

AM Leo ve TX Her Çift Sistemlerinin Dönem Değişimi

İbrahim ÖZAVCI¹, Aslı ELMASLI¹, Ozan AKSU¹, Mesut YILMAZ¹, Cem ÇETİNTAŞ¹, Hakan Volkan SENAĞCI¹, Taner TANRIVERDİ¹, Arzu KARA¹, Tansel AK², Selim O. SELAM¹, Berahitdin ALBAYRAK¹

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Ankara

²İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34452, İstanbul

Özet: Bu çalışma AM Leo ve TX Her örten çift yıldızlarının, yeni gözlenmiş minimum zamanları ile birlikte ayrıntılı dönem analizlerini içermektedir. Her iki sistemin dönem değişimi çevrimsel yapıyı olup, olası bir üçüncü cismin varlığı (light-time effect) ile açıklanmıştır. AM Leo ve TX Her sistemlerinin (O-C) eğrilerinin dönemi sırasıyla 45.14 ve 51.47 yıl, yarı genlikleri ise 0.0058 ve 0.0143 gündür. Görünmeyen üçüncü bileşenin yörünge dışmerkezliği ve kütlesi sırasıyla, AM Leo için 0.73 ve 0.17M_☉, TX Her için ise 0.81 ve 0.48M_☉ olarak hesaplandı.

Anahtar kelimeler: Örten çift yıldızlar, Işık-zaman etkisi, AM Leo, TX Her

Abstract: A period study of the eclipsing binaries AM Leo and TX Her based on the extensive series of published minima times indicates the periodic (O-C) variations for the systems. The variations of AM Leo and TX Her can be attributed to the light-time effect due to a third body with a period of 45.14 and 51.47 years and semi-amplitude of 0.0058 and 0.0143 days in the systems, respectively. The analysis yields an orbital eccentricity of 0.73 and 0.81 for AM Leo and TX Her, respectively. The masses of the third body assumed in co-planar orbit with the binaries are 0.17M_☉ for AM Leo and 0.48M_☉ for TX Her.

Keywords: Eclipsing binary stars, Light-time effect, AM Leo, TX Her

1. Giriş

ADS 8024 görsel çift yıldızın parlak bileşeni olan AM Leo (BD +10° 2234, HIP 53937) çok çalışılan değen çift yıldızlardan biridir. AM Leo'un ışık değişimi Hoffmeister (1935) tarafından fark edildi ve Worley & Eggen'in (1956) fotoelektrik gözlemleriyle W UMa türü bir değişen yıldız olduğu görüldü. Filtresiz ilk tam fotoelektrik ışık eğrisi Abrami (1959) tarafından elde edildi.¹

ADS 8024 görsel çiftinin parlak bileşeni olan AM Leo ile sönük bileşeninin maksimum ışıktaki parlaklık farkı, $\Delta V=1.48$ kadirdir (Hiller vd. 2004). AM Leo'nun ışık eğrisinde geceden geceye değişimler olduğu ilk kez Binnendijk (1969) tarafından fark edildi. Abrami ve Binnendijk'in elde ettiği ışık eğrileri birbirine çok benzemekte ve birinci minimumlar tam tutulma göstermektedir. Buna göre sistem bir W türü W UMa'dır. AM Leo'nun literatürde çok sayıda fotoelektrik ışık eğrisi bulunmaktadır. Bunlar; Abrami (1959), Bookmyer (1961), Binnendijk (1969), Hoffmann & Hopp (1982), Lee (1989), Demircan vd. (1992) ve Hipparcos uydusu (1997) tarafından verilmiştir.

Sistemin ışık eğrisi çözümleri ise Abrami (1959), Binnendijk (1969), Mauder (1975), Hutching & Hill (1973), Twigg (1979) (bkz. Mochnecki 1981), Jabbar & Kopal (1983), Binnendijk (1984) tarafından yapıldı. En son fotoelektrik ve CCD gözlemlere dayalı çalışma ise Hiller vd. (2004) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin kütle oranı 0.398 ve yörünge eğim açısı ise yaklaşık 86° olarak belirlendi. Sistemin tayf türü ise F8V dır (Hiller vd. 1975).

AM Leo çift sisteminin dönem değişimi, Bookmyer (1961), Binnendijk (1969), Hoffmann & Hopp (1982), Mullis & Faulkner (1989) Demircan & Derman (1992), Kreiner vd. (2001), Hiller vd. (2004) tarafından incelendi. Demircan & Derman'ın 1992 yılında yaptıkları çalışmada, dönem değişimini yarattığı düşünülen olası bir üçüncü cismin dönemini ~33 yıl ve kütlesini ~0.1 M_☉ olarak hesaplandı.

