

Ori OB1 Oymak Üyesi: IM Mon

Hicran Bakış^{1*}, Volkan Bakış², Selçuk Bilir³, Esmâ Yaz³, ve Osman Demircan²,

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, MYO, Çanakkale

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü, Çanakkale

³ İstanbul Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

Özet IM Mon, Ori OB1 yıldız oymağının üyesi olma olasılığı yüksek olan genç bir çift yıldız sistemidir. Bu çalışmada, IM Mon'un yüksek çözünürlüklü tayfları ve literatür B, V ve R fotometrik bantlarındaki ışık eğrileri analiz edilerek sistemin bileşenlerinin mutlak parametreleri ile birlikte, yaş, uzaklık ve element bolluğu belirlenmiştir. Element bolluğu analizinde ön tayf türü yıldızlarda olduğu gibi IM Mon sisteminde de LTE yaklaşımının ortadan kalktığı ve artık LTE-olmayan atmosfer modellerinin kullanılması gerekliliği gösterilmiştir. Sistemin uzaklık, yaş ve element bolluğu gibi bilgilerinden oymak üyeliği tartışılmıştır.

1 Giriş

IM Mon (HD 44701 = HIP 30351 = SAO 133189) yıldızının fotometrik ışık eğrisinin değişimi Gum (1951) tarafından keşfedildi ve ilk ışık eğrisi yayımlandı. Gum (1951) tarafından elde edilen ışık eğrisinin saçılmalı ve asimetric olması aynı yazar tarafından sistemin yakınlık etkilerinin önemli olduğu iki ayrı bileşenden oluşan bir sistem olduğu şeklinde açıklandı. Gum (1951) elde ettiği ışık eğrilerini tayfsal bilgisi olmadan çözümleyerek bileşenlerin göreceli büyüklüklerini elde etti. Sanyal ve Sinval (1964) de IM Mon sisteminin ışık eğrilerini elde ettiler, B ve V filtrelerinde elde edilen ışık eğrileri Gum (1951) tarafından verilenler gibi asimetric ve saçılmalıdır. Sanyal ve Sinval'e (1964) göre düzenli olmayan bu durum IM Mon sisteminin soğuk bileşeninin bünyesel değişiminden kaynaklanmaktadır. Daha sonra yıldız Shobbrook (2004) ve ASAS (Pojmanski, 1997) ve PI (Malek ve ark, 2010) robotik teleskopları tarafından ve Hipparcos uydusu tarafından da fotometrik olarak gözlemlendi. Sistemin ilk tayfsal gözlemi Pearce (1951) tarafında yapıldı. Pearce (1951) tayflarının analizinden sistemin tayfsal yörünge parametrelerini ve bileşenlerin mutlak parametrelerini buldu. Buna göre IM Mon sistemi B4 ve B7 tayf türünden iki anakol yıldızından oluşmaktadır. Sistemin duyarlı tayfsal yörünge parametreleri Bakış ve ark. (2010) tarafından yüksek çözünürlüklü tayfları elde edilerek bulundu.

Genç yıldız oluşum bölgeleri (<50 My) ve açık kümeler yıldız evriminin ilk basamaklarını ve yıldız oluşumunu anlamada büyük öneme sahiptirler. Bu genç yıldız bölgelerinin kinematik özelliklerini etkileyecek bir Galaktik ivmelenme olmadığından dolayı, bu yıldız oluşum bölgelerinin yıldız içeriği korunmaktadır. Böylece, bu bölgelerin güvenilir üyelerinin çalışılmasıyla bu bölgelere

