

RT Lac ÖRTEN ÇİFT YILDIZININ IŞIK EĞRİSİNDEKİ DEĞİŞMELER

Cafer İbanoğlu, M. Okan Tümer, Serdar Evren

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

ÖZET: RT Lac örten çift yıldızının çeşitli yıllarda elde edilmiş ışık eğrileri birbirleriyle karşılaştırılarak sistemin ışık eğrisindeki değişimleri incelenmiş bu değişimlerin nedenleri tartışılmıştır.

1. GİRİŞ

RT Lacertae örten çift yıldızının parlaklığındaki değişmeler 1908 yılında Ceraski tarafından bulundu (Wachmann, 1935). Fotoğrafik ışık eğrisini 1935 yılında ilk kez elde eden Wachmann minimum derinliklerinin eşit olduğunu belirtirken Himpel'in (1936) bir yıl sonra elde ettiği gözlemler minimum derinlikleri arasında 0.1 kadirlik fark olduğunu ortaya koymuştur. Çiftin daha duyarlı fotoelektrik gözlemleri ancak tamamen bakışıksız olup tutulmalar dışındaki parlaklık farkı 0.14 kadiri bulmaktadır. Öte yandan 1947 yılında Hiltner, 1976 yılında da Popper ve Ulrich'in yaptığı tayfsal gözlemler, her iki bileşene ilişkin Ca II çizgilerinin salma çizgileri olarak görüldüğünü ortaya koymuştur. Salma çizgilerinin varlığının ve tutulmalar dışında dalga biçimi bozulmanın görülmesinden sonra RT Lac'ın Hall (1976) tarafından RS CVn türü lekeli yıldızlar grubu içersine alındığını görüyoruz. RT Lac, RS CVn türü yıldızların kimi özelliklerini taşımasına karşın bileşenlerin kütleleri birbirinden çok farklıdır. RS CVn yıldızlarında bileşenlerin kütleleri oranı bire yakınken RT Lac'da bu oran 2.5 dolayındadır.

Hall ve Haslag (1976) çiftin 1890 ile 1970 yılları arasında elde edilen 50 ye yakın ışık eğrisini bir araya getirerek incelemişlerdir. Bu incelemeye göre dalga genliği $0^m.17$ ile $0^m.01$ arasında 30 yıllık bir dönemle değişmektedir. Dalga minimumunun da 9.5 yıllık bir dönemle azalan evrelere doğru kaydığı ileri sürülmüştür. Dalga genliğindeki 30 yıllık değişimin güneşteki 11 yıllık leke çevrimine benzediği belirtilmektedir.

RT Lac optik bölgede olduğu kadar kızılöte ve radyo bölgelerinde de ilginç değişimler göstermektedir. Milone'un (1976) kızılöte parlaklığının beklenenden daha fazla olduğunu göstermiştir. Kızılötedeki bu fazlalığın evreye göre de değişim göstermesine dayanılarak bileşenler arasında ya da onların çevresinde bir madde olduğu öne sürülmüştür. Öte yandan 1975 Mayıs ayında Gibson ve arkadaşlarının yaptığı radyo gözlemleri RT Lac'ın RS CVn yıldızları içersinde en kuvvetli radyo salıcısı olduğunu göstermiştir. 3.7 cm deki radyo salmaları 20 Mayıs 1975 de bir saat içersinde 30 kat birden artmıştır.

Işık eğrisi zamanla değişen RT Lac'ın geometrik ve fiziksel parametrelerinin bulunması için ilk girişim Milone (1977) tarafından yapılmıştır. 1965 ve 1969 yıllarında elde edilen ışık eğrilerinin birbirinden farklı olması nedeniyle ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tutulmalar dışındaki parlaklık değişimi Fourier serisiyle temsil edilerek ışık eğrileri arındırıldığında iki ışık eğrisinin birbirinden yine farklı olduğu görülmüştür. Bunun üzerine,

$$I'' = I' - (1-f_p) (I' - 1)$$

şeklinde bir bağıntıyla ışık eğrilerinin özellikle Min I bölgeleri çakıştırılmaya çalışılmıştır. Burada f_p baş yıldızın kesirsel ışık kaybıdır. Aynı ışık eğrileri başka bir yaklaşımla Eaton ve Hall (1979) tarafından çözülmeye çalışılmıştır. Bu çözümde yıldızlardan birinin yüzeyinin lekelerle kaplandığı varsayılmış ve lekelerin kapladığı alan,

$$A = B + C [(1+\cos(\lambda-\lambda_0))/2] + D f(\lambda_1, \Delta\lambda),$$

şeklinde bir bağıntıyla temsil edilmiştir. Burada λ yörünge hareketi yönünde boylamı göstermektedir. B, C ve D sabitleri gözlenen ışık eğrisine göre değişebilen sabitlerdir. Bu iki çözümün sonuçlarını Çizelge I de karşılaştıralım.

