

Z Her VE RT CrB'NİN IŞIK EĞRİLERİNİN ÇÖZÜMÜ

Serdar Evren, Cafer İbanoglu, Okan Tümer, Zeynel Tunca

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İZMİR

ÖZET : Birer RS CVn çift yıldızı olan Z Her ve RT CrB çiftlerin Ege Üniversitesi gözlem-evinde sırasıyla dört ve üç yıllık gözlemler sonucu ışık eğrileri elde edilmiştir. Sistemlerin Wood ve NDE yöntemleriyle ışık eğrileri çözümlenmiştir. Farklı iki yaklaşımın sonuçları iyi uyusmaktadır.

Z Her

1. GİRİŞ

Algol türü örten çift Z Her'in ışık değişimleri çeşitli araştırmalara konu olmuştur. İki renk fotoelektrik ışık eğrisi ilk defa Baglow (1952) tarafından yayınlanmış daha sonra fotoelektrik ve tayfsal gözlemlerini eşzamanlı olarak Popper (1956) yapmıştır. Tayfında iyonlaşmış kalsiyumun H ve K salmalarının varlığı Hiltner (1947) ve Popper tarafından ortaya atılmıştır. Kuvvetli H ve K salma çizgileri ve tutulmalar dışında ışık değişimleri gösterdiğinden Hall (1976) tarafından RS CVn türü yıldızlar grubuna dahil edilmiştir. Daha sonra Weiler (1978) ise H ve K salmalarına ek olarak $H\alpha$ salmasının olduğunu belirtmiştir.

2. GÖZLEMLER

Sistemin yörünge dönemi ($P = 3.9928012$ gün) dört güne çok yakın olduğundan bir gözlem mevsimi içinde tek bir gözlemevinden ışık eğrisinin yalnız dört bölümü gözlenebilmektedir. Bu nedenle sistem 1978 den 1981 e kadar arka arkaya dört yıl gözlenmiş ve bütün bir ışık eğrisi Evren ve arkadaşları (1982) tarafından yayınlanmıştır. Şekil 1 de Z Her'in B, V renklerindeki ışık eğrileri görülmektedir.

Ege Üniversitesi Rasathanesinde dört yıl arka arkaya yapılan gözlemler sonucunda ışık eğrisinde bazı boşluklar kalmasına rağmen, ışık eğrisinin temel şekli belirlenebilmiştir. Sistemin ışık eğrisi $0^{\text{m}}.03$ genlikli dalga benzeri bozulmaya sahiptir. Bu ise RS CVn türü örten çift yıldızların temel özelliklerinden biridir. Dalga minimumu azalan evrelere doğru 1.4 yıl yöresinde bir dönem ile kaymaktadır. Dalganın genliği ise zamanla değişmektedir.

3. IŞIK EĞRİSİNİN ÇÖZÜMÜ

RS CVn türü örten çiftlerin ışık eğrilerinin çözümü ele alındığında bazı zorluklarla karşılaşılır. Işık eğrisi üzerine dalga yerleştirildiği zaman ışık eğrisinin maksimumlarını da

minimumlarını da bozar. Bu gibi örten çiftlerin gerçek parametrelerini bulmak için bütün bozucu etkiler gözlenen ışık eğrilerinden çıkarılmalıdır. 1978, 1980 ve 1981 yıllarına ilişkin tutulmalar dışı ışık değişimleri Fourier Serisi ile temsil edilmiştir. V rengindeki tutulmalar dışı gözlemler Şekil 2 de gösterilmektedir.

Sonuçta 2 nci dereceden yaklaşımın üçüncü dereceden yaklaşıma göre gözlemleri daha iyi temsil ettiği görülmüştür. Bununla beraber 1979 da elde edilen ışık eğrisinin iki bölümü tutulmalar içine düşer. Bundan dolayı 1979 da elde edilen gözlemler herhangi bir eğri ile temsil edilememektedir. Bozulmanın maksimum etkisi kendisini, baş minimumu izleyen ilk çeyrek evrede gösterir. Bu nedenle tutulmalar dalgadan çok fazla etkilenmemiştir. Bununla beraber, baş minimum derinliğindeki parlaklık bir ayda yaklaşık $0^m.03$ değişir ve bu, dalganın toplam genliği ile hemen hemen aynıdır. Diğer taraftan bu gibi değişimler sığ olan yan minimumda görülmez. Baş minimumda görülen bu değişimler açıkça şunu gösteriyor ki : Z Her'in ışık eğrisinde oluşan değişimler esas olarak baş minimumda görülen daha soğuk bileşenden kaynaklanmaktadır.

