

Mira Cet'in Işık Eğrisi Analizi

Deniz Birol Gökçe¹,

¹Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, 35100, İzmir
dbg@astronomy.sci.ege.edu.tr, cakan@bornova.ege.edu.tr,

Özet: AAVSO'dan alınan 160 yıllık optik gözlem verilerinden Mira'nın elde edilen ışık eğrisi incelenmiştir. O-C, kütle kaybına ilişkin yapılan hesaplamalar ve literatürdeki diğer çalışmaların yeniden incelenmesi sonucunda direkt kütle kaybına bağlı olarak artan dönem ve Mira B'nin dışında olası bir üçüncü cisim problemi gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: yıldızlar: AGB yıldızları – yıldızlar: değişen yıldızlar: uzun dönemli değişenler – yıldızlar: Mira türü değişen yıldızlar – yıldızlar: özel yıldızlar: o Cet

Abstract: The light curve obtained by the 160 years visual observation data of Mira received from AAVSO is studied. As a conclusion of O-C, calculations on mass loss and the review of different studies, the increasing period due to the mass loss and a probable third body problem is shown.

Key words: stars: AGB stars – stars: variable stars: long period stars – stars: Miras – stars: individuals: o Cet

1. Giriş

Mira türü değişen yıldızlar, zonklayan yıldız sınıflandırmasına girer. 100-1000 gün gibi uzun dönemli, 2.5^m'den büyük genlikte değişim gösteren ve yüzey sıcaklıkları (T_e) 3000 K° yöresinde olan soğuk M tayf türündeki bu yıldızlar Hertzsprung-Russell (HR) diyagramında Asimptotik Devler Kolunda bulunur ve uzun dönemli ışık değişim gösterirler. M yıldızlarının ilginç bir yanı da demir sınırının ötesindeki bazı ağır elementleri de üretebilmeleridir. Ortalama bir Mira türü yıldız, bir güneş kütlesi yöresindedir. Zonklama süresince kütle kaybı da gerçekleşir. Bunun nedenlerinden ilki zonklamayla uzaya salınan parçacıklardır. Ayrıca yıldız helyum yakma işlemine geçişte olduğundan dolayı s-ışleminde geçmektedir. Bu işlemde dış kabuk maddelerinin etkileşimi sonucu ağır elementler ortaya çıkar. Kütle yavaşça uzaya sızar. Kütle kaybı, maksimum dönemde yaklaşık $10^{-4} M_{\odot} / y$ dır. Mira türü yıldızlarda oksijen en çok üretilen elementtir (C/O=0.6). Bununla birlikte, oluşan yeni elementler ve çevredeki maddelerden moleküller oluşur. Genel olarak oluşan moleküller CP, OH, SiO, H₂O, ve TiO'tir. TiO, oksijenin ve s-ışleminde oluşan Titanyumun bolluğuna bağlı olarak çok miktardadır. Bu madde kaybına bağlı olarak Mira türü değişenler bir çok kızılöte gözlemcisinin ilgisini çekmiştir. Çünkü yıldızın

etrafındaki madde ısıyı soğurur. Kızılöte gözlemlerle bir çok Mira yıldızının kütle kaybının

modellemesi yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları üzerine yapılmış olan literatür taramasından elde edilen parametreler tablo 1' de verilmiştir. Kütle ve yarıçap parametrelerinin literatürde yapılmış olan tüm çalışmalar incelendiğinde farklı değerler aldığı görülmektedir. Bunun sonucunda, kütle ve yarıçap değerleri literatürde en çok kullanılan değerler aralığında tanımlanmıştır.