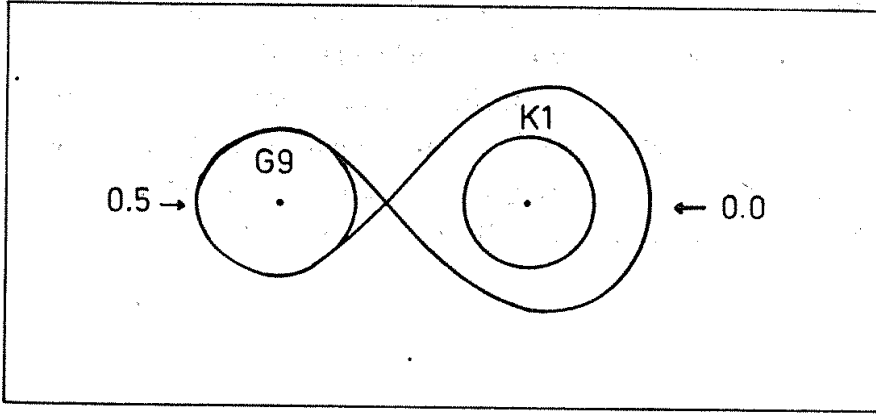
ÇİZELGE I

Element	Milone (1977)	Eaton ve Hall (1979)
i	88°9	89°
r_g	0.282	0.295
r_s	0.259	0.270
L_g	0.588	T_g 5715 °K
L_s	0.412	T_s 5300 °K

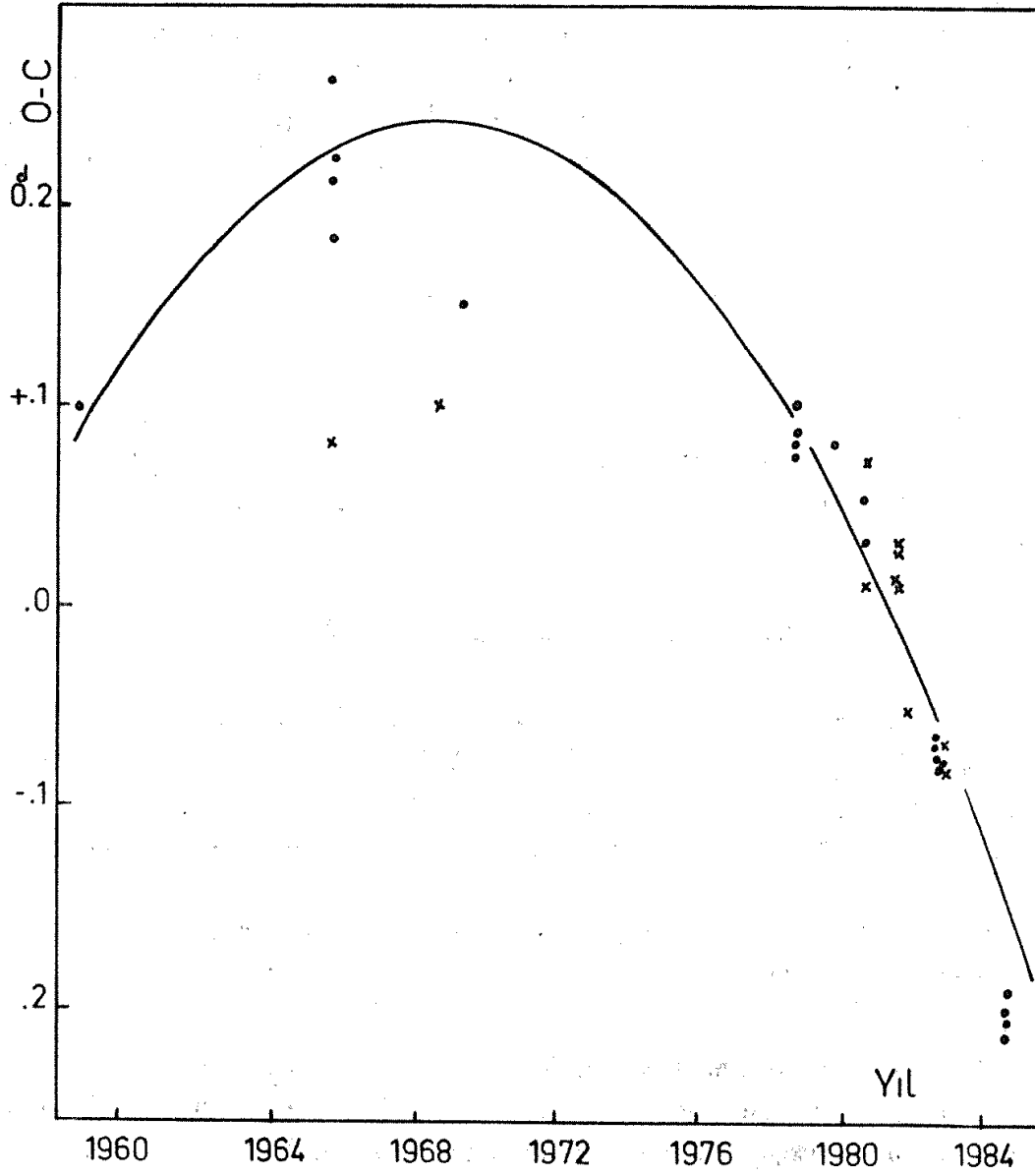
Bu iki çözüme göre ön tayf türündeki G9 bileşeni baş minimumda örtülmektedir (Şekil 1). Öyleyse baş minimumda renk kızıllaşmalıdır. Halbuki gözlemlerden elde edilen renk değişimi rengin baş minimumda mavileştiğini göstermektedir. Geri tayf türündeki bileşen öndeyken rengin mavileşmesi bu yıldızın görünürdeki diskinin büyük bir kısmının kararmış olmasıyla belki açıklanabilir. Ancak, bu durumda da tutulma süresi ve biçiminin değişmesi gerekir.