Z Her'in ışık eğrisinden sistemin yakınlık etkilerinin çok küçük olduğu görülmektedir. Tutulmalar dışında ve hatta baş minimumda gözlenen değişimler yakınlık etkilerinden daha ziyade dalga benzeri bozulmadan dolayı olmalıdır. Gözlemler üzerindeki dalga benzeri bozulmaların etkileri onun matematiksel ifadelerinin elde edilmesi ile ortadan kaldırılmaktadır. Ne yazık ki 1979 da elde edilen ışık eğrisinin dört bölümünden ikisi sistemin tutulmalarına karşılık geldiğinden, tutulmalar dışındaki gözlemlere uygunluk sağlayan matematiksel ifadeyi almak olanaksız görünmektedir.

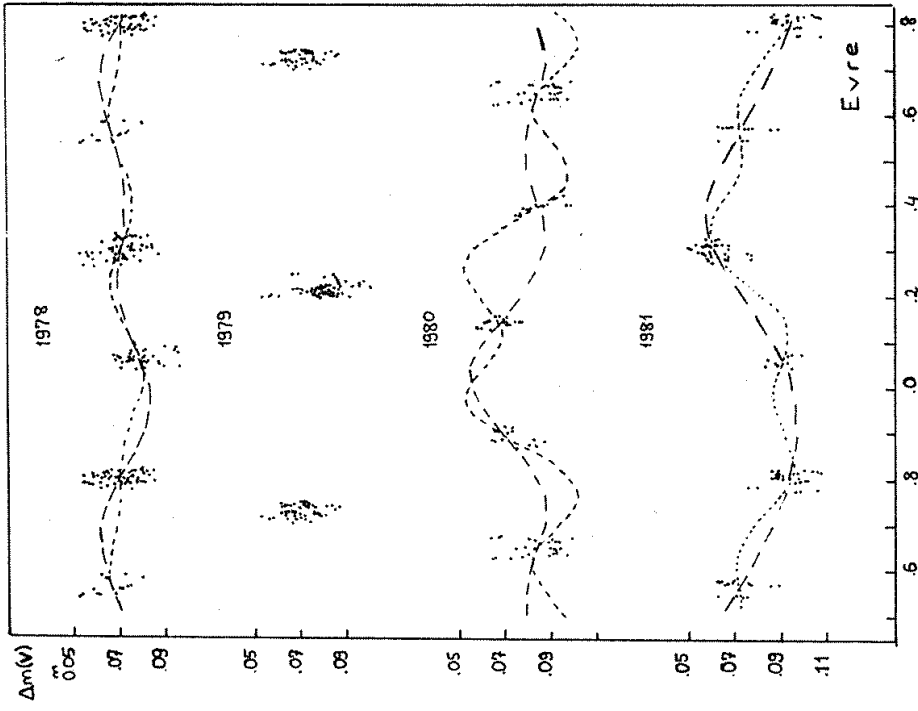
Işık eğrisinin şeklini bozan $0^m.03$ genlikli ışık değişimlerinin çözümü etkiliyebileceği beklenmemelidir. Baş minimumdaki ışık değişimleri kısa zaman aralığında olmuştur. Bu olay gözlenen ışık eğrisinden bozucu etkilerin tümünü çıkarmanın hemen hemen olanaksız olduğunu açıkça göstermektedir. Bundan dolayı tutulmalar dışındaki ve hatta baş minimumdaki ışık değişimleri gözönünde tutulmamıştır.

Her bir renk için 876 gözlem noktasından toplam 144 normal nokta oluşturulmuştur. Ondan sonra ışık eğrileri Wood'un (1971, 1972, 1973–1978) Wink ve Etzel'in (1981) Eboş bilgisayar programları yardımı ile özel işleme tabi tutulmuştur. Wink'in biraz değiştirilmiş son şekli Etzel ve Wood (Etzel, 1982) tarafından yapılmıştır. Bu program şimdi, bir öncekine göre daha hızlı çalışmaktadır.