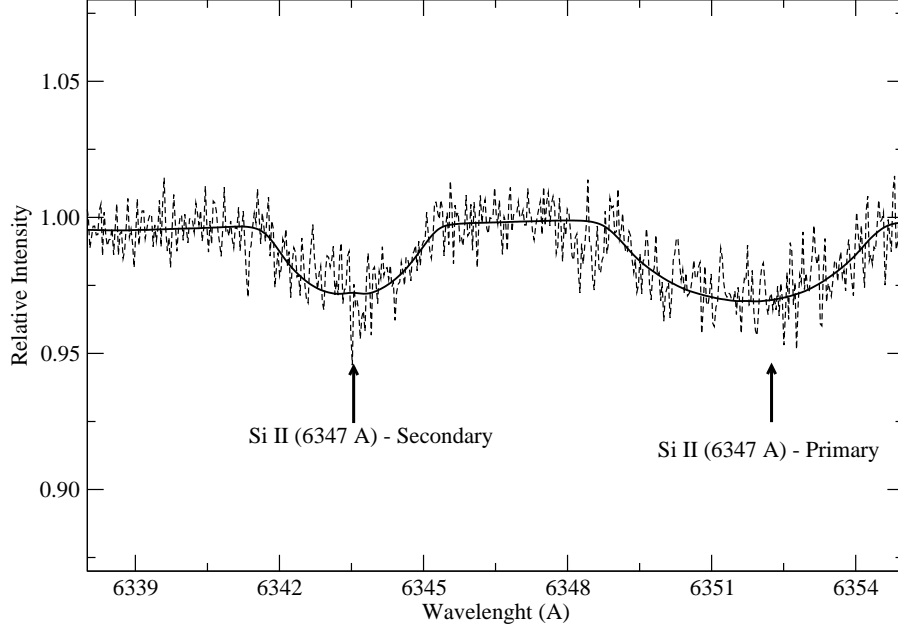
* bhicran@comu.edu.tr

ait kinematik, dinamik ve kimyasal element bollukları gibi bilgiler elde edilebilir. Yıldız oluşum bölgelerindeki çift ve çoklu sistemlerin analizi temel yıldız parametrelerinin doğrudan ve çok duyarlı olarak verilmesini sağlamaktadır, böylece yıldız evriminin test edilmesi bakımından önemlidir. İncelediğimiz IM Mon sistemi, Ori OB1 oymak üyesi olarak verilmektedir (de Zeeuw ve ark., 1999). Bu sistemin tayfsal ve fotometrik verilerinin analizinden sistemin metal bolluklarının, astrofiziksel parametrelerinin, kinematik ve dinamik özelliklerinin elde edilmesi ile Ori OB1 oymağının da özellikleri belirlenmektedir.