RT Lac'ın bugüne değin açıklanamayan özelliklerini şöyle sıralayabiliriz :

- Tutulmalar dışında maksimumlar arasındaki büyük parlaklık farkı,
- Rengin baş minimumda mavileşip yan minimumda kızıllaşması,
- Bileşenler arasında madde taşınımı veya bileşenlerden birisini çevreleyen gaz zarfın varlığı,
- Dönemdeki değişmeler,
- Evre bağımlı ve bağımsız kızılöte artışı,



Şekil 1 : Bileşenlerin büyüklükleri ve Roche yüzeyleri.



Şekil 2 : RT Lac'ın dönem değişimi. (x) ile gösterilenler Min II ve karşılık gelen O-C ler olup hesaplamada kullanılmamıştır.

- f— Öteki RS CVn yıldızlarına göre çok kuvvetli radyo salmaları,
g— Sistemin duyarlı parametrelerinin elde edilememesi.

Burada sözünü ettiğimiz olayların açıklanabilmesi için sistemin art ardına uzun yıllar gözlenmesi gerekliydi. Bu amaçla 1978 Temmuz ayında çiftin gözlemlerine başladık ve bugüne değin sürdürdük. Sistemin yörünge döneminin 5.074 gün olması ışık eğrisinin tamamının elde edilmesini güçleştirmiştir. Bu bakımdan bazı yıllarda ışık eğrisinde boşluklar vardır.

2. DÖNEM DEĞİŞİMİ

1890 ile 1974 yılları arasında elde edilen minimum zamanları Hall ve Kreiner (1980) tarafından derlenerek incelenmiştir. Dönemin zamanla büyüdüğü bunun da küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene madde taşınımından meydana gelebileceği ileri sürülmüştür. 1958 ile 1982 yılları arasında elde edilen fotoelektrik minimum zamanlarına karşı gelen O—C değerlerini dönem sayısı (E) ya da yıllara göre işaretlediğimizde Şekil 2 deki gibi bir değişim görürüz. Bu değişimin parabolik ifadesi yazılarak en küçük kareler yöntemiyle ışık öğeleri,

$$\text{Min I} = \text{JD He I } 2444 \ 873.3648 + 5^{\text{d}}.0739496 \text{ E} - 2^{\text{d}}.7 \times 10^{-8} \text{ E}^2$$

±8 ±43 ±3

şeklinde bulunmuştur. Görüldüğü gibi çiftin yörünge dönemi zamanla azalmaktadır. Azalma miktarı yüzyılda 34 saniye yöresindedir. 1984 yılında elde edilen minimum zamanlarına karşılık gelen O—C sapmaları parabolün daha da altında kalmakta, dönemdeki kısalmanın biraz daha büyük olduğunu göstermektedir.

3. IŞIK EĞRİSİNDEKİ DEĞİŞMELER

Işık eğrisi zamanla değiştiği için her yılın ışık eğrisinin biçimi ötekilerden farklıdır. Işık eğrilerini birbiriyle karşılaştırabilmek, aradaki farkı görebilmek için ortalama bir ışık eğrisiyle karşılaştırmak istiyoruz. Bu ortalama ışık eğrisi, 1980 yılına ilişkin ışık eğrisinin hiç bir düzeltme ya da indirgeme yapılmadan Wood yöntemiyle çözümünden bulunan

$$i=84^{\circ}4 \quad r_A=0.304 \quad r_B=0.312 \quad T_A=4518 \text{ }^{\circ}\text{K} \quad T_B=4732 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$L_A=0.447 \quad L_B=0.553$$

elementlerine karşılık gelen kuramsal ışık eğrisidir. Şimdi bu kuramsal eğriyle 1978 den bu yana art arda elde ettiğimiz sekiz yılın geniş band B ışık eğrilerini karşılaştıralım.