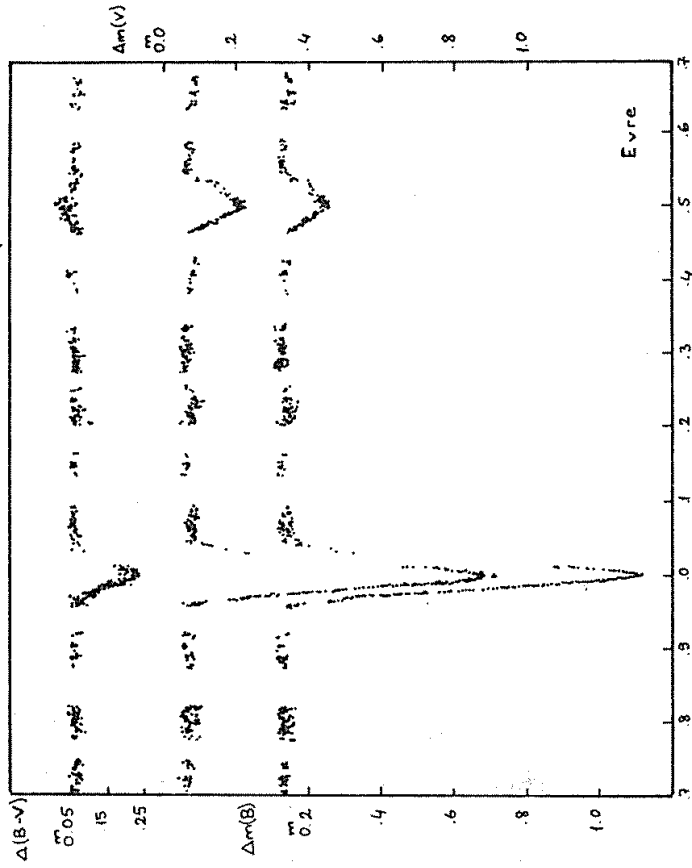
3.1. WOOD YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMLER

Wood yönteminin değişken olan ana parametreleri yörünge eğikliği, örtülen yıldızın yarıçapı, yarıçaplar oranı ve soğuk bileşenin yüzey sıcaklığıdır. Hesaplamalar için gerekli olan bazı parametreler çeşitli literatürlerden alınmış veya sistemin bilinen fiziksel parametrelerinden hesaplanmıştır. Bileşenlerin fiziksel özellikleri Popper tarafından bulunmuştur. Bu özellikler Çizelge I de verilmektedir.

Yöntem için gerekli sabit parametrelerden yüzey çekimi için $\log g (h) = 4.12$ ve $\log g (c) = 3.65$ değerlerini çizelgelerden hesapladık. Kenar kararma katsayıları, Grygar



Şekil 2 : V renginde tutulmalar dışı gözlemler. Kesikli çizgi : $n = 2$ için hesaplanan eğri ; noktalı çizgi : $n = 3$ için hesaplanan eğri.



Şekil 1 : Z Her'in V, B ve renk eğrileri.

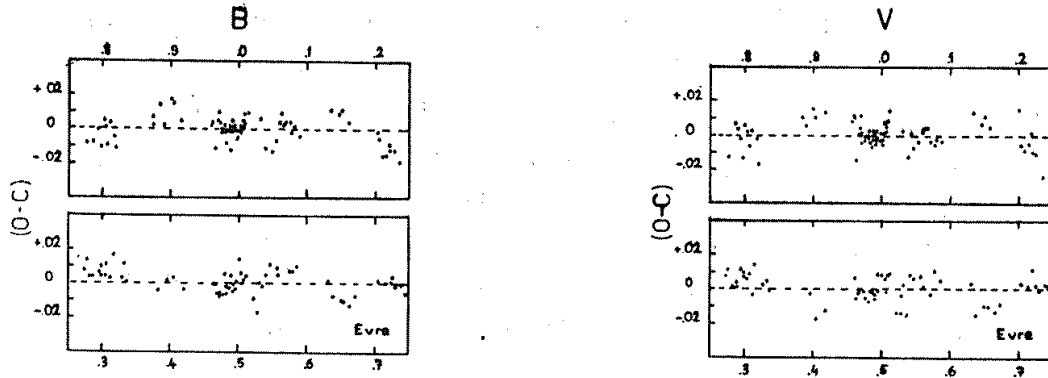
ÇİZELGE I
Z Her'in bileşenlerinin fiziksel özellikleri

