

## LX PERSEİ'NİN FOTOELEKTRİK IŞIKÖLÇÜMÜ VE YÖRÜNGE ANALİZİ

M. Okan Tümer, Cafer İbanoğlu, Serdar Evren

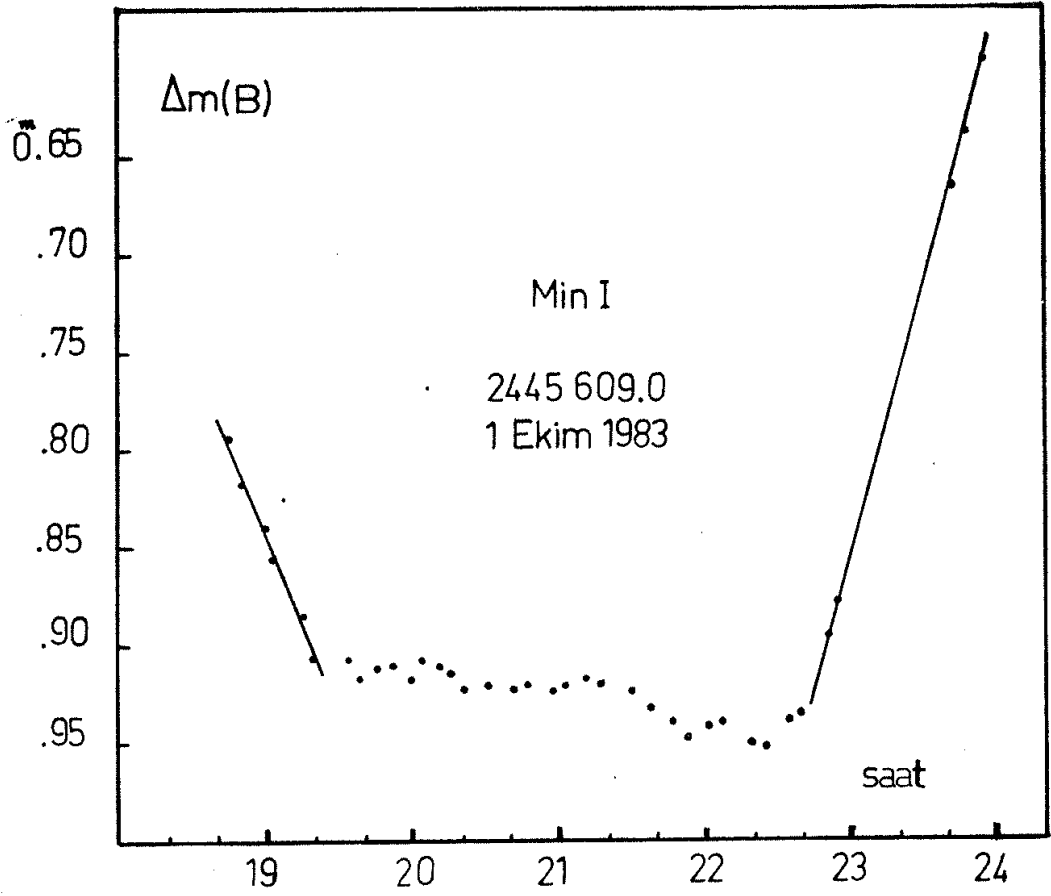
*Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İZMİR*

**ÖZET :** LX Persei örten değişen çift yıldızının Ege Üniversitesi gözleminde çeşitli yıllarda yapılan gözlemlerinden çiftin ışık elementleri bulunmuş, Wood ve NDE yöntemleriyle elde edilen parametreleri ve yanılırları karşılaştırılmıştır.

