

β Cephei Türü Değişen BW Vul Yıldızının Işıkkölçümü

Ceren ULUSOY¹, Can AKAN¹

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

Özet: Bu çalışmada β Cephei türü bir değişen yıldız olan BW Vulpeculae'nin (BW Vul, HD 199140, B2 III) U, B ve V renklerindeki ışık eğrileri fotoelektrik gözlemlerle elde edilmiştir. Gözlemler Ege Üniversitesi Gözlemevinde 2003 yılının ikinci yarısında toplam 13 gecede yapılmıştır. Gözlemler sırasında 6 maksimum zamanı elde edilmiştir. Önceki çalışmalara bakıldığında yıldızın dönem değişimi üzerine farklı sonuçlar olduğu görülmüştür. Gözlemlerden elde ettiğimiz yeni maksimum zamanları ile literatürden alınan diğer maksimum zamanları birleştirilerek yıldızın yeni ışık öğeleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda dönemde yüzyılda 1.31 s'lik bir artış bulunmuştur. Elde edilen bu dönem değişim miktarı ile kuramsal çalışmalardaki değerler karşılaştırılarak yıldızın evrim durumu yorumlanmıştır.
Anahtar kelimeler: β Cephei türü değişen yıldızlar, BW Vul, Dönem değişimleri.

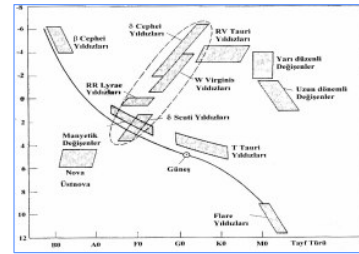
Abstract: In this work; the U, B and V light curves of the β Cephei type variable BW Vulpeculae (BW Vul, HD 199140, B2 III) were obtained with photoelectric observations. The observations were made on 13 nights at Ege University Observatory in the second half of 2003. During the observations six maxima were obtained. In the literature, various different results on period variation rate have been reported. New times of maxima were combined with the previous ones found in the literature to calculate the new light elements. According to our calculations, we obtained 1.31 s/century for the period increase rate. Finally, the evolutionary state of BW Vul is discussed depending on the comparison of the observational period variation rate with the theoretical ones.

Keywords: β Cephei stars, BW Vul, Period Changes

1. Giriş

β Cephei yıldızları zonklayan değişen yıldızlar içerisinde ilginç özellikleri ile dikkat çeken bir yıldız grubudur. β Cephei yıldızları, erken B tayf türünden (B0.5-B2) yıldızlar olup ışık değişim genlikleri görsel bölgede 0^m.01'den (BW Vul hariç) daha az ve dikine hız eğrilerinin genlikleri de 50 km s⁻¹'in (BW Vul ve σ Scorpii hariç) altındadır. β Cephei'lerin büyük bir çoğunluğunu devler oluştursa da ışınım sınıfı aralığı en genel ifadeyle I-V arasında olarak söylenebilir. Işık ve dikine hız eğrilerinin dönemleri 2-7 saat (0.1-0.6 gün) aralığındadır. β Cephei yıldızlarının moröte bölgedeki ışık değişim genlikleri görsel bölgedeki ışık değişim genliklerinden oldukça büyüktür. Öyle ki yapılan araştırmalar da bu yıldızların erkelerinin büyük bölümünü morötede yadıkları gerçeğini ortaya çıkarmıştır. β Cephei yıldızlarının ışık ve renk eğrilerinde birden fazla dönemlilik olduğu görülmüştür. Bu olay yıldız atmosferindeki bir dalganın daha küçük frekanslı başka bir dalgayla girişimi biçiminde yorumlanarak “*Vuru Olayı (Beat Phenomenon ya da Blazhko Olayı)*” şeklinde adlandırılmıştır.