TX Her (HD 156965, BD +42° 2823, HIP 84670) yörünge dönemi 2.0598 gün olan Algol türü bir çift sistemdir. Değişen yıldız olduğu 1910 yılında Miss Cannon tarafından keşfedildi (Pickering, 1910). Bileşenlerin tayf türleri A5 ve F0 olarak sınıflandırıldı (Petrie, 1950). Popper'ın (1970) fotometrik ve radyal hız gözlemlerinin analizinden elde ettiği parametreler;

¹ Bildiri tam metni için: İbrahim ÖZAVCI
e-mektup: ozavci@science.ankara.edu.tr

$$M_1 = 1.62 \pm 0.04M_{\odot}, M_2 = 1.45 \pm 0.03M_{\odot}, R_1 = 1.60 \pm 0.05R_{\odot}, R_2 = 1.50 \pm 0.05R_{\odot}, \log L_1 = 0.99 \pm 0.08L_{\odot}, \log L_2 = 0.74 \pm 0.08L_{\odot}.$$

TX Her çift sisteminin fotoelektrik ışık eğrisi ve çözümleri, Botsula (1968), Vetešnik & Papoušek (1973), ve Lacy vd. (1987) tarafından gerçekleştirildi. Dönem değişimi bir çok araştırmacı tarafından irdelendi. Dönem değişiminin, sisteme fiziksel olarak bağlı bir üçüncü cismin yarattığı ışık-zaman etkisinden kaynaklandığını ilk kez Botsula (1956) ortaya koydu. Daha sonra Plavec vd. (1960), Vetešnik & Papoušek (1973), van Hamme (1982), Kreiner & Zola (1989) ve Wolf (1990) aynı etkiyi dikkate alarak, sistemdeki dönem değişimini incelediler.

2. Minimum Zamanları ve Dönem Değişimi

Bu çalışmada, AM Leo ve TX Her çift yıldızlarının sahip oldukları çevrimsel yapılı dönem değişimleri analiz edildi ve ışık-zaman etkisine göre yorumlandı. Bu amaçla sistemlerin yayınlanmış tüm minimum zamanları orijinal kaynaklarına ulaşılarak derlendi.

AM Leo: Sistemin 1956'dan 2004 yılına kadar olan 48 yıllık zaman aralığı için toplam 252 adet minimum zamanına ulaşıldı. Bu minimum zamanlarından 149 tanesi görsel, 91 tanesi fotoelektrik ve 12 tanesi de ccd gözlemlerinden elde edilmiş. Bu çalışmada, fotoelektrik ve ccd gözlemlerinden elde edilen minimum zamanlarına uygulanan en küçük kareler yaklaşımıyla elde edilen yeni ışık elemanları;

$$\text{Min I} = \text{HJD}2452397.3545 + 0^{\text{e}}.36579744 * E \quad (1)$$

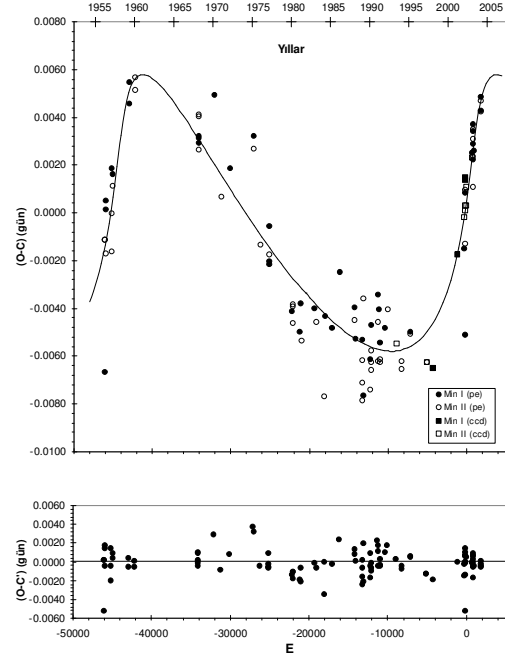
$$\pm 18 \quad \pm 18$$

Bu veriler ışığında AM Leo için oluşturulan (O-C) diyagramındaki görsel veriler, fotoelektrik ve ccd verilerin oluşturduğu trendi takip etse de fazla saçılma göstermektedir. Bu yüzden analizde görsel minimumlar kullanılmadı, sadece fotoelektrik ve ccd minimumları dikkate alındı.