Tablo 1. Mira'ya ait Parametreler

Mira	
Tayf Türü	M7IIIe
V Parlaklığı	3.04
U-B	1.09
B-V	1.42
Uzaklığı (IY)	400
Dikine Hızı (km/s)	63.8
Kütle ($M_{\odot}$)	1.15-2
Yarıçap ($R_{\odot}$)	700-450

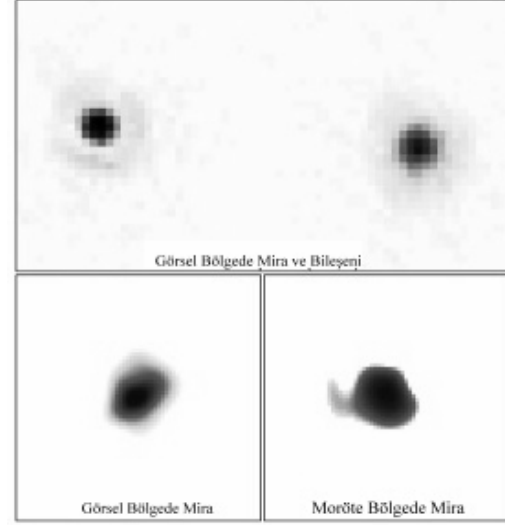
Mira'nın en parlak döneminde tayf türü M5e, en sönük döneminde ise M9e'dir. Elbette, yukarıdaki çizelgede verilen parametrelerden başka, sürpriz bir yıldızdan daha bahsetmek gerekir: VZ Ceti (Mira B). Mira'nın yoldaşı olan bu yıldız 1920 yılında Joy tarafından yapılan tayfsal çalışma sırasında keşfedilmiştir (Karovska et al 1993). Keşfin ardından bileşen 1923 yılında Aitken tarafından görsel bölgede görüldü.

Tablo 2. VZ Ceti'ye ilişkin parametreler.

VZ Ceti	
Tayf Türü	Be
V Parlaklığı	9.6
Kütle ($M_{\odot}$)	0.6
Yarıçap ($R_{\odot}$)	0.012
P (yıl)	400
T	2001.5
A	0.85
E	0.66
$\dot{I}$	111.3
ω	106
Ω	118.5

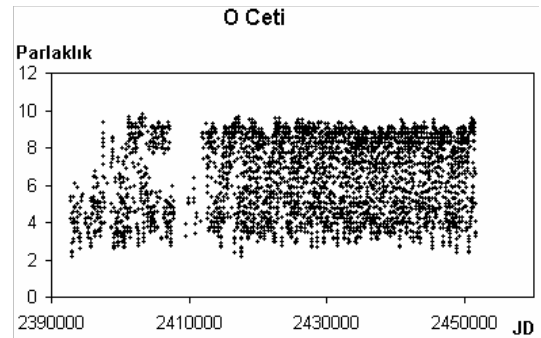
Tablo 2' de yoldaş yıldız VZ Ceti'ye ilişkin bünyesel ve yörünge parametreleri verilmiştir. VZ Ceti'nin Mira'ya uzaklığı 70 AB olarak belirlenmiştir. Yıldızın keşfinin ardından yapılan gözlemlere yenisi eklenirken 1997 yılında Hubble Uzay Teleskopu tarafından da görüntülenmiştir. Görsel bölgede tıpkı bir "rugby" topuna benzeyen Mira'nın UV'deki görüntüsünde bileşenine yaptığı madde aktarımı belli olmaktadır. Şekil 1'de bu durum görülmektedir. M. Karovska ve P.Nisenson (1993), speckle interferometrik gözlemlerinde bileşenin Mira'ya beklenildiğinden de uzak olduğunu belirtmişleridir. Elde ettikleri yörünge parametrelerini birçok astronom çalışmalarında kullandığı için bu çalışmada da Tablo 2' deki parametreler kullanılmıştır. Ancak Mira'nın keşfinden daha henüz 400 yıl geçtiğini düşünürsek, bu değerlerin ileride değişebileceğini, hatta bu değerlerin bir olasılıkla da yanlış olduğunu söyleyebiliriz. Bunu doğrularcasına M. Karovska ve P.Nisenson, yaptıkları gözlemlerin sonucunda bileşenin beklenen yörüngeden az miktarda uzaklaşmasını göstererek ya dönemin daha da büyük olacağını, ya da üçüncü bir cismin var olduğunu söylemişlerdir. Eğer VZ Ceti, Mira'ya daha yakın olsaydı Mira simbiyotik değişen yıldız sınıfına girecekti.