1978 IŞIK EĞRİSİ : İki eğri yan minimum dolayında birbiriyle uyuşurken baş minimum ve tutulmalar dışında birbirinden ayrılmaktadır. Maksimum I deki fark $0^{\text{m}}.065$

iken baş minimum ortasında $0^m.19$ dir. Sistem ortalama ışık eğrisine göre daha sönüktür (Şekil 3).

1979 IŞIK EĞRİSİ : Bu kez sistemin tutulmalar dışında $0^m.07$ parladığını görüyoruz. Fakat baş minimumda $0^m.09$ daha sönüktür (Şekil 4). Baş minimum kollarındaki bakışsızlık açık bir şekilde görülmektedir. Üstelik Temmuz–Ağustos aylarında elde edilen gözlemler Ekim–Kasım aylarında elde edilen gözlemlerden ayrılmaktadır. Minimum derinlikleri hemen hemen eşittir.

1980 IŞIK EĞRİSİ : Sistem maksimum I de sönük, maksimum II de ise daha parlaktır (Şekil 5). Min II derinliği Min I derinliğini geçmiştir.

1981 IŞIK EĞRİSİ : Maksimum I de sistem $0^m.075$ daha parlaktır. Min I derinliği $0^m.2$ artmıştır (Şekil 6). Min II derinliğindeki artma ise $0^m.04$ dolayındadır.

1982 IŞIK EĞRİSİ : Sistem yine maksimum I de parlak, maksimum II de ise daha sönüktür (Şekil 7). Tutulmalar dışındaki parlaklık değişimi bir önceki yılın ışık eğrisine tamamen benzemesine karşın minimum derinliklerinin birazcık azaldığı görülmektedir.

1983 IŞIK EĞRİSİ : Tutulmalar dışındaki parlaklık sabit kalırken, Min I deki parlaklık $0^m.09$ artmış, dolayısıyla minimum derinliği azalmıştır (Şekil 8).

1984 IŞIK EĞRİSİ : Maksimum I önceki yılın ışık eğrisiyle uyurken Maksimum II de $0^m.1$ i geçen bir parlama vardır. Her iki minimumun çıkış kolları iniş kollarından daha diktir (Şekil 9).

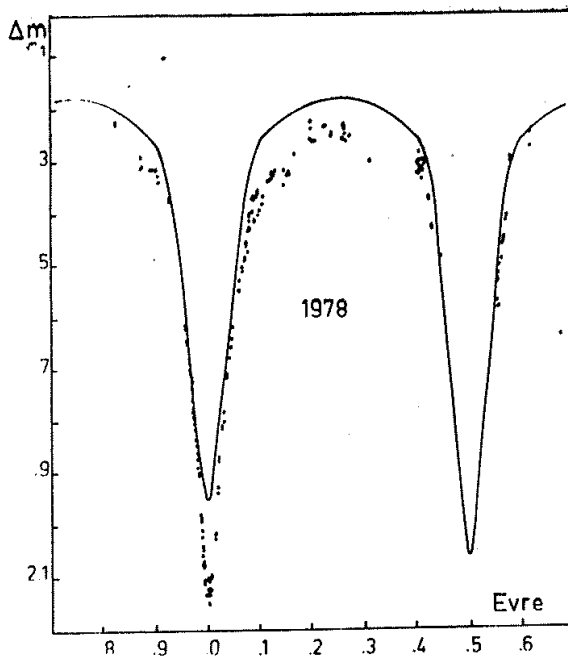
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Işık eğrisinin dört farklı bölgesi Min I, Max I, Min II ve Max II de gözlemlerle bulunan parlaklığı kuramsal ışık eğrisindeki parlaklıklarla Çizelge II de karşılaştıralım. Bu

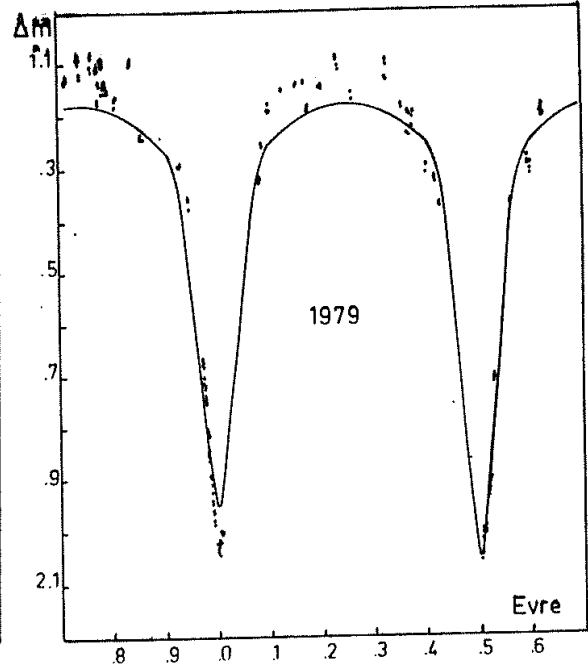
ÇİZELGE II

Kuramsal ışık eğrisiyle gözlenen ışık eğrisi arasındaki parlaklık farkları. Farklar, kuramsal değerlerden gözlem değerleri çıkartılarak bulunmuştur.