β Cephei türü yıldızların tayfları da değişimler gösterir. β Cephei yıldız grubunun çizgi kesiti değişimi gösteren tüm üyelerinde olmasa bile bir çoğunda farklı elementlerden elde edilen dikine hız eğrilerinin tam olarak aynı evrede olmadıkları görülmüştür. Bu durum “*Van Hoof Etkisi*” olarak adlandırılmıştır. Bu olay, yıldız içerisinde farklı hız katmanlarının varlığının bir belirticidir. Yani β Cephei yıldızlarının tayflarındaki genişleyen çizgiler sadece dönmenin bir sonucu olarak oluşmamakta, aynı zamanda atmosferlerinde oluşan diğer etkilerin de bu duruma katkısı olmaktadır. β Cephei türünden yıldızlar da klasik Cepheidler gibi HR diyagramı üzerinde bir kararsızlık kuşağının içerisinde yer alırlar.



Şekill. β Cephei Yıldızlarının HRD'deki Yerleri.

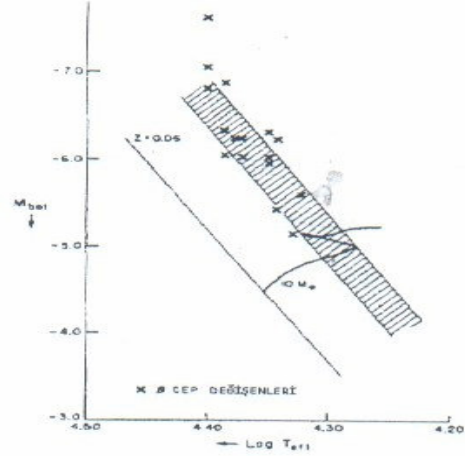
Bildiri tam metni için : Ceren ULUSOY
e-mektup: culusoy@astronomy.sci.ege.edu.tr

Beta Cephei kararsızlık kuşağının sınırları sıfır yaş anakolunun (ZAMS) 1^m.5 yukarısına kadar uzanır. β Cephei yıldızlarının astrofiziksel açıdan önemi; onların zonklamaları için bir kararsızlık kurgusunun

1990'lı yılların başlarına kadar bulunamayıydı. Yıldızlardaki metallere ilişkin donuklukların son zamanlarda yeniden irdelenmesi ile (Rozsnay,1989, Iglesias ve Rogers, 1991, Iglesias ve ark.,1992, Cox ve Morgan, 1990; Cox ve ark., 1992, Moskalik ve Dziembowski, 1992, Kiriakidis ve ark.,1992) β Cephei'lerin zonklama mekanizmaları daha iyi anlaşılmuştur. β Cephei yıldızları da HR diyagramının hemen her bölgesinde yer alan diğer türden zonklayan yıldızlar ile aynı zonklama mekanizmasına sahiptir. Bu mekanizma “ κ soğurma mekanizmasıdır ”. Zonklayan yıldızlar, hidrostatik denge koşuluna (yıldızdaki basınç ve çekim kuvvetlerinin dengede olduğu durum) uymadıkları için zonklamaktadırlar. Bir başka deyişle yıldızın iç bölgelerinde kuvvet dengesi sağlanamamakta ve bölgesel ivmelenmeler yıldız maddesini hareket etmeye zorlamaktadır. İlk kez Zhevakin (1959) tarafından belirtildiği gibi κ soğurma katsayısının sıcaklık ve basınca bağımlılığı yıldızlarda zonklamaların çok uzun süreler devam etmesini sağlayan erke girdisini sağlamaktadır. Bu erke ışınım akısından çekilip alınmaktadır. Yıldız içerisinde çeşitli derinliklerde yıldızdan yıldıza değişen H/He/Fe vb. ağır elementler gibi iyonlaşma bölgeleri bulunmaktadır. Yıldızın denge konfigürasyonu bir biçimde bozulduğu zaman basınç ve çekim kuvvetlerinin etkileriyle yıldız, bir sarkacın hareketine benzer bir biçimde dönemli olarak şişip büzülür. Yıldız en küçük yarıçapına ulaştığında basınç kuvvetleri onu şişmeye zorlamakta, en büyük yarıçapına ulaştığı zamanda da çekim kuvvetleri onu büzölmeye zorlamaktadır. İşte bu sıkışma evresinde o yıldızla ilgili iyonlaşma bölgesindeki κ değerinin artması ile merkezden gelen erkenin üst katmanlara rahatça geçmesi engellenir. Erke, bu bölgelerde tutularak bölgenin sıcaklığının artmasını sağlar. Sıcaklık arttıkça katmanın basıncı da artar. Bu katman ısıyı dışarı vermek zorundadır. Isınan gaz genişler ve şişmekte olan yıldız (özellikle dış katmanlara) ek bir itme kuvveti uygular. Yıldız içerisindeki “geri getirici kuvvet” basınç kuvveti ise yıldız basınç, çekim kuvveti ise yıldız çekim moduyla zonklar. Bu olay her çevrimde yinelenerek yıldızdaki zonklamaların sönümlenmeden sürmesini sağlar. Zonklamaların nedenini teşkil eden kısmi iyonlaşma bölgelerinin, zonklamaların devamlı olabilmesi için, kritik bir derinlikte yer almaları gerekmektedir. β Cephei yıldızları için gerekli kritik derinlik sıcaklığın $1.5 \times 10^5 \text{ K} < T < 2 \times 10^5 \text{ K}$ olduğu bölge aralığını kapsamaktadır. Bu yıldızlarda zonklamaları sağlayan element Fe elementi başta olmak üzere ağır elementlerdir. Yukarıda da belirtildiği gibi kritik derinlik aralığında yeterince ağır element bolluğu varsa (özellikle Fe) κ soğurma mekanizması demir yoluyla devreye girecek ve zonklamaların