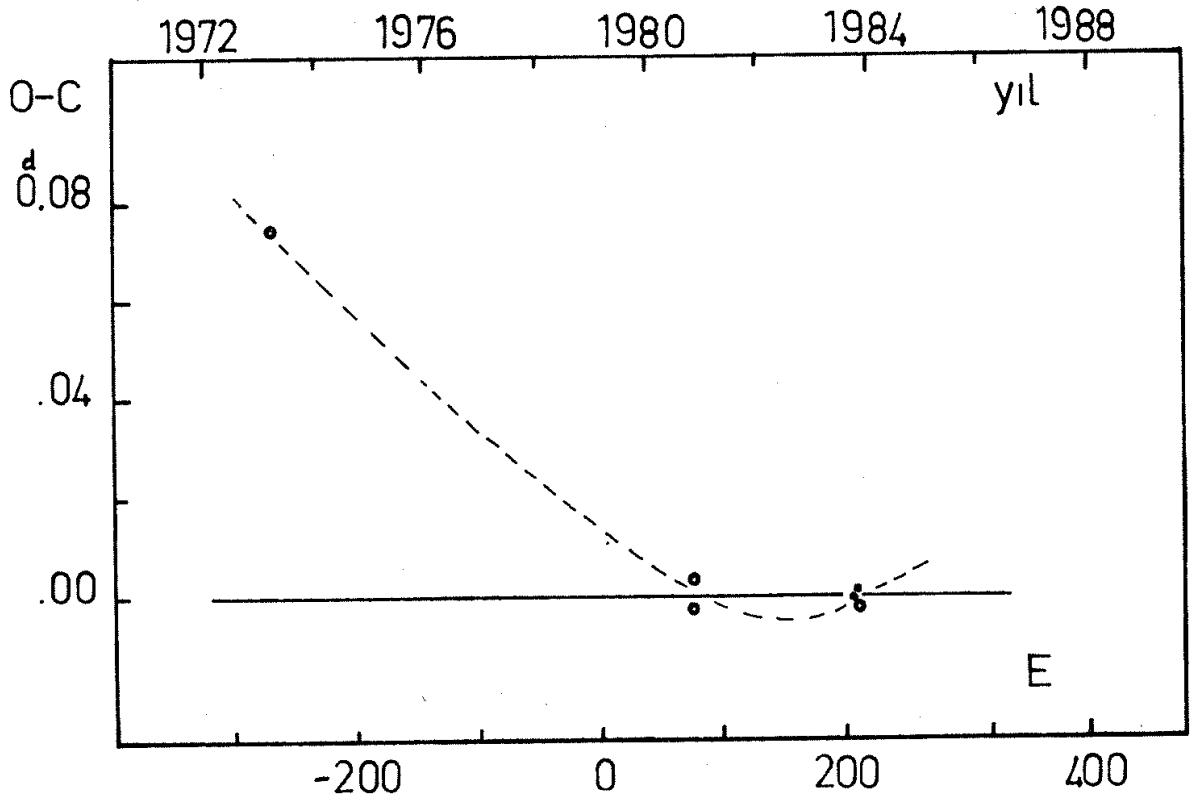
LX Persei'nin ışığında değişmelerin olduğu ilk kez Strohmeier ve Knigge (1960) tarafından ortaya konmuş ve çift örten değişen olarak sınıflandırılmıştır. Strohmeier ve arkadaşları (1962) çiftin ilk fotografik ışık eğrisini elde etmişlerdir. Yan minimumdaki parlaklık değişimini gözleyemedikleri çiftin, baş minimumdaki parlaklık azalmasını  $1^{m.0}$  olarak bulmuşlardır. Tayfında Ca II nin kuvvetli H ve K salması gözlenen LX Persei'nin ilk tayfsal çalışması Popper (1970) tarafından yapılmıştır. Çift, Popper'in anakol ve birinci aydınlatma sınıfındaki alt devlerde bulunan, bir veya iki bileşeni H ve K salması yaptığı bilinen çift yıldızlar listesinde yer almaktadır. Fitzgerald (1964, 1974) tayfsal çalışmalarına dayanarak çiftin ikinci minimumdaki parlaklık değişiminin gözlenebileceğini ileri sürmüştür. Weiler (1974) sıcak ve soğuk bileşenlerin tayf türlerini G0 V ve K0 IV, kütlelerini  $1.33 M_{\odot}$  ve  $1.39 M_{\odot}$  olarak vermektedir. Bu nedenle, Weiler RS CVn türü örten değişen çift yıldızlar grubu içine LX Persei'nin alınmasını önermiştir. Çiftin ilk fotoelektrik gözlemleri Percy (1976) tarafından yapılmıştır. Percy, çiftin yan minimumdaki parlaklık azalmasını iki gece gözleyerek mavi ve sarı renkteki değişim miktarlarını  $0^{m.17}$  olarak vermiştir.

Hall (1976 a) çifti, RS CVn türü örten değişen yıldızlar grubu içinde sınıflandırdı. LX Per, Weiler'in (1978) geniş tayfsal araştırmasını yaptığı RS CVn türü altı çift yıldız içinde, H ve K salma çizgilerindeki büyük değişmelerle ayrıcalık gösteren bir çift yıldızdır. H $\alpha$  salmalarında ise bir değişim yoktur. Popper, LX Persei'nin tutulmalar dışındaki ışık eğrisinde dalga biçimi bir bozulmanın olmadığını ileri sürmüştür. Halbuki Weiler, LX Persei'nin tayfında gözlenen büyük değişmelerin dışında H ve K salma çizgilerinin seviyelerinde küçük değişmelerin var olduğunu bulmuştur.