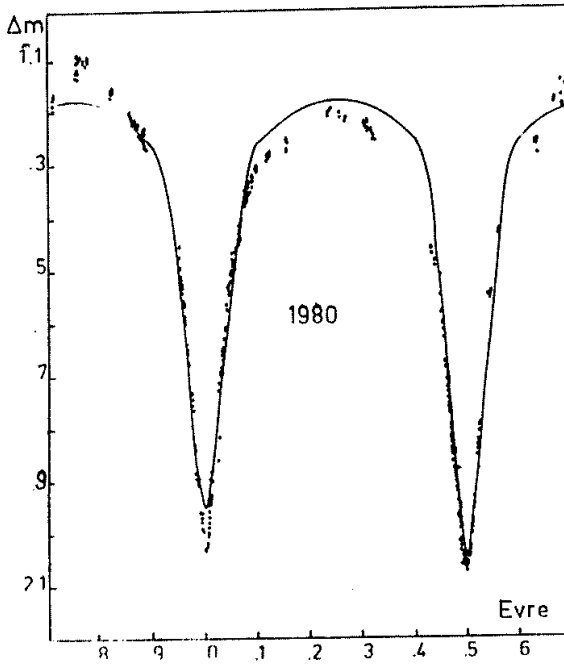
Yıl	Min I	Fark	Min II	Fark	Max I	Fark	Max II	Fark
1978	$2^m.130$	$-0^m.185$	—	—	$1^m.240$	-0.065	$1^m.225$	-0.050
1979	2.030	-0.085	2.060	-0.015	1.110	$+0.065$	1.110	$+0.065$
1980	2.030	-0.085	2.060	-0.015	1.210	-0.035	1.130	$+0.045$
1981	2.170	-0.225	2.090	-0.045	1.100	$+0.075$	1.200	-0.025
1982	2.115	-0.170	2.050	-0.005	1.110	$+0.065$	1.230	-0.055
1983	1.860	$+0.085$	2.070	-0.025	1.140	$+0.035$	1.210	-0.035
1984	1.825	$+0.120$	2.120	-0.075	1.125	$+0.050$	1.075	$+0.100$
1965	2.215	-0.270	—	—	1.310	-0.135	1.180	-0.005
Kuramsal	1.945		2.045		1.175		1.175	



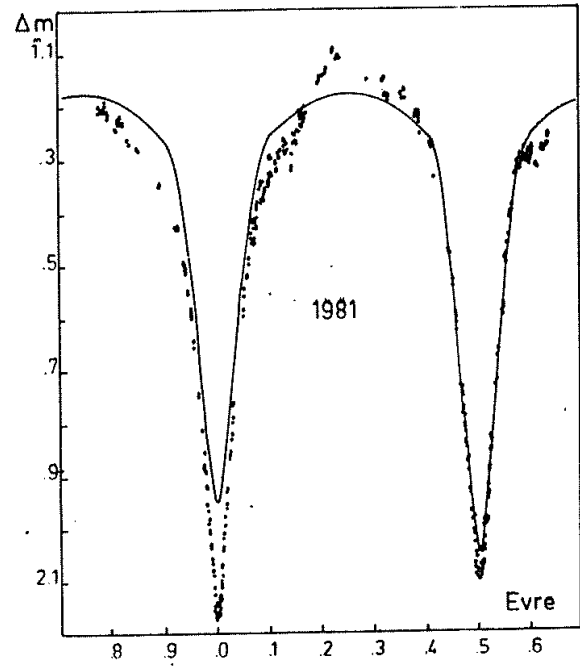
Şekil 3 : RT Lac'in B süzgecinde 1978 yılında elde edilen ışık eğrisi ve kuramsal ışık eğrisiyle karşılaştırılması.



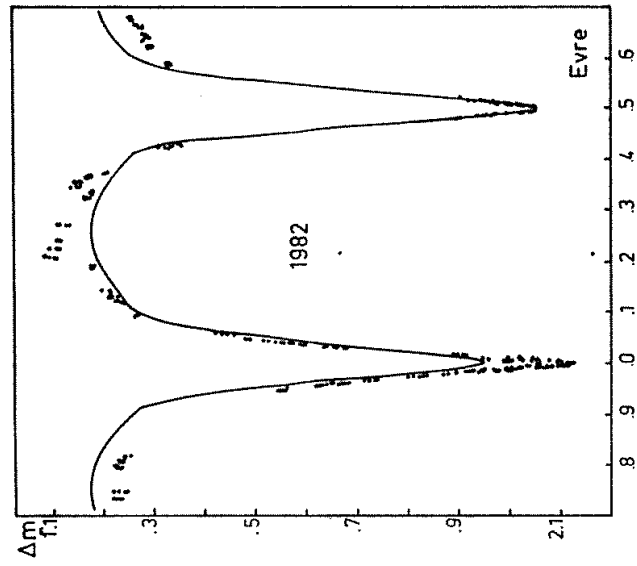
Şekil 4 : 1979 yılı ışık eğrisi.