sürmesini sağlayacaktır. Eğer söz konusu iyonlaşma katmanı fazla derinde yer alıyorsa üzerindeki büyük kütleli itemeyeceği için zonklamalar sönümlenecektir. O nedenle bu katmanın kritik sıcaklık ve geometrik yer açısından uygun bir derinlikte olması gerekmektedir. β Cephei yıldızlarının gelişim durumları incelenirken onların dönemlerindeki değişimler kullanılır. Yapılan hesaplamalar, bir yıldızın anakoldan ayrıldıktan sonra β Cephei kararsızlık kuşağından üç kez geçeceğini göstermektedir. Bu geçişlerden ilki, merkezde hala hidrojenin yandığı evre, ikincisi; ikinci büzölmeye ya da erken kabukta hidrojen yanma evresi ve sonucusu da kabukta hidrojen yanma evresidir. Dönem sabit ise yıldız merkezde hidrojen yakma evresinde, dönem azalıyorsa ikinci büzölmeye evresinde, dönem uzuyorsa, kabukta hidrojen yakma evresinde olduğu kabul edilir.

Gözlenen β Cephei yıldızlarında genelde dönem değişimine rastlanmıştır. Burada gözlenen bu dönem değişimlerinin hepsinin evrimsel kökenli olduğunu söyleyemeyiz. Çünkü evrim dışındaki bazı nedenler de dönem değişimine sebep olmaktadır. Örneğin; yıldızın çift olması ya da zonklama modunun sayısı gibi.



Şekil 2. β Cephei yıldızlarının kuramsal HRD'daki yerleri.

2. BW Vul ve Tarihiçesi

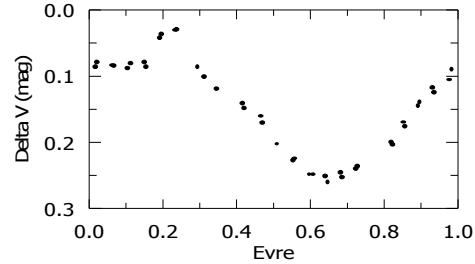
BW Vul (HD 199140 = HR 8007, B2 III), β Cephei değişenleri içinde bilinen en büyük dikine hız, parlaklık ve çizgi kesiti değişimleri gösterdiği için kuşkusuz ki tarih boyunca birçok bilimsel çalışmanın konusu olmuştur. BW Vulpeculae, ilk olarak Hill (1930) tarafından dikine hızındaki değişiminden keşfedilmiştir. Petrie (1937), bu yıldızdaki kısa dönem değişimini belirtmiştir. 1954 yılında ise bu yıldızdaki dikine hız ve çizgi kesiti değişimlerinin başlıca karakteristiklerini ortaya