2 Tayf Çizgilerinin Modellenmesi

IM Mon yıldızının yüksek çözünürlüklü tayfları, bileşenlerin metal bollukları $[Fe/H]$, etkin sıcaklıkları (T_e), yüzey çekimleri ($\log g$), izdüşüm dönme hızları (V_{rot}) ve mikroçalkantı hızları gibi atmosfer parametrelerinin belirlenmesi amacıyla Kurucz (1993) teorik atmosfer modelleri ile modellendi. En iyi uyumu veren parametre setini elde etmek için atmosfer gridleri oluşturuldu. Metal bolluğu, $[Fe/H]=[-0.04, 0.2]$ (0.01), bileşenlerin etkin sıcaklıkları, $T_{eff1}=16000-19000$ (200) K, $T_{eff2}=13000-15000$ (200) K, yüzey çekim ivmeleri, $\log g_{12}=4.0-4.3$ (0.1) cgs, dönme hızları $V_{rot1}=110-150$ (5) km/s, $V_{rot2}=60-100$ (5) km/s ve mikroçalkantı hızları $v_{12}=2-4$ (1) km/s olarak seçildi ve her bir parametre parantez içinde verilen değer kadar değiştirilerek gözlemlerle en iyi veren parametre seti elde edildi. Metal bollukları ve mikroçalkantı hızları için girdi aralıkları sırasıyla, Ori OB1 oymak üyelerinin metal bolluklarının istatistiğine (Cunha ve ark., 1998) ve B tayf türü yıldızları verilen hızlarına (Nieva ve Przybilla, 2010) uygun olarak seçildi. Bileşenlerin sıcaklıkları, yüzey çekimleri ve izdüşüm dönme hızları için girdi aralıkları ise, sistemin renk ve bileşenlerin astrofiziksel büyüklüklerinden yararlanılarak belirlendi. Gözlem tayflarına teorik fitler uygulanmadan önce, sentetik tayflar sistemin bileşenlerinin ışık katkıları oranında yeniden ölçeklendirildi. IM Mon sisteminin ışık eğrisinin normalize akısı her evrede farklıdır, bu nedenle tayf çizgileri modellenirken ışık katkısı ve yörünge evresi göz önüne alındı. Sistemin ışık ve dikine hız eğrilerinin ortak çözümünden birinci bileşenin ışık katkısı B fotometrik bandında (440nm) 0.700, V fotometrik bandında (550nm) 0.693 ve R fotometrik bandında (650nm) 0.688 olarak belirlendi, bu dalgaboyu dışındaki tayf çizgileri için ara değer hesabı ile ışık katkıları bulundu. Atmosfer parametrelerinin hesaplandığı Atlas9 programı LTE yaklaşımı kullanılmaktadır. Literatürde birçok analiz bu şekilde LTE yaklaşımıyla yapılmaktadır. Bu durum metal iyonları için geçerli olarak düşünülebilir, ancak benzer davranış H ve He çizgileri için geçerli değildir (Gummersbach ve ark., 1998; Morrel ve ark., 2006). Uzun zamandır bilindiği gibi Non-LTE, ön tayf türünden (OB) yıldızlarda Hidrojen ve Helyum çizgilerinin oluşumunda baskın rol oynamaktadır (Auer ve Mihalas, 1972). Işık ve dikine hız eğrilerinin çözümünden birinci ve ikinci bileşenin tayf türleri sırasıyla B4V ve B6V olarak bulunmaktadır. Bunun anlamı, bu yıldızlarda da LTE veya Non-LTE seçimi önemli olmalıdır. Bu yüzden, yalnızca metal çizgileri bulunan orderlar için en iyi uyumu veren sentetik tayflar üretilmiştir. Şekil 1 de gözlem tayfları ve en iyi uyumu veren sentetik tayflar ver-

ilmektedir. Etkin sıcaklıkları birinci ve ikinci bileşen için sırasıyla 17500K ve 14500K ve her iki bileşen için de yüzey çekimleri 4.2 ve metal bollukları, $[Fe/H]$,



Şekil 1. Si II (6347 Å) çizgisi için en iyi uyumu veren sentetik tayf gösterilmektedir.

3 Yakın Çift Yıldız Sisteminin Mutlak Parametreleri ve Evrimi

Sistemin ışık ve dikine hız eğrilerinin ortak çözümünde Wilson-Devinney (Wilson & Devinney, 1971, Wilson, 1994) program kodu kullanılmıştır. IM Mon sisteminin BVR ışık eğrileri ve Bakış ve ark. (2010) tarafından elde edilen dikine hız eğrileriyle ortak çözdük. Eş zamanlı çözümde ilk olarak birinci bileşenin etkin sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Birinci bileşenin sıcaklığı, bileşenlerin renklerini kullanan Q-yöntemi (Johnson ve Morgan, 1953) ve tayf çizgilerinin modellenmesi yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Buna yöntemlerden birinci bileşenin sıcaklığı 300 K hata ile 17400 K olarak çözümde kullanılmaktadır. Eş zamanlı çözüm sırasında, yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu (a), yörünge eğikliği (i), kütle oranı (q), kütle merkezinin hızı, ikinci bileşenin sıcaklığı (T_{eff2}), birinci bileşenin yüzey potansiyeli ve her bir banda ait birinci

bileşenin ışırtması serbest parametre olarak iterasyona sokuldu. Dairesel yörünge varsayımı altında yapılan çözümlerde literatürde üçüncü cisim ile ilgili bir belirti olmadığından üçüncü cisim için ışık katkısı sıfır alındı. Analiz sonucunda ikinci bileşenin sıcaklığı $T_{eff2}=14390$ K, yörünge eğikliği, $i=62.2$ derece ve kütle oranı, $q=0,603$ olarak belirlenmiştir.