Başta belirtildiği gibi Mira türü yıldızlarda kütle kaybı gerçekleşmektedir, bir de buna ikinci bir bileşen eklenirse kütle kaybında herhangi bir değişim söz konusu mudur? Dolaylı olarak zonklama dönemi bundan etkilenir mi? Çalışmada Mira'nın ışık eğrisi analizinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda kütle kaybı da incelenmiştir.

**Şekil 1.** Mira ve bileşeni VZ Ceti'nin HST ile elde edilmiş görüntüleri.

2. Veri

Bu tez çalışmasında, AAVSO'dan alınan JD 2392720-2451520 arasındaki V parlaklıkları kullanılmıştır. Yaklaşık 161 yıllık nokta içeren verilere ayrıntılı bakıldığında bazı yıllarda hiçbir noktaya rastlanmazken, bazı yıllarda ise Mira'nın konum olarak Güneş'e yakın olmasından dolayı maksimumlarda boşluklar görülür. Mira'nın değişimi düzenli gibi görünse de her bir çevrimin asimetrik bir parabol vermesinden dolayı maksimum zamanlarının duyarlı bir biçimde bulunması, dikkatle uygulanacak Freehand-curve tekniği ile olasıdır. Şekil 2'de zamana göre tüm noktaların dağılımı verilmektedir. Noktaların, böylesine uzun bir zaman aralığını temsil etmesi her ne kadar avantaj gibi görünse de, bu noktalardan ancak 80 tane incelenebilecek çevrim çıkmıştır.

**Şekil 2.** AAVSO'dan alınan verilerin zaman göre grafiği.

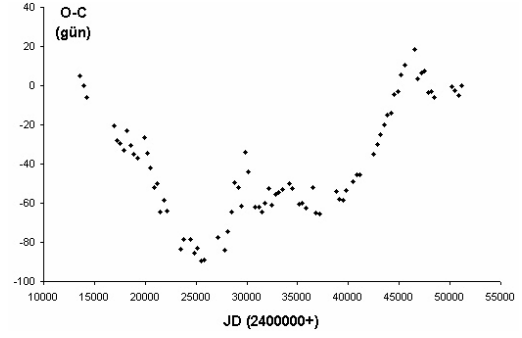
3. Veri Analizi

İlk olarak, Freehand-curve tekniği ile maksimum zamanlarının hesaplanabilmesi için eldeki verilerden kullanılabilir olduğu düşünülen çevrimler alınmıştır. Elle eğri çizilemeyecek çevrimler atıldığında, kullanılacak 80 adet güvenilir çevrim kalmıştır. Elde edilen çevrimlerin bir kısmı Şekil 3'de görülmektedir. Her bir çevrim için maksimum zamanları elde edilmiştir. Bu zamanlar Tablo 3'de verilmiştir.

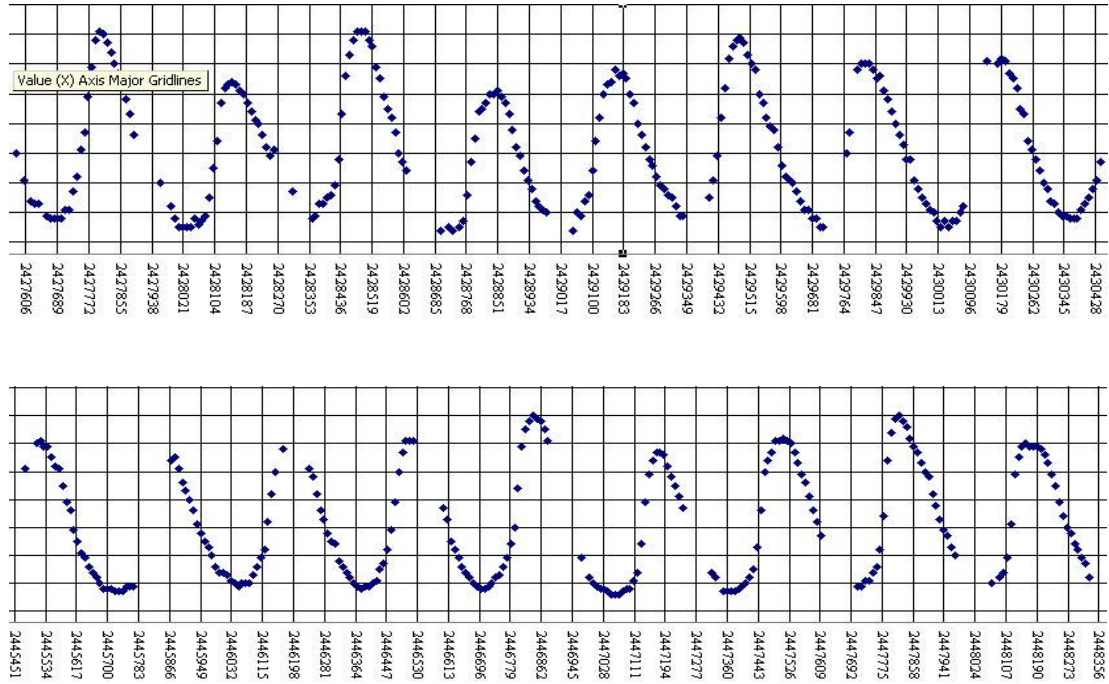
İlk hesaplamalar sonucunda ortalama dönem 332.396617 gün olarak bulunmuştur. Bununla birlikte T_0 maksimum zamanı JD2413264.2857 olarak kabul edilmiştir. (1) bağıntısı ile elde edilen evreler ile O-C grafiği Şekil 4'de verildiği gibi elde edilmiştir..