	SICAK	SOĞUK
B—V	0.47	0.91
Tayf türü	F 4 IV—V	K 0 V
Kütle	1.22	1.10
Işınım gücü	4.7	2.8
Yarıçap	1.6	2.6

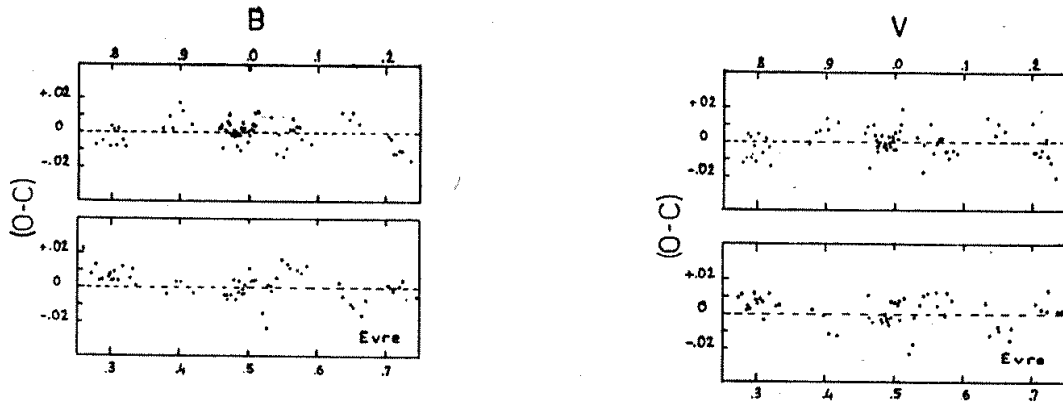
ve arkadaşlarının (1972) çizelgelerinden seçilmiştir. Çekim kararmasını temsil eden değerler sıcak bileşen için 0.25 ve soğuk bileşen için 0.08 olarak Lucy'den (1967) alınmıştır. Bunlara ek olarak yansıma katsayıları sıcak bileşen için 1.0 soğuk bileşen için 0.5 olarak alınmıştır. Çözümün en önemli parametresi sıcak bileşenin etkin sıcaklığıdır. Popper tarafından bulunan sıcak bileşenin rengi kullanılarak, Morton ve Adams'ın (1968) çizelgelerinden 6580 °K olarak bulunur. Halbuki Johnson (1966) aynı renk için 6240 °K değerini verir. Bizim çalışmamızda gözlemlerle en iyi uyumu 6580 °K sağlamıştır. Yani gözlenen ve hesaplanan yeğlilikler arasındaki standart sapmaların toplamı çok daha küçüktür. Mavi renkte ve sarı renkte gözlenen ve hesaplanan ışık arasındaki O—C farkları Şekil 3 de gösterilmektedir. İki üç yaklaştırma sonunda değerler birbirine yakın elde edilmiştir. Çözüm sonuçları Çizelge II de verilmektedir.

ÇİZELGE II

Parametre	Mavi	Sarı	Parametre	Mavi	Sarı
i	82° 98±0.09	83° .29±0.07	U _h	0.79	0.61
r _h	0.1196±0.0032	0.1199±0.0043	U _c	0.91	0.72
k	1.558±0.054	1.514±0.076	β _h	0.25	0.25
a _h	0.1200	0.1203	β _c	0.08	0.08
b _h	0.1197	0.1200	W _h	1.0	1.0
c _h	0.1195	0.1198	W _c	0.5	0.5
a _c	0.1890	0.1837	log g _h	4.12	4.12
b _c	0.1869	0.1819	log g _c	3.65	3.65
c _c	0.1857	0.1808	q	0.9	0.9
T _h (eq)	6580	6580	l _h	0.720	0.650
T _c (eq)	5091±12	5043±13	l _c	0.280	0.350
			σ	0.0071	0.0075



Şekil 3 : Gözlenen ve hesaplanan ışık arasındaki O—C farkları (WOOD yöntemi ile).