Işık eğrisi ve dikine hız eğrilerinin ortak çözümünden bulunan 62.2 derecelik yörünge eğikliği kullanılarak birinci ve ikinci bileşenin kütleleri ve yarıçapları sırasıyla $5.50 M_{\odot}$, $3.34 M_{\odot}$ ve $3.15 R_{\odot}$, $2.36 R_{\odot}$ olarak bulunmuştur. Sistemin tayflarında bileşenlerin farklı çizgilerine yapılan atmosfer modelleri de bu sıcaklıklarla uyum içindedir. Bu sıcaklıklara göre birinci bileşen B4V ve ikinci bileşen de B6V tayf türünden olmalıdır. Bileşenlerin görsel parlaklıkları ve uzaklık modülü kullanılarak sistemin uzaklığı 357 ± 9 pc olarak bulundu. Bu değer Hipparcos tarafından verilen 341 ± 85 pc değerinden çok daha güvenilirdir.

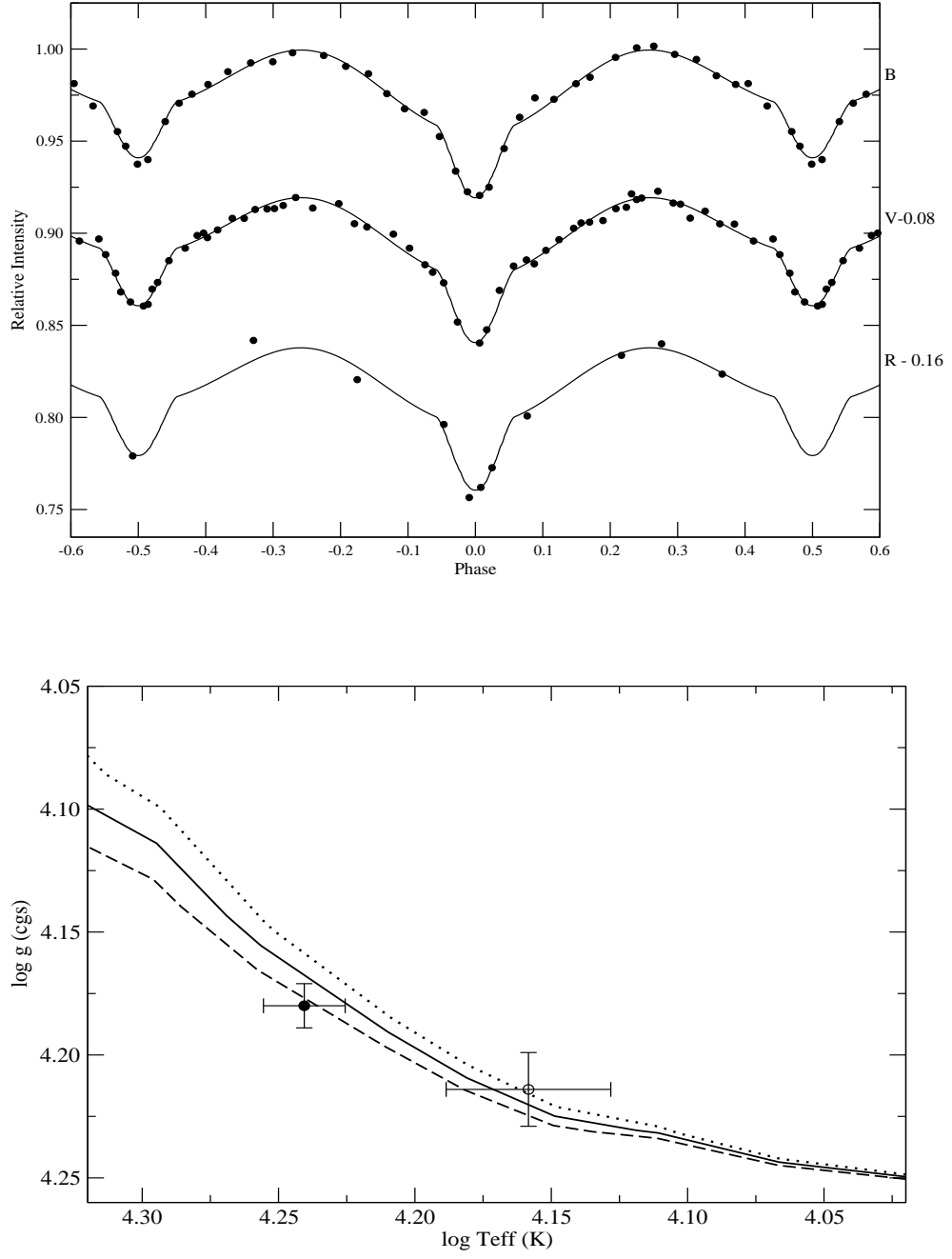
IM Mon sisteminin bileşenlerinin evrim durumlarını incelemek amacıyla Girardi ve ark. (2000) tarafından oluşturulan evrim modelleri kullanılmıştır. $[Fe/H]=0.2$ dex alınarak $\log T_{eff} - \log g$ düzleminde eş yaş çizgileri oluşturuldu. 11 Myıl ve 12 Myıl için yaş çizgileri ve bileşenlerin bu yaş çizgilerine göre konumları Şekil 3'de verilmektedir. Şekilde 11.5 Myıl yaşın her iki bileşene de uyum gösterdiği görülmektedir.