Çiftin fotoelektrik ilk ışık eğrisi Tümer ve arkadaşları (1983) tarafından elde edilmiştir. 1979 ve 1980 yılları arasında elde edilen gözlemlerle, tutulmalar dışında gözlenen dalga biçimi bozulmanın varlığı ve ışık eğrisinin biçimi ortaya çıkarılmıştır. Azalan evrelere doğru kayan dalga biçimi bozulmanın göç dönemini 460 gün olarak vermişlerdir. İbanoğlu ve arkadaşları (1983) 1981 ve 1982 yıllarında elde ettikleri tutulmalar dışındaki ışık değişimlerini inceleyerek dalga biçimi bozulmanın göç dönemini  $475 \pm 6$  gün olarak hesaplamışlardır.



Şekil 1 : 1 Ekim 1983 tarihinde mavi renkte elde edilen baş minimumdaki parlaklık değişimi.



Şekil 2 : Lx Persei'nin O-C değişimi.

Bazı RS CVn türü örten değişen yıldızların geniş çaplı fotoelektrik ışıkölçümüne 1978 yılında başladık. Bu yıldızlardan biri olan LX Persei, 1979 yılından beri Ege Üniversitesi Gökbilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezinde gözlenmektedir. Çiftin gözlemlerinde, Hall (1976 b) tarafından önerilen BD+47° 776 mukayese yıldızı, BD+47° 784 denet yıldızı olarak kullanılmıştır.

Çiftin döneminin ( $P = 8^d.038044$ ) günün katları biriminde olması, baş minimumda yaklaşık  $3^{sa} 20^{dk}$  lık bir tam tutulma göstermesi, duyarlı ışık elementlerinin hesaplanmasında kullanılan minimum zamanlarının elde edilmesini güçleştirmektedir (Şekil 1). Bu nedenle, 1979 yılında bir yan minimum, 1983 yılında bir baş, bir yan minimum elde edilebilmiştir. Popper'ın (1979) elde ettiği yan minimumu gözönüne alırsak, RS CVn türü örten değişen çiftlerin bazılarında gözlenen (RT Lac, V471 Tau, AR Lac) benzer bir dönem değişiminin LX Persei'de de olduğu ortaya çıkmaktadır (Şekil 2). Bu nedenle, çiftin yeni elde edilecek minimum gözlemlerine ihtiyaç vardır. Kendi elde ettiğimiz minimum zamanlarını kullanarak çiftin doğrusal ışık elementlerini,

$$\text{Min I} = \text{JD Hel. } 2443929.4300 + 8^d.038044. E$$

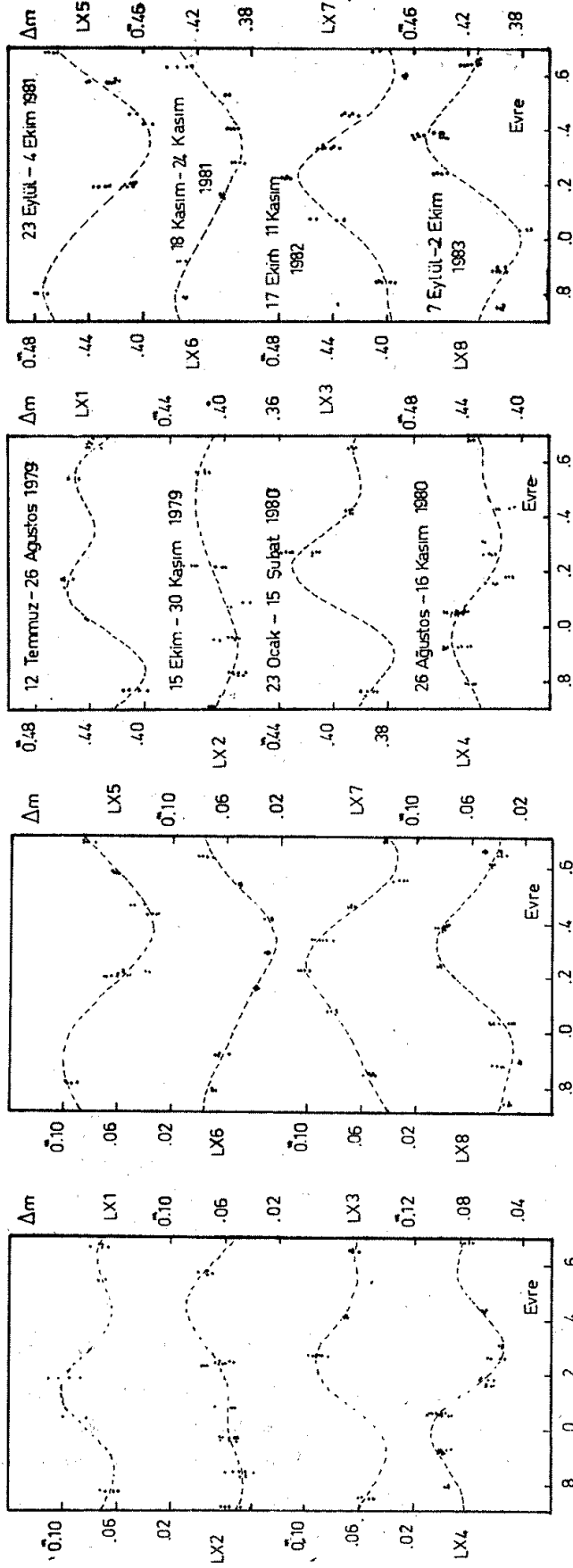
olarak bulduk. Evreler bu ışık elementleriyle hesaplanmıştır.