koyarak yıldızın döneminde ve dikine hız genliğinde uzun süreçler içinde meydana gelen artışlar olduğunu vurgulamış ve bu konuda da bir ilk olmuştur. Parlaklık değişimi ise Huffer (1938) tarafından gözlenmiştir. Böylece Huffer bu yıldız fotoelektrik olarak ilk çalışan kişi olmuştur. BW Vul'un büyük olan genliği, maksimum parlaklığının ve dikine hızının yüksek bir duyarlıkla hesaplanabilmesine olanak sağlarken döneminde meydana gelen değişimler ayrı bir tartışma konusu olmuştur. Bu değişimler yüzyıl mertebesinde olup, zaman zaman ani artışlar şeklinde de kendisini göstermiştir. Yapılan gözlemsel çalışmaların büyük çoğunluğunda hesaplanan dönem değişim miktarları farklılık göstermiş ve bu duruma kesin olarak bir açıklık getirilememiştir. BW Vul için keşfinden bu yana dönemindeki bu kararsız değişimlerin nedenini araştırmak için bireysel çalışmalara ek olarak uluslararası kampanyalar da düzenlenmiştir. İlk kampanya (1982-1983) yılları içinde 13 gözlemevinin katılımıyla gerçekleşmiş ve 486 saat gözlem sonunda yapılan analizlerde BW Vul'un döneminde ani bir artış olmadığı görülmüştür. Daha sonra 1988-1991 yılları arasında yapılan kampanyada da ani bir değişim görülmemiş ve dönemdeki artış miktarı 2 s/yy olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer de daha önceki değerlere yakın bir değerdir. Bununla birlikte Tunca (1978), Chapellier (1985), Van der Linden ve Sterken (1987) bu yıldızda meydana gelen dönem artışlarının sürekli değil belli zaman aralıklarında ani artışlar şeklinde olabileceğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca Chapellier (1985) bu tür dönem değişikliklerinin β Cephei yıldızları arasında oldukça yaygın olduğunu belirtmiştir. Chapellier ve Garrido (1990) yaptıkları çalışmalarda BW Vul' de 1930 yılından beri 4 kez ani dönem değişimi gözlendiğini belirtmişlerdir. Şimdiye kadar bu yıldız için bir çok gözlemsel ve tayfsal veriler elde edilmiş olmasına rağmen, hala bu yıldız hakkında cevapsız kalmış pekçok sorular bulunmaktadır. Örneğin, yıldızın tek mi yoksa bir çift sistemin üyesi olup olmadığına, zonklama modunun türü ve kaç tane olduğuna ya da evrim durumunun ne olduğuna ilişkin şimdiye değin kesin bir açıklama getirilememiştir. BW Vul'un fotometrik olarak görsel bölgede genliği $0^m.2$ iken moröte bölgelere doğru bu değer $1^m.2$ 'e kadar artar (Barry et.al, 1984). Dikine hız genliği yaklaşık 200 km/s'nin üzerindedir. Zonklama dönemi $4^h.49^m$ (Petrie, 1954) yani yaklaşık olarak 0.20104 gündür. Karakteristik ışık eğrisinin en önemli özelliği kısa süren bir "Durağan Evre (Stillstand Phase)" göstermesidir. Durağan evre, maksimum parlaklıktan 0.03 gün önce gerçekleşir ve 0.02 gün kadar sürer. Daha sonra durağan evre boyunca sabit kalan parlaklık tekrar artmaya başlar. Durağan

evrenin nasıl ve neden oluştuğu konusu hakkında kesin bir sonuç ortaya konulamamıştır.