4 Kinematik ve Dinamik Analiz

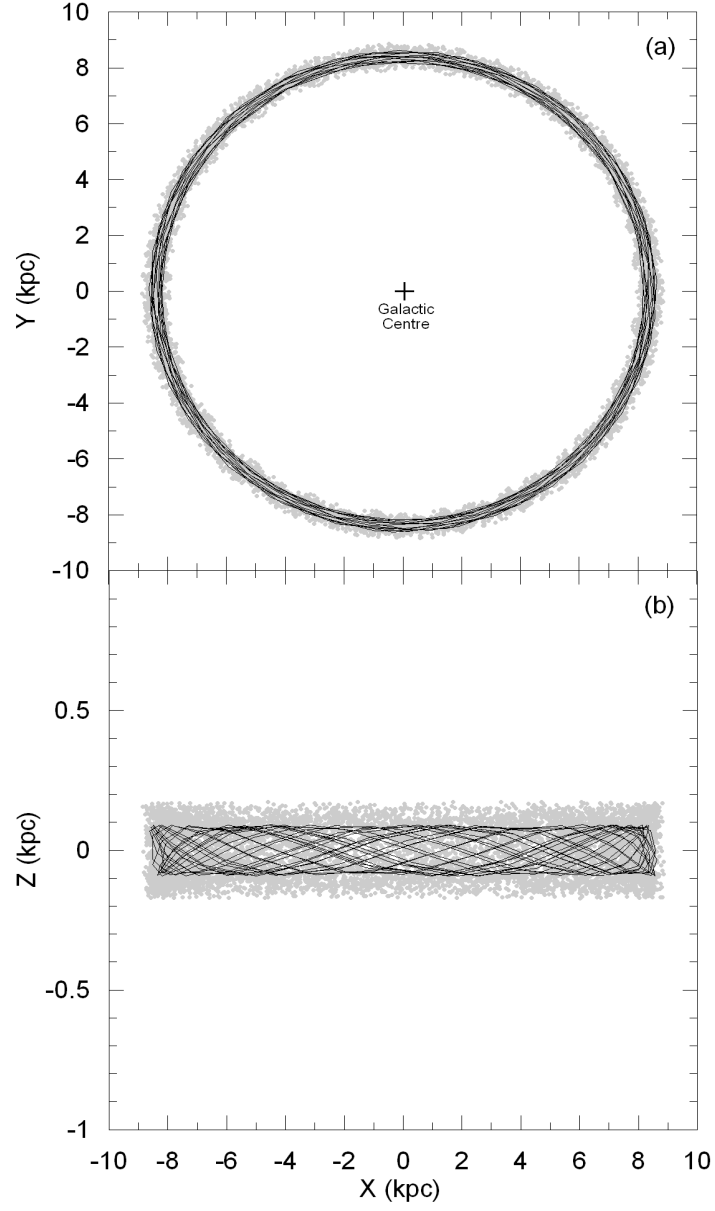
IM Mon sisteminin kinematik özelliklerini araştırmak için, sistemin kütle merkezinin hızı, uzaklığı ve öz hareketleri kullanıldı. Öz hareketler yeni indirgenmiş Hipparcos kataloğundan (van Leeuwen, 2007) ve uzaklık ve sistemin kütle merkezinin hızı bu çalışmadan bulunan değerlerden alındı. Sistemin uzay hızı Johnson ve Soderblom (1987) algoritması kullanılarak hesaplandı ve sistemin toplam uzay hızı $S = 22.95$ (2.28) km/s olarak hesaplandı. IM Mon sisteminin popülasyon türünü belirlemek için sistemin galaktik yörüngesi hesaplandı. Sistemin galaktik düzlemden olası maksimum dikey uzaklığı $|z_{max}| = |z_{min}| = 90$ pc ve düzlemsel ve dikey basıklıkları ise sırasıyla $e_p=0.02$ ve $e_v=0.01$ olarak bulundu. Bu değerler IM Mon sisteminin dairesel bir yörüngede olduğunu ve genç ince disk popülasyonuna ait olduğunu gösterdi.