Örten çift yıldızların, duyarlı yörünge parametrelerinin elde edilebilmesi için, tutulmalar dışındaki ışık değişimine neden olan yakınlık etkilerinden arındırılması gerekmektedir. RS CVn türü örten değişen yıldızlarda normal yıldızlarda gözlenen yakınlık etkilerinden başka (yansıma, basıklık, tedirginlik, v.b.) leke etkisinin ortaya çıkardığı dalga biçimi bir bozulma da gözlenmektedir. Işık eğrisinde gözlenen bu etkilerin hepsine bozucu etkiler diyoruz. Tutulmalar dışındaki ışık değişimine neden olan bozucu etkileri bir Fourier serisi ile temsil edebiliriz :

$$I = A_0 + \sum_{m=1}^n A_n \cos m\theta + \sum_{m=1}^n B_n \sin m\theta$$

Burada, n gözlemleri en iyi temsil eden Fourier serisinin mertebesini göstermektedir. 1979 yılından beri sürekli olarak gözlediğimiz LX Persei'nin aynı gözlem mevsiminde art arda bir kaç dönem içersindeki gözlemlerden yararlanarak dalga biçimi değişim gösteren sekiz ışık eğrisi elde edilmiştir. Anlatımda kolaylık sağlamak amacıyla bu eğriler LX1, LX2,....., LX8 adlarıyla kodlanmıştır.

Tutulmalar dışındaki ışık değişimlerini Fourier serisi ile temsil ederken serinin mertebesini  $n=2$  olarak aldık. Tutulmalar dışındaki gözlemlerin tüm evrelere dağılması halinde bu mertebeden daha büyük değerler için benzer ışık değişim eğrileri elde edilmektedir. Fourier serisi ile temsil edilen tutulmalar dışındaki gözlemler evreye göre işaretlendiğinde mavi renkte  $0^m.07$ , sarı renkte  $0^m.10$  lik band şeklinde bir saçılma ortaya çıkmaktadır. Fourier katsayıları ile elde edilen kuramsal eğrilerin tutulmalar dışındaki gözlemlerle karşılaştırması mavi renkte Şekil 3 ve Şekil 4 de, sarı renkte Şekil 5 ve Şekil 6



Şekil 3, 4 : Mavi renkte Fourier katsayıları ile elde edilen kuramsal eğrilerin tutulumlar dışındaki gözlemlerle karşılaştırması.

Şekil 5, 6 : Sarı renkte Fourier katsayıları ile elde edilen kuramsal eğrilerin tutulumlar dışındaki gözlemlerle karşılaştırması.

da verilmektedir. Dalga eğrilerinin maksimumları, başka bir deyişle sistemin toplam parlaklığı ve dalga eğrilerinin genlikleri, zamana göre düzensiz bir değişim göstermektedir (Şekil 7).

LX Persei de tutulmalar dışındaki dalga biçimi bozulmanın, zamanla azalan evrelere doğru kaydığı ilk kez Tümer ve arkadaşları (1983) tarafından ortaya atılmıştır. Tutulmalar dışındaki parlaklık değişiminin Fourier gösterimleri olan LX1, LX2 ve LX4 eğrilerinden, LX Persei'nin göç dönemini 460 gün olarak bulmuşlardır. İbanoğlu ve arkadaşları (1983) LX5, LX6 ve LX7 eğrilerini de gözönüne alarak göç dönemini  $475 \pm 6$  gün olarak hesaplamışlardır. Daha sonra değerlendirilen LX3 ve 1983 yılında elde edilen LX8 kuramsal eğrileri bu dönemi doğrulamaktadır (Şekil 8).