3. Gözlemler

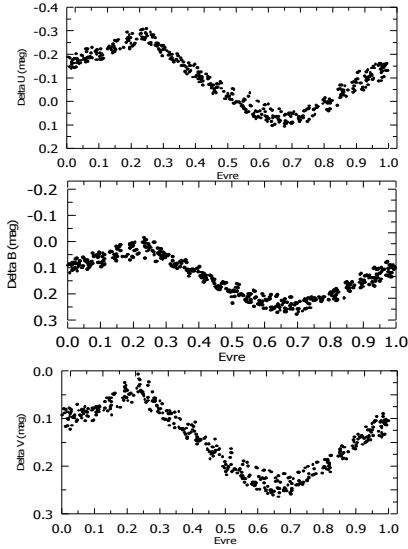
BW Vul, 13 Haziran 2003 ile 12 Ağustos 2003 tarihleri arasında Ege Üniversitesi Gözlemevi'nin 30 cm'lik Schmidt Cassegrain türü teleskobuyla gözlenmiştir. Gözlemlerde SSP-5 fotometresi ile 1850 Å ile 8300 Å dalgaboyu aralığına duyarlı olan Hamamatsu R4457 PMT fotokatlandırıcı tüpü kullanılmıştır. Gözlem sezonu boyunca toplam 13 gece için Johnson U, B ve V süzgeçleri kullanılarak 570 gözlem noktası elde edilmiştir. BW Vul'ün gözlemleri için parlaklık ve renk bakımından uygunluk gösteren HD 198820 ve HD 199102 sırasıyla mukayese (C1) ve denet (C2) yıldızları olarak seçilmiştir. Gözlemlerimiz sonucu mukayese yıldızında bir ışık değişimi belirlenmemiştir. Bu çalışmada BW Vul'un elde edilen ışık eğrisinin karakteristik biçimi şimdiye kadar literatürde yer alan çalışmalarda (Tunca, 1978 ve Sterken, 1986) elde edilmiş olan ışık eğrileriyle uyum göstermektedir. Işık eğrisinde göze çarpan ve "Durağan Evre" olarak bilinen ışık bu evre gözlemlerimizde 0.0 ve 0.2 evreleri arasında ortaya çıkmıştır.



Şekil 3. BW Vul'un ışık eğrisinde görülen Durağan Evre.

Ayrıca BW Vul'un U, B ve V süzgeçlerinde tüm gözlem geceleri için elde edilmiş evreye göre parlaklıkları Şekil 4'de gösterilmiştir.

BW Vul'un 2003 yılı gözlem sezonu içinde E.Ü. gözlemevinde yapılan gözlemlerinden 6 tane maksimum zamanı elde edilmiştir. Fotoelektrik yöntemle elde ettiğimiz maksimum zamanları literatürdeki diğer maksimum zamanları ile birleştirilerek evrimsel dönem değişimi araştırılmıştır. Yeni ışıköğelerinin hesaplanmasında T_0 başlangıç zamanı olarak kendi gözlemlerimiz içinde en güvenilir bir tanesi seçilmiştir. (1) ve (2) ifadeleri ilk kullanılan ve hesaplama sonunda elde edilen ışık öğelerini göstermektedir.



Şekil 4. BW Vul'un U, B ve V süzgeçlerinde tüm geceler için elde edilmiş evreye göre parlaklık değişimleri.