Şekil 4 : Gözlenen ve hesaplanan ışık arasındaki O—C farkları (NDE yöntemi ile).

3.2. NDE YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMLER

Nelson ve Davis (1972) tarafından geliştirilen yöntem genellikle bileşenleri küresel ya da hemen hemen küresel olan ayırık sistemler için kullanılır. Etzel (1975) öğelerin eş zamanlı ayarlanmasını sağlamak ve tutulmalar dışındaki değişimler için daha güvenilir bir model yaratmak amacıyla bu modeli geliştirdi. Ebop (Eclipsing Binary Orbit Program) programı onun tarafından yazılmıştır. Nelson ve Davis'in yeniden gözden geçirip düzelttiği yöntem şimdi Nelson–Davis–Etzel (NDE) yöntemi olarak bilinmektedir.

NDE programı önce küresel yıldız için verilen parametreler ile tutulma fonksiyonlarını hesaplar ve ondan sonra basıklık, çekim ve kenar kararmasını programa uygular. Ne yazık ki bu işlemler oldukça basık yıldızlar için yetersiz kalmaktadır.

Kenar kararına katsayıları için Wood yönteminin hesaplarında kullanılan değerler alınmıştır. NDE yöntemiyle elde edilen fotometrik çözüm sonuçları Çizelge III de verilmektedir.

ÇİZELGE III

Parametre	Mavi	Sarı
i	$83^{\circ}02 \pm 0.12$	$83^{\circ}.21 \pm 0.09$
r_h	0.1209 ± 0.0041	0.1184 ± 0.0050
k	1.543 ± 0.075	1.554 ± 0.091
L_h	0.724	0.641
L_c	0.276	0.359
J_c/J_h	0.169 ± 0.004	0.242 ± 0.004
U_h	0.79	0.61
U_c	0.91	0.72
σ	0.0071	0.0075

Gözlenen ve hesaplanan yeğinlikler arasındaki farklar Şekil 4 de gösterilmektedir. Açık olarak görülmeyen ışık eğrilerinin çözümü için farklı iki yaklaşım sonuçları iyi uyumaktadır.

4. SALT BOYUTLAR

Farklı iki yöntemle ışık eğrisinin çözümünden elde edilen sistemin ortalama geometrik parametreleri

$$i = 83^{\circ}.13 \quad r_h = 0.120 \quad r_c = 0.185$$

şeklinindedir. Diğer taraftan Z Her çift çizgili tayfsal çifttir. Dikine hızları Adams ve Joy (1919) ve Popper (1956) tarafından elde edilmiştir. Popper tarafından elde edilen kütleler

ve görelî yörünge yarıçapı,

$$a \sin i = 14.0 \text{ güneş biriminde}$$

$$m_1 \sin^3 i = 1.20, \quad m_2 \sin^3 i = 1.08$$

dır. Birleştirilen bu sonuçlarla bileşenlerin kütleleri ve salt boyutlarını şu şekilde elde ettik.

$$a = 14.10 R_{\odot}, \quad m_1 = 1.23 m_{\odot}, \quad m_2 = 1.10 m_{\odot}$$

$$R_h = 1.69 R_{\odot}, \quad R_c = 2.60 R_{\odot}$$

Bu çalışmada elde edilen salt boyutlar sıcak yıldızın yarıçapı hariç Popper'ın değerleri ile çok iyi uyumaktadır. Sıcak yıldızın yarıçapı onda bir daha büyük çıkmaktadır. Kullanılan yarıçaplar, etkin sıcaklıklar ve hesaba katılan bolometrik düzeltmelerle sıcak ve soğuk yıldız için salt visüel parlaklıkları elde ettik. (sıcak bileşen = $3^m.1$ ve soğuk bileşen = $3^m.6$). Bu sonuçlar sıcak bileşenin aynı renkteki anakol yıldızlarından 1^m ve soğuk bileşenin ise $2^m.8$ daha parlak olduğunu gösterir. Bu sonuçlar Z Her'in soğuk bileşenin anakoldan ayrıldığı ya da diğer RS CVn türü yıldızlarda olduğu gibi henüz ayrılmakta olduğunu göstermektedir.