Beklenildiği gibi bir parabol veren O-C grafiği, düzensiz sinüs benzeri bozulmalar gösterdiği için tartışmaya çok açıktır.

$$E=(t-t_0)/P \quad (1)$$



Şekil 4. Mira için elde edilen ilk O-C grafiği.



Şekil 3. Mira'nın ışık eğrisi analizinde kullanılan çevrimlerin bir kısmı.

Tablo. 3 Mira için elde edilen maksimum zamanları.

JD	V Maks.	JD	V Maks.	JD	V Maks.	JD	V Maks.
13264.28570	3.80000	23485.00000	2.78000	32158.50000	4.20000	42480.00000	3.00000
13601.66210	3.50000	23822.30000	4.90000	32482.50000	3.08800	42817.50000	4.67000
13929.23077	3.90000	24487.50000	3.40000	32820.00000	3.66000	43155.00000	3.20000
14255.45450	3.40000	24812.60000	3.15000	33153.50000	3.88000	43492.50000	2.90000
16900.00000	3.70000	25147.50000	4.30000	33487.50000	3.60000	43830.00000	4.70000
17225.03800	4.30000	25473.50000	2.90000	34155.50000	2.90000	44163.39000	3.80000
17556.12200	2.00000	25806.50000	4.30000	34485.00000	3.10000	44505.00000	3.60000
17884.61500	3.50000	27147.50000	3.63300	35142.00000	3.90000	44838.75000	4.10000
18227.00000	3.60000	27805.50000	2.66000	35475.00000	3.70000	45180.00000	2.60000
18552.36000	3.15000	28147.50000	4.30000	35805.00000	4.20000	45517.50000	3.70000
18880.00000	3.40000	28490.00000	2.46000	36480.00000	3.10000	46522.50000	3.60000
19210.61900	3.50000	28837.54000	4.66000	36799.34000	3.40000	46840.00000	2.80000
19885.70000	2.93000	29167.50000	3.91100	37131.40000	3.10000	47175.00000	4.10000
20210.00000	3.16880	29490.00000	2.90000	38805.00000	3.40000	47508.75000	3.60000
20535.00000	3.64815	29850.00000	3.70000	39133.00000	3.26000	47830.00000	2.80000
20857.50000	3.03700	30172.50000	3.50000	39465.00000	3.65000	48163.02000	3.70000
21191.70200	3.70370	30819.06250	3.04400	39802.50000	3.83000	48492.50000	3.80000
21509.54540	3.56000	31151.64700	3.80000	40472.00000	2.60000	50160.00000	3.60000
21848.00000	3.58000	31481.66700	2.75000	40807.50000	3.80000	50490.00000	2.40000
22175.00000	2.60000	31818.33000	4.10000	41140.00000	4.12000	50820.00000	3.80000
						51157.50000	4.80000

Gözlemlerden doğrudan elde edilen O-C eğrisine parabol fiti uygulamak ve yanılğıları düzeltmek için Paroc21 programı kullanılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Paroc21 programı ile elde edilen sonuçlar.