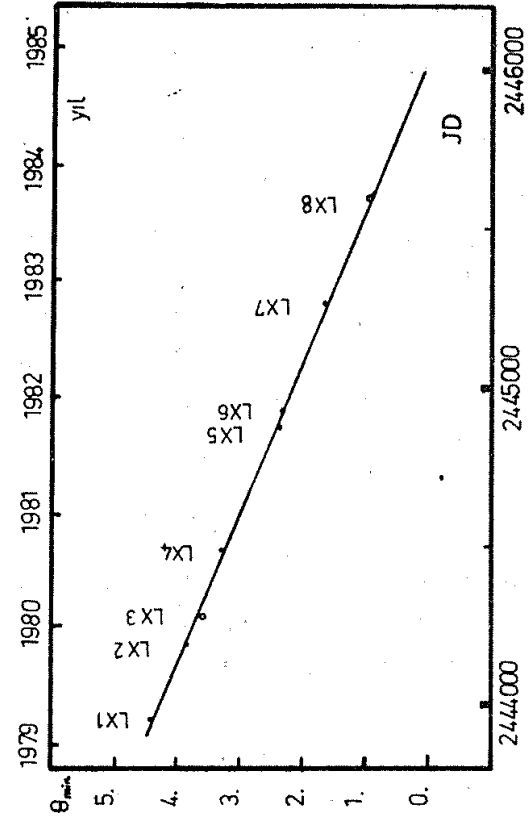
Çiftin yörünge analizi Wood ve NDE (Nelson–Davis–Etzal) yöntemleri ile yapılmıştır. Çözüm için gerekli olan yüzey çekim katsayıları ( $\log A = 4.12$  ve  $\log B = 3.66$ ) Popper ve Ulrich (1977), kütle oranları ( $q = 0.96$ ) Weiler (1978), bileşenlerin sıcaklıkları (G2 tayf türü için  $T_e = 5800$  °K) Morton ve Adams (1968), çekim kararım katsayıları ( $\beta_A = 0.08$  ve  $\beta_B = 0.08$ ) Lucy (1967), kenar kararım katsayıları (mavi renkte  $X_A = 0.77$  ve  $X_B = 0.91$ , sarı renkte  $X_A = 0.61$  ve  $X_B = 0.72$ ) Grygar ve arkadaşlarından (1972) alınmıştır.

Kuramsal eğrilerin hesaplanmasında kullanılan aynı dönem içindeki gözlemler bozucu etkilerden arındırılarak çözüm için gerekli olan normal noktalar oluşturulmuştur. Çiftin tüm ışık eğrisi, 1983 yılında elde edilebildiğinden diğer yıllardan bağımsız ayrı bir çözüm yapmamıza olanak tanımıştır. Mavi ve sarı renkteki normal noktalar Şekil 9 ve Şekil 10 da verilmektedir. Çiftin renk eğrisinin baş minimumda kızıllaşması, parlak olan bileşenin sönük olan bileşene göre daha ön tayf türünde olduğunu göstermektedir. Bu da Weiler'in (1978) tayfsal çalışmasını doğrulamaktadır (Şekil 10).

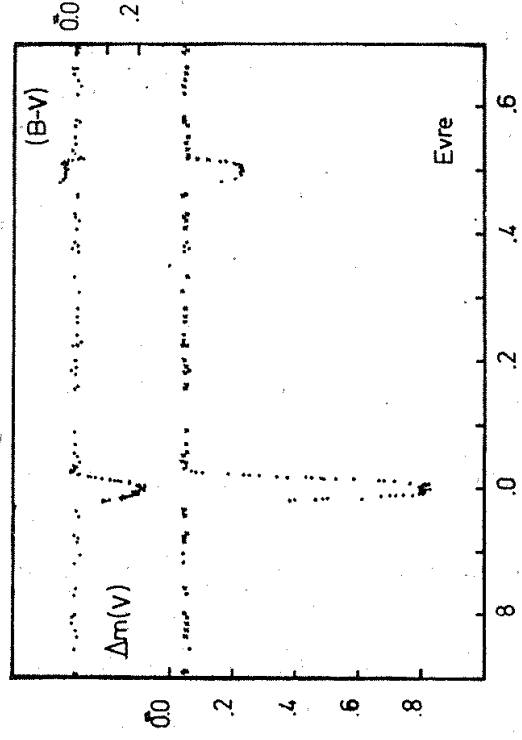
İlk çözüm takımı 1983 yılı gözlemlerinden, ikinci çözüm takımı LX1, LX2, ..... , LX7 kuramsal eğrilerinin hesaplanmasında kullanılan gözlemlerin 1983 yılındaki gözlemlerle birleştirilmesinden elde edilmiştir. Her iki çözümdeki parametrelerin hata sınırları içinde birbiriyle uyduğu görülmektedir. Wood yöntemi ile bulunan parametreler ve yanılırları Çizelge I de, bu parametreler ile hesaplanan kuramsal ışık eğrilerinin gözlemlerle karşılaştırması, mavi renkte Şekil 11, sarı renkte Şekil 12 de verilmektedir.

Wood yöntemindeki benzer uyuşum NDE yönteminde de ortaya çıkmaktadır. NDE yöntemi ile bulunan parametreler ve yanılırları Çizelge II de, bu parametrelerle hesaplanan kuramsal ışık eğrilerinin gözlemlerle karşılaştırması, mavi renkte Şekil 13, sarı renkte Şekil 14 de verilmektedir.

