitede veriler olmasına rağmen son 20 yılda aynı çevrim süresini göstermediği ve zaman içerisinde hem çevrim süresinde hemde genliğinde bir azalma olduğu görülmüştür. Bu azalmayı destekleyen diğer önemli kanıt 1925 yılından önceki verilerde dikkat çekmektedir. 1975 yılından sonraki veriler 8.0 ± 0.1 yıllık değişim göstermesine rağmen, 1925 yılından önceki veriler 22.3 ± 0.3 yıllık bir dönemlilik göstermektedir. Genlikte ise 1895 – 2007 yılları arasındaki bir azalma olmuştur. Şekil 7.1.c'de de görülebileceği gibi sinüs eğrisinin ortalama genliği A = $0^g.003$ gün kadardır. Bu değer ccd ve fotoelektrik minimum zamanlarının saçılma değerinden daha düşüktür. Bu yüzden bu dönemliliğin gerçek bir dönem değişimi olduğu tartışılabilir.

Kromosferik olarak aktif yıldızlara ve Güneş'e bakıldığında, çevrim süresinin ve genliklerin çevrimden çevrime değişiklik gösterebildiği bilinmektedir. Bu yüzden O-C diagramlarındaki yansımaları da yarı dönemli bir yapıda olmalıdır. Eğer bizim bulduğumuz şekil 7.1.c'de ki yapı gerçek bir değişimse; O-C diagramındaki yarı dönemli yapıya ilişkin tek açıklama, U Peg'in soğuk bileşeninin manyetik aktivite çevrimi gösterdiği ve bunun düzgün dönemli bir yapı yerine yarı dönemli çevrimsel bir yapıya sahip olduğudur. Bunun dışında U Peg sisteminde manyetik bir çevrim olduğunu

doğrulamak amacıyla 1989-2004 yılları arasında AÜG'de alınmış olan ışık eğrilerine etki eden ve çizelge 7.7'de verilen leke bölgelerine ilişkin enlem, boylam ve açısal çap değerlerinin yıllara göre değişimleri takip edildi ve şekil 7.20'de verildi. Sonuç olarak her üç parametrenin yaklaşık 8.5 yıllık bir dönemliliğe sahip olduğu görüldü. Elde edilen bu sonuç, şekil 7.1.c'de 1975 yılından sonraki verilere yapılan sinüs fitinin dönemine oldukça yakın bir değerdir. Buradan da manyetik çevrim etkisinin kendisini, sistemin hem ışık eğrisinde hem de yörünge döneminde gösterdiğini söyleyebiliriz. Bu özellikleri açısından U Pegasi sistemine, hem fotometrik hem de tayfsal olarak uzun süreli takip edilmeye değer sistemler arasında yer verilmelidir.



Şekil 7.20 Leke bölgelerine ait enlem, boylam ve çap değerlerinin yıllara göre değişimi

Çizelge 7.9 2007 yılına kadar yayımlanmış minimum zamanları

No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth
1	1	13094,6280		2	vis
2	2	13120,5320		2	vis
3	2	13121,4990		1	vis
4	2	13129,5490		2	vis
5	2	13136,4640		1	vis
6	2	13405,7330		2	vis
7	2	13450,5360		1	vis
8	2	13452,6190		2	vis
9	2	13461,5830		2	vis
10	2	13481,6260		1	vis
11	2	13485,7460		1	vis
12	2	13486,4980		1	vis
13	2	13488,5690		2	vis
14	2	13501,4900		1	vis
15	3	13481,6500		1	vis
16	3	13488,5460		2	vis
17	3	13502,5840		1	vis
18	4	13097,8900		1	vis
19	4	13485,5700		2	vis
20	4	13485,7690		1	vis
21	4	13486,5020		1	vis
22	4	13488,5660		2	vis
23	4	13490,6150		1	vis
24	4	13491,5720		2	vis
25	4	13491,7530		1	vis
26	4	13492,6910		2	vis
27	4	13494,5490		2	vis
28	4	13495,4830		1	vis
29	4	13501,4900		1	vis
30	4	13502,6180		1	vis
31	4	13503,5460		2	vis
32	5	13509,5330		2	vis
33	5	13514,5810		1	vis
34	5	13525,4940		1	vis
35	5	13536,5580		2	vis
36	5	13542,5330		2	vis
37	5	13543,4800		1	vis
38	5	13547,5790		1	vis
39	6	13566,3230		1	vis
40	6	13570,4200		1	vis
41	7	13814,6290		2	vis
42	7	13829,6100		2	vis
43	7	13830,5560		1	vis
44	7	13833,5830		1	vis
45	7	13864,4780		2	vis
46	7	13899,7440		2	vis
47	7	14224,6440		2	vis
48	7	14902,8010		1	vis
49	7	14907,6780		1	vis
50	7	14921,5570		1	vis
51	7	14922,6630		1	vis
52	7	14926,6010		2	vis
53	7	14928,5720		2	vis
54	8	15021,2370		1	vis
55	9	20072,5940		1	vis
56	10	20756,7510		2	ptg
57	10	21130,5980		1	ptg
58	11	23735,3396		1	ptg
59	12	25113,6075		2	vis
60	12	25236,3600		1	vis
61	12	27042,2500		2	vis
62	12	27342,4550		2	vis
63	12	27356,3190		2	vis
64	12	27369,2350		1	vis
65	12	27388,3550		1	vis
66	12	27398,4700		1	vis
67	13	26949,4960		1	vis
68	14	27700,5420		1	vis
69	14	27710,2920		1	vis
70	14	27713,2860		1	vis
71	14	27717,4020		1	vis
72	14	27737,2680		1	vis
73	14	27738,4010		1	vis
74	14	27744,3920		1	vis
75	14	27764,2580		1	vis
76	14	27806,2370		1	vis
77	14	27827,2200		1	vis
78	15	28485,3460		1	vis
79	15	28495,4580		1	vis
80	15	28503,3440		1	vis
81	15	28517,2030		1	vis
82	15	28520,1970		1	vis
83	15	28521,3120		1	vis
84	15	28532,1880		1	vis
85	15	28533,3130		1	vis
86	15	28557,3040		1	vis
87	15	28566,2930		1	vis
88	15	28569,2930		1	vis
89	16	28858,6360		1	ptg
90	17	29522,7360		1	ptg