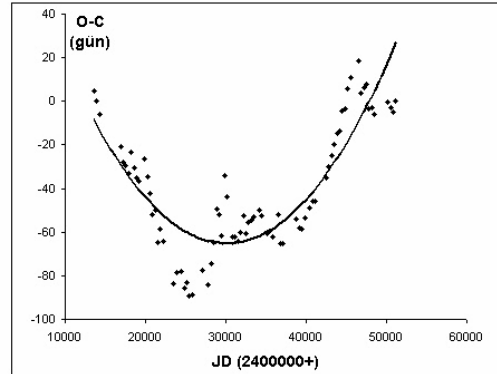
DÜZELTME TERİMLERİ	YANILGILAR
(To) +2.26718	%+12.09423
(P) -1.82678	+0.47657

(To)= 413266.55287 P= 330.56983 gün

Elde edilen değerleri ile uygulanan parabol fiti Şekil 5'de verilmiştir. Beklenildiği gibi, Mira'da kütle kaybı parabol fitinde görülmektedir. Parabol dönemin artışı gösterirken, kütle kaybı bu artışın temel nedenidir. Kütle kaybının hesaplanması için, D.Reimers ve A.Cassatella'nın (1985) Mira B'nin UV tayfı ile Mira'nın kütle kaybını üzerinde yapmış oldukları çalışmalardaki verilerin kullanılması kabul edilmiştir. D.Reimers ve A.Cassatella, sistemin toplam kütlelerini $1.75 M_{\odot}$ olarak hesaplamışlardır. Mira B etrafında toplanan kütle oranından da yıldızın kütlelerini $0.6 M_{\odot}$ olarak hesaplamışlardır. O zaman yaklaşık olarak Mira'nın kütlelerini $M \approx 1.15 M_{\odot}$ olarak kullanabiliriz. Mira'nın yarıçapı literatürde 450-700 $1.R_{\odot}$ arasında değerler olmasına rağmen, sıkça kullanılan 450 $R_{\odot}$ değeri tercih edilmiştir. (2) ve (3) bağıntılarına uyguladığımız bu değerler ile (P, M, R) $Q=0,037136$ sonucuna ulaşırız.

$$\text{Log}P = 1,949\text{Log}(R/R_{\odot}) - 0,9\text{log}(M/M_{\odot}) - 2,07 \quad (2)$$

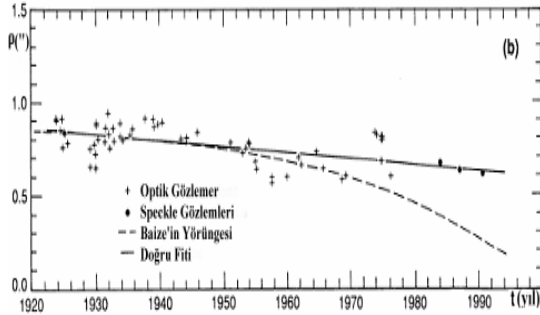
$$\text{Log}P = 1,5\text{Log}(R/R_{\odot}) - 0,5\text{log}(M/M_{\odot}) + \text{log} Q \quad (3)$$

**Şekil.5** O-C değerlerine uygulanan parabol fiti.

Fox ve Wood (1982), Mira türü yıldızlar için zonklama sabitini $Q=0.04$ gün olarak belirlemişlerdir. (3) bağıntısına Paroc21 programından elde edilen yıllık $+0.03372$ günlük dönem değişimi uygulandığında yıllık kütle kaybı dönemi değişiminin sadece kütle kaybına bağlı olması durumunda $\Delta M = 0,0002346 M_{\odot} / \text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Bernat (1977) bu tür yıldızlar için kütle kaybını $6,7 \times 10^{-7} - 4,2 \times 10^{-4} M_{\odot} / \text{yıl}$ aralığında belirtmiştir. Ayrıca Y. Yamashita ve H. Maehara

(1978) Mira için kütle kaybını $2 \times 10^{-7} M_{\odot}$ / yıl olarak bulmuşlardır.