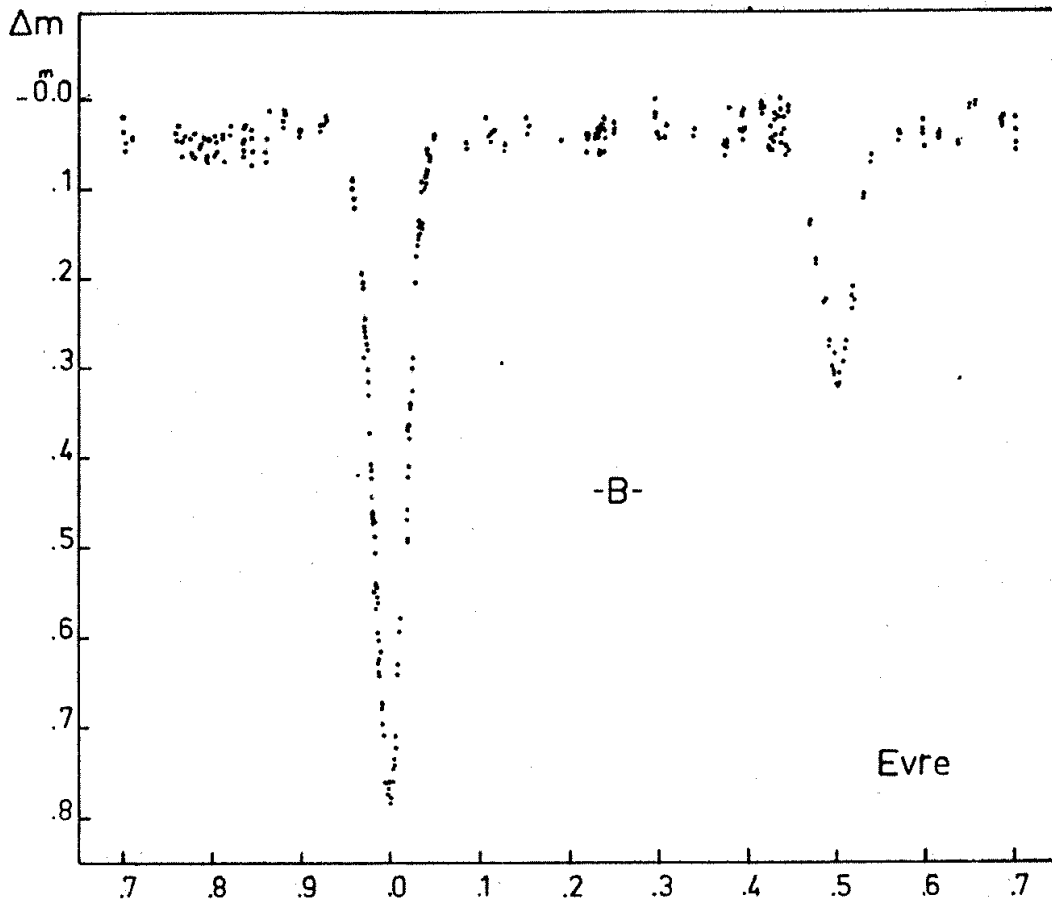
RT CrB

1. GİRİŞ

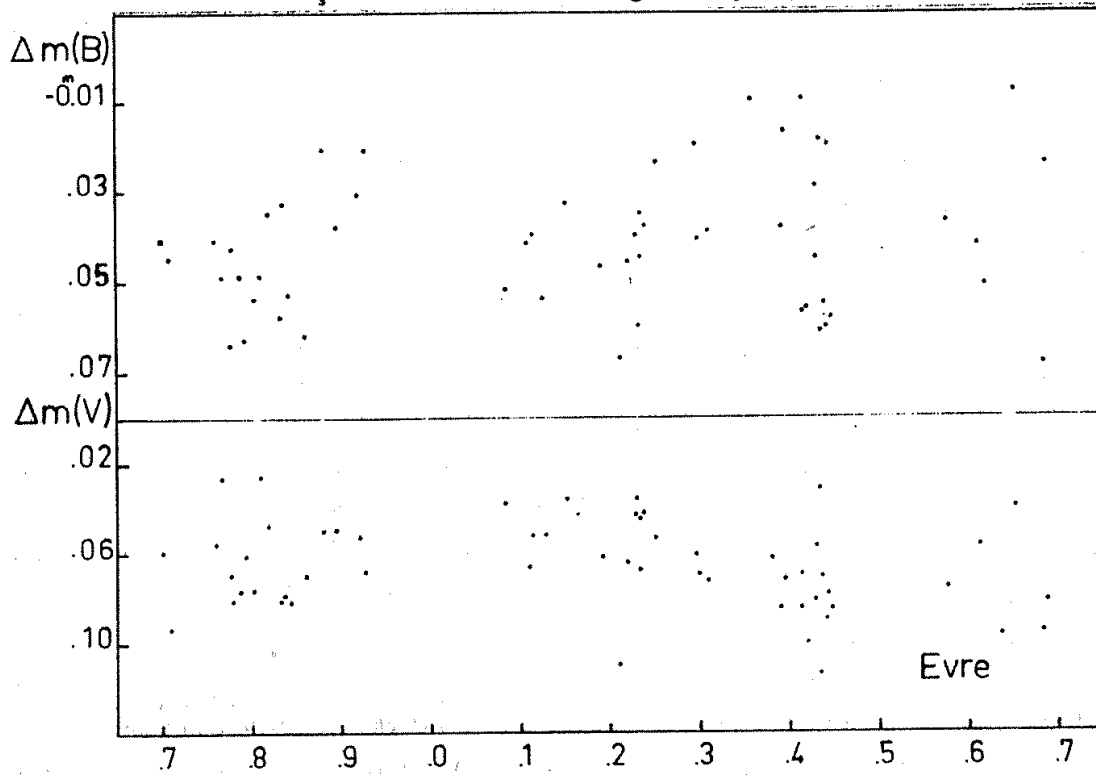
RT CrB'nin parlaklığındaki değişmeler 1935 yılında Beyer tarafından gözlenmeye başlanmıştır. Çiftin yörünge dönemi ilk kez bu çalışmayla bulunmuştur. Daha sonra Laure (1936) çiftin ilk görsel ışık eğrisini yayınlamıştır. Çiftin tayfında Ca II'nin salma çizgilerinin görülmesi üzerine (Oliver, 1974) RT CrB de RS CVn çift yıldızları içersine alınmıştır (Hall, 1976 a). Popper ve Ulrich'ın (1976) tayfsal gözlemleri sıcak bileşenin G0 tayf türünde, bileşenlerin kütlelerinde birbirine oldukça yakın olduğunu göstermiştir. RT CrB'nin şimdiye değin fotoelektrik ışıkölçümü yapılarak ışık eğrisinde bozulmaların varlığı araştırılmamış, bileşen yıldızların yarıçapları da belirlenememiştir.

2. GÖZLEMLER

1979–1980–1981 yıllarında toplam 62 gece gözlenmiştir. Oldukça sönüktür (11^m) ve ancak aysız gecelerde gözlenebilmektedir. Çiftin yörünge dönemi (5.11712 gün) beş gün yoresinde olduğu için ışık eğrisinin tamamını bir gözlem mevsimi içersinde elde etmek hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenlerden ötürü üç yıllık gözlemler birleştirilerek ışık eğrisinin şekli belirlenebilmiştir. Sistemin ışık eğrisi Şekil 5 de verilmektedir. Minimumların derinlikleri ve maksimumların biçimi yaklaşık olarak belirlenmekle birlikte yıldız sönük olduğu için ışık eğrisinde büyük saçılmalar görülmektedir. Aynı ilk veya son dördün olduğu gecelerde yapılan gözlemlerde bile bu saçılmalar daha da büyüdüğünden özellikle aysız geceler seçilmiştir. Maksimumlarda yakınlık etkilerinden dolayı bir yükselme göze çarpmadığı gibi dalga biçimi bozulmanın varlığından da söz edilememektedir.



Şekil 5 : RT CrB'nin B rengindeki ışık eğrisi.



Şekil 6 : B, V renklerindeki tutulmalar dışı gözlemler.

Maksimumlardaki ışık değişimleri Şekil 6 da gösterilmiştir. Her bir renk için toplam 322 gözlem noktasından toplam 173 normal nokta oluşturulmuştur.