No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth	No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth
91	17	30260,6790		1	ptg	136	25	35313,4850		1	vis
92	17	30260,8660		2	ptg	137	25	35372,3340		1	vis
93	17	15400,1410		1	ptg	138	25	35372,3350		1	vis
94	17	16880,1710		1	ptg	139	26	35746,3650	0,0030	1	vis
95	17	18400,3000		1	ptg	140	26	35748,4210	0,0020	2	vis
96	17	20050,1000		1	ptg	141	26	35779,3380	0,0020	1	vis
97	17	22050,3140		1	ptg	142	27	36481,6864		1	pe
98	17	24250,2910		1	ptg	143	27	36483,7490		2	pe
99	17	26299,9760		1	ptg	144	27	36484,6839		1	pe
100	17	27730,1570		1	ptg	145	27	36508,6702		1	pe
101	17	28820,0200		1	ptg	146	27	36511,6688		1	pe
102	17	29870,1590		1	ptg	147	27	36515,6057		2	pe
103	18	32892,7730		1	vis	148	28	36508,4851		2	pe
104	18	33155,4970		1	vis	149	29	37173,5306		1	pe
105	18	33184,3520		1	vis	150	29	37192,4568		2	pe
106	18	33187,3600		1	vis	151	30	37169,4150	0,0030	1	vis
107	18	33211,3350		1	vis	152	30	37235,3840	0,0180	1	vis
108	18	33505,5500		1	vis	153	30	37253,3720	0,0270	1	vis
109	18	33540,4040		1	vis	154	30	37559,5430	0,0020	1	vis
110	18	33890,4480		1	vis	155	30	37559,5450	0,0020	1	vis
111	19	33182,8561	0,0004	1	pe	156	30	37575,2980	0,0020	1	vis
112	19	33190,7262	0,0004	1	pe	157	30	37575,3050	0,0030	1	vis
113	19	33190,9132	0,0004	2	pe	158	30	37584,2650	0,0020	1	vis
114	19	33202,7181	0,0004	1	pe	159	30	37875,4860	0,0030	1	vis
115	19	33230,6408	0,0004	2	pe	160	30	37875,4870	0,0030	1	vis
116	19	33244,5075	0,0004	2	pe	161	30	37934,3430	0,0030	1	vis
117	19	33255,5630	0,0004	1	pe	162	30	37940,3340	0,0030	1	vis
118	19	33558,7624	0,0004	1	pe	163	30	37940,3440	0,0030	1	vis
119	19	33561,7592	0,0004	1	pe	164	30	37940,3560	0,0040	1	vis
120	20	33895,5080			vis	165	30	37940,3560	0,0050	1	vis
121	21	33924,5497	0,0002	1	pe	166	30	37947,4530	0,0060	1	vis
122	21	34303,4545	0,0001	1	pe	167	30	37956,4560	0,0040	1	vis
123	21	34685,3586	0,0003	1	pe	168	30	37958,3330	0,0030	1	vis
124	22	33998,9448		2	pe	169	30	38233,4200	0,0080	1	vis
125	22	34334,9383		1	pe	170	30	38287,3930	0,0050	1	vis
126	22	34387,9733		2	pe	171	30	38287,3990	0,0030	1	vis
127	23	34603,4550		2	vis	172	30	38311,3680	0,0030	1	vis
128	23	34604,3890		1	vis	173	30	38398,3300	0,0060	1	vis
129	24	34635,5126		1	pe	174	30	38589,4590	0,0040	1	vis
130	24	34988,5578		1	pe	175	30	38589,4660	0,0040	1	vis
131	24	34707,2857		2	pe	176	30	38589,4680	0,0050	1	vis
132	25	35304,4870		1	vis	177	30	38589,4720	0,0040	1	vis
133	25	35304,4900		1	vis	178	30	38613,4550	0,0020	1	vis
134	25	35304,4930		1	vis	179	30	38640,4240	0,0070	1	vis
135	25	35310,4850		1	vis	180	30	38640,4260	0,0100	1	vis

No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth
181	31	37559,5600		1	vis
182	31	37559,5650		1	vis
183	31	37559,5680		1	vis
184	31	37562,5560		1	vis
185	31	37565,5650		1	vis
186	31	37565,5660		1	vis
187	31	37579,4090		1	vis
188	31	37579,4140		1	vis
189	31	37579,4170		1	vis
190	31	37582,4010		1	vis
191	31	37582,4090		1	vis
192	31	37582,4100		1	vis
193	31	37582,4150		1	vis
194	31	37582,4170		1	vis
195	31	37933,4010		2	vis
196	31	37933,4010		2	vis
197	31	37934,3380		1	vis
198	31	37934,3400		1	vis
199	31	37944,4460		1	vis
200	31	37947,4530		1	vis
201	31	37947,4550		1	vis
202	32	37567,4380		1	vis
203	32	37934,3330		1	vis
204	32	38963,4900		1	vis
205	32	38972,4850		1	vis
206	32	38987,4830		1	vis
207	32	38987,4830		1	vis
208	32	38999,4670		1	vis
209	32	39008,4710		1	vis
210	32	39029,4530		1	vis
211	32	39029,4600		1	vis
212	32	39029,4700		1	vis
213	32	39040,3190		1	vis
214	32	39056,4310		1	vis
215	32	39058,3150		1	vis
216	32	39061,3000		1	vis
217	33	37576,4220		1	vis
218	34	37636,0099		1	pe
219	35	38689,7081	0,0002	2	pe
220	35	38691,7693	0,0002	1	pe
221	35	38692,7072	0,0002	2	pe
222	36	38703,3880		1	pe
223	36	38998,3510		1	vis
224	37	38963,4850	0,0050	1	vis
225	37	38978,4850	0,0030	1	vis
226	37	39064,3130	0,0030	1	vis
227	37	39064,3150	0,0040	1	vis
228	37	39124,2620	0,0030	1	vis
229	37	39124,2640	0,0030	1	vis
230	38	39334,5320		1	vis
231	38	39354,3910		1	vis
232	38	39354,3980		1	vis
233	38	39743,4150		1	vis
234	39	39351,4070		1	vis
235	39	39381,3680		1	vis
236	39	39388,4920		1	vis
237	39	39734,4300		1	vis
238	39	40443,5040		1	vis
239	39	40443,5040		1	vis
240	39	40470,4850		1	vis
241	39	40470,4860		1	vis
242	39	40470,4910		1	vis
243	39	40493,3550		1	vis
244	40	39387,3720		1	vis
245	40	39406,2910		2	vis
246	40	39406,2990		2	vis
247	40	39406,3050		2	vis
248	41	39463,2610		2	vis
249	41	39475,2590		2	vis
250	41	39498,3050		1	vis
251	42	39688,4930		2	vis
252	42	39690,5680		1	vis
253	42	39702,5530		1	vis
254	42	39718,5130		2	vis
255	42	39729,5370		1	vis
256	43	39876,2770		2	vis
257	44	40039,4880		1	vis
258	45	40088,3980		2	vis
259	45	40088,4070		2	vis
260	45	40119,3460		1	vis
261	45	40119,4950		2	vis
262	46	40096,4534	-0,0044	1	pe
263	46	40205,3280	-0,0040	2	pe
264	47	40125,2970		1	vis
265	47	40142,3410		2	vis
266	47	40147,4010		1	vis
267	47	40157,3320		2	vis
268	47	40180,2180		2	vis
269	47	40186,2260		2	vis
270	47	40206,2650		1	pe

No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth	No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth
271	48	40128,6810		1	vis	316	59	41241,4090		1	vis
272	48	40145,5510		1	vis	317	59	41244,4080		1	vis
273	48	40147,6170		2	vis	318	59	41245,7330		2	vis
274	48	40510,5930		1	vis	319	59	41248,3480		2	vis
275	48	40513,5850		1	vis	320	59	41249,4800		2	vis
276	48	40529,7000		1	vis	321	59	41253,4050		1	vis
277	48	40554,8000		1	vis	322	59	41276,2620		1	vis
278	48	40566,6230		2	vis	323	59	41324,6190		1	vis
279	49	40206,2600	0,0040	1	vis	324	59	41604,3950		2	vis
280	50	40483,4100		2	vis	325	59	41605,3200		1	vis
281	50	41566,3380		1	vis	326	59	41623,3110		1	vis
282	50	41599,3240		1	vis	327	60	41215,5570		1	vis
283	51	40511,3380		1	pe	328	61	41246,2850		1	vis
284	51	40835,3337		2	pe	329	61	41248,5240		1	vis
285	51	40867,3784		1	pe	330	61	41291,2430		1	vis
286	52	40542,2600		2	vis	331	62	41985,5480		2	vis
287	53	40826,9010		1	pe	332	63	41989,2800		2	vis
288	53	40827,8396		2	pe	333	63	42004,2720		2	vis
289	53	40831,7729		1	pe	334	64	42270,7730		2	vis
290	53	40832,7122		2	pe	335	64	42341,5900		2	vis
291	53	40837,7692		1	pe	336	64	42362,7660		1	vis
292	53	40888,7399		1	pe	337	64	42362,7710		1	vis
293	53	40891,7381		1	pe	338	64	42363,7030		2	vis
294	53	40892,6763		2	pe	339	64	42365,6060		2	vis
295	53	40893,8008		2	pe	340	64	42367,6350		1	vis
296	54	40831,4001		1	pe	341	64	42370,6200		1	vis
297	54	40843,3929		1	pe	342	64	42374,5570		2	vis
298	55	40849,3920		1	vis	343	64	42376,6250		1	vis
299	55	40850,3250		2	vis	344	64	42377,5730		2	vis
300	55	40852,3910		1	vis	345	64	42383,5610		2	vis
301	55	40853,3240		2	vis	346	64	42386,5420		2	vis
302	55	40856,3230		2	vis	347	64	42387,6670		2	vis
303	55	40858,3710		1	vis	348	64	42391,6190		1	vis
304	55	40923,6000		1	vis	349	64	42392,5460		2	vis
305	56	40859,3280		2	vis	350	64	42401,5630		2	vis
306	56	40859,3290		2	vis	351	64	42404,5480		2	vis
307	56	40877,4920		1	vis	352	64	42407,5430		2	vis
308	56	41249,2770		1	vis	353	64	42422,5280		2	vis
309	57	41176,3930		2	vis	354	65	42272,4230	0,0080	1	vis
310	58	41185,3804		2	pe	355	65	42302,4200	0,0040	1	vis
311	58	41198,3110		1	pe	356	65	42631,4740	0,0030	1	vis
312	59	41212,3760		2	vis	357	66	42291,5430		1	pe
313	59	41213,4880		2	vis	358	66	44185,3093		1	pe
314	59	41234,6720		1	vis	359	67	42303,3490		2	vis
315	59	41236,3470		2	vis	360	68	42347,3879		1	pe