M. Karovska ve P. Nisenson'un (1993) Mira B'nin yörüngesi üzerine yaptıkları speckle interferometre gözlemlerinin analizinde Mira B'nin yörüngesinin hesaplanandan daha uzun olması gerektiği ya da üçüncü bir cismin olması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. 400 yıl olarak belirtilen dolanma döneminin olasılığı bile tartışılmıştır. M. Karovska ve P. Nisenson'un (1993) yapmış olduğu çalışmada Baize'in (1980) yörüngesi, optik gözlemler ve speckle gözlemlerinin farklılaşmasını şekil 6'da görebiliriz. Karovska ve P. Nisenson'a (1993) göre Mira B'nin dolanma dönemi 400 yıldan daha fazla olmalı.

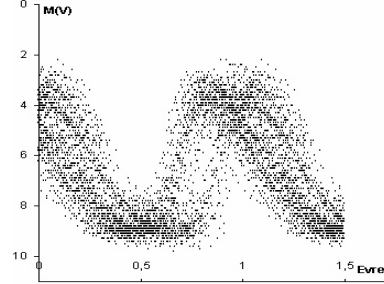


Şekil 6. Karovska ve P. Nisenson'un (1993) yapmış olduğu speckle gözlemleri ile diğer gözlemlerin karşılaştırılması .

4. Sonuçlar

Kütle kaybına ilişkin yapılan hesaplamalar literatürde geçen diğer sonuçlarla bütünlük sağlamaktadır. Elde edilen T_0 ve P değerleri için elde edilen tüm noktalar evreye göre noktalandığında Şekil 7'de görülen grafik elde edilmiştir. Her bir çevrim genliklerinin farklı olmasından dolayı bu değerlerin sağlaması pek yapılmış sayılmaz. O-C grafiğinde görülen düzensiz ve sinüs benzeri bozulmaları, Karovska ve P. Nisenson'un (1993) çalışmasını inceleyerek belirsiz bir üçüncü cisim problemi ile açıklamak her ne kadar mantıklı gibi olsa da, tam bir çözüm önermek şimdilik imkansız gibidir. O-C grafiğindeki bozulmaların düzensizliği ve az sayıda olması, parabolün eğiminin son yıllarda azalma ya da bozulma göstermesi daha fazla veriyi gerektirmektedir. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalarda elde edilmiş verilerin

güvenirliği, verilerin hassaslığı ve kapsadığı zaman aralığına bağlıdır.



Şekil 7. Tüm noktaların evreye göre grafiği.

Mira gibi uzun dönemli değişen AGB yıldızlarının uzun gözlem süresi gerektirdiğinden gerekli sayıda çalışmanın olmaması bu tür çalışmaları etkilemektedir. Bu çalışmada da kullanılan verilerin tamamı AAVSO'dan temin edilmiştir. Yıldız evriminin çok önemli basamağında olan bu türdeki yıldızlar umarım gereken ilgiyi çok yakında hak edecektir.

Teşekkürler: Mira'nın AAVSO'ya ait olan 160 yıllık verisini gönderen ve maalesef yakın bir zaman önce aramızdan ayrılan Dr. Janet Mattei'ye en içten teşekkürler.

5. Kaynaklar

- Barthes, D., Mattei, J. A., 1997, AJ 113, 373.
- Bernat, A. P. 1977, Astrophys. J. 213, 756.
- Yamashita, Y., Maehara, H., and Norimoto, Y. 1978, Publ. Astron. Soc. Japan 30, 219.
- Aitken, R. G. 1923, Publ. Astron. Soc. Pasific 35, 323.
- Karovska, M. ve Nisenson P. 1993, ApJ. 402, 311K.
- Karovska, M., Warren H., and Edward R. 1997, ApJ 482, 175.
- Reimers, D., and Cassatella A., 1985, ApJ 297, 275.
- <http://simbad.u-strasbg.fr/sim-fid.pl>
- <http://www.aavso.org>
- <http://www.alcyone.de/SIT/miratype/SIT03109.htm>
- <http://www.britastro.org>
- <http://www.fiu.edu/~howarde/du.html>
- <http://www.seds.org>