3. ÇÖZÜMLER

3.1. WOOD YÖNTEMİNDEN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM SONUÇLARI

Parametre	Mavi	Sarı	Parametre	Mavi	Sarı
i	85°04±0.25	85°34±0.50	U_h	0.78	0.61
r_h	0.1459±0.0098	0.1585±0.0143	U_c	0.90	0.72
k	1.091±0.121	0.953±0.171	β_h	0.08	0.08
a_h	0.1476	0.1564	β_c	0.08	0.08
b_h	0.1469	0.1554	W_h	0	0
c_h	0.1464	0.1549	W_c	0	0
a_c	0.1598	0.1553	$\log g_h$	4.4	4.4
b_c	0.1589	0.1545	$\log g_c$	3.5	3.5
c_c	0.1583	0.1539	q	1.05	1.05
$T_h(eq)$	5979±31	5979±38	l_h	0.660	0.660
$T_c(eq)$	5283±12	5294±17	l_c	0.340	0.340
			σ	0.016	0.019

3.2. NDE YÖNTEMİNDEN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM SONUÇLARI

Parametre	Mavi	Sarı
i	85°05±0.27	85°52±0°76
r_h	0.1486±0.0100	0.1626±0.0135
k	1.0724±0.1233	0.9159±0.1514
L_h	0.663	0.694
L_c	0.337	0.306
J_c/J_h	0.467	0.551
U_h	0.78	0.61
U_c	0.90	0.72
σ	0.0012	0.0007

Açık olarak görülüyor ki ışık eğrilerinin çözümü için farklı iki yaklaşım sonuçları iyi uyumaktadır. Farklı iki yöntemle ışık eğrisinin çözümünden elde edilen sistemin ortalama geometrik parametreleri

$$i = 85^{\circ}.24, \quad r_h = 0.1539, \quad r_c = 0.1521$$

olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Adams, W. S. ve Joy, A. H. : 1919, *Astrophys. J.* 49, 179.
 Baglow, R. L. : 1952, *Publ. David Dunlap Obs.* 2, 1.
 Beyer, M. : 1935, *Astron. Nachr.* 255, 49.
 Etzel, P. B. : 1975, *Masters Thesis, San Diego State Univ. California.*
 Etzel, P. B. : 1981, in E. B. Carling and Z. Kopal (eds.), *Photometric and Spectroscopic Binary Systems*, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, s. 111.
 Etzel, P. B. ve Wood, D. B. : 1982, *WINK Status Report No. 10*, özel haberleşme.
 Evren, S., Ertan, A.Y., Tunca, Z., İbanoğlu, C., Kurutaç, M. ve Tümer, O. : 1982, *Astrophys Space Sci.* 87, 51.
 Grygar, J., Cooper, M. L. ve Jurkevich, I. : 1972, *Bull. Astron. Inst. Czech.* 23, 147.
 Hall, D. S. : 1976, in W. Fitch (ed.), "Multiple Periodic Variable Stars" *IAU Collog* 23, 126.
 Hiltner, W. A. : 1947, *Astrophys. J.* 106, 481.
 Laure, F. : 1936, *Astron. Nachr.* 259, 189.
 Johnson, H. L. : 1966, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 4, 193.
 Lucy, L. B. : 1967, *Z. Astrophys.* 65, 89.
 Morton, D. C. ve Adams, T. F. : 1968, *Astrophys. J.* 151, 611.
 Nelson, B. ve Davis, W. : 1972, *Astrophys. J.* 174, 617.
 Oliver, J. P. : 1974, *Ph. D. Thesis, Univ. of California.*
 Popper, D. M. : 1956, *Astrophys. J.* 124, 196.
 Popper, D.M. ve Etzel, P.B. : 1981, *Astron. J.* 86, 102.
 Popper, D.M. ve Ulrich, R.K. : 1976, *Ucla Astron. Astrophys. Preprint* 5.
 Weiler, E.J. : 1978, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 182, 77.
 Wood, D. B. : 1971, *Astron. J.* 76, 701.
 Wood, D. B. : 1972, *Goddard Space Flight Center Report X-110-72-473.*
 Wood, D. B. : 1973-1978, *WINK Status Report No. 1-9*, özel haberleşme.