No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth	No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth
361	68	42741,2810		1	pe	406	77	43100,6980		1	vis
362	69	42359,3980		1	ptg	407	77	43373,7210		2	vis
363	70	42363,3180		2	vis	408	77	43423,7510		1	vis
364	70	42369,3130		2	vis	409	77	43436,6960		2	vis
365	71	42402,2900		2	vis	410	77	43784,6610		1	vis
366	71	42403,2200		1	vis	411	77	43798,7230		2	vis
367	71	42403,2400		1	vis	412	77	43815,5830		2	vis
368	71	42405,2860		2	vis	413	77	43883,6030		1	vis
369	72	42414,6510		2	vis	414	77	44127,5870		1	vis
370	72	42427,5900		1	vis	415	77	44128,7120		1	vis
371	72	42581,8160		2	vis	416	77	44160,7650		2	vis
372	72	42599,8120		2	vis	417	77	44217,5380		1	vis
373	72	42618,7460		1	vis	418	77	44525,6110		1	vis
374	72	42618,7550		1	vis	419	77	45235,6390		2	vis
375	72	42663,7120		1	vis	420	77	45959,7070		2	vis
376	72	42664,6360		2	vis	421	77	46406,6260		1	vis
377	72	42665,7560		2	vis	422	77	46445,5960		1	vis
378	72	42668,7580		2	vis	423	77	46659,7880		2	vis
379	72	42669,6980		1	vis	424	77	46682,6510		2	vis
380	72	42682,6490		2	vis	425	77	46736,6180		2	vis
381	72	42688,6320		2	vis	426	77	46759,6630		1	vis
382	72	42745,5930		2	vis	427	77	46769,5980		2	vis
383	72	42768,6460		1	vis	428	77	46779,5420		1	vis
384	73	42417,2740		2	vis	429	77	46793,5870		2	vis
385	74	42653,4020		2	vis	430	77	46793,5900		2	vis
386	74	42663,5080		2	vis	431	77	47062,6840		2	vis
387	74	43103,3210		1	vis	432	77	47084,5980		1	vis
388	74	43428,4410		2	vis	433	77	47465,3810		1	vis
389	74	43433,3090		2	vis	434	77	47477,5490		2	vis
390	74	43434,4320		2	vis	435	77	47481,3150		2	vis
391	74	43435,3710		1	vis	436	77	47524,6030		1	vis
392	74	43776,4140		1	vis	437	77	47847,6360		1	pe
393	74	43820,2740		1	vis	438	77	47851,5830		2	vis
394	75	42714,3090		1	ptg	439	77	48129,6690		2	vis
395	75	43012,4450		2	ptg	440	77	48135,8560		1	vis
396	75	43015,4350		2	ptg	441	77	48154,5940		1	vis
397	76	42777,2440		1	vis	442	77	48210,6260		2	vis
398	77	42985,8270		2	vis	443	77	48237,6020		2	vis
399	77	42986,7570		1	vis	444	77	48506,6990		2	vis
400	77	43008,6910		2	vis	445	77	48537,6200		1	vis
401	77	43017,8600		1	vis	446	77	48601,5250		2	vis
402	77	43019,7540		1	vis	447	78	42990,5030	0,0080	1	vis
403	77	43035,8550		1	vis	448	78	42996,5030	0,0060	1	vis
404	77	43039,7980		2	vis	449	78	43076,3330	0,0080	1	vis
405	77	43045,6070		1	vis	450	79	43012,4380		2	vis

No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth	No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth
451	79	43142,2920		1	vis	596	108	46705,3150		1	vis
452	80	43020,6790		2	vis	597	108	46717,3130		1	vis
453	80	43021,6134		1	pe	598	108	46733,2660		2	vis
454	80	43024,6120		1	vis	599	109	47006,4590	0,0020	2	vis
455	81	43078,4030		2	vis	600	109	47006,4660	0,0020	2	vis
456	82	43406,5200		1	ptg	601	109	47029,5280	0,0040	1	vis
457	83	43731,4550		1	vis	602	109	47030,4523	0,0030	2	vis
458	83	43752,4460		1	vis	603	109	47031,3830	0,0030	1	vis
459	83	43752,4550		1	vis	604	109	47031,3860	0,0010	1	vis
460	83	43791,4190		1	vis	605	109	47031,3900	0,0020	1	vis
461	83	44102,4920		1	vis	606	109	47083,2950	0,0030	2	vis
462	83	44467,5110		1	vis	607	109	47387,4280	0,0010	1	vis
463	83	44467,5240		1	vis	608	109	47387,4400	1,0000	1	vis
464	83	44485,5050		1	vis	609	109	47470,4250	0,0040	2	vis
465	83	44485,5070		1	vis	610	109	47470,4250	0,0020	2	vis
466	83	44487,3860		1	vis	611	109	47526,2710	0,0030	2	vis
467	83	44487,3870		1	vis	612	109	47526,2720	0,0030	2	vis
468	83	44491,4930		1	vis	613	109	47529,2730	0,0030	2	vis
469	83	44491,4990		1	vis	614	109	47529,2740	0,0050	2	vis
470	84	43785,0430	0,0000	1	pe	615	110	47070,3528		1	pe
471	84	43785,2313	0,0001	2	pe	616	111	47094,3430		1	vis
472	85	43789,5350		1	pe	617	112	47106,3520		1	vis
473	86	43789,3650		2	vis	618	112	47145,3200		1	vis
474	86	43790,3030		1	vis	619	113	47449,4440		2	vis
475	87	44102,4850		1	vis	620	113	47490,2900		2	vis
476	87	44102,4890		1	vis	621	114	47494,3640		2	vis
477	87	44104,3670		1	vis	622	115	47771,3960		2	vis
478	87	44104,3690		1	vis	623	115	47849,3285		2	pe
479	88	44116,3530		1	vis	624	115	47850,2670		1	vis
480	89	44122,3580		1	vis	625	115	47853,2890		1	vis
481	89	44134,3510		1	vis	626	115	47855,3470		2	vis
482	89	44143,3450		1	vis	627	115	47856,2680		1	vis
483	89	44155,3350		1	vis	628	115	47862,2660		1	vis
484	89	44156,2920		2	vis	629	115	47886,2540		1	vis
485	89	44186,2520		2	vis	630	115	47904,2370		1	vis
486	89	44207,2350		2	vis	631	116	47776,4470		1	vis
487	90	44212,3020		1	vis	632	117	47833,7754		1	pe
488	91	44440,5390		1	vis	633	117	47834,7121		2	pe
489	91	44445,4120		1	vis	634	118	47826,2870		1	pe
490	91	44466,3840		1	vis	635	119	48107,5480		2	ccd
491	92	44469,3858	0,0008	1	pe	636	120	48148,3860		2	vis
492	92	44490,3786	0,0003	1	pe	637	120	48151,3910		2	vis
493	93	44500,4922		1	pe	638	120	48163,3910		2	vis
494	93	44501,4295		2	pe	639	120	48176,3180		1	vis
495	93	44502,5554		2	pe	640	120	48233,2810		1	vis