AM Leo için elde edilen (O-C) diyagramı çevrimsel yapıda olup (bkz. Şekil 1), yarı genliği ~ 0.0058 gün, dönemi ise ~ 45 yıldır.

AM Leo çift sistemine fiziksel olarak bağlı, olası bir üçüncü cisim etkisi altında meydana gelen ışık-zaman etkisi, Irwin'in (1952) dışmerkezlikli yörüngeler için verdiği formülasyonlar kullanılarak modellendi. Şekil 1 de, (O-C) diyagramındaki çevrimsel değişimi en iyi temsil eden 3.cisim

yaklaşımından elde edilen sinüs fiti ve artıkları verildi.



Şekil 1. AM Leo'nun (O-C) eğrisi üzerine yapılan teorik fit ve gözlem-hesap artıkları.

AM Leo'nun (O-C) eğrisi üzerine yapılan teorik fitin fark kare toplamları $\Sigma(O-C)^2 = 0.0002$ gün² olup bu fitten elde edilen parametreler Tablo 1'de listelendi.

Tablo 1. AM Leo için elde edilen 3.cisim parametreleri.

A (gün)	0.0058±0.0004
e	0.73±0.05
w (°)	22.0±4.0
P (yıl)	45.14±0.51
f(m₃) (M_⊙)	0.0012±0.0004
a₁₂sin i (AB)	1.36±0.15

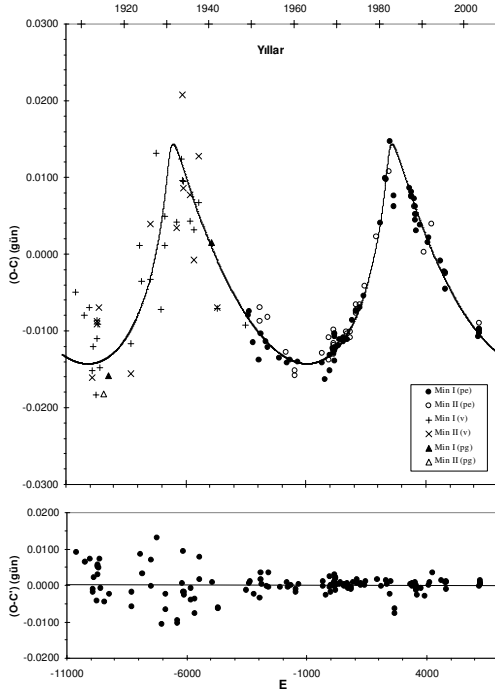
TX Her: Sistemin 1908'den 2003 yılına kadar olan 95 yıllık zaman aralığı için toplam 313 adet minimum zamanına ulaşıldı. Bu minimum zamanlarından 212 tanesi görsel, 4 tanesi fotoğrafik ve 97 tanesi ise fotoelektrik gözlemlerinden elde edilmiş. Fotoelektrik gözlemlerinden elde edilen minimum zamanlarına uygulanan en küçük kareler yaklaşımıyla elde edilen yeni ışık elemanları;

$$\text{Min I} = \text{HJD}2440008.3705 + 2^{\text{e}}.0598097 * E \quad (2)$$

$$\pm 7 \quad \pm 3$$

Bu veriler ışığında TX Her için oluşturulan (O-C) diyagramındaki bazı görsel veriler genel dağılımın dışında fazla saçılma gösterdiklerinden analizde dikkate alınmadılar.

TX Her için elde edilen (O-C) diyagramı çevrimsel yapıda olup (bkz. Şekil 2), yarı genliği ~ 0.014 gün, dönemi ~ 51.5 yıl olup, bu çevrimsel yapı ışık-zaman etkisi ile açıklanmaya çalışıldı. AM Leo sistemi için yapılan analiz, TX Her'e de uygulandı. Sistemin (O-C) diyagramı, 3.cisim yaklaşımı ile yapılan teorik fit ve bu fitten olan artıklar Şekil 2'de verildi.



Şekil 2. TX Her'in (O-C) eğrisi üzerine yapılan teorik fit ve gözlem-hesap artıkları.

TX Her'in (O-C) eğrisi üzerine yapılan teorik fitin fark kare toplamları $\Sigma(O-C)^2 = 0.0017 \text{ gün}^2$ olup bu fitten elde edilen parametreler Tablo 2'de listelendi.

Tablo 2. TX Her için elde edilen 3.cisim parametreleri.