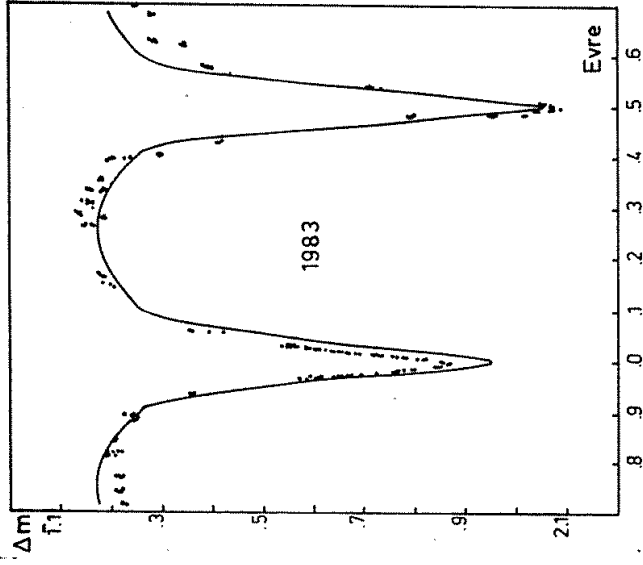
Şekil 5 : 1980 yılı ışık eğrisi.



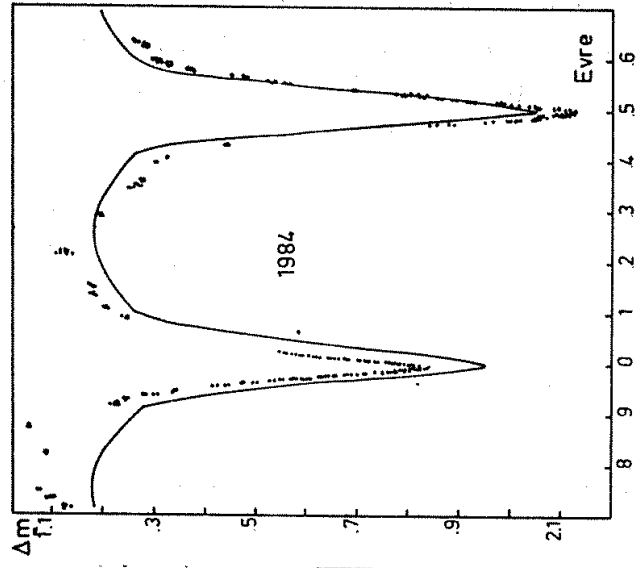
Şekil 6 : 1981 yılı ışık eğrisi.



Şekil 7 : 1982 yılı ışık eğrisi.



Şekil 8 : 1983 yılı ışık eğrisi.



Şekil 9 : 1984 yılı ışık eğrisi.

çizelgede görüldüğü gibi kuramsal ışık eğrisinden en büyük sapma baş minimumda ortaya çıkmaktadır. İki eğri arasındaki en iyi uyuşma ise yan minimum ortasına raslamaktadır. Öte yandan Min I deki parlaklık değişimi Max II nin de benzer olarak yinelediğini görüyoruz. Min I de parlaklık artarken Max II de de artmaktadır. Bu değişim oldukça düzenlidir ve 4-5 yıllık bir dönem içermektedir (Şekil 10).

Bir de yıldızın rengindeki değişimleri inceleyelim. Mukayese olarak kullanılan BD+43° 4108 yıldızının belirlenen parlaklık ve rengi şöyledir :

$$m(v) = 7^m.410 \quad B-V = 1^m.355 \quad U-B = 1^m.527$$

RT Lac'm yine dört farklı evresindeki B-V değerleri Çizelge III de verilmektedir. Bu değerler yıllara göre işaretlenerek Şekil 11 de gösterilmektedir. Bunlar içerisinde yalnızca Min I deki renk değişimi düzenlilik göstermektedir. Baş minimumdaki renk değişimi ve bunlara karşılık gelen tayf türü ile etkin sıcaklıklar şöyledir :

$$\begin{array}{llll} \text{Mavi} & B-V=1^m.040 & T_e=4720 \text{ }^\circ\text{K} & \text{tayf türü} = K0 \\ \text{Kırmızı} & 1.100 & 4580 & K1 \end{array}$$

Halbuki Min II de ortalama renk ve buna karşılık gelen tayf türü ve etkin sıcaklıklar:

$$B-V=1^m.185 \quad T_e=4460 \text{ }^\circ\text{K} \quad \text{Tayf türü} = K2$$