No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth	No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth
641	121	48233,2922	0,0020	1	pe	686	130	50008,4239	0,0003	2	pe
642	122	48508,3910		1	vis	687	131	50015,3610		1	vis
643	122	48602,2700		2	vis	688	132	50033,3456	0,0004	1	pe
644	123	48885,8000		1	vis	689	133	50034,2816		2	ccd
645	123	48888,5950		2	vis	690	134	50378,1407	0,0002	1	pe
646	123	48897,5870		2	vis	691	134	50383,0131	0,0002	1	pe
647	123	48954,5610		2	vis	692	134	50383,2010	0,0004	2	pe
648	123	49241,6520		2	vis	693	134	50383,9480	0,0005	2	pe
649	123	49270,8620		2	vis	694	134	50384,1370	0,0002	1	pe
650	123	49333,6510		1	vis	695	135	50684,6990		1	ccd
651	123	49625,6000		1	vis	696	135	50726,6940		1	vis
652	123	49637,6070		1	vis	697	135	50731,5650		1	vis
653	123	49679,5710		1	vis	698	135	50749,5630		1	vis
654	123	49925,7940		1	vis	699	135	50770,5390		1	vis
655	123	49955,7880		1	vis	700	135	50799,5910		2	vis
656	123	50000,5690		2	vis	701	135	51041,7010		2	vis
657	123	50003,5740		2	vis	702	135	51084,6080		1	vis
658	123	50301,6900		1	ccd	703	135	51099,5940		1	vis
659	123	50320,8100		1	vis	704	135	51130,5280		2	vis
660	123	50376,6600		1	vis	705	135	51141,5640		1	vis
661	123	50390,5220		1	vis	706	135	51156,5590		1	vis
662	123	50425,5560		2	vis	707	135	51837,5470		1	vis
663	123	50455,5500		2	vis	708	135	51870,5290		1	vis
664	124	48957,3670		1	vis	709	135	51898,6280		1	vis
665	125	49630,4670		1	vis	710	135	52252,6000		2	vis
666	125	50042,3440		1	vis	711	135	52253,5350		1	vis
667	125	50048,3540		1	vis	712	135	52268,3320		2	vis
668	125	50080,3830		2	vis	713	136	50368,3978	0,0003	1	ccd
669	126	49677,3079	0,0008	1	pe	714	136	50402,3150	0,0002	2	ccd
670	127	49949,4043		1	vis	715	137	50712,4420	0,0001	1	ccd
671	127	49949,4077		1	vis	716	138	50728,3701		2	pe
672	127	49952,4058		1	vis	717	138	50728,5567		1	pe
673	127	49952,4058		1	vis	718	138	50750,2953		1	pe
674	127	49952,4086		1	vis	719	139	50766,4080	0,0040	1	ccd
675	127	49952,4100		1	vis	720	139	50789,2720	0,0030	1	ccd
676	127	49952,4121		1	vis	721	140	51057,4080		2	vis
677	127	49952,4142		1	vis	722	140	51080,4740		1	vis
678	127	49977,5166		1	vis	723	140	51103,3270		1	vis
679	127	50317,4203		1	vis	724	140	51178,2710		1	vis
680	127	50317,4273		1	vis	725	140	51196,2740		1	vis
681	127	50658,4729		1	vis	726	141	51146,2454	0,0003	2	ccd
682	127	51110,4572		1	vis	727	142	51468,3810		1	vis
683	128	49979,5649		2	pe	728	142	51549,3200		1	vis
684	129	50002,4319	0,0048	2	ccd	729	143	51480,3591	0,0004	1	ccd
685	129	50006,3630	0,0034	1	ccd	730	144	51778,4968	0,0001	2	pe

No:	Ref No	MinHJD	Err	Tp	Meth
731	144	51794,4240	0,0001	1	pe
732	144	51860,3853	0,0001	1	pe
733	145	51780,3750		2	vis
734	145	51782,4300		1	vis
735	145	51840,3350		2	vis
736	145	51870,3190		2	vis
737	146	51821,4071	0,0006	1	ccd
738	147	52134,5344	0,0001	2	pe
739	147	52152,5249	0,0001	2	pe
740	147	52197,3083	0,0001	1	pe
741	148	52194,3250		1	vis
742	148	52253,3390		2	vis
743	148	52278,2590		1	vis
744	149	52195,4346	0,0002	1	ccd
745	150	52501,4415	0,0005	2	ccd
746	151	52546,4145	0,0014	2	pe
747	152	52579,9582		1	ccd
748	152	52580,1471		2	ccd
749	153	52649,2880		1	vis
750	154	52876,3960	0,0021	1	ccd
751	154	52931,4959	0,0014	1	ccd
752	155	52878,4650		2	vis
753	156	52885,3989	0,0001	1	ccd
754	157	52906,3863	0,0100	1	ccd
755	157	52906,5725	0,0020	2	ccd
756	158	52917,4434	0,0003	2	pe
757	159	52950,6096	0,0001	1	ccd
758	160	53257,3510		2	vis
759	160	53259,4260		1	vis
760	160	53266,4240		2	vis
761	161	53548,9386	0,0010	2	ccd
762	162	53609,0901	0,0002	1	ccd
763	162	53615,0880	0,0002	1	ccd
764	162	53615,2762	0,0001	2	ccd
765	163	53648,4401	0,0022	1	ccd
766	163	53655,3783	0,0004	2	ccd
767	164	53674,3020	0,0030	1	pe
768	165	53752,2555	0,0014	1	ccd
769	165	54000,3563	0,0020	1	ccd
770	165	54024,3416	0,0006	1	ccd
771	165	54024,5315	0,0010	2	ccd
772	166	53685,3553	0,0001	2	ccd
773	166	53985,5537	0,0002	2	ccd
774	166	53991,3630	0,0003	1	ccd
775	167	53963,4420	0,0006	2	pe
776	167	53971,4999	0,0003	1	pe
777	167	53995,4867	0,0007	1	pe
778	168	54000,5440	0,0001	2	pe
779	169	54043,2691	0,0001	2	ccd
780	170	47819,3468	0,0020	2	pe
781	170	47821,4087	0,0015	1	pe
782	170	48178,3840	0,0004	2	pe
783	170	48179,3216	0,0007	1	pe
784	170	48181,3809	0,0006	2	pe
785	170	48514,3710	0,0014	1	pe
786	170	48515,4959	0,0027	1	pe
787	170	48888,3997	0,0003	1	pe
788	170	48892,3358	0,0004	2	pe
789	170	48925,3163	0,0006	2	pe
790	170	49245,3766	0,0005	2	pe
791	170	49245,5636	0,0005	1	pe
792	170	49247,4379	0,0004	1	pe
793	170	52865,5358	0,0007	1	pe
794	170	52872,4698	0,0004	2	pe
795	170	52928,3109	0,0004	2	pe
796	170	53256,4278	0,0005	1	pe
797	170	53309,2687	0,0008	1	pe
798	170	53309,4598	0,0015	2	pe
799	170	53625,3946	0,0006	2	pe