5 Sistemin Ori OB1 Üyeliği

Sistemin Ori OB1 oymağının üyeliğini belirlemek için oymağın üyesi olarak bilinen yıldızların galaktik yörüngeleri oluşturuldu. Brown, de Geus ve de Zeeuw (1994) Ori OB1a oymağının kesin üyelerinin listesini vermektedir. Daha duyarlı galaktik yörüngelerini elde etmek için, öz hareketler ve trigonometrik paralaksalar yeni indirgenmiş Hipparcos kataloğundan alındı. Ori OB1a oymağının kesin üyesi olarak bilinen 29 yıldızla ait astrometrik veri ve duyarlı hızlar Kharchenko ve ark. (2007)'dan alındı. 29 yıldızla ait galaktik yörüngeler 1Gyıl için ve 5Myıl aralıklarla Dinescu, Girardi ve van Altena (1999) tarafından oluşturulan kod kullanılarak çizdirildi. Şekil 4 de oymak üyesi yıldızların ve IM Mon sisteminin



Şekil 2. IM Mon sisteminin BVR ışık eğrileri ve en uygun fitler (alt panel). $[\text{Fe}/\text{H}]=0.2$ dex için 11 Myıl (nokta), 12 Myıl (çizgi) ve 11.5 Myıl (düz) için hesaplanan yaş çizgileri. İçi dolu daire baş bileşeni ve boş daire ikinci bileşeni göstermektedir (üst panel).



Şekil 3. Ori OB1a üyelerinin (gri) ve IM Mon sisteminin (çizgi) galaktik merkez etrafındaki X-Y ve X-Z düzlemindeki yörünge hareketleri (1 G yıl).

galaktik merkezin çevresinde galaktik X-Y ve X-Z düzlemlerindeki yörüngeleri verilmektedir. IM Mon yıldızının yörüngesi diğer Ori OB1a üyesi yıldızların yörüngesi ile aynı bölgeye düşmektedir. Bu durum sistemin bu oymağın üyesi olmasını dinamik olarak desteklemektedir.

Tablo 3 de IM Mon sisteminin yaş, uzaklık, kimyasal element bolluğu ve sistemin kütle merkezinin hızına göre oymak üyeliği oymağın literatürdeki verilen değerleriyle karşılaştırılarak gösterilmektedir. IM Mon için verilen tüm değerler sistemin üyeliğini desteklemektedir.