şeklinde. Baş minimumda $0^m.4$ e varan parlaklık değişimini $140 \text{ }^\circ\text{K}$ lik sıcaklık değişimi oluşturmaktadır. Burada verilen tayf türü ve etkin sıcaklıklar Johnson'dan (1966) alınmıştır

ÇİZELGE III

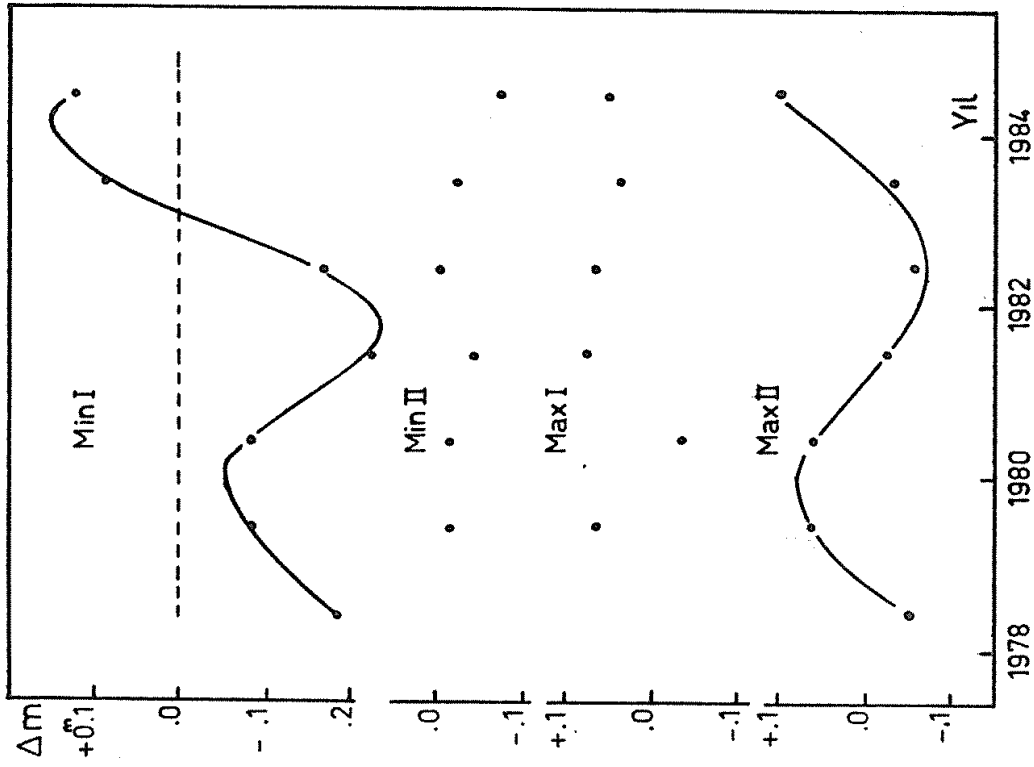
Işık eğrisinin dört farklı bölgesinde ortalama renkler

Yıl	Min I	Min II	Max I	Max II
1978	$1^m.095$	—	$1^m.125$	$1^m.105$
1979	.050	—	.125	.175
1980	.080	1.195	.145	.135
1981	.085	.195	.115	.125
1982	.087	.180	.095	.135
1983	.055	.185	.115	.115
1984	.040	.185	.080	.095
1965*	.080	.160	.140	.090

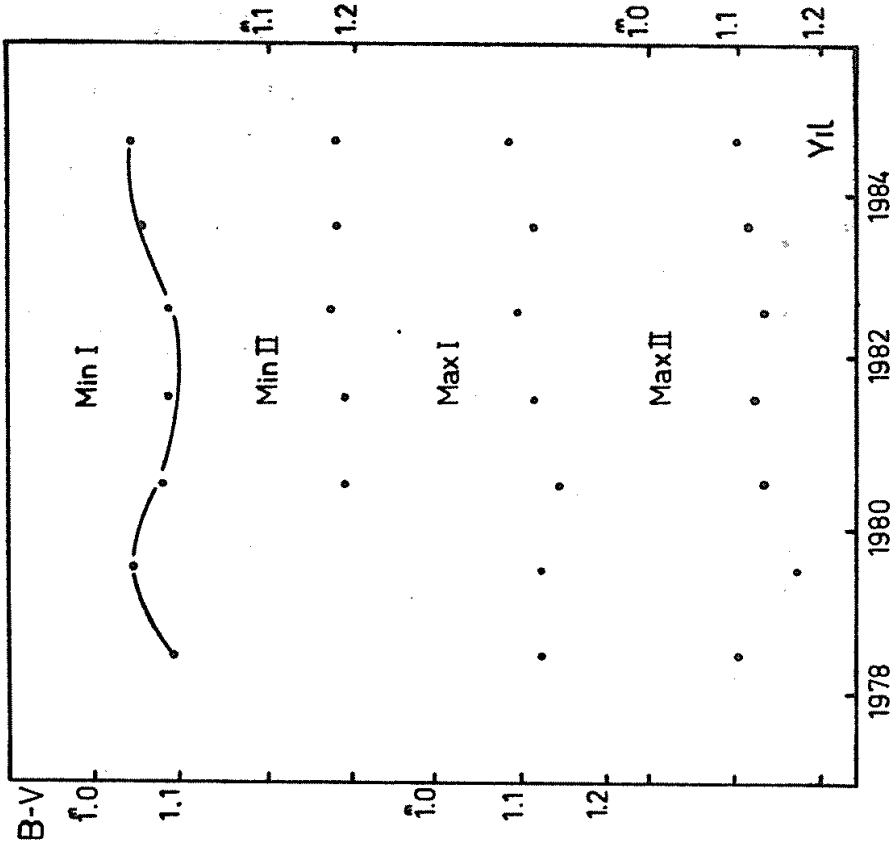
* : Milone (1968)'un ışık eğrisinden bulunan değerler