Referanslar : (1) - Chandler S.C. (1895), (2) - Yendell P.S. (1895), (3) - Parkhurst H.M. (1896), (4) - Chandler S.C. (1896), (5) - Yendell P.S. (1896), (6) - Hartwig E. (1924), (7) - Yendell P.S. (1900), (8) - Wendell O.C. (1909), (9) - Shapley H. (1915), (10) - Jordan F.C. (1929), (11) - Schilt J. (1924), (12) - Dworak T.Z. (1977), (13) - Tsesevich V.P. (1954), (14) - Lause F. (1935), (15) - Lause F. (1937), (16) - Gaposchkin S. (1953), (17) - Recillas F. and Woodward E.J. (1945), (18) - Szczepanowska A. (1955), (19) - LaFara R. (1952), (20) - Domke K. and Pohl E. (1953), (21) - Kwee K.K. (1958), (22) - Huruhata M., Nakamura T. and Kitamura M. (1957), (23) -Szczepanowska A. (1956), (24) - Hinderer F. (1960), (25) - Rudolph R. (1960), (26) - Szczepanowska A. (1959), (27) - Binnendijk L. (1960), (28) - Szafraniec R. (1962), (29) - Purgathofer A. and Prochazka F. (1966), (30) - Oburka O. (1967), (31) - Dueball J. and Lehmann P.B. (1965), (32) - Braune W. and Hübscher J. (1967), (33) - Pohl E. and Kizilirmak A. (1964), (34) - Saito K. (1971), (35) - Gordon K.C. (1975), (36) - Pohl E. and Kızılırmak A. (1966), (37)- Oburka O. (1966), (38) - Pohl E. and Kızılırmak A. (1969), (39) - Oburka O. and Silhan J. (1970), (40) - Braune W., Hübscher J. and Mundry E. (1970), (41, 42) - Locher K. (1967), (43, 44) - Locher K. (1968), (45) - Diethelm R. and Locher K. (1968), (46) - Pohl E. and Kizilirmak A. (1970), (47) - Diethelm R. and Locher K. (1968), (48) - Baldwin M.E. (1974), (49) - Flin P. (1969), (50) - Braune, W. and Mundry E. (1973), (51) - Pohl E. and Kizilirmak A. (1971), (52) - Diethelm R. and Locher K. (1970), (53) - Rigterink P. (1972), (54) - Popovici C. (1971), (55) - Baldwin M.E. (1976), (56) - Braune W., Hübscher J. and Mundry E. (1972), (57) - Diethelm R. and Locher K. (1971), (58) - Pohl E. and Kizilirmak A. (1972), (59) - Baldwin M.E. (1976), (60) - Diethelm R. and Locher K. (1971), (61) - Diethelm R. and Locher K. (1972), (62) - Baldwin M.E. (1976), (63) - Baldwin M.E. (1973), (64) - Baldwin M.E. (1977), (65) - Oburka O. (1967), (66) - Patkos P. (1980), (67) - Patkos P. (1974), (68) - Patkos P. (1976), (69) - Ahnert P. (1975), (70) - Ahnert P. (1974), (71) - Ahnert P. (1975), (72) - Baldwin M.E. (1978), (73) - Baldwin M.E. (1975), (74) - Braune W., Hübscher J. and Mundry E. (1981), (75, 76) - Ahnert P. (1974), (77) - Baldwin M.E. (1993), (78) - Pokorny Z. (1978), (79) - Braune W., Hübscher J. and Mundry E. (1979), (80) - Mallama A.D., Skillman D.R., Pinto P.A. and Krobusek B.A. (1977), (81) - Kreiner J.M., Mistecka A.and Winiarski M.(1980), (82) - Braune W. and Mundry E. (1981), (83) - Mikulasek Z. (1982), (84) - Zhai D. et al. (1984), (85) - Pohl E. and Gulmen O. (1981), (86) - Pohl E. and Gulmen O. (1978), (87) - Busch H. (1980), (88, 89) - Busch H. (1979), (90, 91) - Busch H. (1980), (92) - Aslan Z. Et al. (1981), (93) - Rovithis-Livaniou H. and Rovithis P. (1981), (94, 95) - Rovithis-Livaniou H. and Rovithis P. (1980), (96) - Mikulasek Z. (1985), (97) - Mikulasek Z. (Cracow Obs. Database), (98) - Mikulasek Z. (1981), (99) - Mikulasek Z. (1982), (100) - Mikulasek Z. (BAAVSS circ.), (101) - Lafta S.J. and Grainger J.F. (1986), (102) - Lafta S.J. and Grainger J.F (BAAVSS circ.), (103) - Lafta S.J. and Grainger J.F. (1985), (104) - Lafta S.J. and Grainger J.F. (BAAVSS circ.), (105, 106) - Mikulasek Z. (1986), (107) - Mikulasek Z. and Silhan J. (1988), (108) - Braune W. and Hübscher J. (1987), (109) - Mikulasek Z. and Silhan J. (1992), (110) - Keskin V. and Pohl E. (1989), (111, 112) - Hübscher J. and Lichtenknecker D. (1988), (113) - Hübscher J. and Lichtenknecker D. (1989), (114) - Hübscher J. and Lichtenknecker D. (BAAVSS circ.), (115) - Braune W., Hübscher J. and Mundry E. (1990), (116) - Braune W., Hübscher J. and Mundry E. (BAAVSS circ.), (117) - Maupome L., et al. (1991), (118, 119) - Maupome L., et al. (1990), (120, 121) - Hübscher J., Agerer F., Wunder E. (1991), (122) - Hübscher J., Agerer F., Wunder E. (1992), (123) - Baldwin M.E. and Samolyk G. (1997), (124) - Hübscher J., Agerer F., Wunder E. (1993), (125) - Hübscher J., Agerer F. (1996), (126) - Hübscher J., Agerer F. (1995), (127) - Zejda M. (2002), (128) - Hegedüs T., et al. (1996), (129) - Safar J. and Zejda M. (2000), (130) - Safar J. and Zejda M. (1995), (131) - Hübscher J. and Agerer F. (1997), (132, 133) - Hübscher J. and Agerer F. (1996), (134) - Lee Y.S., et al. (1998), (135) - Baldwin M.E. (2002), (136, 137) - Hübscher J. and Agerer F. (1998), (138) - Kiss L.L., et al. (1999), (139) - Kiss L.L., et al. (1998), (140) - Hübscher J. and Agerer F. (1999), (141) - Agerer F., Dahm M. and Hübscher J. (1999), (142) - Hübscher J. and Agerer F. (2000), (143) - Hübscher J. and Agerer F. (2001), (144) - Pribulla T. et al. (2001), (145) - Hübscher J. and Agerer F. (2001), (146) - Hübscher J. and Agerer F. (2002), (147) - Pribulla T., Vanko M. (2002), (148) - Hübscher J. and Agerer F. (2002), (149) - Hübscher J. and Agerer F. (2001), (150) - Hübscher J. and Agerer F. (2003), (151) - Borkovits T. et al. (2004), (152) - Nagai K. (2003), (153) - Hübscher J. and Agerer F. (2003), (154) - Hübscher J. and Agerer F. (2005), (155) - Hübscher J. (2004), (156) - Krajci T. (2005), (157) - Bakis V. et al. (2003), (158) - Selam S.O. et al. (2003), (159) - Nelson R. (2004), (160) - Hübscher J. (2005), (161) - Cook J. et al. (2005), (162) - Nagai K. (2006), (163) - Hübscher J., Paschke A. and Walter F. (2006), (164) - Diethelm R. (2006), (165) - Hübscher J. and Walter F. (2007), (166) - Dogru S.S. et al. (2007), (167) - Senavci H.V. et al. (2007), (168) - Biro I.B., et al. (2007), (169) - Cszmadia Sz., et al. (2006), (170) - AUG

KAYNAKLAR

Adams, W. S. 1935. Address at the Dedication of the Astronomers' Monument at the Griffith Observatory, PaSP, 47, 11A

Adams, W. S. 1924. Joe, A. H. and Sanford, R. F. Notes from Pacific Coast Observatories, PaSP, 36, 137

Agerer F., Dahm M., Hübscher J.,1999, Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars, IBVS, 4712, 1A

Agerer F., Dahm M., Hübscher J., 2001, Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars, IBVS, 5017, 1A

Agerer F., Hübscher J., 1996, Photoelectric Minima and Maxima of Selected Eclipsing and Pulsating Variables, IBVS, 4382, 1A

Agerer F., Hübscher J., 1998, Photoelectric Minima and Maxima of Selected Eclipsing and Pulsating Variables, IBVS, 4606, 1A

Agerer F., Hübscher J., 2002, Photoelectric Minima and Maxima of Selected Eclipsing and Pulsating Variables, IBVS, 5296, 1A

Agerer F., Hübscher J., 2003, Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries IBVS, 5484, 1A

Ahnert P., 1974, An A.P.L. computer program for compact output of ephemerides. BBSAG Bull. no:18

Ahnert P., 1975, Lists of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:19

Ahnert P., 1975, Revised Elements of Eclipsing Stars - Photographic Minima of Eclipsing Stars, IBVS, 978, 1A

Ahnert P., 1976, Lists of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:25

Ahnert P., 1976, Photographic Minima of Eclipsing Stars, IBVS, 1190, 1A

Ak.T and Selam S. O., 2004, A New Light Time Effect Study of TX Her, New Astronomy, 9, 265

Al Naimy; H. M., 1978, Linearized limb-darkening coefficients for use in analysis of eclipsing binary light curves, Ap & SS, 53, 181

Allen, R., 1973, An Infrared Study of the Photospheric Temperature Structure BAAS, 5, 445A

Anderson, L. and Shu, F. H., 1977, On the light curves of W Ursae Majoris stars

ApJ, 214, 798A

Applegate, J. H., 1992, A mechanism for orbital period modulation in close binaries ApJ, 385, 621