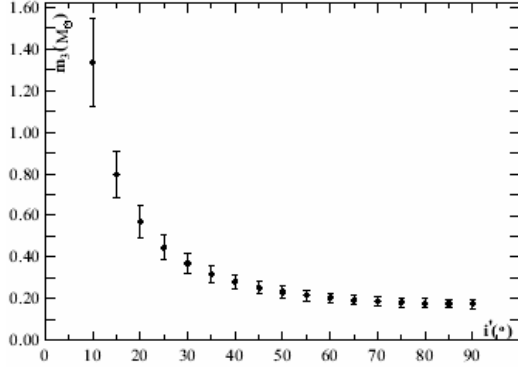
A (gün)	0.0143±0.0003
e	0.81±0.02
w (°)	51.0±3.0
P (yıl)	51.47±0.27
f(m₃) (M_⊙)	0.0089±0.0001
a₁₂sini (AB)	2.87±0.02

3. Yorum ve Tartışma

Bu çalışmada AM Leo ve TX Her örten değişen çift yıldız sistemlerinin dönem değişimleri ışık-zaman etkisi dikkate alınarak incelendi. Çünkü her iki sistem için dönem değişiminin nedeni kütle aktarımı veya kaybı olamayacağı aşikardır. Her iki sistemde de birinci ve ikinci minimumlar aynı değişim karakterine sahip olduklarından dönem değişiminin nedeni eksen dönmesi de olamaz. Ayrıca sistemlerin, çevrimsel yapı (O-C) eğrileri asimetric yapıda olduğundan, etkin dönem değişim mekanizmasının manyetik aktivite çevrimi kökenli olması da muhtemel değildir. Bu sistemlerin (O-C) diyagramlarındaki çevrimsel değişimin nedeni büyük olasılıkla sisteme fiziksel olarak bağlı bir üçüncü cismin yaratmış olduğu ışık-zaman etkisidir. Sistemlerin (O-C) eğrileri, ikinci bölümde ışık-zaman etkisi kabulü altında modellenmiş ve ilgili parametreler hesaplanmıştır.

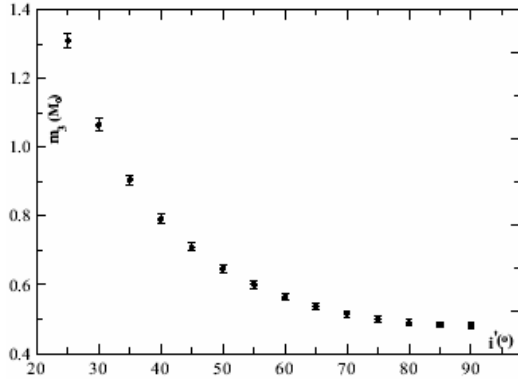
AM Leo çift sisteminin bileşenlerinin kütlesi, $M_1=1.42M_{\odot}$, $M_2=0.56M_{\odot}$ (Terrell 2004) ve yörünge eğim açısı $i = \sim 86^\circ$ (Hiller 2004) olarak bilinmektedir. Sisteme fiziksel olarak bağlı üçüncü cismin, ikili sistemle aynı düzlemde bulunduğu kabulü altında $M_3=0.174\pm 0.021M_{\odot}$ olarak hesaplandı. Eğer bu kabul doğru değilse, farklı eğim açıları için hesaplanan M_3 değerleri Şekil 3'te sunuldu. Keplerin üçüncü yasası kullanılarak 3. cismin, üçlü sistemin ortak kütle merkezine olan uzaklığı 15.47 ± 0.10 AB olarak hesaplandı. AM Leo'nun bizden uzaklığı $d= 77 \text{ pc}$ (ESA, 1997) ve $d= 125 \text{ pc}$ (Hiller, 2004) olarak verilmekte. Bu veriler ışığında 3. cismin ikili sistemden olan maksimum açısal ayrıklığı sırasıyla $0''.202\pm 0.056$ ve $0''.124\pm 0.006$ olarak hesaplandı.

Demircan ve Kahraman'ın (1991) $M_{\text{bol}}=5.84-6.54*\text{Log}(M/M_{\odot})$ ($M<0.7M_{\odot}$ için) deneysel kütle parlaklık kalibrasyonu kullanılırsa $M_{3\text{bol}} \sim 11^m$ olarak bulunur ki 3.cisim, AM Leo çiftinden yaklaşık 7 kadir daha sönmüktür.



Şekil 3. AM Leo için farklı i değerlerine karşılık hesaplanan M_3 değerleri.