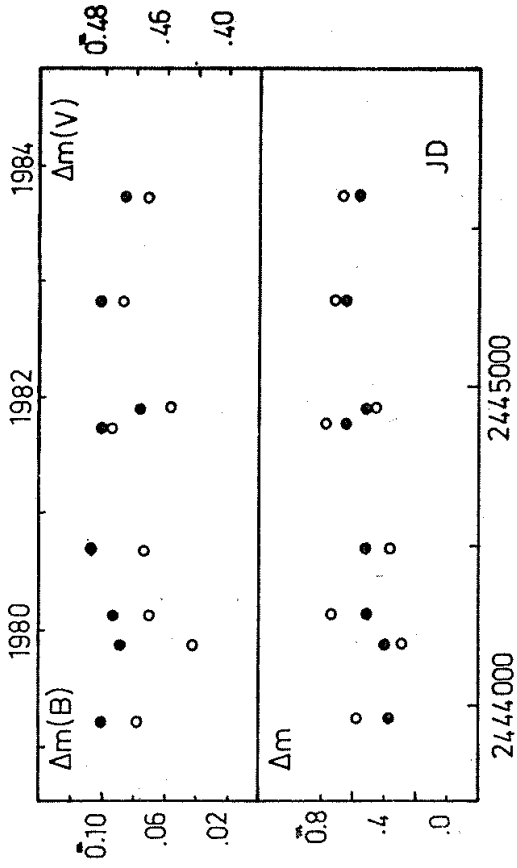
Her iki çözüm yönteminde elde edilen sonuçların her iki renkte uygunluk göstermesi, sadece RS CVn türü Algol benzeri yıldızların ışık eğrilerinin analizinde böylesi bir arındırmanın yapılmasının yerinde olacağını göstermektedir. Weiler'in (1974) tayfsal çalışması ile, elde ettiğimiz fotoelektrik parametreleri birleştirirsek sistemin salt boyutlarını bulabiliriz. Her iki yöntemin çözüm sonuçlarından ortalama parametreler aşağıdaki gibi,



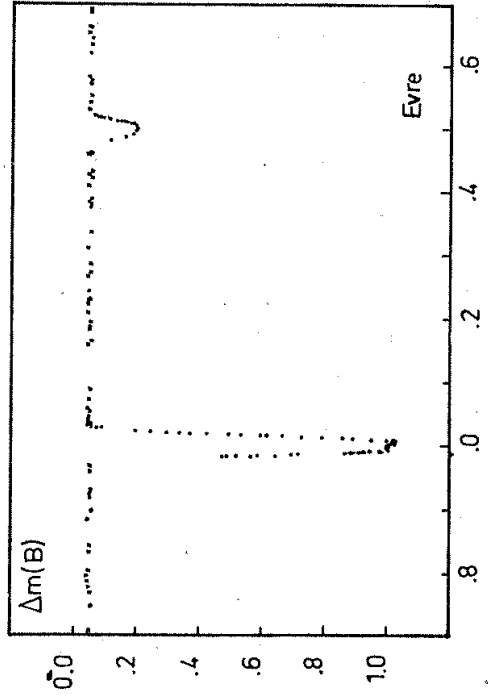
Şekil 8 : Tutulmalar dışındaki dalga biçimli bozulmanın zamana göre azalan evrelere doğru değişimi.



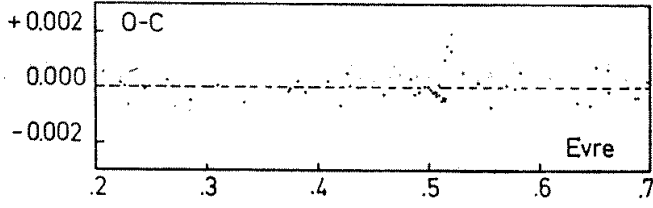
Şekil 10 : Sarı renkteki normal noktalar ve çiftin renk eğrisi. Çarpılar 1979-1980-1981-1982, noktalar 1983 yılı gözlemlerini göstermektedir.



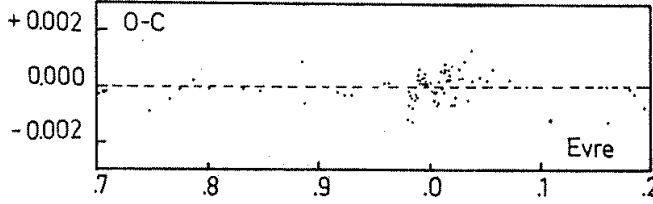
Şekil 7 : Üstde, dalga eğrilerinin maksimum parlaklığının altda dalga eğrilerinin genliklerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Doğru olan noktalar mavimsi renkteki, boş olan noktalar sarı renkteki değişimi göstermektedir.