Aslan Z. *et. al*., 1981, Times of Minima for Seven Eclipsing Binaries, IBVS, 1908, 1A

Bakis V. *et al*., 2003, New Times of Minima of Some Selected Eclipsing Binary Systems, IBVS, 5464, 1B

Baldwin M.E., 1974, Minima of Eclipsing Binary Stars – I, JAVSO, 3, 60B

Baldwin M.E., 1976, Minima of Eclipsing Binary Stars, II , JAVSO, 4, 86B

Baldwin M.E., 1976, Minima of Eclipsing Binary Stars, - III, JAVSO, 5, 29B

Baldwin M.E., 1976, Minima of Eclipsing Binary Stars, - IV, JAVSO, 5, 84B

Baldwin M.E., 1977, Minima of Eclipsing Binary Stars, - V, JAVSO, 6, 24B

Baldwin M.E., 1978, Minima of Eclipsing Binary Stars, - VI, JAVSO, 7, 28B

Baldwin M.E., 2002, AAVSO no:7

Baldwin M.E., Samolyk G., 1993, AAVSO no:1

Baldwin M.E., Samolyk G. , 1997, AAVSO no:4

Baldwin, M. E., 1973, Note on the O-C of RW Persei, BBSAG Bull. no:12

Berthier, E., 1975, A study of W UMa-type eclipsing binaries by the method of light curve synthesis, A & A, 40, 237

Binnendijk L., 1960, The light variation and orbital elements of U Pegasi, AJ, 65, 88B

Binnendijk, L., 1970, The orbital elements of W Ursae Majoris systems, VA, 12, 217

Binnendijk, L., 1977, Synthetic light curves for contact binaries, VA, 21, 359

Binnendijk, L., 1984, PASP, 96, 646

Biro I.B., *et al.,* 2007, New Times of Minima of Eclipsing Binary Systems IBVS, 5753, 1B

Borkovits T. *et al.,* 2004, New Times of Minima of Eclipsing Binary Systems, IBVS, 5579, 1B

Borkovits, T. and Hegedüs, T., 1996, On the invisible components of some eclipsing Binaries, A&AS, 120, 63B

Borkovits, T. and Hegedüs, T., 2005, Indirect evidence for short period magnetic cycles in W UMa stars, A&A, 441, 1087B

Braune W., Hübscher J., 1967, Beobachtungsergebnisse der Berliner Arbeitsgemeinschaft für veränderliche Sterne, AN, 290, 105B

Braune W., Hübscher J., 1987, BAV Mitt., nr:46

Braune W., Hübscher J., Mundry E., 1970, Beobachtungsergebnisse der Berliner Arbeitsgemeinschaft für veränderliche Sterne e, AN, 292, 185B

Braune W., Hübscher J., Mundry E., 1979, Results of BAV observations of variable Stars,AN, 300, 165B

Braune W., Hübscher J., Mundry E., 1981, Observational results of the Berliner Arbeitsgemeinschaft fuer Veraenderliche Sterne, AN, 302, 53B

Braune W., Mundry E., 1981, Beobachtungsergebnisse der Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne, BAVSM, 32, B

Braune, W., Hübscher J., Mundry E., 1972, Beobachtungsergebnisse der Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne AN, 294, 123B

Braune, W., Mundry E., 1973, Beobachtungsergebnisse der Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne AN, 294, 225B

Busch H., 1979, 77th - 78th list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:44

Busch H., 1979, WX Andromedae: probable decrease of the totality duration during the ending decade, BBSAG Bull. no:45

Busch H., 1980, 79th - 81st list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:46

Busch H., 1980, 82nd - 84th list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:49

Busch H., 1980, Beobachtungsergebnisse des Arbeitskreises "Veränderliche Sterne" im Kulturbund der DDR , MVS, 8, 192

Chandler S.C., 1895, On a new variable of peculiar character, 8598 U Pegasi, AJ, 15, 181C

Chandler S.C., 1896, Elements of variation of 8598 U Pegasi, AJ, 16, 107C

Cook J. *et al.,* 2005, CCD Observations of Times of Minima of Eclipsing Binaries IBVS.5636....1C

Cszmadia Sz., *et al.,* 2006, New Times of Minima of Some Eclipsing Binary Systems IBVS.5736....1C

Demircan, O., Kahraman, G., 1991, Stellar mass-luminosity and mass-radius relations Ap&SS.181..313D

Diethelm R., 2006, 165. List of Timings of Minima Eclipsing Binaries by BBSAG Observers, IBVS.5713....1D

Diethelm R., Isles L., Locher K., 1971, Ergebnisse der Beobachtungen von

Bedeckungsveränderlichen, ORION, 29, no:126, 142

Diethelm R., Isles L., Locher K., 1971, Résultats des observations d'étoiles variables à Éclipse, ORION, 29, no:127, 182

Diethelm R., Isles L., Locher K., 1972, Ergebnisse der Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen, ORION, 30, no:129, 60

Diethelm R., Locher K., 1968, Résultats des observations d'étoiles variables à éclipse ORION, 13, no:109, 164

Diethelm R., Locher K., 1970, Résultats des observations d'étoiles variables à éclipse ORION, 28, no:116, 191

Diethelm R., Locher K., 1968, ergebnisse der beobachtungen von bedeckungsveranderlichen ORION, no:110

Djurasevic, G, 2001, A photometric study of the W UMa-type system U Pegasi A&A, 367, 840D

Dogru S.S. *et al.,* 2007, New Times of Minima of Some Eclipsing Binary Stars IBVS, 5746, 1D

Domke K., Pohl E., 1953, Beobachtungsergebnisse der Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne, AN, 281, 113D

Dueball J., Lehmann P.B., 1965, Beobachtungsergebnisse der Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne, AN, 288, 167D

Dupree, A. K., 1980, Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, SAOSR, 389D

Dworak T.Z., 1977, Visual minima of eclipsing binaries from Cracow observations 1920 – 1950, AcA, 27, 151D

Eaton, J. A., 1973, An Ultraviolet Analysis of Algol, BAAS, 5, 387

Eaton, J. A., 1983, Chromospheric emission of W Ursae Majoris-type stars and its relation to the structure of their common envelopes APJ, 268, 800

Eaton, J. A., 1986, Implications of the light curve of the A-type W UMa binary V566 Ophiuchi, AcA, 36, 275

Eggen, O. J., 1967, Contact binaries, II., MmRAS, 70, 111E

ESA, 1997, Hipparcos and Tycho Catalogues, SP- 1200

Flin P., 1969, Minima of Eclipsing Variables, IBVS, 328, 1F

Gaposchkin S. 1953, The eclipsing variables, AnHar, 113, 67G

Gordon K.C., 1975, A.R. Hogg's UBV Observations of U Pegasi, IBVS, 1010, 1G

Gray, R. O.; Corbally, C. J.; Hill, J. M, 1994, The calibration of MK spectral classes using spectral synthesis, AJ....107..742G

Hartwig E., 1924, Note on the period of U Pegasi , BAN, 2, 116S

Hegedüs T., et al., 1996, Photoelectric minima of 30 eclipsing binary systems IBVS, 4340, 1H

Hill, G., Fisher, W., Poeckert, R., 1982, The Reduction of Spectra - Part Three - Reduce an Interactive Spectrophotometric Program, PDAO, 16, 43H

Hinderer F., 1960, Lichtelektrische Untersuchungen an W Ursae Majoris-Sternen JO, 43, 161H

Huruhata M., Nakamura T., Kitamura M.,1957, Tokyo Obs. Annals, 5, 31

Huruhata, M., 1952, Flaring Phenomena in U Pegasi, PASP, 64, 200

Hübscher J., 2004, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veranderlichen Serne e.V, BAVSM, 171, 1H

Hübscher J., 2005, Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars, IBVS, 5643, 1H

Hübscher J., Agerer F., 1996, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAV Mitt., nr:93

Hübscher J., Agerer F., 1997, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAV Mitt., nr:101

Hübscher J., Agerer F., 1997, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAV Mitt., nr:101

Hübscher J.*et al*., 2001, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAVSM, 143, 1H