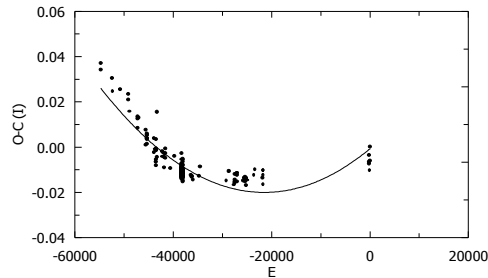
İlk kullanılan ışık öğeleri :

$$\text{HJD} = 2452863.432000 + 0^{\text{s}} .20104400 * \text{E} \dots (1)$$

Hesaplama sonunda bulunan yeni ışık öğeleri:

$$\begin{aligned} \text{HJD}(\text{max}) = & 2452863.4313 + 0^{\text{s}} .2010457936 * \text{E} \\ & \pm 2 \quad \pm 1 \\ & + 4.1709\text{D} - 11 * \text{E} * \text{E} \dots (2) \\ & \pm 2.0720\text{D} - 12 \end{aligned}$$

BW Vul'un maksimum zamanları ile hesaplanmış O-C değerleri E çevrim sayısına göre değişimi Şekil 5'de gösterilmektedir. Buna göre O-C değişimi şekilden de görüldüğü gibi parabolik bir fit ile temsil edilmiştir. Grafikteki parabolik eğri fitinin anlamı ise bu yıldızda var olan zonklama dönemindeki evrimsel kökenli artıştır. 2003 yılı gözlem sezonunda BW Vul için yaptığımız gözlemlerin verdiği sonuçlara göre yıldızın dönemdeki artış doğrulanmıştır. Yıldızın dönemdeki artışın miktarı ise 1.31 s/yy olarak saptanmıştır.



Şekil 5. O-C eğrisi. (2) denklemiyle verilen ışık öğeleri ile elde edilen kuramsal eğri parabol fiti ile temsil edilmiştir.

4.Sonuçlar

BW Vul'un gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisi literatürdekilerle benzerlik göstermiştir. Işık eğrisinde varolan durağan evre gözlemlerimizde de ortaya çıkmıştır. Bugüne kadar BW Vul üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde göze çarpan en önemli özellik, yıldızın zonklama dönemi değişiminde görülen farklılıklardır. Bugüne kadar yapılan fotometrik çalışmalarda bulunan dönem miktarları Tablo1'de gösterilmiştir. Tabloya göre dönemdeki değişim miktarları yzyılda 1.8 ile 4 s aralığında değerler almıştır.

Tablo 1. BW Vul'un Literatürde verilmiş olan dönem değişim miktarları.

Dönem Değişim miktarı ($\frac{dp}{dt}$) (s/yy)	Kaynak
3.7	Petrie (1954)
2.8	Cester (1957)
4	Percy (1971)
2	Kubiak (1972)
1.8	Valtier (1976)
2.56	Tunca (1978)
2.14	Odell (1984)
2.5	Sterken (1987)
2.5	Pena (1987)
2.8	Chapellier (1990)
2.34	Pigulski (1993)

Yaptığımız bu çalışmada gözlemlerimiz sonucunda 6 tane maksimum zamanı elde edilmiştir. Elde ettiğimiz maksimum zamanları 1973 yılından bu yana yıldızın literatürde var olan diğer maksimum zamanları ile birleştirilerek ($T_0 = 2452863.4320$ ve $P = 0.201044$ gün başlangıç öğeleri ile birlikte) yeni O-C değerleri hesaplanmıştır. Çevrim sayısına göre oluşturulan O-C diyagramındaki noktaların dağılımı bir parabol fiti ile temsil edilmiştir. Elde edilen bu diyagrama göre dönemdeki artış doğrulanmıştır. Kullanılan veriler ve elde ettiğimiz maksimum zamanlarına bağlı olarak hesaplanan dönem değişim miktarı 1.31 s/yy olarak bulunmuştur. Eggleton ve ark. (1973)'e göre, BW Vul'un kuramsal olarak hesaplanmış kütlesi 10 Güneş kütlesi olduğu gözönüne alınırsa, bu kütledeki bir yıldızın ilk geçiş sırasında döneminde çok küçük bir artış (0-0.08 s/yy) meydana gelecektir. İkinci geçiş evresi olan büzülme evresinde ise yıldızın döneminde bir azalma (0.2-0.3s/yy) meydana gelecektir. Son evre olan kabuk hidrojen yakma evresinde ise dönemde birden artışlar (yaklaşık 20 s/yy' a kadar artış) olabileceğini önesürmüşlerdir. Elde ettiğimiz dönem değişim değeri ile literatürde evrim durumu için önerilmiş dönem artış değerleri karşılaştırılıp, dönemdeki tarih boyunca gözlenen