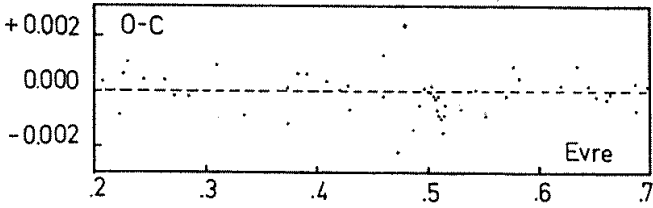
Şekil 9 : Mavi renkteki normal noktalar. Çarpılar 1979-1980-1981-1982, noktalar 1983 yılı gözlemlerini göstermektedir.



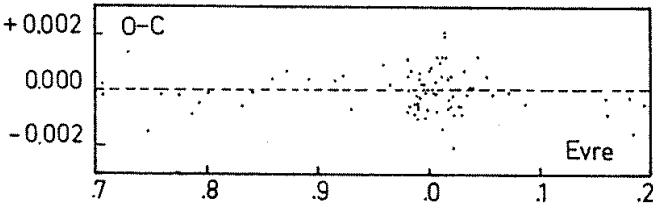
Şekil 11 : Mavi renkte WOOD Yöntemi çözümünden elde edilen kuramsal ışık eğrisinin gözlemlerle karşılaştırması.



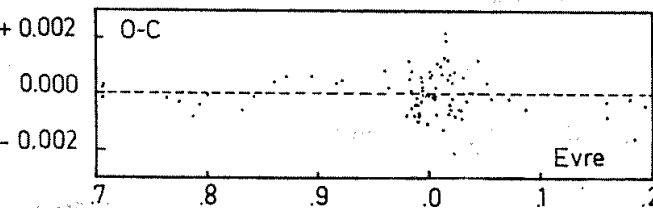
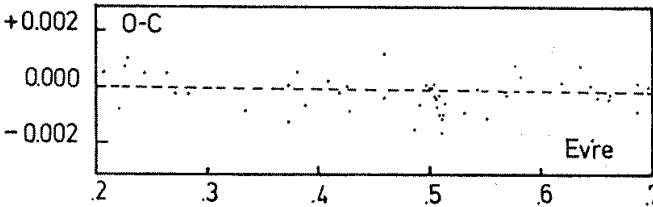
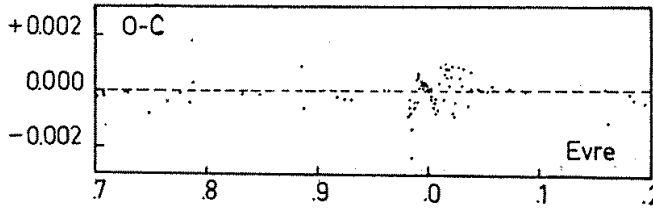
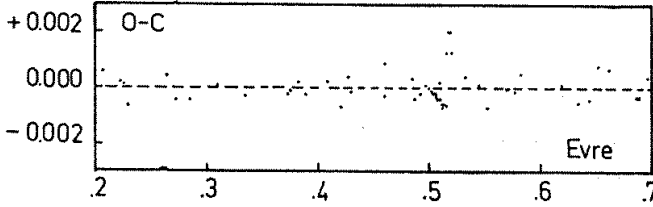
Şekil 12 : Sarı renkte WOOD Yöntemi çözümünden elde edilen kuramsal ışık eğrisinin gözlemlerle karşılaştırması.



Şekil 13 : Mavi renkte, NDE Yöntemi çözümünden elde edilen kuramsal ışık eğrisinin gözlemlerle karşılaştırması.



Şekil 14 : Sarı renkte, NDE Yöntemi çözümünden elde edilen kuramsal ışık eğrisinin gözlemlerle karşılaştırması.



ÇİZELGE I  
Wood yöntemi ile bulunan parametreler ve yanılırları

	1983(B)	TÜM(B)	1983 (V)	TÜM(V)
i	87.22	87.24	87.50	87.58
	7	7	11	15
$r_h$	0.067	0.066	0.069	0.067
	1	1	1	1
k	2.006	2.016	1.937	1.960
	16	15	13	14
$T_h$	5800	5800	5800	5800
	16	16	22	27
$T_c$	4770	4762	4795	4779
	6	6	6	11
$l_h$	0.5830	0.5832	0.4993	0.5015
$l_c$	0.4170	0.4168	0.5007	0.4985
r.m.s.	0.0056	0.0054	0.0081	0.0096