Hübscher J.*et al.,* 1999, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAV Mitt., nr:122

Hübscher J.*et al.,* 2002, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAVSM, 154, 1H

Hübscher J.*et al.,* 2000, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAV Mitt., nr:131

Hübscher J.*et al.,* 2003, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAVSM, 157, 1H

Hübscher J., Agerer F., Wunder E., 1991, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche

Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAV Mitt., nr:59

Hübscher J., Lange T., 2005 Paschke R., Vohla F., Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAVSM.174....1H

Hübscher J., Agerer F., Wunder E., 1992, BAV Mitt., nr:60

Hübscher J., Lichtenknecker D., 1988, 119th list of minima of eclipsing binaries BBSAG Bull. no:86

Hübscher J., Agerer F., Wunder E., 1993, BAV Mitt., nr:62

Hübscher J., Lichtenknecker D. ,1989, 120th list of minima of eclipsing binaries BBSAG Bull. no:90

Hübscher J., Lichtenknecker D., 1988, Beobachtungsergebnisse Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft fur Veraenderliche Sterne e.V, BAV Mitt., nr:50

Hübscher J., Lichtenknecker D., 1991, Ergebnisse der Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen, BBSAG Bull. no:97

Hübscher J., Paschke A., Walter F., 2006, Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars, IBVS, 5731, 1H

Hübscher J., Lichtenknecker D.,1995, Ergebnisse der Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen, BBSAG Bull. no:108

Hübscher J., Lichtenknecker D.,1996, Ergebnisse der Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen, BBSAG Bull. no:111

Hübscher J., Walter F., 2007, Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars, IBVS, 5761, 1H

Hübscher J., Lichtenknecker D.,2001, Ergebnisse der Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen, BBSAG Bull. no:126

Hübscher J., Lichtenknecker D.,BAAVSS Circ., 72, 22

Hübscher J., Lichtenknecker D.BAAVSS Circ., 73

Hübscher J., Lichtenknecker D., Wunder E., 1990, BAV Mitt., nr:56

Irwin, J, 1952, The Determination of a Light-Time Orbit, ApJ, 116, 211I

Jordan F.C., 1929, Photographic Photometry with the Thirty-Inch Thaw Refractor. The Light Curves of Sixteen Eclipsing Variables , PAllO, 7, 125J

Kalimeris, A.; Rovithis-Livaniou, H.; Rovithis, P., 2002. Starspots and photometric noise on observed minus calculated (O-C) diagrams. A&A, 387; 969K.

Keskin, V.; Pohl, E. 1989. Photoelectric Minima of Eclipsing Binaries. IBVS, 3355;1K.

Kizilirmak, A.; Pohl, E. 1969. Minima and New Light-Elemetns for Eclipsing Binaries. AN, 291;111K.

Kizilirmak, A.; Pohl, E. 1971. Photoelectric Minima of Eclipsing Binaries. IBVS, 530; 1K

Kippenhahn, Rudolf; Weigert, Alfred 1990. Stellar Structure and Evolution. 1990, sse..book. K

Kiss L.L., et al. 1998. 1998, BBSAG Bull. no:118

Kiss, L. L.; Kaszas, G.; Furesz, G.; Vinko, J. 1999. IBVS, 4681;1K

Kopal, Zdenek. 1955. AnAp, 18; 379

Kopal, Zdenek. 1959. cbs. Book.K.

Kopal, Zdenek. 1978. ASSL, 68, K.

Krajci, Tom. 2005. IBVS, 5592; 1K.

Kreiner, J. M.; Mistecka, A.; Winiarski, M. 1980. AN, 301; 327K.

Kwee, K. K.1958. Investigation of variations in the period of sixteen bright short-period eclipsing binary stars. BAN, 14;131K.

Kwee, K. K.; van Woerden, H. 1956. A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable BAN, 12; 327.

Lafara, Robert. 1952. A Photoelectric Study of U Pegasi in Two Colors.ApJ, 115; 14L.

Lafta S.J., Grainger J.F.1985. BBSAG Bull. no:75.

Lafta, S. J.; Grainger, J. F. 1986. A photoelectric study of the W UMa-system U Pegasi Ap & SS, 121, 61L.

Lafta S.J., Grainger J.F. BAAVSS Circ., 61, 14.

Lafta S.J., Grainger J.F.BAAVSS Circ., 68, 30.

Lause F.1935. Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen IV. AN, 257;73L.

Lause F. 1937. Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen IX. AN, 263, 115L.

Lee, Y.-S.; Jeong, J. H.; Park, S. H.; Lee, C. U.; Woo, J. O. 1998. Photometric Study of the W UMa System U Pegasi JASS, 15; 75K.

Linnell, A. P. 1987. The problem of the W-type light curve of W Ursae Majoris. APJ, 316; 389L.

Locher K. 1967. Resultats des observations des etoiles variables a eclipseORION, 12, no:100.

Locher K. 1967. Risultati delle ossevazioni di stelle variabili ad eclisseORION, 12, no:103.

Locher K. 1968., ORION, 13, no:105.

Locher K. 1968. , Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen ORION, 13, no:108

Lu, W.1985. A new spectroscopic orbit of the W Ursae Majoris system U Pegasi. PASP, 97, 1086L.

Lucy, L. B.1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes. ZA, 65; 89.

Lucy, L. B.1968. The Structure of Contact Binaries. APJ, 151; 1123.

Lucy, L. B.1973. The Common Convective Envelope Model for W Ursae Majoris Systems and the Analysis of their Light Curves. AP & SS, 22; 381L.

Mallama A.D., Skillman D.R., Pinto P.A. 1977. Minima of Eclipsing Variables. IBVS, 1249, 1M.

Maupome L., *et al*.1990., 126. list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:93

Maupome L., *et al.*1990., 129. list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:96

Maupome L., *et al*.1991. Photoelectric observations of W UMa stars - U Pegasi and AB AndromedaeRMxAA, 22, 235M.

Merrill, J. E.1950. Book reviews: Stellar Evolution. PA, 58; 475.

Mikulasek Z. 1981., 90. list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:57.

Mikulasek Z. 1982., 91. list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:58.

Mikulasek Z. 1982. BRNO Contrib., no:23.

Mikulasek Z. 1985, BRNO Contrib., no:26.

Mikulasek Z. 1986, 114. list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:81.

Mikulasek Z. 1986, BRNO Contrib., no:27.

Mikulasek Z. BAAVSS Circ., 60, 15.

Mikulasek Z. Cracow Obs. Database.

Mikulasek Z. Silhan J. 1988, BRNO Contrib., no:28.

Mikulasek Z. Silhan J. 1992, BRNO Contrib., no:30.

Mullan, D. J. 1975. On the possibility of magnetic starspots on the primary components of W Ursae Majoris type binaries APJ, 198; 563M.

Nagai K. 2003., Variable Star Observers League in Japan, VSOLJ-VSB, no:40.

Nagai K. 2003., Variable Star Observers League in Japan ,VSOLJ-VSB, no:40.

Nagai K. 2006. , Variable Star Observers League in Japan ,VSOLJ-VSB, no:44.

Nagai K. 2006. , Variable Star Observers League in Japan ,VSOLJ-VSB, no:44

Nagai K. 2006. , Variable Star Observers League in Japan ,VSOLJ-VSB, no:44

Nelson R. 2004. CCD Minima for Selected Eclipsing Binaries in 2003. IBVS, 5493;1N.

Oburka O. 1966. BRNO Contrib., no:5.

Oburka O. 1967. BRNO Contrib., no:6.

Oburka O. 1976. BRNO Contrib., no:20.

Oburka O., Silhan J.1970. BRNO Contrib., no:9.

Parkhurst H.M.1896. Notes on variable stars, No. 12. AJ, 16; 93P.

Patkos L. 1976. Photoelectric Minima of Eclipsing Variables. IBVS, 1200; 1P.

Patkos P.1980. Photoelectric Minima of Eclipsing Variables. IBVS, 1751;1P.

Patkos, P. 1974., 50. list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:17.

Petrie, R. M.1939. JRASC, 32; 63.

Pohl E., Gulmen O. 1978, BBSAG Bull. no:39

Pohl E., Gulmen O. 1981. Photoelectric Minima of Eclipsing Binaries. IBVS, 1924; 1P.