Renk ölçeklerinden bulunan tayf türleri daha önce tayfsal yöntemlerle bulunan değerlerle uyuşmaktadır.

RT Lac'm ışık eğrilerindeki değişimleri nasıl açıklayabiliriz? RS CVn yıldızlarının



Şekil 10 : Min I, Max I, Min II ve Max II deki parlaklıkların ku-
ramsal ışık eğrilerinden sapmalarının yıllara göre değişimi.



Şekil 11 : Min I, Max I, Min II ve Max II deki B-V renklerinin
yıllara göre değişimi.

ışık eğrilerinde görülen dalga biçimi bozulmalar yıldızların birisi veya her ikisinin yüzeyindeki lekelerle açıklanmaya çalışılmaktadır. Bu yıldızlardan dalga genliği en büyük olanı $0^m.2$ ile RS CVn'nin kendisidir. RT Lac'm ışık eğrisinde özellikle Min I ortasındaki değişme $0^m.4$ i bulmaktadır. Üstelik, Min I ortasındaki parlaklık değişimi, Şekil 10 dan da görüldüğü gibi, 1978 ile 1982 yılları arasında $0^m.2$ genlikli düzenli bir değişme gösterirken 1983 yılında birdenbire $0^m.2$ i geçen bir parlama olmuştur. Bu değişim Min I ortasında görünen bileşenin bir fiziksel değişen olabileceğini akla getirebilir. Bileşenlerden birisi fiziksel değişen olsaydı tutulmalar dışında daha fazla bir değişimin ortaya çıkması gerekirdi. Yalnızca lekelerden ileri gelen bir değişim düşünülüğünde yıldızın yüzeyinin hemen hemen tümünü lekelerle kaplamak gerekmektedir. Bu yıldızda tutulma dışındaki parlaklık değişimlerini tek bir etkiye bağlı olarak açıklamak oldukça güçtür. Çok kısa dalgaboylarından radyo dalgalarına kadar yapılan gözlemleri birlikte değerlendirdiğimizde RT Lac'da kütle kaybını gözönünde bulundurmamak zorundayız. Tutulmalar dışındaki parlaklık değişimlerinin birbirine benzememesi bileşenler arasında madde taşınımının bir belirticisi olarak alınabilir. RT Lac'm uzun süreli gözlemleri göstermiştir ki RS CVn türü içersine alınan yıldızların tümündeki parlaklık değişimleri yalnızca leke etkisine bağlı olarak açıklanamaz.

KAYNAKLAR

- Eaton, J. A. ve Hall, D.S. : 1979, *Astrophys. J.* 227, 907.
 Gibson, D. M., Owen, F. N. ve Hjellming, R. M. : 1978, *Publ. Astron. Soc. Pacific* 90, 751.
 Hall, D. S. : 1976, in "Multiple Periodic Variable Stars", IAU Coll. No. 29, Budapest.
 Hall, D. S. ve Haslag, K. P. : 1976, in "Multiple Periodic Variable Stars", IAU Coll. No. 29, Budapest.
 Hall, D. S., ve Kreiner, J. M. : 1980, *Acta Astron.* 30, 387.
 Hiltner, W. A. : 1947, *Astrophys. J.* 106, 481.
 Himpel, K. : 1936, *Astron. Nachr.* 261, 254.
 Johnson, H. L. : 1963, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 4, 193.
 Milone, E. F. : 1968, *Astron. J.* 73, 708.
 Milone, E. F. : 1976, *Astrophys. J. Suppl.* 31, 93.
 Milone, E. F. : 1977, *Astron. J.* 82, 998.
 Popper, D. M. ve Ulrich, R. K.: 1976, *UCLA Astron. Astrophys.* Reprint No. 5.
 Wachmann, A. A.: 1935, *Astron. Nachr.* 255, 367.