ÇİZELGE II  
NDE yöntemi ile bulunan parametreler ve yanılırları

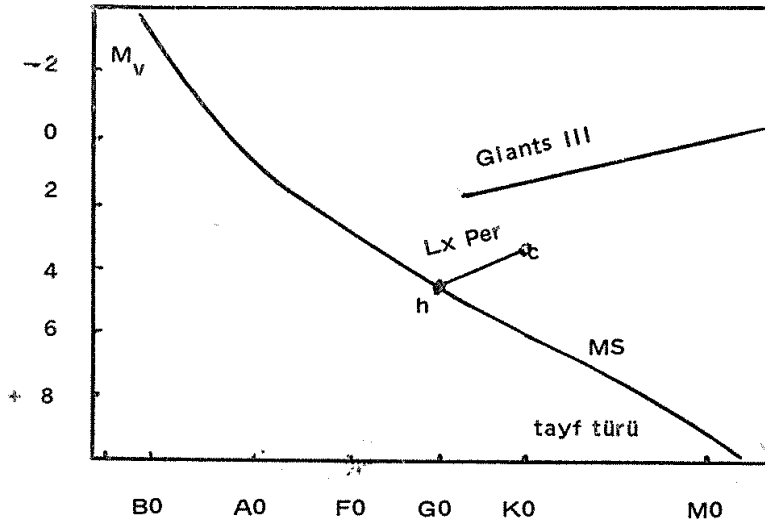
	1983 (B)	TÜM(B)	1983 (V)	TÜM(V)
i	87.26	87.24	87.56	87.57
	8	8	13	18
$r_h$	0.067	0.067	0.069	0.068
	1	1	11	1
k	1.996	2.008	1.927	1.953
	18	15	19	22
$l_h$	0.5842	0.5843	0.5017	0.5023
$l_c$	0.4158	0.4157	0.4983	0.4977
r.m.s.	0.0016	0.0006	0.0019	0.0026

$$P = 8^d.038044, \quad i = 87^\circ.4, \quad r_h = 0.068, \quad r_c = 0.134$$

seçilmiştir. Buradan,

$$a = 1.64 \times 10^7 \text{ km}, \quad r_h = 1.60 R_\odot, \quad r_c = 3.16 R_\odot, \quad M_h = 1.33 M_\odot, \quad M_c = 1.39 M_\odot$$





bulunmuştur. Weiler (1978) bileşenlerin yarıçaplarını  $r_h = 1.6 R_\odot$  ve  $r_c = 2.8 R_\odot$  olarak vermiş ve son basamaktaki değerlerin yanlışlığı olabileceğini vurgulamıştır.

LX Persei'nin sıcak bileşeni, HR diyagramında anakolun tam üstündedir. Soğuk bileşen ise anakoldan ayrılmış devler bölgesinde yer almıştır (Şekil 15). Kütle yarıçap gösteriminde de soğuk bileşenin anakoldan sıcak bileşene göre daha fazla ayrıldığı görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Fitzgerald, M. P. : 1964, Publ. David Dunlap Obs. 2, 417.  
 Fitzgerald, M. P. : 1974, J. Roy. Astron. Soc. Canada, 68, 23.  
 Grygar, J., Cooper, M. L. ve Jurkevich, I. : 1972, Bull. Astron. Inst. Czech. 23, 147.  
 Hall, D. S. : 1976 a in Multiple Periodic Variable Stars, IAU Coll. No. 29, Budapest.  
 Hall, D. S. : 1976 b IAU Comm. 42, Circ. No.2.  
 İbanoğlu, C., Evren, S., Tümer, O., Ertan, A.Y. ve Tunca, Z.: 1983, Astrophys. Space Sci. 95, 409.  
 Lucy, L. B. : 1967, Z. Astrophys 65, 89.  
 Morton, D. C. ve Adams, T. F. : 1968, Astrophys. J. 151, 611.  
 Percy, J. R. : 1976, IBVS, Comn. 27, IAU, No. 1178.  
 Popper, D. M. : 1970 in Mass Loss and Evolution in Close Binaries, IAU Coll. No. 6 Copenhagen.  
 Popper, D. M. : 1979, özel haberleşme.  
 Popper, D. M. ve Ulrich, R. K. : 1977, Astrophys. J. 212, L 131.  
 Strohmeier, W. ve Knigge, R. : 1960, Veröff. Remeis Sternw. Bamberg 5, 5.  
 Strohmeier, W., Knigge, R. ve Ott, H. : 1962 Veröff Remeis Sternw. Bamberg 5, 13.  
 Tümer, O., Ertan, A. Y., Evren, S., Tunca, Z., Kurutaç, M. ve İbanoğlu, C.: 1983, Acta Astron. 32, No. 3/4, 425.  
 Weiler, E. J. : 1974, Publ. Astron. Soc. Pacific 86, 56.  
 Weiler, E. J. : 1978, Mon. Not. R. Astron. Soc. 182, 77.  
 Wood, D. B. : 1973—1978, WINK Status Report No. 1—9, özel haberleşme.