Pohl E., Kızılırmak A.1966. Beobachtungsergebnisse an Bedeckungsveränderlichen. AN, 289, 191P

Pohl E., Kızılırmak A.1970. Photoelectric Minima of Eclipsing Binaries. IBVS, 456;1P.

Pohl E., Kızılırmak A. 1972. Photoelectric Minima of Eclipsing Binaries. IBVS, 647; 1P.

Pohl E., Kizilirmak A. 1964. Beobachtungsergebnisse an Veränderlichen Sternen. AN, 288; 69P.

Pokorny Z. 1978. BRNO Contrib., no:21

Popovici C. 1971. Photoelectric Minima of Eclipsing Variables. IBVS, 508; 1P.

Pribulla T. *et al.* 2001. New Photoelectric Minima and Updated Ephemerides of Selected Eclipsing Binaries IBVS, 5056; 1P.

Pribulla T., Vanko M. 2002. Photoelectric photometry of eclipsing contact binaries: U Peg, YY CrB, OU Ser and EQ Tau CoSka, 32; 79P.

Prsa, A.; Zwitter, T. 2006. Introducing Powell's Direction Set Method to a Fully Automated Analysis of Eclipsing Binary Stars. astro.ph, 7340P.

Purgathofer A., Prochazka F. 1966. Mitt. Wien, 13;301.

Qian, S., 2001a. A possible relation between the period change and the mass ratio for W-type contact binaries MNRAS, 328; 635.

Qian, S., 2001b. Orbital period changes of contact binary systems: direct evidence for thermal relaxation oscillation theory. MNRAS, 328; 914.

Recillas, F., Woodward, J. 1945. A study of the eclipsing binary U Pegasi, BD +15'4915 AJ, 51, 101R.

Rigterink P. 1972. A new analysis of the eclipsing binary, U Pegasi. AJ, 77; 319R.

Rovithis-Livaniou H., Rovithis P. 1980. BBSAG Bull. no:50.

Rovithis-Livaniou H., Rovithis P. 1980. BBSAG Bull. no:51.

Rovithis-Livaniou H., Rovithis P. 1981, IBVS, 2026, 1R.

Rucinski, S. M. 1969. The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes AcA, 19; 245R.

Rucinski, S. M. 1973. The W UMa-type Systems as Contact Binaries. I. Two Methods of Geometrical Elements Determination. Degree of Contact AcA, 23; 79R.

Rucinski, S. M. 1974. Binaries. II. A- and W-type Systems. The W UMa-type Systems as Contact AcA, 24; 119R.

Rucinski, S. M. et al. 1984. IUE observations of two extremes among contact binaries – AW Ursae Majoris and SW Lacertae. MNRAS.208.309R.

Rudolph R. 1960. Beobachtungsergebnisse der Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne (BAV). AN, 285; 161R.

Russel, H. N. 1912. On the Determination of the Orbital Elements of Eclipsing Variable Stars. I. APJ, 35; 315R.

Russel, H. N. and Merrill, J. E. 1952. deeb.book.....R.

Russo, G., Sallazo, C., Maceroni, C. And Milano, L. 1982. Determination of Parameters of W-Ursae Systems -Part Two - Tw-Ceti S-Antiliae U-Pegasi Er-Orionis .A&A, 47; 211R.

Safar J., Zejda M. 1995., 143. list of minima of eclipsing binaries, BBSAG Bull. no:110.

Safar J., Zejda M. 2000. CCD Times of Minima of Faint Eclipsing Binaries I IBVS, 4887, 1S.

Saito K. 1971. Tokyo Obs. Bull, 2, 211.

Schilt J. 1924. Note on the period of U Pegasi (Errata: 2 V, 180). BAN, 2; 116S.

Schilt J. 1925. On the light-curve of U Pegasi. BAN, 3; 66S.

Selam S.O. *et al.* 2003. Photoelectric Minima of Some Eclipsing Binary Stars. IBVS,

5471; 1S.

Senavci H.V. *et al*. 2007. Photoelectric Minima of Some Eclipsing Binary Stars. IBVS, 5754; 1S.

Shapley H. 1915. Miscellaneous notes on variable stars. ApJ. 41; 291S.

Struve, H. 1950. ApJ. Bright Lines of CA II in the Spectrum of RW Comae Berenices.. 111; 658.

Szafraniec R. [Binnendijk L.] 1962. The Nordmann-Tikhov Effect in the Light of Photoelectric Observations AcA, 12; 181S.

Szczepanowska A. 1955. AcA, 5; 74.

Szczepanowska A. 1956. Minima of Eclipsing Variables observed in the Years 1951-1955 AcA, 6; 144S.

Szczepanowska A. 1959. Minima of Eclipsing Variables observed in the Years 1956-1958 AcA, 9; 46S.

Tsesevich V.P., 1954, Odessa Izv., Vol.4-Bd.II, 260

van Hamme, W., 1993, New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves, AJ, 106, 2096

von Zeipel, H., 1924, The radiative equilibrium of a rotating system of gaseous masses MNRAS, 84, 665

Wade, R. A., Rucinski, S. M., 1985, Linear and quadratic limb-darkening coefficients for a large grid of LTE model atmospheres, A & AS, 60, 471

Wendell O.C., 1909, Photometric observations made with the fifteen inch east equatorial during the years 1892 to 1902, AnHar, 69, 1W

Wilson, R. E.,1978, ApJ, 234, 885

Wilson, R. E., 1979, Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves, ApJ, 234, 1054

Wilson, R. E., 1990, Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect ApJ, 356, 613

Wilson, R. E. and Biermann, P., 1976, Which component is hotter, A & A, 48, 349

Wilson, R. E. and Devinney, E. J.,1971, APJ, 166, 615

Wilson, R. E. and Devinney, E. J., 1973, Fundamental data for contact binaries: RZ Comae Berenices, RZ Tauri, and AW Ursae Majoris, APJ, 182, 539

Wilson, R. E. And van Hamme, 1984, Simultaneous light and velocity curve solutions ,

for AS Eridani and V 1143 Cygni, A&A, 141, 1V

Wilson, R. E. And van Hamme, 1985, Proximity effects and radial velocity solutions for W UMa contact binaries , BAAS, 17, 519V

Wilson, R. E. And van Hamme, 2003, Stellar atmospheres in eclipsing binary models ASPC, 298, 323V

Yendell P. S., 1896, Observed maxima and minima of 8598 U Pegasi , AJ, 16, 78Y

Yendell P.S., 1895, Note on the new variable 8598 U Pegasi, AJ, 15R, 191Y

Yendell P.S., 1900, Observed maxima and minima of short-period variables AJ, 21, 23Y

Zejda M., 2002, BRNO Contrib., no:32

Zhai, D. *et al.,* 1984, A new photoelectric investigation of the W UMa system U Pegasi A & AS, 57, 487

Zhai, D. *et al.,* 1988, Simultaneous light and velocity curve solution and probable starspot activities for the W UMa system U Pegasi Ap&SS, 146, 1Z

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Doğuş ÖZUYAR
Doğum Yeri : Eskişehir
Doğum Tarihi : 15.07.1982
Yabancı Dili : İngilizce

Öğrenim Durumu :

Lise : Başkent Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı) (1996-2000)
Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü (2000-2004)
Yüksek lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı (Temmuz 2004 – Ekim 2007)

Katıldığı Bilimsel Toplantılar

Close Binaries in the 21st Centuries : New Opportunities and Challenges – 2005 Syros – Yunanistan

Yayınlar:

A.Elmaslı, S.O.Selam, B.Albayrak, **D. Özuyar,** 2006, Possible Light-Time Effect in the Eclipsing Binary System TY Boo, Ap&SS.304..189E

Aksu, O., Özavci, I., Yüce, K., Tanrıverdi, T., Şenavcı, H. V., Yılmaz, M., Kara, A., Kaya, F., Helvacı, M., Çetintaş, C., Çınar, D., **Özuyar, D.,** Baştürk, Ö., Aydın, E., Atlagan, Ö., Şener, H. T., Kabadayı, Ö., Yelkenci, K., Evin, B., 2005. Photoelectric minima of Some Eclipsing Binary Stars. IBVS, 5588.