ani artışlar da gözönüne alınırsa, yıldızın kabuk hidrojen yakma evresinde olabileceği görüşünün geçerli olabileceğini söyleyebiliriz. Bu kabule göre BW Vul hızlı gelişim evresindedir ve meydana gelen dönem artışları, iç yapısında meydana gelen değişmelerin bir sonucudur. Sonuç olarak, BW Vul'de meydana gelen kararsızlıklar, değişimler ve oluş nedenlerinin daha iyi saptanabilmesi için hem tayfsal hem de fotometrik açıdan daha çok çalışma yapılmasına gereksinim vardır. Bu sayede şimdiye kadar açıklık getirilememiş pek çok soru da yanıtını bulacaktır.

5.Kaynaklar

- Aerts, C., Mathias, P., Hoolst, Van T., Mey, De K., Sterken, C. ve Gillet, D., 1995, A&A, 301, 781.
- Balona, L. A., 1997, MNRAS, 172, 191.
- Burger, M., Jager, De C., Oord, Den Van J.H.G. and Sato, N., 1982, A&A, 107, 320.
- Chapellier, E., 1985, A&A, 147, 135.
- Chapellier, E. and Garrido, R., 1990, A&A, 230, 304.
- ESO., 1998, A&A, 339, 525.
- Furendlid, I., Young, A., Meylan, T. And Haag, C. & Crinklaw, G., 1987, Apj, 319, 274.
- Handler, G., Shobrook, R. R., Vuthela, F. F., Balona, A. L., Rodler, F., Tshenye, T., 2003, arXiv: astro- ph/03022127 v1.
- İbanoğlu, C., Akan, C. M., 2002, "Değişen Yıldızlar", E. Ü. Fen Fakültesi Yayınları, 179, İzmir, 316s.
- Jerzykiewicz, M., Sterken, C., 1990, Cbsp. Proc, 236s.
- Konkoly Observatory, Budapest, HUNGARY., 1993, IBVS, No. 3901.
- Lloyd, C., Stickland, J. D., 2002, Obs, 122, 33.
- Odell, P. A., 1984, P.A.S.P, 96, 657.
- Pena, H. J., Peniche, R., Ferro A. A. and Berumen, R. M, & Herrera, R. M., 1987, Acta Astronomica, 37, 63.
- Pigulski, A., 1993, A&A, 274, 269.
- Remis J., Zongli, L., Pigulski, A., 1990, AAVSO, 19, 57.
- Shobrook, R.R, 1973, MNRAS, 161, 257.
- Sterken, C., Snowden, M., Africano, J., Antonelli, P., Catalano, A. F., Chahbenderian, M., Chavarría, C., Crinklaw, G., Cohco, L. H., Costa, V., Lara, De E., Delgado, F. A, Ducatel, D., Fried, R., Fu, -H. H., Garrido, R., Gilles, K., Gonzales, S., Goodrich, B., Haag, C., Hensberge, H., Jung, H. J., Lee, -W. S., Contel, le M. J., Manfroid, J., Margrave, T., Naftilian, S., Peniche, R., Pena, H. J., Ratajczyk, S., Szuskiewicz, E., Tunca, Z., Valtier, C.ve J., Linden Der Van, D., 1986, A&AS, 66, 11.
- Sterken, C., Young, A., Furendlid, I., 1987, A&A, 177, 150.
- Sterken, C., Pigulski, A., Zongli, L., 1993, A&AS, 98, 383.
- Yang -Shi, J., 1993, AP&SS, 210, 215.
- Tunca, Z., 1978, Doktora Tezi, İzmir.