Çizelge 1. IM Mon sisteminin Ori OB1 oymağı ile karşılaştırılması.

Yaş (Myıl)		Uzaklık (pc)		Kimyasal Bolluk (dex)		RV (km s ⁻¹)	
Bu Çalışma	Literatür	Bu Çalışma	Literatür	Bu Çalışma	Literatür	Bu Çalışma	Literatür
11.5(1.5)	12 (a)	357(9)	336(16) (b)	0.20(0.05)	[-0.4, 0.2] (c)	22.1(2.1)	23.0 (b)
	11 (b)		400 (d)		-0.01 (e)		25.4(1.0) (d)
	[7-10] (f, g)						

(a) Blaauw (1991), (b) Brown ve ark. (1999), (c) Cunha ve ark. (1998), (d) Melnik ve Dambis (2009), (e) D'Orazi ve ark. (2009), (f) Calvet ve ark. (2005), (g) Briceno ve ark. (2005)

Kaynaklar

- Bakış, V., Bakış, H., Bilir, S., Soyduğan, F., et al. 2010, *NewA.*, 15, 1
- Blaauw, A. 1991, *The Physics of Star Formation and Early Stellar Evolution*, NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C, Vol. 342, held in Agia Pelagia, Crete, Greece, May 27th - June 8th, Dordrecht: Kluwer, 1991, edited by Charles J. Lada and Nikolaos D. Kylafis, p.125
- Briceno, C., Calvet, N., Hernandez, J., Hartmann, L., Muzerolle, J., D'Alessio, P., & Vivas, A. K. 2005, *Star Formation in the Era of Three Great Observatories*, meeting abstracts from the conference held July 13-15, 2005 in Cambridge, MA. <http://cxc.harvard.edu/stars05/agenda/program.html>, p.61
- Brown, A. G. A., Blaauw, A., Hoogerwerf, R., de Bruijne, J. H. J., & de Zeeuw, P. T. 1999, *The Origin of Stars and Planetary Systems*. Edited by Charles J. Lada and Nikolaos D. Kylafis. Kluwer Academic Publishers, 1999, p.411
- Calvet, N., Briceño, C., Hernández, R., et al. 2005, *AJ*, 129, 935
- Cunha, K., Smith, V. V., & Lambert, D. L. 1998, *ApJ*, 493, 195
- de Zeeuw, P. T., Hoogerwerf, R., de Bruijne, J. H. J., Brown, A. G. A., Blaauw, A. 1999, *AJ*, 117, 354
- Dinescu, D. I., Girardi, T. M., & van Altena, W. F. 1999, *AJ*, 117, 1792
- D'Orazi, V., Randich, S., Flaccomio, E., Palla, F., Sacco, G. G., & Pallavicini, R. 2009 *A&A*, 501, 973
- Gum, C.S. 1951, *MNRAS*, 111, 634
- Johnson, H. L., & Morgan, W. W. 1953, *ApJ*, 117, 3131
- Johnson, D. R. H., & Soderblom, D. R. 1987, *AJ*, 93, 864
- Kharchenko, N. V., Scholz, R. D., Piskunov, A. E., Rı̇₂ser, S., & Schilbach, E. 2007, *AN*, 328, 889

- Małek, K., Batsch, T., Czyrkowski, H., Ćwiok, M., Dabrowski, R., Dominik, W.,
Kasprowicz, G., et al. 2010, *Advances in Astronomy*, 2010, 1
- Melnik, A. M., & Dambis, A. K. 2009, *MNRAS*, 400, 518
- Nieva, M. F., & Przybilla, N. 2007, *A&A*, 467, 295
- Pearce, J. A. 1932, *Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria*, 6, 59
- Pojmański, G. 1997, *Acta Astron.*, 47, 467
- Sanyal, A., & Sinvhal, S. D. 1964, *The Observatory*, 84, 211
- Shobbrook, R. R. 2004, *Journal Astron. Data*, 10, 1
- van Leeuwen, F. 2007, *A&A*, 474, 653