TX Her çift sisteminin bileşen kütleleri $M_1 = 1.62M_{\odot}$, $M_2 = 1.45M_{\odot}$ (Popper, 1970) ve yörünge eğikliği $i = 87^{\circ}.2$ olarak bilinmektedir. Yine ikili sistemle 3. cismin aynı düzlemde olduğu varsayılırsa $M_3 = 0.48 \pm 0.02M_{\odot}$ olarak hesaplanır. Ancak 3. cismin yörünge eğikliği ikili sisteminkinden farklıysa, farklı i değerleri için hesaplanan M_3 değerleri Şekil 4'deki gibidir.



Şekil 4. TX Her için farklı i değerlerine karşılık hesaplanan M_3 değerleri.

3. cismin, üçlü sistemin ortak kütle merkezine olan uzaklığı 18.32 ± 0.21 AB olarak hesaplandı ve sistemin uzaklığı $d = 180$ pc (ESA, 1997) olarak bilinmektedir. Dolayısıyla 3. cismin ikiliden olan maksimum açısal ayrıklığı $0^{\circ}.102 \pm 0.001$ olarak bulunur. Demircan ve Kahraman'ın (1991) deneysel kütle parlaklık kalibrasyonu kullanılırsa $M_{3bol} \sim 8^m$ olarak tespit edilir ki 3.cisim, TX Her çiftinden yaklaşık 6 kadir daha sönüktür. Sonuç olarak her iki sistemde de olası 3. cismin, 2'li sistemden olan maksimum açısal ayrıklığı gözlemsel sınırlar içinde olsa da, aralarındaki parlaklık farkının fazla olması, 3. cismin hem

taıfsal hem de interferometrik yöntemlerle saptanmasını şu an için olanaksız kılmaktadır.

Bu çalışma, *Türkiye Bilimler Akademisi* (BA/TÜBA-GEBİP/2001-2-2) ve 20040705089 proje numarasıyla Ankara Üniversitesi Araştırma fonu tarafından desteklenmiştir.

4. Kaynaklar

- Abrami, A., 1959, Mem. Soc. Astron. Italia, 30, 303.
- Binnendijk, L., 1969, AJ 74, 1031.
- Binnendijk, L., 1984, PASP 96, 646.
- Bookmyer, B. B., 1961, AJ 66, 24.
- Botsula, R.A., 1956, PZ 11, 26.
- Botsula, R.A., 1968, *Izv. Astron. Obs. Kazan* No. 36, 240.
- Demircan, O., Kahraman, G., 1991, Ap&SS 181, 313.
- Demircan, O., Derman, E., Dünder, H., 1992, A&AS 95, 213.
- Demircan, O., Derman, E., 1992, AJ 103, 593.
- ESA, 1997. The Hipparcos and Tycho Catalogs, SP-1200. Gomez-Forrelland, J.M., Garcia-Melendo, E., vd. 1999, IBVS 4702.
- Hill, G., Hilditch, R.W., Younger, F., Fisher, W.A., 1975, Mem. Roy.Astr.Soc., 79, 131.
- Hiller, M.E., Osborn, W., Terrell, D., 2004, PASP 116, 337.
- Hoffmann, M., Hopp, U., 1982, Ap&SS 83, 391.
- Hoffmeister, C., 1935, AN 255, 401.
- Hutchings, J.B., Hill, G., 1973, ApJ 179, 539.
- Irwin, J.B., 1952, ApJ 116, 211.
- Jabbar, S.R., Kopal, Z., 1983, Ap&SS 92, 99.
- Kreiner, J.M., Zola, S., 1989, AcA 39, 243.
- Kreiner, J.M., Kim, C-H. & Nha, II-S., 2001, *An atlas of O-C diagrams of eclipsing binary stars*. Wydawnictwo Naukowe AP, Kraków.
- Lacy, C.H., Frueh, M.L. Turner, A.E., 1987, AJ 94, 1035.
- Lee, K. M. 1989, M.S. Thesis, Central Michigan University.
- Mauder, H., 1975, Ap&SS 34, 297.
- Mochnacki, S.W., 1981, ApJ 245, 650.
- Mullis, C. R., Faulkner, D. R., 1989, IBVS 3354.
- Petrie, R.M., 1950, PDAO 8, 327.
- Pickering, E.C., 1910, HarCi No.159.
- Plavec, M., Pěkný, Z. Smetanová, M., 1960, BAICz 11, 180.
- Popper, D.M., 1970, ApJ 162, 925.
- Terrell, D., 2004, Özel Görüşme.
- van Hamme, W., 1982, A&A 107, 409.
- Vetešnik, M., Papoušek, J., 1973, BAICz 24, 57.
- Wolf, M., 1990, AAVSO 19, 17.
- Worley & Eggen'in (1956) Worley, C.E., Eggen, O.J., 1956, PASP 68, 452.